

**Національна академія наук України  
Інститут загальної енергетики**

**Ковалко О.М.**, Ковалко Н.М.,  
Євтухова Т.О., Новосельцев О.В.

**КОМУНАЛЬНА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА:  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ,  
СТРУКТУРА УПРАВЛІННЯ,  
ЕНЕРГОСЕРВІСНІ ПОСЛУГИ**

**Пам'яті Олександра Михайловича Ковалко**

Київ  
2023

УДК 339.944:620.621.31  
ББК 65.5:31

Затверджено до друку вченою радою  
Інституту загальної енергетики  
НАН України  
(протокол № 14 від 03.11.2022 р.)

Рецензенти: Денисюк С.П., доктор техн. наук, професор  
Нікітін Є.Є, доктор техн. наук, ст. н. с.

### **Пам'яті Олександра Михайловича Ковалко**

Автори: **Ковалко О.М.**, Ковалко Н.М., Євтухова Т.О., Новосельцев О.В.

**Комунальна теплоенергетика: енергоефективність, структура управління, енергосервісні послуги / Зібрання творів під заг. ред. чл.-кор. НАН України О.В. Новосельцева. – К.: НАН України, Інститут загальної енергетики, 2023. – 720 с.**

**ISBN 978-966-02-9489-9**

У монографії розглянуто методи і моделі багаторівневих систем управління і регулювання у сфері енергоефективності та енергозбереження, а також вертикально-інтегровані структури їх організації. На базі системно узгодженого поєднання положень теорії ієрархічних багаторівневих систем та теоретико-множинного підходу розроблено алгоритм та проведено оптимізацію параметрів та структури гібридної енергетичної системи на рівні комунальної теплоенергетики. Поглиблено методологічні основи та проведено класифікацію енергосервісних послуг, показано нові можливості застосування сервіс-орієнтованих послуг в енергетиці.

Для наукових та інженерно-технічних працівників, які займаються проблемами енергетики, енергетичного менеджменту та енергозбереження, а також для викладачів, аспірантів і студентів університетів.

ISBN 978-966-02-9489-9

© О.М. Ковалко  
Н.М. Ковалко  
Т.О. Євтухова,  
О.В. Новосельцев, 2023

**National Academy of Sciences of Ukraine  
Institute of General Energy**

**Kovalko O.M.**, Kovalko N.M.,  
Yevtukhova T.O., Novoseltsev O.V.

**COMMUNAL HEAT POWER ENGINEERING:  
ENERGY EFFICIENCY,  
STRUCTURE OF MANAGEMENT,  
ENERGY SERVICES**

**In memory of Oleksandr Mikhailovich Kovalko**

Kyiv  
2023

UDC 339.944:620.621.31

LBC 65.5:31

Approved for publication by the Academic Council  
of the Institute of General Energy  
of the National Academy of Sciences of Ukraine  
(protocol No.14 dated 03.11.2022)

Reviewers: S.P. Denisyuk, Doctor of Technical Sciences, Professor  
Ye.Ye. Nikitin, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher

**In memory of Oleksandr Mikhailovich Kovalko**

Authors: **Kovalko O.M./**, Kovalko N.M., Yevtukhova T.O., Novoseltsev O.V.  
**Communal heat engineering: energy efficiency, structure of management,  
energy services / Collection of works under general ed. of member-cor. of  
NAS of Ukraine O.V Novoseltsev. – Kyiv.: NAS of Ukraine, Institute of  
General Energy, 2023. – 720 p.**  
**ISBN 978-966-02-9489-9**

The monograph examines methods and models of multi-level systems of management and regulation in the field of energy efficiency and energy saving, as well as vertically integrated structures of their organization. On the basis of a systemically coordinated combination of the provisions of the theory of hierarchical multilevel systems and the set-theoretical approach, an algorithm was developed and the parameters and structure of the hybrid energy system were optimized at the level of communal heat engineering. The methodological foundations are deepened and the classification of energy services is carried out, new possibilities for the use of energy-oriented services in the energy sector are shown.

For scientific and researchers and engineers involved in the problems of energy, energy management, and energy conservation, as well as for lecturers, graduate students, and university students.

ISBN 978-966-02-9489-9

© O.M. Kovalko,  
N.M. Kovalko,  
T.O. Yevtukhova,  
O.V. Novoseltsev, 2023

## Ковалко Олександр Михайлович (1970-2022)



Відомий український економіст, Заслужений працівник промисловості України, Кращий енергетичний менеджер року (Association of Energy Engineers, 2017), кандидат економічних наук, доцент. Автор 42 наукових праць.

Ковалко Олександр Михайлович мав більше 30 років успішного досвіду роботи в енергетичній галузі на різних менеджерських ланках, понад 22 роки пропрацював у компаніях Групи Нафтогаз. У 1992 році закінчив Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу за напрямом "Технологія і комплексна механізація розробки нафтогазових і газових родовищ". Кандидатську дисертацію захистив у 2002 році зі спеціальності "Організація управління, планування і регулювання економіки". Розпочавши свій професійний шлях транспортним робітником в Укрнафті, він уже через 16 років посів місце заступника голови правління НАК «Нафтогаз України». Олександр Михайлович мав ґрунтовний досвід у керуванні повним циклом операцій таких виробничих процесів нафтогазового комплексу, як: розвідка, інтенсифікація видобутку, переробка та транспортування вуглеводнів. Був членом наглядових рад ПАТ "Укрнафта" та ПАТ "Укртранснафта".

На різних етапах своєї кар'єри Олександр Михайлович формував дієву систему управління у сфері науково-технічного розвитку компаній Групи Нафтогаз, яка наразі підвищує ефективність виробничої діяльності підприємств на засадах рівних умов доступу до ресурсів, технологій, потужностей, конкурсних процедур, а також оптимізує витрати на наукові дослідження, у тому числі з розробки нормативних документів, розвиває дослідницьку інфраструктуру та забезпечує перехід на інноваційну модель розвитку.

Ковалко О.М. запровадив єдині підходи науково-технічного забезпечення виробництва у нафтогазовому секторі економіки, зокрема з розроблення єдиних стандартів, які враховують складову транспортування природного газу в єдиному ланцюгу виробничих процесів з його видобутку, підготовки, зберігання та транспортування до кінцевого споживача з дотриманням вимог нормативно-правових актів з питань екології та охорони праці.

Олександр Михайлович не лише зробив величезний внесок у розвиток галузі, а й особисто виховав цілу плеяду талановитих менеджерів, які стали опорою для нафтогазової галузі та країни.

## ПЕРЕДМОВА

Вихідним посылком та стимулюючим фактором підготовки цієї наукової праці слугував той, вже аксіоматичний на сьогодні факт, що енергоефективність та енергозбереження (ЕЕ) є визначальними чинниками конкурентоздатності товарів і послуг, вироблених в будь-якої-країні будь-яким господарюючим суб'єктом, та які безпосередньо впливають на енергетичну безпеку країни і рівень добробуту її мешканців.

Ситуація в Україні характеризується надмірним споживанням та неефективним використанням паливно-енергетичних ресурсів, незадовільно високим рівнем енергоемності виробництва і пов'язаною з цим низькою конкурентоздатністю товарів та послуг на зовнішніх ринках, що в умовах дефіциту власних енергоресурсів і постійного зростання цін на світових ринках висуває проблему підвищення ЕЕ національної економіки в категорію першочергової значущості та актуальності.

Житлово-комунальне господарство (ЖКГ) на сьогодні є найбільш енерговитратною і водночас соціально значимою галуззю економіки України, що характеризується високим ступенем зносу обладнання, значною часткою збиткових підприємств, нерозвинутими ринковими відносинами та низькою якістю наданих послуг. Тому розв'язання проблем підвищення ЕЕ саме у цій галузі, на боці кінцевого споживання паливно-енергетичних і природних ресурсів, надасть найбільший соціальний та економічний ефект.

У той же час, теоретичні основи розв'язання проблем підвищення ЕЕ на рівні галузей досі не формалізовані і на сьогодні базуються головним чином на вербальних моделях, які за умов складності та великих розмірів такого роду систем не в змозі забезпечувати прийняття обґрунтованих за багатьма параметрами рішень. До цього слід додати проблеми невизначеності, емерджентності і синергетичності показників ЕЕ для ієрархічних багаторівневих систем, якими є системи управління у ЖКГ.

У сукупності це і обумовило потребу у систематизації та узагальненні апробованих у світовій практиці методів і механізмів управління складними

багаторівневими системами у сфері ЕЕ і побудові на цій основі теоретичного фундаменту для розробки математичних моделей та механізмів управління, які на системній основі поєднують організаційно-адміністративні та оперативно-технологічні аспекти управління. В зарубіжній практиці і в даній монографії такого роду системне управління складними енерготехнологічними системами визначається як багаторівневий енергетичний менеджмент, побудований на замкнених циклах неперервного удосконалення, що базуються на ринкових принципах вертикально-інтегрованого організаційно-технологічного управління (ВІОТ-управління).

В якості ключової задачі багаторівневого ВІОТ-управління у даній роботі вирішується задача вибору оптимального ступеню організаційно-функціональної самостійності елементів системи (об'єктів, юридично незалежних суб'єктів господарювання) в межах добровільно взятих обмежень, що регулюються вище розташованими суб'єктами (об'єктами), і де в якості критеріїв зацікавленості слугують показники економічної, енергетичної, екологічної (3-Е) ефективності функціонування цих суб'єктів (об'єктів). Насамперед, це такі показники, як прибуток, рентабельність виробництва, ККД, рівень викидів забруднюючих речовин тощо.

Монографія складається з трьох розділів.

*У першому розділі* розглядаються методичні основи визначення показників ЕЕ енерготехнологічних систем, здійснюється їх позиціонування у системі енергетичного менеджменту та наводяться приклади застосування на рівні країни. Далі, з урахуванням специфіки ЖКГ розглядаються методи, моделі і механізми систем управління і регулювання у сфері ЕЕ багаторівневих ієрархічно побудованих систем, які охоплюють державний і місцевий рівні, рівні промислових і комунальних підприємств та споживачів товарів і наданих послуг. На базі положень теорії ієрархічних багаторівневих систем та теорії управління великими системами визначаються основні структурно-функціональні блоки моделі організаційно-технологічного управління в такого роду складних системах, а саме – моделі багаторівневого



енергетичного менеджменту як основного інструменту підвищення ефективності управління складними системами соціально-виробничого типу. Наводяться результати проведеного аналізу та структуризації теоретичних положень енергетичного менеджменту складних багаторівневих систем. Перелік показників ЕЕ у такого роду системах позиціонується у системі енергетичного менеджменту на рівнях споживача ЖК послуг, виробничого підприємства та місцевого і загальнодержавного рівнях, що дозволяє сформулювати методичні підходи до побудови ринкових методів регулювання та стимулювання підприємств і установ до підвищення ЕЕ. Серед основоположних методів і механізмів енергетичного менеджменту складних багаторівневих систем основну увагу приділяється механізмам заохочувального регулювання та економічного стимулювання підприємств і установ до енергозбереження, методології інтегрованого ресурсного планування, концептуальним основам застосування перформанс-контракту та специфіці діяльності енергосервісних компаній (ЕСКО) в рамках системи енергетичного менеджменту. Принципово важливим для побудови математичних моделей управління багаторівневими системами є застосування процедур теоретико-множинного підходу, на основі якого найбільш повно розкриваються можливості формалізації і координування взаємодії елементів (блоків, підсистем) у складних енерготехнологічних системах соціально-виробничого типу. Результати проведеної формалізації задач енергоменеджменту показано на прикладах дворівневої системи підприємства-споживачі ЖК послуг та на місцевому і державному рівнях. Теоретичні основи координування взаємодії елементів складної багаторівневої системи енергетичного менеджменту розглядаються під кутом зору формалізації моделі програмно-цільового управління на рівні місцевої системи енергоменеджменту та застосування кластерного механізму координування взаємодії елементів складних багаторівневих систем. Особливої уваги з точки зору наукової новизни та практичної значущості заслуговує розгляд теоретично-прикладних аспектів застосування моделі

порівняльної переваги в задачі підвищення ефективності трансграничної взаємодії енергосервісних та енерготехнологічних компаній, і де представлені результати тестових техніко-економічних розрахунків, що підтверджують ефективність запропонованої моделі.

*У другому розділі* монографії представлено результати системного аналізу організаційно-управлінських, нормативно-правових, техніко-економічних, екологічних і технологічних аспектів виробництва, транспортування і використання теплоти, спрямованих на підвищення 3-Е ефективності функціонування місцевих (регіональних) систем комунальної теплоенергетики (КТЕ) – обласних, районних, міських тощо. Показано, що розв’язання проблеми потребує залучення формалізованих методів багаторівневого ВІОТ-управління, які дозволяють системним чином поєднати означені аспекти виробництва, транспортування і використання теплоти, тим самим забезпечуючи отримання максимального ефекту при мінімальних витратах. Далі визначено підхід та здійснено формалізацію багаторівневого ВІОТ-управління 3-Е ефективністю складних систем КТЕ, розглянуто базові принципи реалізації методу та побудови моделі багаторівневого управління 3-Е ефективністю, ієрархічна структура якої утворюється з системних модулів (підсистем), реалізованих за принципом “вхід-вихід” з залученням понять теорій множин, багаторівневих ієрархічних систем та узгодженої оптимізації. Показано, що реалізація методу та побудова моделі багаторівневого ВІОТ-управління потребує застосування критеріїв ефективності на кожному рівні управління, узгодження цих критеріїв з глобальним критерієм ефективності функціонування системи, введення додаткових рівнянь для урахування процедур координації взаємодії між підсистемами, побудови прямих і зворотних зв’язків, призначених для мінімізації відхилень поведінки системи за наявних неузгодженостей між глобальною і локальними цілями ВІОТ-управління. Поглиблено процедуру пошуку оптимального рішення, яку реалізовано за принципом організаційно-функціональної самостійності підсистем (суб’єктів господарювання –

підприємств КТЕ) шляхом встановлення вище розташованими підсистемами діапазонів припустимих змін параметрів їх взаємодії з нижче розташованими підсистемами (підприємствами КТЕ), в межах яких останні мають свободу вибору власних рішень, що реалізовано за методом математичного програмування з варійованими лінійними обмеженнями. Представлено результати формалізації методу чисельного дослідження ефективності функціонування систем КТЕ на місцевому (регіональному) рівні та його реалізації у вигляді пакету прикладних програм імітаційного моделювання, що складається з наступних модулів: урахування погодно-кліматичних умов; урахування нормативно-правових та організаційно-адміністративних вимог; управління 3-Е складовими підвищення ефективності функціонування систем КТЕ; структурно-параметричної оптимізації систем виробництва і транспортування теплоти; мінімізації витрат і втрат теплоти на опалення і гаряче водопостачання багатоповерхових будинків; техніко-економічної оцінки привабливості залучення інвестицій в проекти з підвищення 3-Е ефективності систем КТЕ. Оптимізаційні розрахунки виконано для місцевої (регіональної) системи, що складається з трьох підсистем, до кожної з яких входять вугільні котельні, котельні на природному газі, електричні котельні та когенераційні установки на природному газі і біодизельному пальному. Представлено результати розробки та дослідження методу і програмних модулів реалізації багаторівневого ВІОТ-управління ефективністю функціонування систем КТЕ на технологічному рівні, який складається з модулів підсистем виробництва, транспортування і використання теплоти. Реалізацію цих модулів здійснено на базі квазідинамічних, лінеаризованих на інтервалах дискретизації температурно-часового простору імітаційних моделей.

*У третьому розділі* монографії результати дослідження сервіс-орієнтованого енергобізнесу, як одного з основних напрямів сучасної трансформації економіки країн, представлено на англійській мові. Детально розглянуто методологічні аспекти розвитку енергосервісу та

енергосервісних послуг. Значну увагу приділено структурно-функціональному аналізу віртуальних організацій, ефективність та продуктивність діяльності яких значною мірою визначається розвитком хмарних інформаційно-комунікаційних технологій. Розроблено концептуальну базу (платформу) реалізації послуг з енергетичного менеджменту у середовищі віртуальних організацій. Представлено огляд законодавчої та нормативної бази, пов'язаної з формуванням ринку енергосервісних послуг, побудовано модель цього ринку шляхом синергетичного поєднання теорії системного аналізу та теорії множин. Детально проаналізовані дві найпоширеніші моделі сучасної низьковуглецевої трансформації економіки: сервіс-домінантної логіки та продуктово-сервісних систем, представлено моделі створення віртуальних спільнот (центрів) для масштабної реалізації заходів у сфері енергоефективності та відновлюваних джерел енергії, у тому числі в умовах трансграничної взаємодії енергосервісних компаній. Розглянуто енергоекономічні аспекти реалізації різних сценаріїв трансграничної взаємодії такого роду компаній на ринках ріпаку та біодизелю. Побудована економіко-математична модель управління інвестиційними ресурсами цільових програм з енергоефективності, розроблено алгоритм щодо визначення обсягів економічно доцільного залучення інвестицій в такі програми з різних джерел фінансування та за різними банківськими ставками.

Автори висловлюють глибоку вдячність науковим рецензентам Денисюку Сергію Петровичу та Нікітіну Євгену Євгеновичу за конструктивні зауваження стосовно окремих положень змісту монографії та за цінні поради щодо подальших досліджень у визначених напрямках.

# **РОЗДІЛ 1. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БАГАТОРІВНЕВИХ СИСТЕМ: МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ<sup>1</sup>**

## **Глава 1.1. Енергетичний менеджмент як інструмент підвищення ефективності управління складними багаторівневими системами**

### **1.1.1. Базові поняття та визначення проблеми організаційно-технологічного управління у системі ЖКГ**

У сучасних умовах глобалізації економіки та енергетичних ринків конкуренція, що значною мірою обумовлена стійкою тенденцією зростання енергетичної складової у структурі витрат на виробництво продукції і надання послуг, все більше переміщується на поле енергоефективності та енергозбереження (ЕЕ) [14-19]. При цьому стратегічну перевагу отримують саме ті країни і компанії, які зуміли запровадити ефективно діючу систему енергетичного менеджменту [1-9].

Житлово-комунальне господарство (ЖКГ) є однією з найбільш соціально значимих і водночас неефективно функціонуючих галузей економіки України, що характеризується високим ступенем зносу обладнання, значною часткою збиткових підприємств, нерозвинутими ринковими відносинами та низькою якістю наданих послуг. З іншого боку, ЖКГ за всіма оцінками зарубіжних і внутрішніх експертів являє собою потенціально-прибутковий ринок з стабільним попитом, розміри якого оцінюються сотнями мільярдів гривень [20].

Розв'язання цього протиріччя шляхом підвищення енергоефективності функціонування ЖКГ не є простим завданням, оскільки за обсягами споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), за кількістю і потужністю енергоємних об'єктів та розгалуженістю інфраструктури ЖКГ відноситься до

---

<sup>1</sup> Енергоефективність багаторівневих систем: Методи та моделі енергетичного менеджменту в системі житлово-комунального господарства. – Київ: НАН України, Інститут технічної теплофізики, 2014. – 252 с.

складних енерготехнологічних систем соціально-виробничого типу. Її ієрархічно побудована система управління складається з чотирьох рівнів: загальнодержавного, місцевого (регіонального, обласного, міського, селищного тощо), господарюючих суб'єктів (підприємств і організацій з виробництва і постачання ПЕР і комунальних послуг) і споживчого (населення, бюджетна сфера, малий и середній бізнес).

З точки зору формалізації задач управління, система ЖКГ складається з керуючих і керованих елементів та підсистем, охоплених зв'язками субординації та координації, із загальносистемною (глобальною) метою та підпорядкованими, але ж достатньою мірою самостійно визначеними локальними цілями та завданнями елементів і підсистем, з наявними зворотними зв'язками та зовнішніми впливами і збуреннями, насамперед пов'язаними з регулюванням цін і тарифів на житлово-комунальні (ЖК) послуги.

Введемо у подальший розгляд декілька принципових понять і визначень, які стосуються питань управління складними багаторівневими системами у сфері енергоефективності та енергозбереження (ЕЕ).

Складна система за визначенням являє собою складений об'єкт, частини якого (підсистеми) закономірно об'єднані в єдине ціле внутрішніми зв'язками. В багаторівневих системах, кожна така підсистема у свою чергу складається з кінцевого числа підсистем більш низького рівня.

Серед основних властивостей складних систем розрізняють такі, як: цілісність системи, обумовлену єдністю і наявністю загальної мети (критеріїв) її функціонування і розвитку; автономність (відносна самостійність) підсистем і наявність в них власних органів управління і своєї мети (критеріїв) функціонування і розвитку; ієрархічність структури; неповнота інформації; економічність; динамічність; інерційність; багатокритеріальність оцінок ефективності функціонування і розвитку; незбіг цілей (критеріїв, інтересів) управління підсистемами на різних рівнях ієрархії; адаптивність; неадитивність (принципова незвідність властивостей

системи до суми властивостей складових її компонентів), синергічність, надійність як продовження функціонування системи при виході з ладу її окремих компонент [10-12].

Інакше кажучи, складна система соціально-виробничого типу характеризується не тільки набором технологічних частин (підсистем) і зв'язків між ними, але й фізичними процесами, що протікають в кожній з цих підсистем і між ними, набором зовнішніх зв'язків і функцій системи, а також наявністю організаційно-керуючих підсистем, які мають забезпечувати функціонування системи в цілому.

Необхідність управління складними системами породжує ряд труднощів, пов'язаних з можливою втратою їх керованості, що змушує розподіляти такого роду складні системи на ряд підсистем, доступних для безпосереднього управління. Однак подібне розподілення на підсистеми викликає необхідність подальшої координації та узгодженого управління ними, що призводить до побудови багаторівневої ієрархічної системи управління, яка має поєднувати технологічні та інформаційні зв'язки.

Ці особливості по-різному проявляються на рівнях оперативно-технологічного управління енерготехнологічними підсистемами, які в основному представлені енергетичним обладнанням та засобами електронного автоматичного управління, а також на рівнях організаційно-адміністративного управління, де основну роль грає людина і трудові колективи. Це обумовлює необхідність дослідження в системному підході поняття цілого (системи) і його частин (підсистем) не як простого підсумовування властивостей останніх, а як синтезу цілого з новою якістю і властивостями.

Таким чином, під системою організаційно-технологічного управління будемо розуміти таку складну систему управління, що складається з елементів (ланок, рівнів тощо) організаційно-адміністративного та оперативно-технологічного управління трудовими, матеріально-технічними, паливно-енергетичними і фінансово-економічними ресурсами,

цілеспрямовану на підвищення ефективності функціонування енерготехнологічної системи.

Зрозуміло, що при побудові систем управління слід прагнути до спрощення їх структури. Але об'єктивні чинники перешкоджають такому спрощенню в складних енерготехнологічних системах соціально-виробничого типу і в першу чергу, – це вимоги до управління складними технологічними процесами виробництва, розподілу і споживання виробленої продукції та наданих послуг, які обумовлюють створення органів управління, ієрархічно співпадаючих з ієрархічною структурою управління технологічними процесами. При цьому процес узгодження в багаторівневих системах локальних цілей управління з глобальною метою є одним з важливих елементів забезпечення ефективності функціонування і розвитку системи у цілому [10-12].

Окремим поняттям достатньо новим для пострадянського простору і широко застосованим в науково-практичних дослідженнях в країнах з розвинутою економікою є поняття енергетичного менеджменту. Є багато різних визначень цього поняття, які відображають його багатоцільову комплексну природу як специфічної гілки (підсистеми) у системі організаційно-технологічного управління складними об'єктами [1-9].

У даній роботі, під системою енергетичного менеджменту будемо розуміти ієрархічно структуровану підсистему організаційно-технологічного управління у сфері енергоефективності та енергозбереження, системно узгоджену з іншими підсистемами та органами організаційно-технологічного управління складними об'єктами (системами і комплексами).

Ініціатором розробки та запровадження методів енергетичного менеджменту на пострадянському просторі є А.В. Праховник, зусиллями якого, його учнів і послідовників в Україні розвинуто базові основи побудови систем енергетичного менеджменту в умовах переходу від адміністративно-командних до ринкових методів управління [5-7].



Теоретичний базис енергетичного менеджменту ґрунтується на принципах і поняттях управління енерговикористанням, які розглядаються не стільки в рамках технічних, скільки організаційних, мотиваційних, нормативно-правових, інформаційних, маркетингових та екологічних аспектів [5-7].

Саме сукупність різних за своєю природою підсистем управління, як управлінських, так і інженерно-технічних, дає можливість досягнення максимального синергетичного ефекту, якого неможливо досягти, застосовуючи окремо інженерні рішення і технологічні інновації поза межами системи енергетичного менеджменту.

При цьому у системи енергетичного менеджменту зазвичай передбачається виконання низки додаткових функцій, які забезпечують систематизований збір і обробку інформації про основні об'єкти використання палива та енергії, енерготехнологічну та техніко-економічну ефективність різних процесів, окремих видів продукції та послуг, проведення розрахунків з виявлення резервів зниження обсягів використання енергії і розробку заходів щодо їх реалізації, енергетичний та екологічний моніторинг, прогнозування і планування заходів з підвищення ЕЕ тощо.

Стратегічною метою створення системи енергетичного менеджменту є зниження витрат паливно-енергетичних ресурсів на виробництво продукції і послуг, поліпшення її конкурентних позицій і, як наслідок, підвищення фінансово-економічної стійкості об'єкта управління (комплексу, системи).

Слід розуміти, що витрати на створення системи енергетичного менеджменту, які включають в себе створення й утримання нової гілки в системі управління об'єктом, додаткові обов'язки інших управлінців, які не брали раніше участь у вирішенні енергетичних завдань, необхідність створення спеціалізованих регламентів і стандартів тощо, повинні окупатися тим прибутком, який виникає внаслідок впровадження системи енергоменеджменту.

Сучасні положення енергетичного менеджменту, які застосовуються в Україні, представлені в міжнародному стандарті ISO 50001:2011 “Energy management systems – Requirements with guidance for use” Стандарт отримав національний статус у більшості розвинених країн Європи, Північної Америки та Азії. Російська версія цього стандарту відрізняється від оригіналу за деякими формулюваннями [8].

За визначенням стандарту ISO 50001:2011, система енергоменеджменту – це набір взаємопов'язаних один з одним і взаємодіючих між собою елементів, що ґрунтуються на енергополітиці, цілях, процесах і процедурах, необхідних для покращення енергетичної результативності та продуктивності, і дозволяють досягати цих цілей, в тому числі щодо зменшення викидів в атмосферу парникових газів, за допомогою систематичного управління енергетичними ресурсами. Стандарт є універсальним, хоча його вимоги є розпорядчими, оскільки тільки перелічують те, що має бути зроблено, не визначаючи як це зробити [8,9].

Що стосується принципів формалізації та побудови математичних моделей багаторівневого організаційно-технологічного управління та регулювання енергетичних та енерготехнологічних систем у сфері ЕЕ, то їх структурно-функціональні схеми та механізми розглядаються у роботі на теоретико-множинному рівні. Представлені схеми охоплюють державний і місцевий (муніципальний) рівні управління та регулювання, рівні енерготехнологічних підсистем підприємств та кінцевих споживачів вироблених ними енергопродуктів та наданих послуг у сфері ЕЕ.

Для формування потоків економічно-доцільних заходів з ЕЕ пропонується використовувати проектно-інвестиційний та програмно-цільовий підходи, а серед основних інструментів реалізації цих заходів – методи та механізми перформанс-контракту та енергосервісних компаній. Застосування останніх дозволяє гарантовано забезпечувати досягнення запланованих результатів внаслідок запровадження заходів (інвестиційних проектів) з підвищення ЕЕ господарської діяльності на рівнях підприємств та

кінцевих споживачів вироблених енергопродуктів та наданих послуг, тим самим забезпечуючи досягнення запланованих програмних показників і на місцевому та державному рівнях.

Основну увагу у роботі приділено саме рівням підприємств та кінцевих споживачів, а серед прикладів використання розглядаються системи централізованого теплопостачання, що дозволяє у якості кінцевих споживачів розглядати населення, яке є одним з основних споживачів ПЕР в Україні, як і у більшості розвинутих країн у світі.

Аналізуючи домінуючий в ЖКГ України процес адміністративно-командного управління у сфері ЕЕ в його історичному розвитку слід відзначити, що за останні декілька десятиліть скільки-небудь значущі результати не були досягнуті за причин, серед яких відмітимо наступні:

1. Мотивація і стимулювання до підвищення енергоефективності та енергозбереження у ЖКГ практично не розглядалися центральними органами влади в якості фінансово-економічних інструментів прямої дії, а логіка — ринок у всьому розбереться, не спрацювала. При цьому, заходи з ЕЕ фактично розглядалися як витратні, а не такі, що стимулюють розвиток економіки країни і дозволяють одержувати додаткові вигоди і прибуток.

2. Не було створено дієздатної системи управління у сфері ЕЕ, що функціонує за нерозривним ланцюгом: постачальник ПЕР — виробник ЖК послуг — споживач, побудованої на всіх рівнях ієрархічної структури за принципами єдиної політики та системно узгоджених цілей і завдань.

3. Не була розвинута інфраструктура ринків ЕЕ, що починається з діяльності спеціалізованих, у першу чергу, енергосервісних компаній, не визначені правила оцінки результатів реалізації заходів з ЕЕ і вичленення економічного ефекту, не створено передумов для розвитку приватного бізнесу у сфері ЕЕ і залучення інвестицій, як основних рушійних сил підвищення енергоефективності та енергозбереження.

4. Фінансово-економічні умови діяльності об'єктів житлово-комунальної інфраструктури, що визначалися за принципами «вживання»,

навіть не передбачали можливостей проведення модернізації об'єктів ЖКГ з урахуванням енергозберігаючих технологій.

5. Тарифна політика не враховувала інвестиційної складової, поправок на інфляцію і ефективність виробництва. Тариф не стимулював до покращення якості послуг, зниження витрат і раціонального використання паливно-енергетичних та природних ресурсів.

6. Регулювання ЖКГ як природної монополії здійснювалося на принципах адміністративно-командної системи, без урахування можливостей реорганізації окремих підсистем ЖКГ.

7. Принципи програмно-цільового управління практично не використовувалися, а державні програми розвитку не були підкріплені належним фінансуванням. Державно-приватне партнерство розглядалось як інструмент залучення приватних інвестицій без механізмів їх повернення.

Зрозуміло, що політика держави у сфері енергоефективності та енергозбереження ЖКГ потребує негайного реформування. Досвід розвинутих країн, у тому числі і країн Східної Європи, показує [13], що створення системи енергетичного менеджменту, впровадження ринкових відносин, залучення приватних компаній і розвиток конкуренції є обов'язковими елементами успішного розв'язання наявних проблем і подолання існуючих бар'єрів. При цьому єдиного підходу у світі не існує, однак загальним для всіх країн залишається принцип збереження державного регулювання та контролю, – змінюються лише його функції в залежності від специфіки країни та рівня розвитку ринкових відносин, а головним завданням регулюючого органу стає своєчасне реагування на негативні зміни у системі при мінімальному втручанні у господарську діяльність підприємств.

### **1.1.2. Методичні підходи до визначення показників енергетичної ефективності складних систем**

Серед емпіричних понять, що визначають ефективність (продуктивність, результативність) застосування ПЕР у складних системах, найпоширенішими є енергоефективність (energy efficiency), енергозбереження (energy saving, energy conservation), енергоємність і енергоінтенсивність (energy intensity). Головним у використанні цих понять є те, що вони дозволяють аналізувати і узагальнювати властивості і відносини між складовими елементами складних систем (галузями економіки, секторами, підприємствами, організаціями тощо) на всіх рівнях її розгляду, послідовно згортаючи показники ефективності за схемою: окремі технології – підприємства – галузі – економіка у цілому (тобто знизу-вверх) або розгортаючи їх у зворотному напрямі (зверху-вниз).

Підвищення енергетичної ефективності складних систем здійснюється головним чином за допомогою поліпшення структури самої системи і використовуваних ресурсів, підвищенням якості, результативності та ефективності процесів виробництва, розподілу і споживання продукції та послуг, зміною їх структури, зниженням витрат ресурсів на одиницю виробленої продукції і наданих послуг тощо.

Зрозуміло, що на рівень енергетичної ефективності складних систем та окремих її складових впливають багато факторів, серед яких такі, як рівень розвитку технологічної бази, ступень досконалості виробничої і розподільчої інфраструктури, цінова політика, географічне розташування країни, кліматичні умови, соціально-культурні, демографічні чинники тощо. Визначення впливу кожного з цих факторів на показники енергетичної ефективності є досі проблематичним із-за їх складності та невизначеності.

Тому на всіх рівнях використання показників енергетичної ефективності (окрім мабуть технологічного) виникають непорозуміння, коли, не звертаючи увагу на принципову різницю у фізичній природі елементів, об'єктів і явищ, дослідники проводять чисельні розрахунки значень їх ефективності за однією і тією ж схемою. Як наслідок, незалежно від предмета дослідження (енергоефективності, енергозбереження,

енергоємності, енергоінтенсивності тощо) кількісні оцінки цих різних показників співпадають, що говорить про те, що автори не розрізняють ні дійсних причин, ні можливих наслідків використання результатів такого роду досліджень.

Незважаючи на те, що ефективність є одним з найбільш поширених в теорії та на практиці системних понять, загальновизнаної процедури її вимірювання досі не існує. Тому, в залежності від того, які витрати і особливо – які результати (соціально-економічні, інституційні, екологічні тощо) приймаються до уваги, ефективність слід розглядати або як якісну або ж як кількісну оцінку співвідношення витрат і результатів функціонування системи, а у процес цього вибору залучати методи системного аналізу, які базуються на загальноприйнятих системних принципах і поняттях.

В якості типового прикладу детально розглянемо складові процедури визначення узагальненого поняття енергоекономічної ефективності (energy-economic efficiency), яке призвано поєднати на системній основі енергетичні та економічні фактори впливу.

У загальному випадку ефективність  $e_{ef}$  (efficiency, effectiveness) будь-якого процесу або дії (роботи, діяльності) визначається відношенням досягнутого ефекту (результату, випуску) до витрат на його досягнення за формулою:

$$e_{ef} = W_p / W_e, \quad (1.1.1)$$

де результат  $W_p$  і витрати  $W_e$  можуть бути представлені у натуральному та/або вартісному вираженні.

Необхідно додати, що за цією фундаментальною формулою визначається не тільки ефективність, а й загальнопоширені поняття продуктивності та результативності (поняття інтенсивності визначається оберненим виразом). Тобто, починаючи з єдиної форми узагальненого представлення  $(W_p / W_e)$  всіх цих понять потрібно чітко розрізняти можливості їх коректного використання, коли важко, а найчастіше і

неможливо виділити компоненти випуску-витрат, які визначають у «чистому» вигляді тільки одне з цих понять, а не їх комбінацію. На жаль на сьогодні загальних правил вирішення цієї задачі не існує і тому в кожному конкретному випадку доводиться узгоджувати фізичний зміст та «вагу» складових фундаментальної формули (1.1.1), що також не завжди можливо здійснити.

Тобто, ефективність, на відміну від ефекту, є відносною величиною, визначення якої полягає в діленні величини ефекту (результату) на величину витрат, тобто, ефект на одиницю витрат. Звідси за інших рівних умов, чим більше ефект (або результат) і менше застосовані для цього ресурси, тим вище ефективність системи. Залежно від того, які витрати і особливо – які результати і фактори впливу розглядаються, в окремих галузях знань традиційно визначають енергетичну, економічну, фінансову, інституційну, біологічну, екологічну, соціальну, політичну тощо ефективність.

В рамках системного підходу такі «галузеві» ефективності доцільно розглядати як підсистеми єдиної системи показників ефективності, якщо встановити взаємозв'язки між ними. Таке поєднання окремих підсистем у систему потрібно здійснювати за принципом загальносистемної мети, коли функціонування та розвиток системи у цілому та всіх її підсистем буде спрямовуватися на досягнення певної глобальної мети (глобального оптимуму). Побудована таким чином система показників ефективності дає можливість не тільки проводити порівняльний аналіз підсистем, а й визначати загальносистемний (синергетичний) ефект від провадження заходів у кожній з цих підсистем та у системи в цілому. При цьому, слід чітко пам'ятати про принципову неможливість виявлення «синергетичних» властивостей системи, розглядаючи її окремі складові.

Окрім позитивних синергетичних ефектів, системний підхід дозволяє виявляти і негативні (гальмуючі) чинники, пов'язані з функціонуванням «реальної» економіки, які враховують, наприклад, неоптимальний розподіл ресурсів, наявність «тіньового» сектору, відсутність економічних стимулів,

крадіжки, недостатню якість управлінських рішень тощо. Системна класифікація ефектів має також включати поняття відвернених втрат (збитків), яких вдається уникати, таких, наприклад, як забруднення навколишнього середовища.

Врахування цих чинників є істотною умовою адекватності і практичної цінності системної моделі, що принципово відрізняє її від моделей визначення часткових показників ефективності. Складнощі, що виникають при створенні системних моделей, зазвичай вирішують через їх ієрархічну структуру, де на кожному рівні ієрархії застосовують характерні зміни, зв'язки та алгоритми. Так, на рівні економіки у цілому ефективність визначають як відношення ефекту до витрат в масштабах економіки країни, де ефектом є валовий внутрішній продукт (ВВП), а витратами – сукупність спожитих ресурсів, а на галузевому рівні та на рівні підприємств – найчастіше, як відношення прибутку до вартості виробничих фондів або собівартості (рентабельності) продукції. На Рис.1.1 наведено складові тензору загальносистемних показників ефективності складної багаторівневої системи.

Як видно з Рис.1.1.1 класифікація системних показників ефективності охоплює наступні класифікаційні признаки:

- за видами підсистем;
- за рівнями системної ієрархії;
- за чинниками виникнення ефекту.

Система показників наприклад, економічної ефективності містить такі групи:

- узагальнюючі показники економічної ефективності (рівень задоволення потреб ринку, виробництво продукції на одиницю витрат ресурсів, витрати на одиницю товарної продукції, прибуток на одиницю загальних витрат, рентабельність виробництва, народногосподарський ефект від використання одиниці продукції тощо);



- показники ефективності використання основних виробничих фондів (фондовіддача основних фондів, фондомісткість продукції, рентабельність основних фондів, фондовіддача активної частини основних фондів тощо);
- показники ефективності використання живої праці (трудомісткість одиниці продукції, відносне вивільнення працівників, темпи росту продуктивності праці, частка приросту продукції за рахунок росту продуктивності праці, коефіцієнт ефективності використання робочого часу, економія фонду оплати праці, випуск продукції на одиницю фонду оплати праці тощо);
- показники ефективності використання коштів (коефіцієнт оборотності обігових коштів, тривалість одного обороту нормованих оборотних коштів, відносне вивільнення обігових коштів, питоми капіталовкладення, капіталовкладення на одиницю введених потужностей, рентабельність інвестицій, строк окупності інвестицій тощо);
- показники ефективності використання матеріальних та паливно-енергетичних ресурсів (матеріалоємність продукції, матеріаловіддача, коефіцієнт використання сировини і матеріалів, витрати палива і енергії на одиницю чистої продукції, економія матеріальних витрат, коефіцієнт вилучення корисних компонентів із сировини тощо);
- показники якості продукції (економічний ефект від поліпшення якості продукції, частка продукції, яка відповідає кращим світовим і вітчизняним зразкам, тощо).

Побудову будь-якої системи починають з виявлення структурних елементів (підсистем) і їх взаємозв'язків. І якщо в нашому випадку теоретичні основи побудови і аналізу структурних елементів системи, якими є підсистеми показників ефективності, докладно розроблені у відповідних галузях знань, то теорія побудови і аналізу взаємозв'язків, що формують систему, ще знаходиться в зародковому стані.

Тому потрібно починати з визначення основних функцій, притаманних такого роду зв'язкам, серед яких пропонується розглядати наступні:

- функції утворення структури для реалізації певної генеральної мети, – структурні зв'язки;
- функції обміну речовиною, енергією, грошима, інформацією тощо між підсистемами, – транспортно-розподільчі зв'язки;
- функції перетворення для узгодження матеріальних і інформаційних параметрів обміну, – зв'язки перетворення;
- функції відображення технологічних особливостей побудови підсистем та системи у цілому, – технологічні зв'язки;
- функції відображення режимів функціонування підсистем та системи у цілому, – режимні зв'язки;
- функції управління і розвитку системи, – зв'язки управління і розвитку.

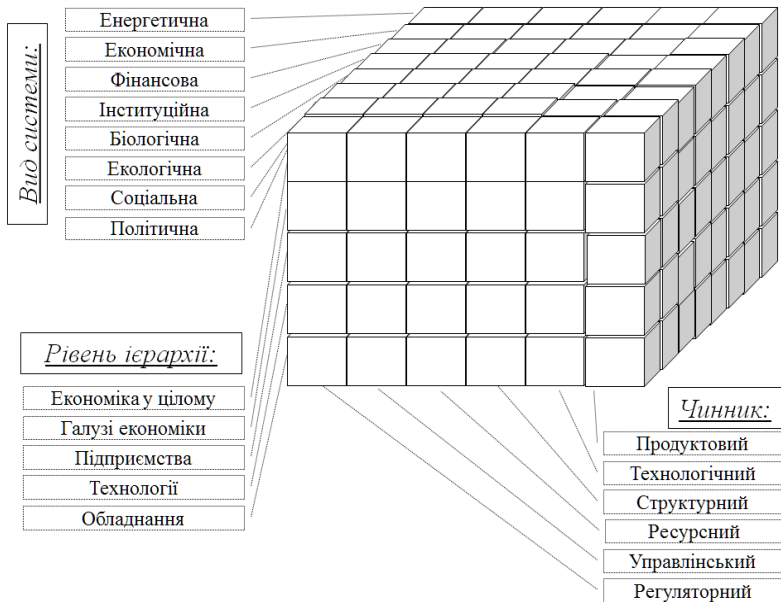


Рисунок 1.1.1 - Тензор показників ефективності багаторівневої системи

З урахуванням вище наведеного, енергоекономічна ефективність, що охоплює енергетичну і економічну підсистеми наукового пізнання, має трактуватися як здатність цих підсистем в процесі свого функціонування досягати загальносистемного результату з урахуванням, за необхідності, впливу інших факторів (інституційних, екологічних, соціальних тощо) у якості внутрішніх складових цих підсистем.

Тоді, відповідно до фундаментальної формули (1.1.1) енергоекономічна ефективність  $e_{ef}$  також має визначатися величиною отриманого ефекту (результату, продукту) на одиницю витраченої енергії і за інших рівних умов буде підвищуватися (або покращуватися), коли заданий рівень ефекту досягається при менших обсягах енергії, або при заданій кількості енергії рівень досягнутого ефекту збільшується.

При цьому система показників (індикаторів) енергоекономічної ефективності на відміну від існуючих окремих показників енергетичної та економічної ефективності повинна розрізняти фактори ефективності і наслідки їх дії серед інших споріднених за формою визначення, але ж не пов'язаних зі змістом ефективності, факторів, у першу чергу інтенсивності, продуктивності, заощадження тощо.

Один з прикладів порівняння таких «споріднених» факторів – це переміщення виробництва з енергоємних секторів економіки (наприклад, металургійного) до секторів, де споживаються невеликі обсяги енергії (наприклад, секторів електроніки або послуг). Таке переміщення безумовно вплине на зміну співвідношення величини отриманого ефекту на одиницю витраченої кількості енергії в економіці країни, але не стане показником покращення енергоефективності в кожному з цих секторів та в економіці країни у цілому. Найвірогідніше, це буде індикатором інтенсивності використання енергії.

З іншого боку, підвищення енергетичної ефективності, наприклад, технологічних процесів і обладнання, так же як інші «зовнішні» фактори, можуть і впливають на відповідні зміни в інтенсивності. Тому, в межах

поняття енергоекономічної ефективності потрібно розглядати систему не тільки за рівнями ієрархії, але і за чинниками виникнення ефекту, – структурними, технологічними, розподільчими, режимними, перетворення, управління і розвитку тощо, які у свою чергу повинні розрізнятися за признаками ефективності, інтенсивності, продуктивності і заощадження.

Інакше кажучи, стан системи (об'єкту) потрібно вимірювати шляхом використання різномірної інформації в обсягах, які дозволяють виявляти природу причин, наслідків, взаємозв'язків, тенденцій і можливостей ефективного (неефективного) функціонування системи. При цьому, енергоекономічна ефективність, як системне поняття, буде визначатися на основі інформації про структуру і технологічний склад системи, фізичну та економічну природу її елементів і підсистем, транспортно-розподільчих зв'язків тощо, параметрів і режимів функціонування і управління системою у цілому, елементами та зв'язками.

У той же час, загальновідомі методики визначення енергетичної ефективності розглядають тільки структурні і технологічні зміни, не враховуючи потенціал і втрати від нерационального розподілу матеріальних і фінансових ресурсів та надмірного використання адміністративного ресурсу тощо. Такі втрати виникають на всіх рівнях економіки. Так, на рівні економіки у цілому вони визначаються як різниця між приростом ВВП за рахунок підвищення продуктивності ресурсів та втратами ВВП на ринках з недосконалим розподілом (недосконалою конкуренцією тощо). Величина цих втрат оцінюється в розмірі 2-7% ВВП для розвинутих країн та 20-40% ВВП для країн з перехідною економікою [21].

### **1.1.3. Позичіонування показників енергоефективності у системі енергетичного менеджменту**

Проведений у попередньому розділі загальносистемний аналіз показує, що для коректного визначення показників ефективності функціонування

складних систем потрібно зафіксувати та закріпити (позиціонувати) в структурі системних показників енергоекономічної ефективності певного місця для понять енергоефективності, енергозбереження, енергоємності та енергоінтенсивності у відповідності до їх природи та властивостей. Розглянемо ці поняття більш детально.

В техніці енергетична ефективність процесу або дії вимірюється коефіцієнтом корисної дії (ККД), який визначається як відношення величини енергії або роботи на виході системи до величини енергії або роботи на її вході. За принципом збереження енергії, енергетична ефективність процесу або дії в межах замкнутої технічної системи ніколи не може перевищувати 100%.

Під ефективним використанням енергії (efficient energy use) розуміють виконання тієї ж самої роботи шляхом використання меншої кількості енергії. Підвищення ефективності енерговикористання досягається перш за все за допомогою більш ефективних технологій або процесів, ніж зміни режимів роботи існуючого обладнання.

Енергозбереження (energy conservation) є більш широким поняттям, ніж енергоефективність в тому, що охоплює заходи і дії, які можуть здійснюватися шляхом використання меншої енергії для виконання менших обсягів роботи, наприклад шляхом зміни графіків і режимів роботи обладнання. Однак проведення чіткої (не розмитої) межі між ефективним використанням енергії і енергозбереженням у загальному випадку неможливо.

Ефективність перетворення енергії (energy conversion efficiency) визначається співвідношенням між корисним виходом (результатом роботи) і витратами енергії на його досягнення. Корисним виходом може бути, наприклад, електрична енергія, механічна робота, або тепло. Ефективність перетворення енергії навіть для певної системи також не є однозначною величиною, оскільки залежить від поняття корисності виходу. Наприклад, вся або частина теплової енергії, що утворюється під час спалювання

пального, може бути викидним теплом, якщо результатом термодинамічного циклу є чисто механічна робота, або корисним, коли це тепло буде використовуватися для опалення приміщень.

Чітко визначити поняття корисності вдається тільки в межах суто технічного (фізичного) підходу, де ККД не буде перевищувати значення 1, навіть для вічного двигуна. Проте, деякі ефективні заходи і пристрої, наприклад теплові насоси, можуть на перший погляд мати значення ККД, що перевищує одиницю, якщо при цьому не враховувати частину вхідної енергії, що переміщується, а не перетворюється у цьому процесі (пристрої, системі).

Більш специфічні визначення ефективності включають поняття:

- Електроефективність (electrical efficiency), як відношення корисного виходу енергії до спожитої електричної енергії;
- Механічна ефективність (mechanical efficiency), коли одна з форм механічної енергії (наприклад, потенційна енергія води) перетворюється в іншу механічну енергію (роботу);
- Термoeфективність (thermal efficiency) або ефективність пального (fuel efficiency), як відношення корисного тепла та/або роботи до вхідної енергії, наприклад спожитого пального;
- Повна ефективність (total efficiency), наприклад, для систем когенерації, як відношення корисного виходу електричної і теплової енергії до спожитої енергії пального.

Набагато більш нечітким (розмитим) поняттям є економічна ефективність, оскільки економічний ККД ефективного виробництва (процесу, дії) за своїм визначенням (випуск = витрати + прибуток) завжди більше одиниці. При цьому, на відміну від технічного ККД, підпорядкованого дії об'єктивних законів природи, економічний ККД визначається на основі суб'єктивних закономірностей розвитку суспільства і окремих особистостей.

Економічна ефективність – це загальне поняття, яке визначає ефективність функціонування системи з точки зору досягнення

максимального бажаного результату (випуску, виходу) при заданих доступних технологіях. Економічна ефективність поліпшується, якщо більше виходу генерується при незмінних входах, або іншими словами, кількість витрат («тертя») або збитків зменшується. Система вважається економічно ефективною, якщо неможливо покращити жоден з показників, не погіршуючи інший, або ж вихід досягається за умов мінімально можливих витрат на одиницю продукції.

Ці характеристики ефективності не є еквівалентними, але ж вони достатньо повно визначають напрями, за якими може бути досягнуто кращого результату при заданих доступних ресурсах. Вони дозволяють сформулювати й обмеження, за яких ці результати можуть бути і не досягнуті:

I. Відомо, що економічна система є більш ефективною, якщо виробляє більше товарів і послуг з використанням менших обсягів ресурсів. За цим положенням ринкова економіка є більш ефективною, ніж інші відомі альтернативи. Однак слід бути обережним, оскільки перша фундаментальна теорема добробуту констатує, що в ринкових умовах будь-яка конкурентна рівновага є безперечно ефективною тільки в умовах ідеального ринку.

II. Макроекономічні реформи мають бути спрямовані на усунення економічних спотворень (перекосів і викривлень тощо), тим самим збільшуючи економічну ефективність. Проте, немає прозорої теоретичної основи того, що усунення ринкових спотворень збільшить економічну ефективність. Так, теорія кращого другого рішення (theory of a second-best solution), яка стосується дій, що відбуваються, коли умови досягнення оптимального результату не виконуються, констатує, що якщо є ринкове спотворення в одному секторі економіки, то дії у напрямі покращення ринкової досконалості в іншому секторі, можуть навпаки призвести до зворотного результату, тобто, до зменшення його ефективності.

Що стосується поняття інтенсивності (intensity), то за визначенням воно характеризує напруженість будь-якого процесу, роботи, виробництва та

визначається мірою віддачі кожного з використаних факторів, ресурсів тощо. Величина інтенсивності вимірюється кількістю ресурсів, що витрачаються на отримання одиниці ефекту (результату, продукту), тобто за своїм загальним визначенням є оберненою до величини ефективності. У випадках, коли заданий рівень ефекту досягається при більших обсягах ресурсів (енергії) або при заданій кількості ресурсів рівень досягнутого ефекту зменшується, говорять, що інтенсивність виробничого процесу зростає або підвищується.

Показники інтенсивності, як правило, застосовують для вимірювання “потоків” ресурсів, випуску продукції, обороту запасів, живої праці тощо за певний проміжок часу, а величина інтенсивності значною мірою визначається матеріально-технічними, організаційними і соціально-економічними умовами виробництва. Вирішальний вплив на формування рівня інтенсивності мають ступінь і характер автоматизації виробництва, тривалість і режими роботи устаткування, рівень управління тощо. Величина енергоінтенсивності  $e_{in}$  традиційно вимірюється кількістю енергії, що витрачається на отримання одиниці ефекту (результату, продукту) за певний проміжок часу, зазвичай рік.

Під інтенсифікацією традиційно розуміють збільшення розмірів виробництва за рахунок застосування ефективніших засобів виробництва, досконаліших форм організації праці і технологічних процесів, що втілюють останні досягнення науково-технічного прогресу, кращого використання наявного виробничого потенціалу. На відміну від екстенсивного шляху розвитку виробництва, який характеризується кількісним зростанням засобів виробництва на існуючій технічній основі, інтенсифікація припускає якісне оновлення виробництва, переведення його на нову технічну основу. Інтенсифікація є ефективним шляхом розвитку виробництва в порівнянні з його екстенсивним розширенням, оскільки веде до заощадження витрат праці і матеріальних ресурсів в розрахунку на одиницю продукції та поліпшенню кінцевих результатів виробництва.



Як видно, поняття інтенсивності та ефективності знаходяться в причино-наслідковому зв'язку, де зміни  $e_{in}$  спричиняють необхідність змін  $e_{ef}$  і навпаки. Визначення конкретного виду та форми взаємозв'язків проводиться шляхом декомпозиції  $e_{in}$  до рівня, достатнього для забезпечення прозорого визначення вкладу  $e_{ef}$  і навпаки, а вплив інших «зовнішніх» факторів при цьому нівелюється тими ж засобами. Тобто, формули визначення показників інтенсивності (ефективності) представляються у вигляді лінійних функцій, наприклад,  $e = (W_p \pm \Delta W_p) / (W_e \pm \Delta W_e)$ ,  $e = (W_p / W_e \pm \Delta W_p / \Delta W_e)$  або певних виробничих функцій.

На технологічному рівні встановлення взаємозв'язків між  $e_{ef}$  і  $e_{in}$  достатньо просте – ці величини є обернено пропорційними. На верхньому рівні (рівень економіки у цілому) виникають принципові труднощі, обумовлені гетерогенною природою результуючого ефекту (випуску), яке налічує величезну кількість різноманітних товарів, продуктів і послуг, що виробляються в різних демографічних, географічних і кліматичних умовах. У сукупності це примушує до визначення  $e_{ef}$  і  $e_{in}$  на основі валового внутрішнього продукту (ВВП) та/або валових доданих вартостей (ВДВ) шляхом системної декомпозиції показників верхнього рівня до рівня секторів економіки та видів економічної діяльності.

Врахування відмінностей між  $e_{ef}$  і  $e_{in}$  стає принципово важливим вже на стадії порівняння різнорідних продуктів і технологій. Так, не буде коректним зіставлення  $e_{ef}$  технологій виробництва невзаємозамінних продуктів, наприклад, сталі та етанолу, на відміну від зіставлення їхніх  $e_{in}$ . Зовнішні по відношенню до певних технологій і продуктів фактори також можуть призводити до змін у використанні енергії, не пов'язані з  $e_{ef}$ . Це можуть бути структурні зміни, зміни режимів виробництва, кліматичні тощо.

Такі зовнішні зміни, не обумовлені заходами з енергоефективності, потрібно виключати з розгляду при калькулюванні  $e_{ef}$ , особливо при проведенні співставлень, наприклад між країнами, де різниці в структурі виробництва ВВП, кліматичних умовах тощо, можуть призводити до неприйнятних похибок в розрахунках ефективності.

Зауважимо, що на відміну від розвинутих країн, де поняття енергоінтенсивності є загальноприйнятим, в країнах пострадянського простору воно не знайшло практичного застосування і замість нього використовується поняття енергоємності. Останнє за аналогією з матеріалоємністю визначається як витрата енергії на одиницю виробленої продукції (в натуральному або вартісному вираженні). Тобто, за своїм загальним визначенням, але не змістом, енергоємність є тотожною енергоінтенсивності, що створює додаткові проблеми при міжнародних співставленнях.

Матеріалоємність є одним з основних показників економічної ефективності суспільного виробництва, яке характеризує питому (на одиницю продукції) витрату матеріальних ресурсів (основних і допоміжних матеріалів, палива, енергії, амортизації основних фондів тощо) на виготовлення продукції. На рівні економіки країни для виключення впливу повторного рахунку матеріалоємність обчислюють по кінцевому продукту. Розрахунок матеріалоємності ведеться або по нормах (нормативна величина  $M_n$ ) або за фактичними даними (фактична величина  $M_\phi$ ). Перевищення показника  $M_\phi$  над  $M_n$  показує резерви (потенціал) зниження матеріалоємності. При розрахунках матеріалоємності виробництва враховуються витрати всіх матеріальних ресурсів (сировини, основних і допоміжних матеріалів, палива, теплової і електричної енергії, комплектуючих виробів і напівфабрикатів). Зменшення матеріалоємності обумовлює скорочення витрат праці, упредметненої в заощаджених матеріальних ресурсах, і збільшення випуску продукції при тих же

виробничих фондах, сприяє зниженню собівартості та підвищенню рентабельності.

Народногосподарська матеріалоемність виробництва розраховується по валовому внутрішньому продукту або національному доходу, галузева – по товарній продукції. Окремими складовими матеріалоемності виробництва є металоємність продукції, енергоемність, хімікоемність і т.д. (з урахуванням специфіки галузей). За допомогою цих показників, що розраховуються у вартісному, натурально-вартісному або натуральному виразі, здійснюється зв'язок загальної матеріалоемності виробництва з нормами витрат конкретних видів матеріально-технічних ресурсів.

Основними чинниками зниження матеріалоемності виробництва є технічний прогрес (вдосконалення конструкцій і механізмів, зниження їх маси при поліпшенні параметрів, мініатюризація і мікромініатюризація виробів на основі останніх досягнень електроніки, застосування прогресивних матеріалів, маловідходної і безвідходної технології), матеріальне стимулювання економії і відповідальність за перевитрату ресурсів, чіткий облік їх наявності, руху і використання.

Енергоемність продукції (національного доходу) – показник, що характеризує витрату енергії на одиницю продукції або національного доходу. В цілому по народному господарству розраховується як відношення витрат (зазвичай за рік) первинних ПЕР до об'єму виробленого національного доходу або ВВП, а по галузях, об'єднаннях, підприємствам – по відношенню до об'єму товарної продукції. У розрахунок включаються всі види палива і енергії, спожитих на виробничо-експлуатаційні потреби, перераховані в тонни умовного палива за єдиними для країни еквівалентами (коефіцієнтами перерахунку).

При визначенні енергоемності враховується споживання всіх видів палива і енергії по всіх напрямках витрат, включаючи опалювання, вентиляцію, водопостачання, втрати в мережах, незалежно від джерел енергопостачання. При розрахунку енергоемності продукції у вартісному

виразі паливо і енергія оцінюються за діючими цінами і тарифами. Вирішальне значення для зниження енергоємності продукції має широке застосування енергозберігаючих технологій.

Поняття енергоємності ВВП дозволяє визначати енергетичну ефективність економіки країни як відношення кількості спожитих ПЕР до ВВП країни. Для співставлення показників різних країн враховують розбіжність офіційних курсів національних валют стосовно їх паритету купівельної спроможності (ПКС), що дає можливість порівнювати показники країн з різними внутрішніми цінами і різними доходами. Так, енергоємність ВВП в Україні у декілька разів перевищує аналогічний показник індустріально розвинених країн. Така ситуація об'єктивно обмежує конкурентоспроможність національного виробництва і лягає важким тягарем на економіку країни, тим більше в умовах залежності від зовнішніх постачальників ресурсів. На відміну від розвинених країн, де ефективне використання ПЕР є питанням енергетичної та екологічної доцільності, для України це питання її національної безпеки.

Ще одним поширеним в енергоекономічному аналізі поняттям є енергозбереження (energy saving, energy conservation), під яким розуміють діяльність, спрямовану на раціональне використання та економне витрачання первинної та перетвореної енергії і природних енергетичних ресурсів в економіці країни, і що реалізується з використанням технічних, економічних та правових методів. Тобто, за своїм визначенням поняття енергозбереження охоплює всі сфери діяльності, пов'язані з раціональним використанням та економним витрачанням енергії, і тим самим, є найбільш широким і загальним показником, що охоплює сфери впливу згаданих вище понять енергоінтенсивності і енергоефективності.

Енергозбереження як правило, визначається як зменшення загальної кількості споживаної енергії. При цьому, економія енергії може або може не бути пов'язаною із підвищенням енергоефективності, в залежності від того, як змінилася кількість виробленої продукції. Тобто, обсяги споживання

енергії можуть бути зменшені з або без підвищення ефективності використання енергії. З іншого боку, споживання енергії може і зростати разом із збільшенням ефективності використання енергії.

Ці відмінності яскраво проявляються у “ефекті відгуку” (rebound effect), який характеризує результативність впровадження нових технологій та реалізації інших заходів, спрямованих на скорочення споживання паливно-енергетичних ресурсів. Цей ефект показує, наскільки зменшується сприятливий вплив нової технології чи іншого запровадженого енергозберігаючого заходу і зазвичай визначається у вигляді відношення втраченої користі до очікуваного ефекту. Наприклад, якщо покращення енергоефективності на 10% забезпечує зниження обсягів споживання енергії тільки на 4%, то ефект відгуку складе тільки 60%.

Розподіл ресурсів (allocation of resources) – ще одне загальне поняття, що має безпосереднє відношення до енергоефективності системи або процесу, яке пов'язане з розподілом наявних ресурсів по різних роботах, технологічних застосуваннях, напрямках кінцевого використання. Значимість цього питання визначається, по-перше, обмеженістю ресурсів і, по-друге, тим, що ефективність ресурсів у різних напрямках (як у виробництві, так і в споживанні) може бути різною. Останнє означає, що загальна ефективність залежить не тільки від кількості ресурсів, але і від їх розподілу.

Розподіл ресурсів в економіці у загальному випадку може здійснюватися двома способами: централізованим і децентралізованим (ринковим). І в тому, і в іншому випадку основою ефективності розподілу ресурсів є інформація про потреби та наявність ресурсів і технологій. У ринковій економіці головним джерелом такої інформації служать ціни. Ефективність розподілу ресурсів (allocative efficiency) визначається рівнем організації економіки, при якому досягається максимум корисності з наявних ресурсів і технологій, і де вже неможливо збільшити нічию частку в одержаному результаті, не скоротивши іншу.

Визначення розглянутих показників (індикаторів) ефективності доцільно проводити, базуючись на принципі вкладених структур (циклів), що дозволяє ідентифікувати фактори впливу на кожному рівні агрегування показників та вимірювати величину цього впливу на зміни в загальному енергоспоживанні. З метою співставлення та подальшого узагальнення результатів ці показники представляються в індексній формі відносно базового року та нормалізуються за допомогою цінкових дефляторів, якими нівелюється спотворена інфляцією різниця між реальними і номінальними цінами.

Зміни в загальному енергоспоживанні відбуваються в основному за рахунок впливу таких факторів:

- Збільшення (зменшення) фізичних обсягів виробництва продукції;
  - Структурні та технологічні зміни;
  - Виробництво нових видів продукції;
  - Впровадження заходів з підвищення ефективності та енергозбереження;
  - Зміни цін та тарифів на паливно-енергетичні ресурси.

Відповідні зміни ВВП виникають за рахунок впливу таких основних факторів:

- Збільшення (зменшення) фізичних обсягів виробництва продукції та послуг в країні;
  - Структурні та технологічні зміни в економіці;
  - Виробництво нових видів продукції;
  - Зміни вартості трудових, матеріально-технічних та паливно-енергетичних ресурсів;
    - Збільшення (зменшення) частки тіньового сектору економіки;
    - Інфляція;
    - Впливу державної політики з енергоефективності та енергозбереження.

З оглядом на це, зміни, наприклад, енергоінтенсивності та енергоємності не можна повністю відносити на рахунок впровадження заходів з підвищення ефективності та енергозбереження.

Для проведення такого аналізу, зміни обсягів енергоспоживання і ВВП, що виникають, доцільно розподіляти на умовно-постійні та умовно-змінні. Перші обумовлюються витратами на виробництво продукції навіть при нульовому її обсязі (адміністративно-управлінський апарат, основні фонди тощо), а другі – напряму пов'язані з витратами трудових, матеріально-технічних та паливно-енергетичних ресурсів, і які є пропорційними обсягам виробництва продукції.

#### **1.1.4. Енергоефективність як фактор підвищення рівня енергетичної та екологічної безпеки держави**

Стійка тенденція до зростання енергоспоживання у світі, обумовлена об'єктивними потребами економічного розвитку країн з одного боку та обмеженістю і нерівномірністю розміщення природних паливно-енергетичних ресурсів на планеті з іншого боку, ставлять питання підвищення ефективності видобування, перетворення та використання природних ресурсів на перші позиції у переліку питань енергетичної та екологічної безпеки держави, які на сьогодні мають вирішуватись в складних умовах активного переділу енергетичних ринків в напрямі їх глобалізації та диверсифікації джерел постачання з урахуванням специфіки використання атомної та альтернативної (відновлювальної) енергетики, пом'якшення впливу енергетичних об'єктів на оточуюче середовище тощо.

Рівень енергетичної безпеки України помітно погіршився за умов розпаду СРСР, оскільки вона не входить до числа колишніх союзних республік (Азербайджан, Казахстан, Росія, Узбекистан і Туркменістан), які є самодостатніми у забезпеченні ПЕР. Положення ускладнюється й нерівномірним розміщенням генеруючих потужностей, заводів з

виробництва енергетичного устаткування, а також ремонтних баз. Так, Україна має надмірний потенціал базових потужностей електроенергетики, тоді як маневрові потужності, в основному, гідроелектростанції, перебувають здебільшого в Росії та Киргизстані [14, 16].

Серед основних факторів підвищення енергетичної безпеки насамперед визначають надійність енергозабезпечення економіки та населення країни, своєчасне заміщення вичерпних енергоресурсів іншими джерелами енергії, диверсифікацію видів палива та енергії, запобігання неефективному використанню енергоресурсів, урахування вимог екологічної безпеки та охорони навколишнього середовища, використання відходів виробництва в якості альтернативних джерел енергії, створення економічних умов, що забезпечують врівноважену вигоду від поставок енергоресурсів та енергетичного обладнання на внутрішні та зовнішні ринки, раціоналізацію структури імпорту та експорту тощо [18].

Проблема енергетичної та екологічної безпеки є глобальною і стосується кожної окремо взятої держави та всього світового суспільства у цілому. Її розв'язання знаходиться у площині розвитку взаємовигідних партнерських відносин між усіма зацікавленими сторонами: країнами-виробниками, транзитерами та країнами-споживачами, які мають спиратися на спільні організаційно-управлінські структури та враховувати технологічні, економічні і екологічні ризики такої взаємодії. При цьому, економіка країн, що співпрацюють, не повинна бути надмірно спеціалізованою у виробництві чи споживанні якогось одного виду обладнання або енергоносія.

Магістральним напрямом розвитку співробітництва має стати створення інфраструктури і систем регулювання спільних трансграничних ринків, що охоплюють мережі транспортування товарів і послуг (газопроводів, нафтопроводів, ліній електропередач, перевалочних терміналів і т. і.), інтегрують внутрішні ринки різних видів палива та енергетичного обладнання, радикально знижують бар'єри для потоків товарів, енергії і послуг між країнами і регіонами та покращують



інвестиційний клімат. Така інтеграція значно зміцнює енергетичну безпеку, забезпечує економію масштабу, відкриває доступ до конкурентних джерел палива і новітніх технологій та підвищує надійність систем енергопостачання.

При цьому, додаткові організаційні і матеріальні витрати на створення та функціонування трансграничних ринків мають окупатися зниженням вартості поставок енергії та обладнання, а ризики, що виникають і полягають у тенденціях ще більш глибокого розподілення світу на технологічно розвинуті країни та країни з сировинною спрямованістю виробництва та експорту, мають пом'якшуватися за рахунок координованого регулювання таких ринків.

Як вже відмічалось вище, енергоємність та енергоінтенсивність ВВП є найпоширенішими у світі енергоекономічними показниками ефективності функціонування економіки країн, за динамікою зміни яких відслідковуються тенденції їх економічного розвитку.

Енергоємність ВВП визначається через відношення сумарного споживання ПЕР для задоволення енергетичних виробничих і невиробничих потреб країни до величини ВВП [14, 22, 23]. Енергетична складова (чисельник) цього показника є фізичною величиною, яка достатньо точно фіксується органами статистики, у той час як ВВП визначається розрахунковим методом через сукупну вартість кінцевих товарів і послуг, вироблених на економічній території країни протягом року. Результати розрахунків ВВП наводяться як у поточних, тобто фактичних на час виробництва цінах (номінальний ВВП), так і в порівняльних до вибраного базового періоду цінах (реальний ВВП), а їх значення за декілька років зазвичай представляють в постійних цінах базового року за допомогою відповідного ланцюга індекс-дефляторів, які розраховуються як відношення ВВП у фактичних цінах до ВВП у порівняльних цінах. Це дозволяє порівнювати у часі як абсолютні значення ВВП, так і розраховувати різні відносні величини з його застосуванням, у тому числі енергоємність.

Оскільки номінальний ВВП вимірюється в цінах поточного року, він враховує інфляційну зміну цін і тому не застосовується для визначення реальної динаміки виробництва по роках [24]:

$$ВВП_t^{ном} = \sum_{i=1}^n p_t^i \cdot Q_t^i, \quad (1.1.2)$$

де:  $ВВП_t^{ном}$  – номінальний ВВП в поточному році  $t$ ;  $p_t^i$  – ціна  $i$ -го товару або послуги в поточному році;  $Q_t^i$  – обсяг виробництва  $i$ -го товару або послуги в поточному році;  $n$  – номенклатура товарів та послуг, що виробляється в поточному році.

Як можна бачити за формулою (1.1.2), номінальний ВВП залежить від двох факторів, – зміни цін та зміни обсягів виробництва товарів і послуг, тому у періоді  $t$  його також визначають за формулою:

$$ВВП_t^{ном} = ВВП_{t-1}^{ном} \cdot I_t^p \cdot I_t^q, \quad (1.1.3)$$

де:  $I_t^p$  – індекс зміни цін (дефлятор ВВП, індекс Пааше тощо), а  $I_t^q$  – індекс зміни реального ВВП у періоді  $t$ .

Реальний ВВП вимірюється в цінах базового року, тобто в незмінних (так званих, постійних) цінах на всьому горизонті аналізування, і тому може використовуватися для обчислення темпів зміни виробництва:

$$ВВП_t^{реал} = \sum_{i=1}^n p_{баз}^i \cdot Q_t^i, \quad (1.1.4)$$

де:  $ВВП_t^{реал}$  – реальний ВВП у році  $t$ ;  $p_{баз}^i$  – ціна  $i$ -го товару або послуги в базовому році;  $Q_t^i$  – обсяг виробництва  $i$ -го товару або послуги в поточному році;  $n$  – номенклатура товарів та послуг, що виробляється у році  $t$ .

Відношення номінального ВВП до реального показує, як змінюється ВВП за рахунок зміни цін:

$$I_t^p = \text{ВВП}_t^{\text{ном}} / \text{ВВП}_t^{\text{реал}} \quad (1.1.5)$$

Дані середньорічних приростів реальних ВВП (у відсотках) для ряду країн та їх об'єднань (у цінах 2007 року) наведено на Рис.1.1.2. Серед цих країн Україна відрізняється значно більшими коливаннями ВВП, які, у першу чергу, свідчать про нестабільність та слабкість внутрішнього товарного ринку, до яких додаються неузгодженості «ручного» керування внутрішніми фінансовими ринками.

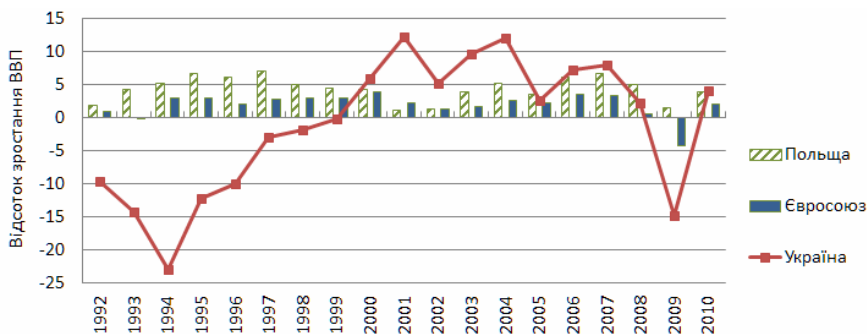


Рисунок 1.1.2 – Середньорічний приріст реального ВВП різних країн

Джерело інформації: [www.imf.org](http://www.imf.org), [www.bank.gov.ua](http://www.bank.gov.ua), власні розрахунки

Складнощі порівняння економік за межами національних кордонів (транскордонних економік) полягають у тому, що ВВП кожної з країн виражається в національній валюті, внаслідок чого розраховані на національному рівні ВВП мають бути конвертовані в єдину інтернаціональну валюту перед порівнянням, оскільки офіційні обмінні курси не можуть бути використані для такого перетворення через неврахування цілого ряду ефектів, пов'язаних з внутрішнім обігом товарів і послуг, рухом капіталу втручаннями і інтервенціями на валютному ринку тощо.

Якщо не зробити цього і застосувати офіційні обмінні курси валюти, то багаточисленні показники, які визначаються у співвідношенні до ВВП, будуть спотворені. Наприклад, порівняння показників енергоємностей країн буде відображати бідні країни дуже марнотратними та призведе до зміщення прогнозів стосовно майбутнього використання енергії вгору, у порівнянні з

використанням паритету купівельної спроможності (ПКС). При цьому, порівняння часток ВВП у національних валютах (які є однаковими за обмінними курсами) в різних країнах, як правило, буде спотворювати уявлення про світову (регіональну тощо) економіку.

Для оцінювання наслідків впливу нестабільних обмінних курсів гривни на величину ВВП України, визначену в іноземній валюті, на Рис. 1.1.3 наведено результати порівняльного аналізування зміни по роках індекса-дефлятора та обмінних курсів гривні, розрахованих за різними підходами. Не важко побачити суттєві відмінності офіційного та реального (ринкового) обмінних курсів, застосування яких безпосередньо впливає на величину ВВП та енергоємність, розраховану на його основі.

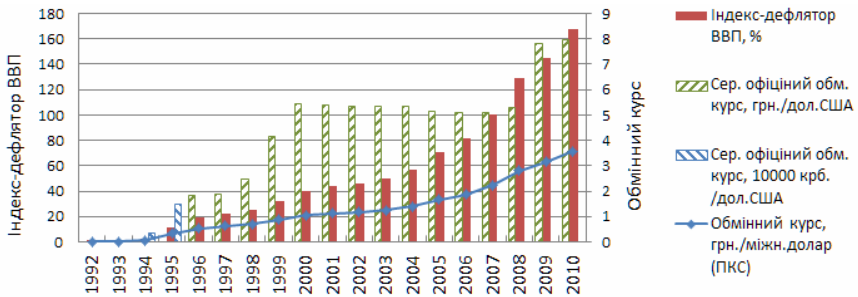


Рисунок 1.1.3 – Зміни індексу дефлятора ВВП та курсів валюти в Україні  
 Джерело інформації: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua), [www.imf.org](http://www.imf.org), власні розрахунки

Слід додати, що відмінності, пов'язані з застосуванням показника енергоємності ВВП (в міжнародній практиці – енергоінтенсивності ВВП) є комплексними та обумовленими не тільки обмінними курсами валюти та технологічною ефективністю використання енергоресурсів, а й структурою промислового виробництва, рівнем матеріального добробуту громадян, розвитком транспортної системи, географічним розміщенням країни, кліматичними умовами, рівнем тіньової економіки тощо, на які накладається нестабільність курсів валюти та невідповідність цін і тарифів на товари і послуги їх реальній вартості, в особливо помітних розмірах для країн з перехідною економікою. У сукупності це примушує застосовувати системні

підходи для проведення коректного порівняльного аналізування та розроблення дієвих заходів з підвищення енергоефективності національної економіки.

У міжнародній практиці порівняння енергоінтенсивності ВВП (в країнах пострадянського простору – енергоємності) різних країн, як правило, здійснюють за ПКС, значення якого розраховуються для багатьох країн світу і регулярно публікуються низкою міжнародних організацій, у першу чергу, ООН, Світовим банком та Міжнародною енергетичною агенцією (МЕА) в умовних грошових одиницях – міжнародних доларах. При цьому, курс національної валюти за ПКС визначається кількістю національної валюти, що витрачається в даній країні на закупівлю такого ж за складом і рівного за якістю споживчого кошика товарів і послуг, який купує житель США за 1 долар США.

Удосконаленню теорії ПКС та розширенню можливостей її застосування в міжнародній практиці присвячено багато наукових публікацій, у тому числі монографій [26-29]. В основу розробок закладений закон єдиної ціни, який гласить, що за умов відсутності транспортних витрат і митних бар'єрів, ціни на товар, яким дві країни торгують між собою, виражені в одній валюті, мають бути однаковими.

Для окремого  $i$ -го товару розрахунок ПКС може здійснюватися за формулою:

$$ПКС_{X/США}^i = p_X^i / p_{США}^i = (E_X^i / E_{США}^i) / (Q_X^i / Q_{США}^i). \quad (1.1.6)$$

де:  $X$  буде позначати країну, для якої визначається ПКС;  $p^i$  – середню по країні ціну на  $i$ -ий товар або послугу, що розглядається;  $E^i$  – сумарні по країні витрати на  $i$ -ий товар або послугу;  $Q^i$  – сумарний по країні обсяг  $i$ -го товару або послуги, що споживається. У міжнародній практиці порівняння за формулою (1.1.6) з подальшим усередненням здійснюється по номенклатурі з приблизно 2500 товарів.

Для прикладу, на Рис.1.1.4 у співставній формі наведено зміни по роках: обсягів виробництва і споживання первинної енергії в Україні розраховані в млн. тонн нафтового еквівалента (н.е.); ВВП у постійних цінах 2005 року (млрд. грн.); ВВП в млрд. доларів США 2005 року за ПКС; показника енергоємності ВВП України у кг н.е. на долар США 2005 року за ПКС. Примітка: для зіставлення енергетичної цінності різних видів палива, не уточнюючи, яка кількість тих чи інших конкретних видів палива спалюється, також використовують поняття умовного палива (у.п.), в якості одиниці якого приймається паливо, яке має нижчу теплоту згоряння, рівну 7000 ккал/кг (29,33 МДж/кг). У середньому нафта має теплотворну здатність 10÷11 тис. ккал/кг, тоді 1 кг н.е. = 1,43÷1,57 кг у.п.).

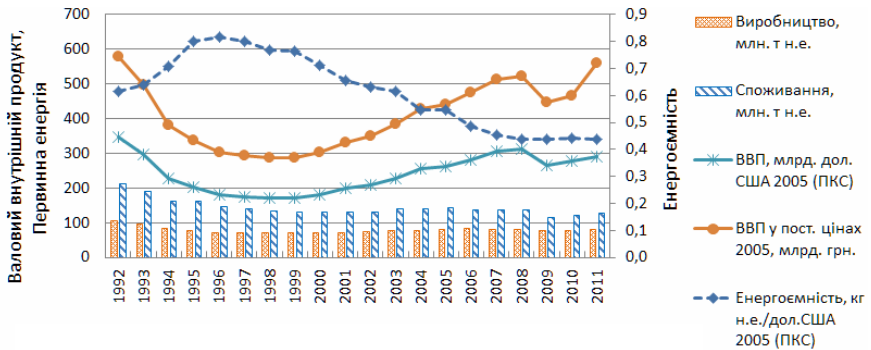


Рисунок 1.1.4 – Виробництво та споживання первинної енергії, енергоємність ВВП в Україні

Джерело інформації: [www.yearbook.enerdata.net](http://www.yearbook.enerdata.net), [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua), власні розрахунки

Чисельні значення по роках енергоємності реального ВВП за ПКС, які представлені на Рис.1.1.4, розраховані як співвідношення обсягів споживання первинної енергії до обсягів виробництва ВВП, вимірюваного в постійних цінах базового року, що дозволяє послабити вплив інфляції, урахувати різницю в цінах та відобразити реальний рівень економічної активності в країні. Зрозуміло, що визначення вартості ВВП за ПКС замість застосування обмінних курсів валют збільшує розрахункові значення ВВП в країнах з низьким рівнем життя, і, отже, знижує їх енергоємність.

Як бачимо, починаючи з 1996 року енергоємність ВВП в Україні постійно покращується (зменшується), однак більш глибоке аналізування функціонування економіки показує, що значною мірою це досягнуто не шляхом підвищення енергетичної ефективності виробництва, а намаганнями забезпечувати конкурентоспроможність вітчизняних товарів і послуг за рахунок стримування росту заробітної плати, зменшення обігових коштів підприємств, замороження фондів на модернізацію виробництва, застосування інших негативних засобів і інструментів тощо.

Більш комплексно дослідити енергетичну ефективність національних економік дозволяє урахування екологічної складової виробництва ВВП, серед показників оцінювання якої найбільш поширеною є вуглецеємність ВВП, яка визначається через відношення сумарної кількості викидів в еквіваленті CO<sub>2</sub> від спалювання викопного палива (вугілля, нафта і газ) до величини ВВП. На Рис.1.1.5 представлені показники вуглецеємності реальних ВВП за ПКС для України і для порівняння – Польщі, як найближчого сусіда, та у середньому по країнах Євросоюзу. Можна бачити, що і за цим показником Україна далеко «випереджає» країни Європи.

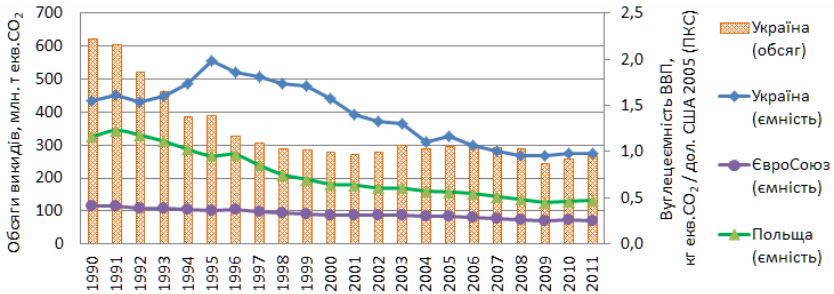


Рисунок 1.1.5 – Обсяги викидів вуглецю та вуглецеємність ВВП України у порівнянні з деякими іншими країнами світу  
Джерело інформації: [www.yearbook.enerdata.net](http://www.yearbook.enerdata.net), власні розрахунки

На Рис.1.1.6 для порівняння представлено зміни по роках показника питомих викидів вуглецю на одиницю споживання первинної енергії для Німеччини, Польщі, Франції та України. Можна побачити, що за останнє

десятиріччя для країн Євросоюзу, на відміну від України, цей показник має сталу тенденцію до зменшення, що свідчить про значну увагу, яку приділяють ці країни для вирішення екологічних проблем використання ПЕР. З іншого боку, за цим показником Україна виглядає набагато краще навіть такої технологічно розвинутої країни як Німеччина, однак таке порівняння не буде коректним, якщо не згадати про помітну частку атомної енергетики, викиди від діяльності якої не враховуються при розрахунках чисельника цього показника.

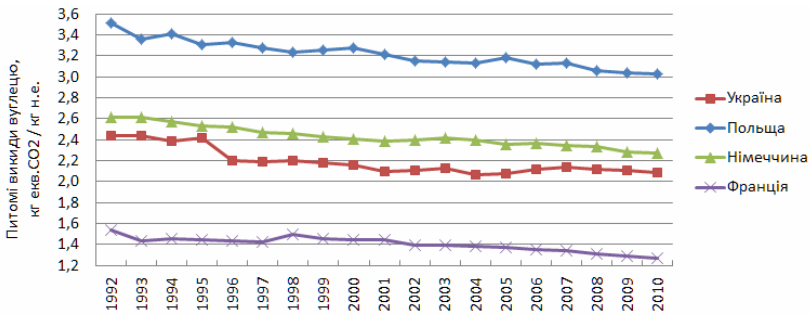


Рисунок 1.1.6 – Зміни по роках показника питомих викидів вуглецю на одиницю споживання первинної енергії для деяких країн світу  
 Джерело інформації: [www.yearbook.enerdata.net](http://www.yearbook.enerdata.net), власні розрахунки

Як можна бачити з представлених на Рис.1.1.2 – 1.1.7 результатів, задача порівняльного аналізування параметрів і характеристик економічної, енергетичної та екологічної ефективності функціонування великих систем соціально-виробничого типу є складною задачею з багатьма змінними, компоненти яких будуть складними об'єктами, наприклад, ансамблями (підсистемами, множинами) векторів. При цьому управління поведінкою таких систем у часі та параметричному просторі має здійснюватися взаємоузгоджено.

Для прикладу, на Рис.1.1.7 представлено результати порівняння енергоекономічної ефективності ВВП для декількох країн світу, що є потенційними (і фактичними тощо) учасниками трансграничної взаємодії з Україною, відображені у декартовій системі координат відносно



продуктивності живої праці, яка витрачається на вироблення ВВП у цих країнах. Представлені по горизонтальній осі на Рис. 1.1.7 величини енергоекономічної ефективності ВВП у 2009 році для кожної країни вимірювані у тис. доларів США 2000 року за ПКС на 1 т н.е. використаної енергії, а по вертикальній осі – продуктивність живої праці ВВП цих країн у 2009 році, вимірювану у тис. доларів США 2000 року за ПКС на одну людину (ВВП/чисельність населення відповідної країни).

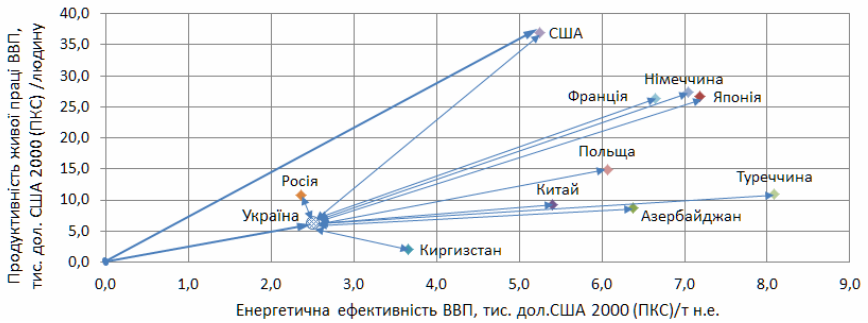


Рисунок 1.1.7 – Порівняльна таблиця ефективності та продуктивності ВВП деяких країн світу

Джерело інформації: [www.iea.org](http://www.iea.org), власні розрахунки

Як наслідок, маємо множину показників енергоекономічної ефективності ВВП країн у вигляді об'єктів – точок, розташованих на площині системи координат, де кожному показнику відповідає радіус-вектор, проведений з начала системи координат у відповідну точку (радіус-вектори показані на Рис. 1.1.7 тільки для США та України). Як можна бачити, країни з розвинутою економікою і передовими технологіями у прийнятій системі координат розташовуються на великій відстані від України у верхній правій частині площини системи координат (див. також подібні діаграми в роботах [23, 30]).

Двонаправленими (двосторонніми) системами векторів між країнами на Рис.1.1.7 відображені «співвідношення» між означеними показниками (показано на рисунку тільки для України), довжина та направленість яких можуть слугувати для оцінки потенційних можливостей застосування

взаємовигідної трансграничної консолідації (конкуренції, коопетиції, кооперації тощо) зусиль визначеної множини країн (ансамблів, груп, кластерів тощо).

Наприкінці слід зазначити, що показники енергоінтенсивності (енергоємності) ВВП мають обережно розглядатися в якості показників енергоекономічної ефективності економіки країн, оскільки інфраструктурні, кліматичні, географічні, соціальні тощо особливості та цінові диспропорції суттєво впливають на величини цих показників. Проведений у роботі аналіз світового досвіду доводить, що удосконалення діяльності у сфері енергоефективності потрібно досягати, перш за все, шляхом створення та збалансованого розвитку трьох основних компонентів: конкурентних ринків; гнучких організаційних структур трансграничної кооперації; та спеціалізованих енергосервісних компаній, які працюють на основі перформанс-контрактів [17, 18, 22, 50, 51].

## **Глава 1.2. Аналіз та структуризація теоретичних положень енергетичного менеджменту складних багаторівневих систем**

### **1.2.1. Концептуальні засади енергоефективного функціонування та розвитку складних багаторівневих систем**

Як визначалося у попередньому розділі, енергоефективність та енергозбереження (ЕЕ) є запорукою підвищення конкурентоспроможності економіки будь якої країни та будь якого господарюючого суб'єкта. У той же час ситуація в Україні характеризується надмірним споживанням та неефективним використанням паливно-енергетичних ресурсів, великою енергоємністю виробництва і пов'язаною з цим низькою конкурентоспроможністю продукції та послуг на зовнішніх ринках, навіть у порівнянні з країнами пострадянського простору. В умовах дефіциту власних енергоресурсів і постійного зростання цін на світових ринках проблема підвищення ЕЕ набуває особливої актуальності в Україні [14-17, 31,32].

Енергетичний менеджмент є одним з основних інструментів вирішення цієї проблеми [2, 5, 72]. Дерево цілей і завдань, що забезпечують досягнення стратегічної мети побудови системи енергоменеджменту у складних багаторівневих системах, що охоплює виробників і споживачів їх продукції, формується з наступних основних гілок (напрямів) [33]:

1. Підвищення ефективності використання енергії у споживачів;
2. Підвищення ефективності функціонування наявних енергетичних та енерготехнологічних систем енергозабезпечення та енерговикористання;
3. Диверсифікація видів і джерел енергопостачання, у першу чергу, за рахунок нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії;
4. Помірна децентралізація і розвиток енергетичної інфраструктури та інженерних мереж систем енергозабезпечення та енерговикористання за принципами відкритого доступу, компактності і мобільності;

5. Зменшення екологічного впливу процесів виробництва, транспортування і споживання енергії на довкілля.

Структурна схема алгоритму розробки та реалізації концептуальних засад побудови системи енергоменеджменту представлена на Рис.1.2.1.

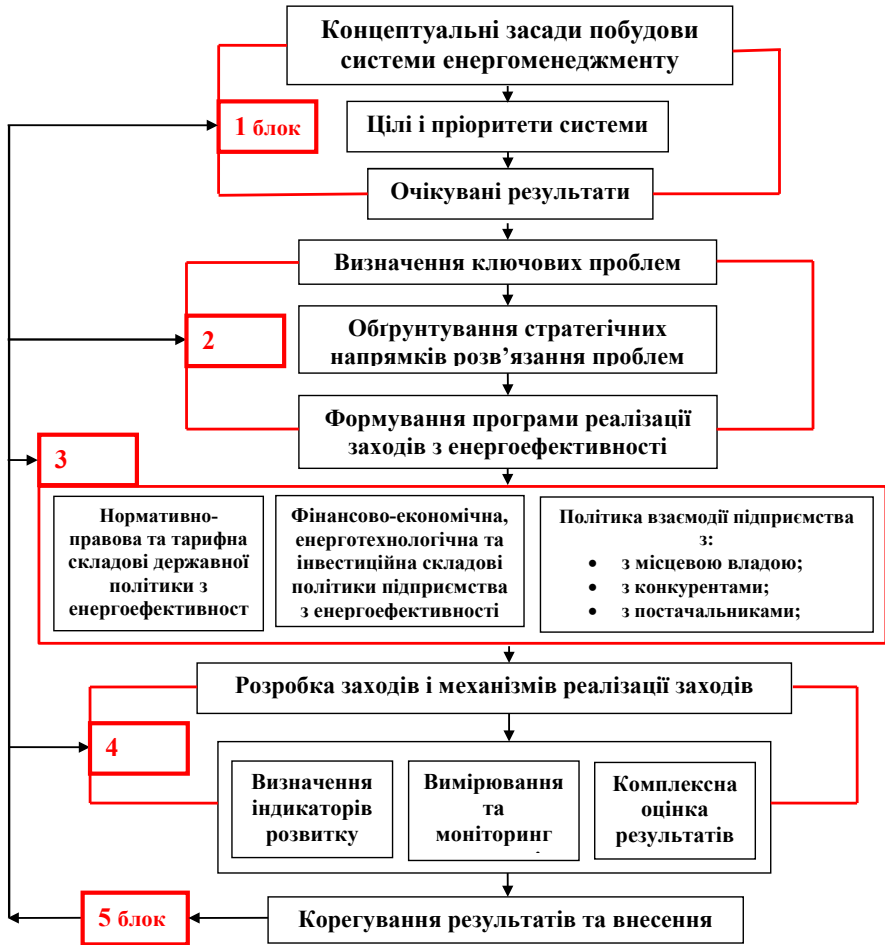


Рисунок 1.2.1 - Алгоритм розробки та реалізації концептуальних засад побудови системи енергоменеджменту

При цьому слід розуміти, що реалізація стратегічної місії енергоменеджменту має здійснюватися в умовах сталого розвитку ринкових

відносин в країні. Для прикладу, на Рис.1.2.2 наведено перспективну схему взаємодії учасників конкурентного ринку ЖК послуг з опалення та гарячого водопостачання, що має бути створений в країні на місцевому рівні.

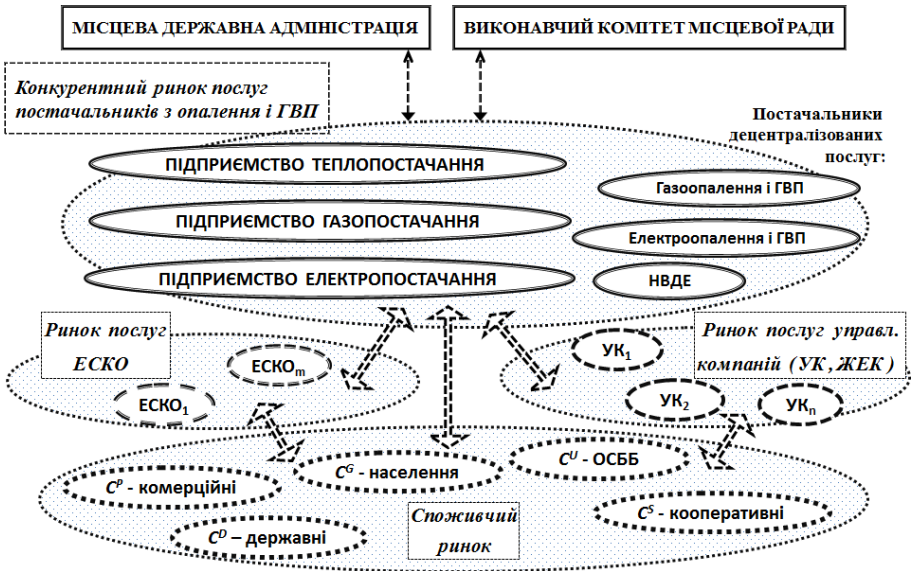


Рисунок 1.2.2 - Схема взаємодії учасників конкурентного ринку житлово-комунальних послуг з опалення та гарячого водопостачання на місцевому рівні

Як видно, конкурентний ринок постачальників ЖК послуг з опалення та гарячого водопостачання має складатися з наступних учасників і координаторів:

1. Споживачів енергоресурсів та ЖК послуг різних форм власності (державної  $C^D$ , приватної (комерційної)  $C^P$ , кооперативної  $C^S$ , співвласників багатоквартирних будинків  $C^U$  та окремих категорій населення  $C^S$ , орендарів тощо), які у сукупності утворюють місцеві споживчі ринки енергоресурсів і ЖК послуг;

2. Підприємств і організацій з постачання первинних ПЕР (газу, вугілля, торфу, нетрадиційних і відновлюваних енергоресурсів (НВДЕ) тощо) та вироблення і надання ЖК послуг з газо-, тепло-, холодо-, електропостачання, які у сукупності утворюють місцеві ринки постачання енергоресурсів і ЖК послуг. Серед останніх необхідно розрізняти підприємства

централізованого і децентралізованого (поквартирного тощо) енергозабезпечення;

3. Управляючих компаній (УК) у сфері надання ЖК послуг, у тому числі житлово-експлуатаційних контор, які у сукупності утворюють місцевий ринок послуг управляючих компаній, на якому вони конкурують з іншими місцевими підприємствами у сфері енергозабезпечення за право надання споживачам ЖК послуг з показниками якості та ефективності, що задовольняють потребам споживачів;

4. Енергосервісних і енергоконсалтингових компаній (ЕСКО), які конкурують на місцевому ринку енергосервісних послуг за право надання іншим учасникам місцевої системи енергозабезпечення послуг з підвищення ефективності використання паливно-енергетичних та природних ресурсів, включаючи реалізацію заходів з ЕЕ «під ключ»;

5. Органів та спеціалізованих підрозділів місцевої влади, які є відповідальними учасниками-координаторами місцевої системи енергозабезпечення і надання ЖК послуг.

Зрозуміло, що взаємодія учасників системи енергозабезпечення і надання ЖК послуг буде більш ефективною, якщо власні (локальні) цілі і завдання кожного учасника будуть узгодженими з глобальною метою системи енергоменеджменту, спрямованою на мінімізацію загального споживання енергоресурсів у системі (в місті, населеному пункті, поселенні тощо) за умов забезпечення належної якості послуг та мінімізації екологічного впливу. При цьому слід враховувати, що енергопостачальні організації, як природні монополісти, в умовах відсутності конкуренції і без належного контролю за їх діяльністю з боку місцевої влади і споживачів не є мотивованими до вирішення питань підвищення енергоефективності та енергозбереження, оскільки в умовах України це пов'язано з великими ризиками неповернення вкладеного капіталу.

В кінцевому результаті, обґрунтовані завдання і заходи щодо реалізації стратегічної мети розвитку системи енергоменеджменту мають бути оформлені у вигляді місцевої цільової програми, де локальні інтереси підприємств,

споживачів, конкурентів і місцевої влади мають бути узгоджені і прийнятні для всіх учасників. Такого роду програми мають бути розроблені на короткострокову (на 1-2 роки), середньострокову (на 3-5 років) та на довгострокову (на 15-20 років) перспективу з можливістю щоквартального (щорічного тощо) корегування їх показників.

У розпорядженні місцевої влади є цілий набір інструментів (методів і засобів) підвищення дієздатності програми реалізації заходів з ЕЕ, представлених на Рис. 1.2.3, у тому числі шляхом фінансування запланованих заходів на паритетних умовах та надання додаткових гарантій інвестору.

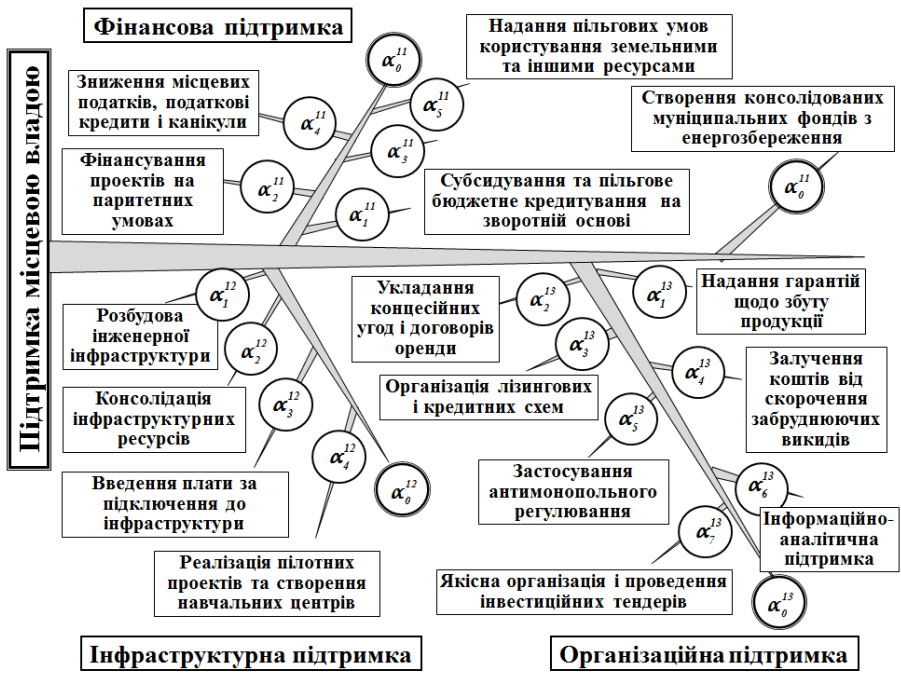


Рисунок 1.2.3 - Напрями підвищення інвестиційної привабливості заходів з підвищення енергоефективності та енергозбереження з боку місцевої влади

При цьому, пряме бюджетне фінансування або співфінансування можливо не тільки по об'єктах бюджетної сфери, оскільки заходи з енергозбереження в житлових будинках напряму зменшують бюджетні витрати на виплату пільг і субсидій, а для державного бюджету — на фінансування «дотаційних» регіонів.

Джерелами фінансування енергозберігаючих заходів можуть слугувати виробничі та інвестиційні програми енергопостачальних організацій, плата за підключення, кошти на капремонт будівель, продаж вивільненої потужності, кошти забудовників, кошти споживачів, інвестори, бюджетні асигнування, муніципальні цінні папери, надходження від оплати за викиди забруднюючих речовин, інші не заборонені законодавством України джерела.

Глобальна мета та локальні цілі розвитку кожного підприємства в межах системи енергоменеджменту мають бути чисельно визначені та адекватні запланованим заходам і алгоритмам досягнення цілей, а індикатори стану системи базуватися на методах вимірювання, які не допускають неоднозначних тлумачень. При відхиленні фактичних значень індикаторів від запланованих і неможливості їх приведення у відповідність, має бути запущена процедура корегування управляючих впливів, яка дозволяє враховувати зміни вихідних даних, пов'язані, наприклад, з появою нових потужностей і змінами зовнішніх умов (поява нових технологій, нових суб'єктів, нових вимог регуляторних і наглядових органів і т. ін.).

Серед сучасних інструментів і механізмів, які можуть застосовувати підприємства для свого енергоефективного розвитку, необхідно відзначити наступні:

- 1) Економічне стимулювання енергозбереження в бюджетному секторі та серед населення, енергосервісні угоди зі споживачами про підвищення ефективності використання енергоресурсів.
- 2) Створення ринку вивільненої потужності (електричної та/або теплової), яку можливо використовувати власноруч за новим призначенням та/або переуступати на ринковій основі новим споживачам.
- 3) Оволодіння новими сегментами ринку енергосервісних послуг – енергосервісних (ЕСКО) та управляючих компаній (УК).
- 4) Створення спільних з іншими учасниками ринків та місцевою владою фондів енергозбереження.



5) Створення цінових/тарифних стимулів для оптимізації графіка, режиму і об'ємів споживання енергії, які реалізуються шляхом запровадження диференційованих тарифних меню, що враховують пікові та інші режими роботи енергоджерел. Останнє дозволяє:

- вирівнювати фінансові потоки підприємства за рахунок «потужностної» ставки, рівномірно розподіленої протягом року, та точніше здійснювати фінансове планування діяльності компанії, знижуючи потребу в залучених коштах;

- стимулювати підприємство до проведення енергозберігаючих заходів у споживачів, оскільки зниження виручки за продану кількість ПЕР та енергоємних послуг в результаті енергозбереження компенсується зниженням витрат на «паливну» складову, що у підсумку не приведе до зниження рентабельності або прибутку;

- стимулювати підприємство до вирівнювання договірної і фактично приєднаної потужності, що дозволяє оптимізувати енергетичні баланси та зменшити навантаження, і, тим самим, мінімізувати обсяги потрібних інвестицій у розвиток потужностей;

- усувати економічні перешкоди технологічної оптимізації завантаження енергоджерел, що працюють на єдину мережу. Стає можливим їх переведення в піковий режим роботи без збитків (зберігається оплата потужності). Останнє дозволяє не тільки оптимізувати завантаження джерел, але й зменшити вартість вироблених ЖК послуг (за рахунок завантаження більш ефективних джерел) та знизити об'єми спалюваного палива.

Взаєморозрахунки між учасниками програми доцільно здійснювати за договорами енергоефективного підряду (енергосервісних послуг), застосовуючи різні типи тарифних ставок плати за потужність, а саме:

- пропорційно площі опалюваних приміщень для систем теплопостачання. За такою схемою теплопостачальні підприємства нічого не втрачають від зниження обсягів споживання, оскільки по змінній ставці

відбувається зниження витрат на паливо. При цьому переведенням частини витрат на паливо із змінної у фіксовану частину тарифу досягається незвичний для енергопостачальних організацій ефект – чим більше енергії споживає підключений об'єкт, тим гірше для постачальників і навпаки. До недоліків такої схеми слід віднести зниження мотивації до енергозбереження у споживача. Підвищуючи енергоефективність споживання, він буде мати економію тільки по змінній ставці тарифу і не зацікавлений знижувати пікове навантаження та переоформляти заявлену потужність в договорах;

– пропорційно заявленій потужності, спожитої об'єктом. При такому варіанті стимули до енергозбереження у споживачів максимальні, причому економити виходить не тільки при скороченні об'ємів споживання, але і при скороченні пікового споживання з відповідним зниженням договірного приєднаного навантаження.

Головне в такому менеджменті, щоб інтереси споживача співпадали з інтересами енергопостачальних організацій, які прагнуть до зниження витрат.

Формування тарифних меню в загальному випадку може здійснюватися шляхом обрахування наступних вартісних складових:

- тимчасової вартості енергоносія (погодинної, зонної, сезонної тощо);
- за підключення до джерела або мережі;
- за встановлену потужність або за максимальний попит;
- транспортні витрати;
- за забруднення (збереження) навколишнього середовища;
- інвестиційну надбавку;
- оптові скидки та роздрібні надбавки;
- за якість та надійність;
- накладні витрати та податки.

Що стосується сучасного стану розвитку ринкових відносин у ЖКГ України, то на відміну від ринку електроенергії, правила комерційного обороту теплової енергії в країні ще не встановлені і для ефективної організації

місцевих ринків тепла необхідно створювати відповідну систему енергоменеджменту, яка має визначати порядок взаємодії між усіма учасниками цього ринку і встановлювати правила розподілу навантаження. Відсутність системи енергоменеджменту призводить до конфлікту інтересів, внаслідок якого ефективність функціонування системи централізованого теплопостачання (СЦТ) знижується і навіть втрачає економічний сенс.

При цьому, економічно обґрунтоване визначення рівня децентралізації СЦТ забезпечує зниження собівартості послуг і зменшення теплових втрат: крупні котельні мають майбутнє, тільки якщо вони працюють спільно з ТЕЦ. Дрібні котельні (квартальні, будинкові) мають свої переваги, і в першу чергу, – це малі довжини теплових мереж. Конфлікт економічних інтересів власників ТЕЦ і котельних природним чином розв'язується при переході в розрахунках за теплову енергію на договірні двоставочні тарифи. Це дозволяє без економічних втрат переводити котельні в піковий режим і включати їх в загальний баланс тільки в періоди найнижчих температур зовнішнього повітря [33].

Підвищення ефективності функціонування систем енергоменеджменту неможливо здійснити без організації комплексної системи обліку та контролю за використанням матеріальних, трудових і паливно-енергетичних ресурсів. При цьому, спільним завданням та персональною відповідальністю виробника, постачальника і споживача енергоресурсу має стати здійснювання комерційного обліку і технічного обслуговування вузлів обліку (можливо також створення або залучення спеціалізованих організацій, наприклад, ЕСКО, УК тощо). Наявність систем обліку та контролю дозволяє налагодити систему економічного стимулювання виробника, постачальника і споживача до підвищення ефективності виробництва, транспортування і споживання енергоресурсів.

Підвищення енергоефективності та енергозбереження може стати вигідним бізнесом для підприємств, інвесторів і споживачів. Основою цього бізнесу має бути розуміння, що у ринковій економіці виробляють ті товари або

послуги, які готові купувати, тому необхідно створювати ринок енергозбереження через забезпечення потреб саме в тих товарах і послугах, які будуть мати попит.

За неефективності методів «адміністративного впливу» на споживачів необхідно застосовувати методи економічного стимулювання енергозбереження. Неможливо примусити споживача застосовувати енергоефективні прилади або ту чи іншу систему енергозабезпечення, але можна сприяти створенню доступності і простоти придбання, встановлення і експлуатації енергоефективних приладів, що гарантовано забезпечують комфортні умови проживання.

Це можна здійснити шляхом запровадження нової послуги у сфері енергобезпечення – послуги з енергоефективності та енергозбереження. При цьому, з'являється можливість оплачувати ремонт житла і термоізоляцію будівлі, покупку, установку і ремонт енергоефективних приладів тощо шляхом оплати ЖК послуг з розстрочкою платежу на тривалий період (наприклад, термін окупності заходів з енергозбереження). Схема вигідна всім учасникам процесу. Споживачі одержують економію платежів за енергоресурси, що компенсує додаткові витрати на нову послугу, управляюча компанія – додаткові доходи, постачальники енергоефективних приладів і послуг – нові ринки збуту.

Головними зацікавленими сторонами в цьому процесі об'єктивно повинні бути ЕСКО та управляючі компанії, однак і для підприємств енергопостачання така послуга також може стати помітним компонентом бізнесу. В той же час і у населення за рахунок можливостей не тільки оплачувати послуги і товари в розстрочку у складі квартплати, але ж, головним чином, експлуатувати сучасну енергоефективну техніку, з'являються додаткові стимули. При належному техніко-економічному обґрунтуванні у такому бізнесі можливо застосовувати і більш складні схеми, наприклад, лізингу, тиражуючи проекти серед населення і отримуючи додатковий прибуток від ефекту масштабу.

У становленні та поширенні такого бізнесу суттєву роль повинні грати центральні і місцеві органи влади, оскільки одним з головних напрямів їх

діяльності є стимулювання процесів підвищення ЕЕ в житлово-комунальному господарстві. Централізовано на конкурсній основі може бути організовано залучення дешевих кредитних ресурсів, а за рахунок оптових закупівель досягнуто зниження цін. Можливий економічно виправданий варіант, коли держава або місто в змозі компенсувати відсотки по кредиту на закупівлю енергоефективного устаткування, або оплати страховки.

За цих умов, зниження об'ємів споживання енергії в результаті реалізації енергозберігаючих заходів і, як наслідок, зниження обсягів субсидій, що надаються з бюджету, має бути більшим за витрати на обслуговування відсотків по кредитах.

Наступну за значимістю після населення категорію споживачів у сфері комунального бізнесу з енергозбереження мають складати об'єкти споживчого ринку: торгівля (дрібні і крупні торгові центри і магазини), речові і продовольчі ринки, оптові бази, дрібнодрібна торгівля, розважальні комплекси (танцювальні майданчики, клуби, гральні заклади). Цей сегмент ринку достатньо бурхливо розвивався в останнє десятиліття, при цьому він є найменш організованим з погляду енергопостачання і енергоефективності. Як правило, в цій сфері відсутній кваліфікований персонал, здатний професійно вирішувати питання підвищення енергоефективності та енергозбереження.

При цьому слід розуміти, що можливості будівництва нових об'єктів генерації, і, особливо, розширення і збільшення їх потужностей, не кажучи вже про прокладання нових, транспортних мереж газу, електро і тепlopостачання, в містах суттєво обмежені. У той же час, вартість застосування вивільнених енергогенеруючих потужностей і транспортних мереж для забезпечення енергопостачання нових споживачів в декілька разів менша, ніж при будівництві нових об'єктів генерації, при цьому проекти з модернізації та перепрофілювання, як правило, окупаються за декілька років. Принципово важливо, щоб методи і засоби визначення та використання вивільнених потужностей базувалися не на адміністративних, а на ринкових методах і механізмах енергоменеджменту, у першу чергу, методах інтегрованого

планування енергоресурсів, оптимального управління енергопостачанням та енерговикористанням, перфоманс-контракtingу тощо.

### **1.2.2. Структурно-функціональні компоненти системи енергетичного менеджменту виробничого підприємства**

Комп'ютеризована, об'єктно-орієнтована для застосування в системах управління виробництвом система енергоменеджменту має стати робочим інструментом управлінського персоналу підприємства для проведення розрахунків з визначення параметрів різних сценаріїв стратегічного розвитку підприємства у сфері енергоефективності та енергозбереження з урахуванням його виробничої, паливно-енергетичної, цінової та інвестиційної діяльності. Структурно-функціональну схему побудови системи енергоменеджменту представлено на Рис. 1.2.4. Система складається з наступних основних об'єктно-орієнтованих модулів (блоків):

1. Модуля комплексної оцінки базового стану системи енергозабезпечення підприємства з урахуванням режимів роботи та стану обладнання, обсягів виробництва, цін, тарифів, енергетичної, фінансово-економічної та екологічної ефективності виробництва, транспортування і використання первинних ПЕР і НВДЕ, долі ринку, впливу конкурентів тощо;

2. Модуля та бази даних для розрахунків можливих структурних і технологічних змін у системах енергопостачання та енергоспоживання, які охоплюють нові технології, матеріали і обладнання, нові методи і засоби енергоменеджменту, тенденції зміни цін і тарифів на традиційні ПЕР і НВДЕ, на матеріали і обладнання, продукцію конкурентів тощо, споживчі пріоритети, появу нових ринків збуту;

3. Модуля та бази даних середньострокового (на 3-5 років) та довгострокового (на 15-20 років) прогнозування платоспроможного попиту споживачів на продукцію і послуги підприємства з урахуванням можливостей появи нових енергоефективних технологій і обладнання, тенденцій зміни цін і

тарифів на первинні паливно-енергетичні і природні ресурси, матеріали і технологічне обладнання, на продукцію і послуги конкурентів, зміни споживчих пріоритетів тощо, які відбуваються в умовах переходу від існуючого адміністративно-командного регулювання цін і тарифів на ЖК послуги до ринкових відносин в ЖКГ;

4. Модуля розрахунків витрат і втрат матеріально-технічних, паливно-енергетичних, трудових, фінансово-економічних ресурсів, показників якості, надійності, енергетичної, фінансово-економічної та екологічної ефективності виробництва, транспортування і використання первинних ПЕР і НВДЕ, продуктів і послуг систем енергопостачання і енергоспоживання за наявними (базовими) та за новими технологіями і обладнанням з урахуванням витрат на зменшення викидів і утилізацію відходів;

5. Модуля визначення параметрів та масштабів оновлення генеруючих потужностей і транспортних мереж підприємства необхідних для забезпечення потреб споживачів шляхом оптимізації режимів роботи наявного енерготехнологічного обладнання, його модернізації та застосування принципово нових типів, нових технологій і методів управління, різних видів ПЕР, включаючи нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії, освоєння нових сфер діяльності (продуктів і послуг) тощо у відповідності до потреб споживача в централізованих та індивідуальних системах енергозабезпечення;

6. Модуля оптимізації балансів розподілення базових і пікових навантажень між власними генеруючими потужностями і транспортними мережами з урахуванням можливостей економічно доцільного перерозподілу ринків виробництва, транспортування і збуту продукції з конкурентами (кооперація, коопетиція тощо);

7. Модуля комплексної оцінки енергетичної ефективності запропонованих інвестиційних рішень (проектів) за визначеними напрямками розвитку з урахуванням власних джерел фінансування (амортизація, прибуток) та можливостей залучення державного і місцевого бюджетів, приватного капіталу ззовні;

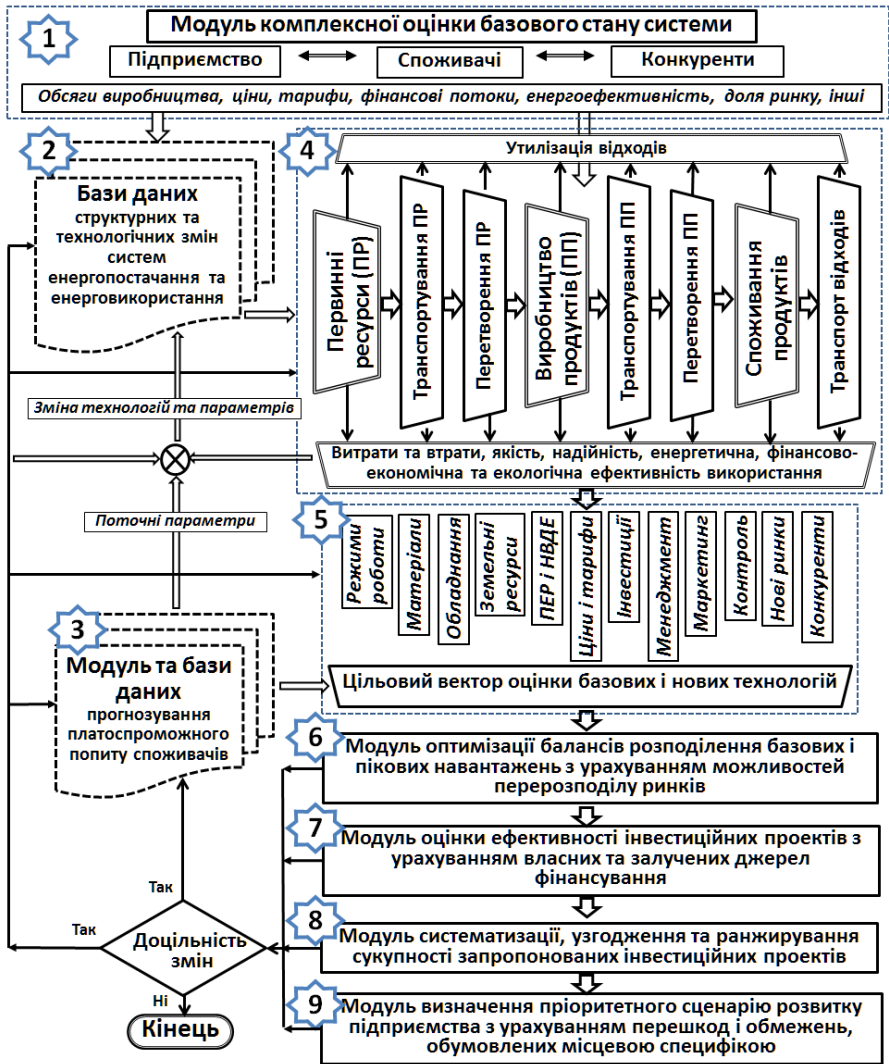


Рисунок 1.2.4 - Структурно-функціональна схема побудови системи енергоменеджменту підприємства

8. Модуля систематизації, узгодження параметрів та ранжирування у єдиному списку (базі даних, програмі) запропонованих інвестиційних проектів у системі енергоменеджменту підприємства;



9. Модуль визначення пріоритетного сценарію розвитку підприємства з урахуванням фінансово-економічних, інформаційних та організаційних перешкод і обмежень, обумовлених місцевою специфікою.

Деталізовану схему модуля 7 оцінки ефективності інвестиційних проектів з урахуванням власних та залучених джерел фінансування наведено на Рис. 1.2.5.

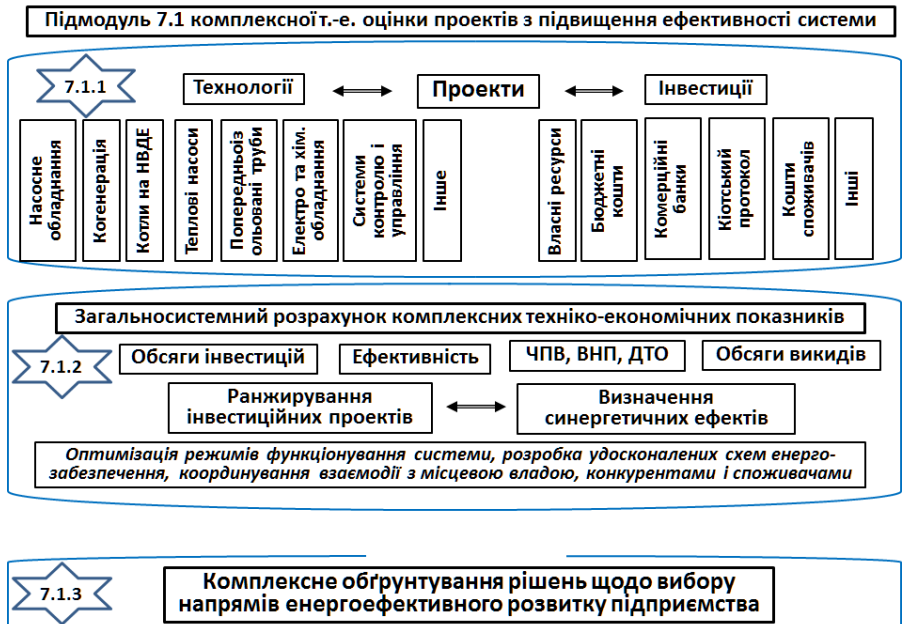


Рисунок 1.2.5 - Деталізована схема модуля оцінки ефективності інвестиційних проектів

Деталізацію структурно-функціональних особливостей побудови модуля 7 проведено з урахуванням залежностей параметрів внутрішніх і зовнішніх факторів впливу на господарчу діяльність підприємства у часі. При цьому враховано такі техніко-економічних показники реалізації інвестиційних проектів у сфері енергоефективності та енергозбереження, як чиста приведена вартість (ЧПВ), внутрішня норма прибутку (ВНП), дисконтований термін окупності (ДТО), рентабельність інвестицій (PI) тощо.

Для виявлення та проведення базового техніко-економічного аналізу доцільності перепрофілювання та модернізації резервів потужностей з урахуванням перспективного зростання/зниження тепло, електро, газоспоживання у ЖК секторі міста по кожному виду ПЕР і типу відповідних мереж необхідно дослідити:

- структуру споживаних первинних ПЕР та динаміку зміни паливно-енергетичного балансу міста;
- структуру і пріоритети споживачів щодо використання природного газу, вугілля, НВДЕ, електро, та термоенергії, структуру і технічний стан енергетичного обладнання та мереж, структуру потужностей і динаміку їх зміни у часі;
- картографічну схему розміщення джерел енергії, структуру енергетичного устаткування і транспортних мереж підприємств, їх технічний стан, структуру потужностей і динаміку зміни, кількість споживачів, що обслуговуються кожним джерелом;
- структуру договірних і фактичних навантажень енергетичного устаткування і транспортних мереж кожного підприємства в кінцевому споживанні, динаміку їх зміни за декілька попередніх років;
- зони дії джерел енергії, транспортні зв'язки між мережами і зонами дії джерел, ступінь покриття фактичних навантажень, графік роботи, види палива, що використовуються;
- графіки споживання палива, електроенергії та води, динаміку їх зміни у часі;
- витрати енергії на власні потреби, втрати енергії в мережах по кожному джерелу енергії і в цілому по кожному підприємству;
- техніко-економічні показники роботи джерел енергії і транспортних мереж, структуру собівартості вироблення, відпуску і транспортування енергії, фактичні і нормативні втрати при виробництві і транспортуванні;
- прогнозні показники зростання/зниження навантажень за різними

видами енергоносіїв і типами енергоефективного обладнання, відповідні зміни (резерви і дефіцити) потужностей енергетичного і допоміжного обладнання.

Фактори зовнішніх можливостей і загроз, внутрішніх сильних і слабких сторін діяльності підприємства, розроблення та прийняття рішень, що впливають на його стратегічну діяльність, відображені у вигляді узагальненої SWOT-матриці, представленої на Рис.1.2.6. Означені на рисунку x-компоненти SWOT-матриці формуються під впливом наступних факторів.

1. Можливостей підприємства, що обумовлюються:

- 1.1. взаємодією з місцевою владою і конкурентами, спрямовану на вирішення стратегічних завдань міста у сфері енергозабезпечення, на концентрацію ресурсів на прибутковому виробництві;
- 1.2. співпрацю з внутрішніми і зовнішніми інвесторами, екологічними агентствами тощо, для яких є важливим ефект масштабу;
- 1.3. партнерством з оптовими постачальниками енергозберігаючих матеріалів, обладнання і ПЕР;
- 1.4. використанням місцевих, нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії.

2. Загроз, які визначаються:

- 2.1. сталою тенденцією до зменшення частки ринку послуг за умов зниження якості послуг та зростання їх вартості;
- 2.2. появою нових конкурентів, технологій і обладнання у сфері децентралізованого енергопостачання;
- 2.3. сталою тенденцією до випереджального зростання цін і тарифів на ПЕР по відношенню до тарифів на ЖК послуги;
- 2.4. затримкою платежів з бюджету за послуги, надані пільговим категоріям споживачів;
- 2.5. систематичним списанням боргових зобов'язань споживачів;
- 2.6. старінням обладнання за наявних ризиків неповернення капітальних ресурсів, вкладених у стратегічний розвиток системи, у разі

розторгнення (порушення умов тощо) договору оренди (лізингу) за ініціативою влади.

		Можливості							
		Взаємодія з місцевою владою і конкурентами	Співпраця з інвесторами, Кіюцьким протоколом	Партнерство з оптовими постачальниками	Використання місцевих джерел енергії і НВДЕ				
Сильні сторони	Наявність стабільних ринків збуту							Слабкі сторони	Залежність якості послуг від обсягів
	Забезпеченість ресурсами								Незадоволений попит споживачів
	Висококваліфікований персонал								Високі витрати і втрати
	Технології ко- і три генерації, інші								Низька прибутковість і рентабельність
	Система контролю безпеки та якості								Обмежений доступ до фінансових ресурсів
	Розширення наданих та освоєння нових послуг								Слабка позиція у конкурентній боротьбі
	Економія на масштабах виробництва								Застарілий маркетинг та рекламні заходи
		Зменшення частки ринку, зниження якості послуг	Поява нових конкурентів і технологій	Випереджальне зростання цін і тарифів на ПЕР	Затримки платежів з бюджету за споживачів	Списання боргових зобов'язань споживачів	Старіння обладнання та системи		
		Загрози							

Рисунок 2.6 - SWOT-матриця системи енергоменеджменту підприємства

3. Сильних сторін, які обумовлюються:

- 3.1. наявністю стабільних ринків збуту;
- 3.2. забезпеченістю капітальними будівлями, обладнанням і земельними ресурсами енергетичного призначення;
- 3.3. висококваліфікованим персоналом;

- 3.4. новими технологіями ко,- і три генерації (тепла, холоду, електроенергії), тепловими насосами, що працюють на промислових і побутових відходах;
  - 3.5. системою контролю безпеки виробництва та якості продукції і послуг;
  - 3.6. концентрацією ресурсів на прибутковому виробництві;
  - 3.7. розширенням асортименту наданих та освоєнням нових послуг з енергопостачання;
  - 3.8. економією на масштабах виробництва.
4. Слабких сторін, які обумовлюються:
- 4.1. залежністю якості послуг від обсягів споживання та кількості споживачів;
  - 4.2. незадоволеним попитом споживачів;
  - 4.3. високими витратами і втратами;
  - 4.4. низькою прибутковістю і рентабельністю;
  - 4.5. обмеженим доступом до фінансових ресурсів;
  - 4.6. слабкою позицією у конкурентній боротьбі за ринки збуту;
  - 4.7. застарілим маркетингом та методами проведення рекламних заходів.

Розташування факторів по чотирьох квадрантах (можливостей, загроз, сильних і слабких сторін) має ту концептуальну цінність, що дозволяє визначати та системно використовувати на практиці синергетичні ефекти, що виникають від взаємодії факторів. Так, поєднання зовнішніх можливостей і внутрішніх сильних сторін потрібно всіляко підтримувати, вплив зовнішніх загроз на можливості і сильні сторони, навпаки, послабляти, а позиції слабких сторін – укріпляти.

Результатами SWOT-аналізу мають бути визначені пріоритети в розподілі наявних матеріально-технічних і фінансово-економічних ресурсів відповідно до зовнішніх можливостей і загроз та запропоновані рішення, спрямовані на підвищення конкурентоспроможності підприємства у процесі реалізації програми енергетичного менеджменту.

За результатами аналізу фінансово-економічних аспектів функціонування підприємства необхідно сформулювати висновки стосовно основних його проблем. Зокрема, слід зробити висновки про:

- доходи від реалізації товарів та/або послуг;
- рівень відшкодування фактичних витрат тарифами;
- фінансові результати від основної діяльності;
- рівень рентабельності основної діяльності;
- динаміку дебіторської та кредиторської заборгованості;
- рівень зносу основних засобів;
- рівень збору платежів за послуги;
- інші (за потреби).

Окремо необхідно провести аналіз обсягів і джерел фінансування капітальних інвестицій та визначити їх абсолютне зростання/зменшення за декілька останніх років. Необхідно, також, описати виробничі (операційні) заходи, які спрямовуватимуться, в першу чергу, на забезпечення надійної роботи підприємства, підвищення якості товарів та/або наданих послуг, на зменшення виробничих витрат та розв'язання проблем споживачів щодо низької якості товарів та послуг.

Аналіз обсягів і джерел фінансування капітальних інвестицій необхідно проводити за декількома альтернативними сценаріями зміни тарифів і джерел фінансування, побудованими, наприклад, за правилами, наведеними у роботах [31-33]. Так, за базовим сценарієм зазвичай робиться припущення, що тарифи протягом усього періоду прогнозування залишаються незмінними, тоді як витрати є нормативними та зростають з інфляцією. Для розрахунку прогнозних доходів за цим сценарієм використовуються чинні на момент складання стратегічного плану тарифи. При цьому, здійснення капіталовкладень чи проведення заходів з підвищення енергоефективності та енергозбереження не передбачається.

За другим сценарієм, тарифи підвищуються в плановому році для усіх

груп споживачів. Для населення тарифи підвищуються до рівня повного відшкодування собівартості енергоносіїв та послуг. При цьому, прибутку в тарифах для населення не передбачається. Для бюджетних установ та інших споживачів тарифи підвищуються до рівня повного відшкодування собівартості енергоносіїв і послуг та витрат із здійснення капітальних вкладень. Фінансування капітальних інвестицій відбувається за рахунок прибутку у складі тарифів для бюджетних установ та інших споживачів, амортизаційних відрахувань, коштів міського та державного бюджетів.

Відмінність третього сценарію полягає в тому, що тарифи для населення підвищуються до рівня повного відшкодування собівартості енергоносіїв і послуг та витрат із здійснення капітальних вкладень. При цьому збільшується обсяг фінансування за рахунок власних коштів підприємства.

Результати прогнозування наводяться за кожним із розглянутих сценаріїв. Зокрема, розраховуються зміни основних фінансово-економічних показників підприємства, наприклад, розмірів тарифів, фінансових результатів діяльності, зміни показників дебіторської та кредиторської заборгованості, показників зносу основних засобів тощо.

### **1.2.3 Засади побудови багаторівневої загальнодержавної системи енергетичного менеджменту**

Основоположний рівень загальнодержавної багаторівневої системи енергетичного менеджменту (загальнодержавної системи організаційно-технологічного управління у сфері енергоефективності та енергозбереження) складають системи енергоменеджменту, які створюються на підприємствах і в установах. На більш високому муніципальному (місцевому) рівні розташовуються муніципальні системи енергетичного менеджменту, структурно-організаційні компоненти діяльності яких визначаються [34, 35]:

- спеціалізованими посередниками (юридичні особи), які мають повноваження щодо координації взаємовідносин (організаційних,

адміністративних, нормативно-правових, фінансових, техніко-економічних, методичних, інформаційних тощо) між замовником товарів, робіт і послуг (підприємством, установою) та іншими учасниками фінансування капітальних вкладень (інвестицій) в енергоефективність та енергозбереження, в першу чергу органами державної (місцевої) влади, постачальниками паливно-енергетичних ресурсів, виробниками енергоефективного обладнання та матеріалів, інвесторами (комерційними банками, міжнародними фінансовими установами), фондами міжнародної технічної допомоги тощо;

- місцевими регуляторними органами (юридичні особи), які в межах своїх повноважень регулюють діяльність учасників щодо фінансування капітальних вкладень (інвестицій) та виконання прийнятих ними зобов'язань, а саме: (1) вкладання (інвестування) учасниками власних коштів в реалізацію енергозберігаючих проєктів, (2) забезпечення ними гарантій щодо досягнення запланованої економії паливно-енергетичних ресурсів; та (3) створення умов для накопичення вивільнених коштів та гарантованого повернення інвесторам вкладених коштів та відсотків до них.

Практичну реалізацію функцій муніципальної системи енергетичного менеджменту зазвичай здійснюють спеціалізовані посередники, які у світовій практиці називаються енергосервісними компаніями (ЕСКО) [36-38]. Останні приймають на себе зобов'язання виконати повний комплекс послуг з реалізації енергозберігаючих проєктів “під ключ”, який включає: технічну, економічну й фінансову оцінку підприємств (установ); проведення енергетичних обстежень; розробку й узгодження проєктно-конструкторської документації; організацію та забезпечення фінансування проєктів; закупівлю, доставку, монтаж, пуск в експлуатацію, гарантійне й післягарантійне обслуговування енергозберігаючого обладнання; та забезпечення гарантованого рівня енергозбереження, який у цілому перевищує витрати на розробку й впровадження енергозберігаючих заходів.

Залучення ЕСКО, яка у якості генерального підрядника власним коштом відповідає за кінцеві результати впровадження проєктів з енергозбереження, є



корисним для держави, міста та й підприємств (установ), оскільки як матеріально зацікавлена сторона, виконує реалізацію проектів “під ключ”, гарантує виконання всіх обумовлених договорами технічних умов та належну експлуатацію обладнання після впровадження проектів, забезпечує якість та кількість збереженої енергії за період окупності проектів.

У випадку залучення ЕСКО, вартість зекономленої внаслідок впровадження проектів енергії має гарантовано перевищувати вартість інвестицій плюс прибуток від інвестицій для ЕСКО і всіх інших учасників реалізації проектів. Підприємство-замовник буде сплачувати вартість обладнання та послуг частинами протягом строку, обумовленого договорами, і тільки за рахунок коштів, вже отриманих від економії паливно-енергетичних ресурсів. Тобто ЕСКО приймає на себе практично усі властиві для такого роду угод ризиків: ризик вибору обладнання для одержання економії енергоресурсів, ризик його ефективного функціонування, ризик одержання прибутку та погашення позик.

Якщо залучена або створена ЕСКО не має достатнього капіталу та повноважень на забезпечення гарантій, найбільш доцільною є схема фінансування проектів, відповідно до якої підприємство створює власний фонд економічного стимулювання енергозбереження та об’єднує його можливості на договірній основі із стабілізаційним (накопичувальним) муніципальним (регіональним) фондом, який утворюється відповідними органами державної (міської) влади. Частка залучених до фондів фінансів переводиться на рахунок ЕСКО, яка фактично буде реалізувати проекти або за дозволом ЕСКО, - безпосередньо на рахунок постачальників обладнання та послуг. Підприємство-замовник за допомогою фондів економічного стимулювання енергозбереження та коштів накопичувального муніципального фонду розраховується з ЕСКО та іншими інвесторами систематичними платежами, графіки яких наводяться в договорах. Розрахунок починається з моменту підтвердження обсягів отриманої економії паливно-енергетичних ресурсів. При цьому ЕСКО гарантує підприємству, що досягнута економія енергоносіїв буде досить велика, щоб

покрити всі витрати на реалізацію проєктів. Якщо це не так, ЕСКО компенсує підприємству відповідну різницю.

Оскільки ні підприємства, ні більшість ЕСКО (виключення в Україні складає УкрЕСКО, яка має кредит від Європейського банку реконструкції та розвитку під державні гарантії) на сьогодні не мають у достатній кількості вільних коштів та інших можливостей залучення інвестицій в енергозбереження, виникає потреба у створенні на державному рівні системи енергоменеджменту, спрямованої на реалізацію економічного (заохочувального) стимулювання підприємств до підвищення енергоефективності та енергозбереження і визначення оптимальних рівнів розподілу повноважень між державними органами (органами місцевого самоврядування тощо) на всіх рівнях системи.

Така загальнодержавна багаторівнева система енергоменеджменту за своїм призначенням буде мати ієрархічну структуру, розподілену на територіальні (обласні, районні, місцеві тощо) і галузеві підсистеми, що у свою чергу включають локальні системи заохочувального регулювання підприємств (установ). У функціональному відношенні підсистема кожного рівня має включати складові частини системи прогнозування, економічного аналізу, планування, організації, управління, оперативного регулювання, обліку та контролю матеріальних та фінансових ресурсів, що були залучені в енергоефективність та енергозбереження.

Таким чином, до суб'єктів загальнодержавної системи енергоменеджменту будуть відноситися, окрім самих підприємств (установ), відповідні центральні органи державної влади, органи місцевого самоврядування, спеціалізовані підрядні енергосервісні компанії (ЕСКО), виробники енергоефективного обладнання та матеріалів, постачальники паливно-енергетичних ресурсів, консолідовані споживачі та їх об'єднання (кооперативи, кондомініуми тощо), фонди енергозбереження на державному і місцевому рівнях та на підприємствах, комерційні банки, міжнародні фінансові установи, фонди міжнародної технічної допомоги тощо.

За своїм функціональним призначенням загальнодержавна система енергоменеджменту являє собою систему “заохочувального” регулювання державою відносин (організаційних, адміністративних, нормативно-правових, фінансових, юридичних, техніко-економічних, методичних, інформаційних тощо) між підприємствами (установами) та потенційними учасниками залучення капітальних інвестицій до розвитку та підвищення ефективності діяльності підприємств (установ). За своєю організаційно-структурною суттю загальнодержавна система економічного стимулювання енергозбереження повинна враховувати специфіку регіональних, обласних, міських та галузевих рівнів та базуватися на системних механізмах “заохочувального” регулювання ринків палива, енергії і комунальних послуг. Структурну схему розглянутої загальнодержавної системи енергоменеджменту наведено на Рис. 1.2.7.

Економічна доцільність має бути головним системоутворюючим фактором побудови систем енергоменеджменту на кожному з означених вище структурних рівнів та для кожного з учасників (суб’єктів) системи.

Агреговану структурну схему міжрівневих взаємозв’язків інтересів учасників загальнодержавної системи енергоменеджменту (ЗСЕ) наведено на Рис.1.2.8, а структурну схему взаємодії учасників системи енергоменеджменту на місцевому (обласному, районному, муніципальному тощо) рівні – на Рис.1.2.9. Відповідний рівень місцевої системи утворюється Спостережною радою області (району, міста) з енергоменеджменту, яка являє собою консультативно-дорадчий орган при виконавчому комітеті обласної (міської) ради, який координує діяльність всіх інших учасників даної територіальної системи у сфері енергоефективності та енергозбереження.



Рисунок 1.2.7 - Структурна схема загальнодержавної системи енергоменеджменту

До складу таких учасників зазвичай входять:

- Підприємства (ППР), які утворюють фонди енергоефективності та енергозбереження та наглядові ради цих фондів на підприємствах;
- Фінансове управління виконавчого комітету обласної (міської) ради (чи відповідні управління житлово-комунального господарства), яке виконує функції розпорядника коштів обласного (міського) бюджету на виконання енергозберігаючих проектів;
- ЕСКО, інвестори, постачальники енергоефективного обладнання, товарів, послуг тощо.

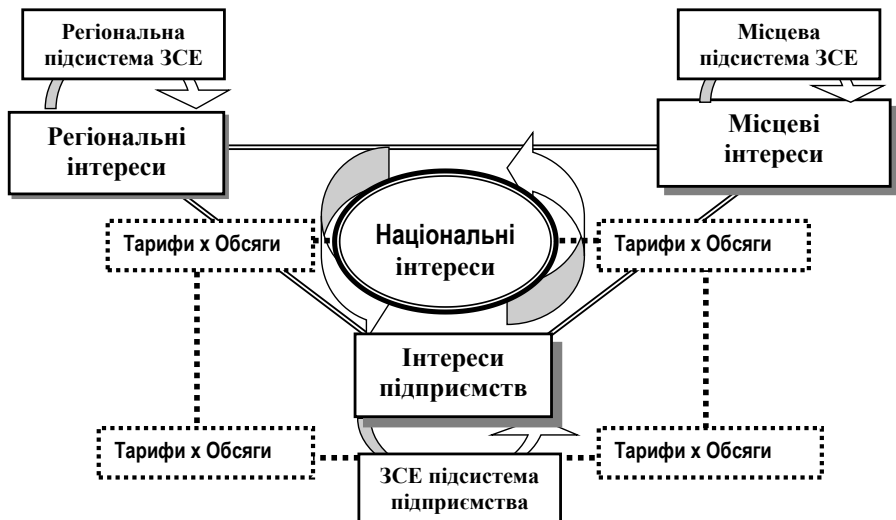


Рисунок 1.2.8 - Структурна схема міжрівневих взаємозв'язків учасників загальнодержавної системи енергоменеджменту

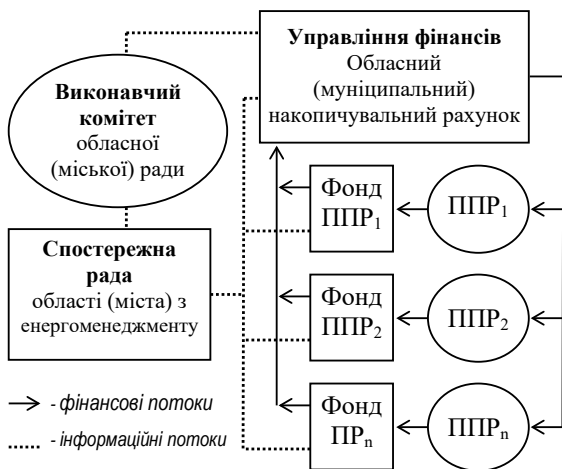


Рисунок 1.2.9 - Структурна схема взаємодії учасників системи економічного стимулювання підприємств до енергоефективності та енергозбереження на місцевому рівні

Утворення обласної (районної, муніципальної) системи фондів економічного стимулювання енергоефективності та енергозбереження починається з організаційної роботи на рівні обласної (місцевої) влади з формування ініціативної групи (комісії) з адаптування до регіональних

(міських) умов типового “Порядку про економічне стимулювання енергозберігаючих заходів на підприємствах даного регіону (міста)” з подальшим затвердженням цього Порядку рішенням сесії обласної (міської) ради. Робота по створенню обласної (районної, муніципальної) системи енергоменеджменту вважається успішно виконаною, коли економія паливно-енергетичних ресурсів відображується окремим рядком в системі бухгалтерського обліку та фінансової звітності підприємств даного регіону (міста).

Галузеві рівні системи енергоменеджменту формуються аналогічно приведеній на Рис. 1.2.9, за виключенням того, що функції виконавчого комітету обласної (міської) ради виконує колегія відповідного міністерства (відомства) та створена при ній спостережна рада з енергетичного менеджменту. При цьому загальнодержавний рівень системи енергоменеджменту утворюється національним агентством, відповідальним за забезпечення ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів, який діє під егідою Кабінету Міністрів України і Міністерства фінансів та співпрацює з національними комісіями, що здійснюють державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, іншими відповідними міністерствами і відомствами та регуляторними комісіями у цих сферах.

Окремої уваги потребує побудова модулів системи енергоменеджменту, спрямованих на забезпечення функцій економічного стимулювання та заохочувального регулювання підприємств та установ ЖКГ України до залучення інвестицій в енергоефективність та енергозбереження. Головні труднощі та бар'єри на шляху реалізації цих функцій можна сформулювати наступним чином:

- Відсутність матеріальних стимулів у керівників та працівників комунальних підприємств до впровадження економічних механізмів стимулювання енергозбереження, – діюча на комунальних підприємствах система матеріального стимулювання жорстко лімітована розмірами фонду

заробітної плати, якого ледве вистачає на утримання працівників від звільнення, не кажучи вже про стимулювання ефективності кінцевих результатів їх праці.

- Недієздатність систем контролю та управління ефективністю використання паливно-енергетичних ресурсів і відповідних систем бухгалтерського обліку їх витрат за інвестиційними проектами, де потрібно виміряти досягнуте енергозбереження, фіксувати його в системі бухгалтерського обліку і на цій основі здійснювати платежі.

- Непрозорість фінансових схем та операцій за інвестиційними проектами, що сприяє корупції та хабарництву.

- Безсистемність фінансової підтримки комунальних підприємств з боку держави та місцевих органів влади у впровадженні проектів з підвищення енергоефективності та енергозбереження, знехтування досвіду розвинених країн світу, де підтримка місцевого виробника, який забезпечує населення життєво необхідними послугами, є невід'ємним елементом державної політики.

- Слабкість позиції енергосервісних компаній (ЕСКО) в Україні, які не мають достатньо фінансових коштів та юридичних важелів для захисту своїх інтересів за умов порушення комунальними підприємствами взятих на себе зобов'язань (маються на увазі постійні затримки підприємствами виплат за виконану ЕСКО роботу, зниження обсягів реально досягнутого енергозбереження і т.п.).

- Відсутність практичного досвіду на місцях з розробки та впровадження бізнес-планів інвестиційних проектів.

Слід також враховувати той факт, що за своєю економічною суттю ринки комунальних послуг є природними монополіями, що робить виправданим і необхідним застосування всіх можливих форм регулювання діяльності комунальних підприємств на цих ринках з метою збалансування інтересів підприємств-монополістів і споживачів, оскільки за відсутності належного регулювання прагнення суб'єктів природних монополій максимізувати власний

прибуток, а не громадський добробут неминуче призводить до втрат для суспільства.

Цілі, задачі і напрямки регулювання діяльності комунальних підприємств визначаються законами України, в першу чергу [39-41]. У відповідності з цими законами, регулювання, насамперед, має забезпечувати підвищення рівня суспільного добробуту, встановлення справедливої норми прибутку для суб'єктів природних монополій та захисту споживачів від випадків зловживання монопольним положенням. При цьому встановлені регулюючим органом ціни і тарифи на вироблені і надані послуги повинні стимулювати залучення інвестиційних ресурсів для розвитку сфери житлово-комунальних послуг, яка характеризується великими капітальними витратами. Регулятор не повинен допускати економічно необґрунтованого підвищення цін і зниження якості або кількості наданих комунальними підприємствами послуг, що означає необхідність надання послуг відповідної якості за справедливими, зрозумілими і доступними для населення цінами. Якщо ж соціальна політика уряду або органів місцевого самоврядування передбачає дію тарифів, які не враховують економічно обґрунтованих витрат, то регулятор має компенсувати різницю.

Регуляторна система для комунальних підприємств, яка сьогодні створюється в Україні, повинна чітко визначати правила гри на монопольних ринках, зменшуючи ризик входження на ринок для приватного інвестора і, відповідно, вартість капіталу. Затвержені і контрольовані регуляторним органом правила і процедури здійснення господарської діяльності повинні запобігати проявам корупції та політично мотивованим втручанням влади в діяльність підприємств.

Економічне регулювання в умовах ринкової економіки не є поверненням до методів планової економіки – централізованого розподілу державою ресурсів та жорсткого планування господарської діяльності підприємств [42-44]. Необхідність державного втручання в умовах ринкової економіки виникає на будь-яких ринках, де через об'єктивні обставини неможлива конкуренція. Процедура регулювання ЖКГ має свою специфіку і повинна розділятися на три



основних взаємопов'язаних процеси: законодавче підкріплення і розподілення регуляторних повноважень (з можливим оскарженням будь-яких регуляторних рішень в суді), впровадження регуляторних рішень в практику, а також дерегулювання. Часом ці процеси йдуть послідовно, а іноді й паралельно, як, наприклад, в галузі ЖКГ, де встановлення ринкових відносин почалося одночасно з демонтажем централізованого, суто директивного регулювання.

За діючим в Україні законодавством, регулювання може проводитися на державному і місцевому рівнях. Можливий варіант державного регулювання ЖКГ полягає в створенні національних регуляторних комісій, які мають діяти як незалежні регуляторні органи. Плюси такого централізованого регулювання полягають в чіткому відділенні функцій управління і вироблення політики в галузі від функцій регулювання, забезпечуючи відсутність конфлікту інтересів в процесі прийняття регуляторних рішень, більшу компетентність в прийнятті регулюючих рішень. Мінуси полягають у високому ризику того, що регуляторний орган і політично і фінансово буде залежати від влади, що значною мірою може: сприяти впливу на неупередженість прийнятих рішень; вимагати значних фінансових витрат на створення і утримання регуляторного органу; створювати труднощі в делегуванні центральному органу повноважень органів місцевого самоврядування; встановленні високої вартості здійснення централізованого регулювання через велике число підприємств в сфері ЖКГ, які вимагають індивідуального регулювання.

Другий варіант реформування – це удосконалення існуючої системи регулювання в ЖКГ, оскільки, не дивлячись на всі мінуси її побудови, вона краще відповідає регіональному характеру галузі і ролі територіальних громад. Істина знаходиться десь посередині, а саме – в розподіленні обов'язків та узгодженому координуванні діяльності регулюючих органів за розглянутими варіантами реформування.

Серед основних проблем регулювання діяльності суб'єктів природних монополій в ЖКГ на сьогодні можна виділити нечітке розподілення регулюючих повноважень між центральними і місцевими органами влади, між

місцевими виконавчими і представницькими органами влади (органами місцевого самоврядування), а також розподілення компетенції між органами, які здійснюють управління майном, розробку і реалізацію державної і регіональної політики у сфері регулювання діяльності природних монополій. Через відсутність необхідної нормативно-правової бази, недостатність професіоналізму, упередженість або непрозорість регулюючих рішень ще не створені умови, при яких комунальні підприємства були б зацікавлені розширювати доступність і якість наданих ними послуг, підвищувати ефективність господарської діяльності або здійснювати капітальні інвестиції в модернізацію основних фондів. В деяких випадках уряд і органи місцевого самоврядування вимушені були навіть повертати в державну або комунальну власність раніше приватизовані підприємства або ж розривати контракти на передачу цих підприємств в оренду (концесію).

Подальший розвиток концептуальних засад створення системи енергоменеджменту на муніципальному рівні повинен включати поетапну розробку муніципальних механізмів та пакетів відповідних організаційно-методичних та нормативно-правових документів, що стимулюють підприємства до ефективного використання ПЕР і економії коштів на їх придбання, тобто є економічно привабливими для міського бюджету, інвесторів і самих комунальних підприємств [44].

Доцільність створення системи економічного регулювання діяльності комунальних підприємств в сфері підвищення енергоефективності та енергозбереження на муніципальному рівні визначається синергетичним ефектом, який досягається за рахунок:

- координації зусиль органів місцевої влади та міських підприємств щодо запровадження економічних механізмів стимулювання ЕЕ;
- залучення на зворотній основі бюджетів міста та держави до співфінансування (змішаного фінансування) самоокупних проектів з ЕЕ;
- стимулювання сектору енергосервісних компаній (ЕСКО), які виконують проекти з ЕЕ “під ключ” та забезпечують їх прибутковість в цілому;

- створення системи фондів економічного стимулювання ЕЕ на підприємствах та на рівні міста.

При створенні муніципальної системи фондів економічного стимулювання ЕЕ важливо усвідомлювати необхідність комплексного урахування в економічному механізмі специфіки двох різних цілей - інвестування та надання гарантій [34,35]. Оскільки основою енергоефективного підряду чи лізингу є гарантоване досягнення економії ПЕР, то механізм економічного стимулювання повинен включати і методику визначення сукупності кількісних оцінок щодо: 1) розподілу досягнутої економії, 2) відповідальності за можливі негативні наслідки та 3) розподілу ризиків. До того ж, оскільки визначення кількісних оцінок не є формальною процедурою, доцільно звернутися до Міжнародного протоколу, який надає методику у вигляді багатьох прикладів виконання конкретних проєктів [137].

Ця методика надає можливість у кожному конкретному випадку визначати, яка із сторін оцінює та відповідає за досягнення економії, яка проводить аналіз фінансового впливу на досягнуту економію та відповідає за зміни цін на ПЕР та тарифи на ЖК послуги, можливі зміни годин експлуатації обладнання та зниження ефективності його роботи, зміни погоди, збільшення обсягів послуг і таке інше. До змін, параметри яких потрібно прогнозувати на весь термін реалізації проєктів та які суттєво впливають на обсяги досягнутої економії, також відносяться: ступінь виконання досягнутих домовленостей і фінансових зобов'язань, зміни податкової та нормативно-законодавчої бази, інфляційні процеси, незапланована реконструкція підприємств ЖКГ тощо.

#### **1.2.4. Методичні основи заохочувального регулювання та економічного стимулювання підприємств і установ до енергозбереження**

За умов обмежених обігових коштів підприємств і високих банківських ставок за кредитами в Україні, в декілька разів більших, ніж у розвинутих країнах, для фінансування проєктів у сфері енергоефективності та

енергозбереження доцільно використовувати економію коштів, досягнути внаслідок зниження технологічних (технічних та комерційних) втрат паливно-енергетичних та природних ресурсів, складова яких у структурі загальних матеріальних витрат підприємств (установ) в Україні швидко зростає (практично втричі) протягом 90-х років і за темпами свого повернення до економічно обґрунтованого їх рівня за останнє десятиріччя суттєво відстає не тільки від розвинутих країн, а й від більшості країн, що розвиваються [14, 17, 18].

Нерішучі спроби уряду країни виправити цю вкрай негативну тенденцію постановами непрямої дії та державними програмами, не забезпеченими належним фінансуванням, призвели до того, що величезний потенціал енергозбереження в Україні залишається практично невикористаним, а сама проблема вже вийшла на рівень загрози енергетичній безпеці держави [14-18].

Розв'язання цієї проблеми не є простим і з наукової точки зору потребує проведення комплексу досліджень, цілеспрямованих на розробку методичних засад та ринкових механізмів стимулювання підприємств та установ до енергозбереження, створення відповідної законодавчо-правової бази та впровадження на підприємствах (в установах тощо) спеціального економічного порядку реалізації енергозберігаючих проектів, який забезпечує сприятливі умови для використання досягнутої економії паливно-енергетичних та природних ресурсів у якості обмінного товару для залучення інвестицій [15, 18, 34, 35].

При цьому, слід підкреслити, що підхід до розв'язання проблеми підвищення ефективності використання паливно-енергетичних та природних ресурсів в країнах пострадянського простору і, насамперед в Україні з її енергоємною структурою виробництва, має бути значною мірою специфічним і спрямованим на перехід до ринкових методів економічного регулювання і стимулювання енергозбереження шляхом поступової відмови від директивних адміністративно-командних методів централізованого управління у сфері енергоефективності та енергозбереження, що базуються на спотвореній системі

цін, тарифів і заробітних плат, на перехресному субсидуванні споживачів та недосконалому обліку використання енергоресурсів.

Розв'язанню цієї актуальної для економіки країни проблеми присвячені фундаментальні наукові праці багатьох українських вчених і дослідників, у той же час робіт, присвячених дослідженню саме ринкових методів економічного регулювання і стимулювання енергозбереження і розробленню на цій основі дієздатних в умовах перехідної економіки економічних механізмів регулювання та проектів нормативно-правових документів, що їх реалізують, вкрай недостатньо, хоча на концептуальному рівні такий підхід неодноразово формулювався як українськими, так і зарубіжними дослідниками [8, 22, 35-38].

Під економічним регулюванням суб'єктів господарської діяльності в умовах ринкової економіки розуміють сприятливий вплив на економіку підприємства з боку відповідних керуючих та регулюючих органів з метою підтримки економічних процесів на оптимальному рівні і для запобігання і припинення несприятливих явищ. В широкому значенні, економічне регулювання включає в себе компоненти прогнозування, планування, фінансування, бюджетування, оподаткування, кредитування, інвестування, адміністрування, обліку і контролю.

В централізованій економіці регулювання здійснюється за допомогою переважно директивних, розпорядницьких методів, а в ринковій – шляхом використання в основному ринкових механізмів (економічних регуляторів). У відповідності з цим, розрізняють директивне регулювання, економічне регулювання та ринкове саморегулювання. Економічне регулювання передбачає обов'язкову наявність економічних і матеріальних стимулів для досягнення поставленої мети. В будь-якому випадку, основною метою державного регулювання має бути відстоювання громадських і державних інтересів.

В теорії розрізняють два способи регулювання: регулювання за розузгодженням (відхиленням) і за критичним (граничним) параметром. В першому випадку регулювання будується за принципами обліку зворотного

зв'язку і мінімізації розузгоджень, що виникають, а в другому – здійснюється при досягненні регулюючими параметрами рівня (межі), визнаного критичним.

Під економічним стимулюванням енергозбереження будемо розуміти використання матеріальних стимулів для спонукання (заохочувального регулювання, incentive regulation) учасників стимулювання (виробників, посередників, споживачів) до практичних дій (організаційних, методичних, нормативно-правових, фінансових, техніко-економічних, інформаційних) з реалізації енергозберігаючих заходів, які є економічно доцільними (прибутковими) для усіх учасників.

Механізми економічного стимулювання енергозбереження є складними системами, що мають охоплювати організаційні, методичні, нормативно-правові, фінансові, техніко-економічні й інформаційні відносини між усіма учасниками економічного стимулювання енергозбереження, спрямовані на реалізацію економічно доцільних енергозберігаючих заходів. Їх відмінною рисою є орієнтація саме на системний підхід та комплексні енергетично-фінансово-економічні показники, пов'язані з продуктивністю діяльності підприємств, та подальшим їх використанням в утворенні цінових стимулів до підвищення ефективності роботи підприємств та зниження витрат. При цьому механізми економічного стимулювання енергозбереження призвані гарантовано забезпечувати приріст прибутку підприємств, не зменшуючи базового рівня оподаткування, що важливо з точки зору їх привабливості для держави.

В редакції Закону України “Про природні монополії” від 21 червня 2012 року [40] вже використовується ринкове поняття стимулюючого державного регулювання цін (тарифів) на товари суб'єктів природних монополій та суб'єктів господарювання на суміжних ринках, що передбачає застосування визначених органом, який здійснює державне регулювання діяльності суб'єктів природних монополій, параметрів регулювання, що мають довгостроковий термін дії, стимулює суб'єктів природних монополій та суб'єктів господарювання на суміжних ринках до підвищення якості товарів та ефективності регульованої сфери діяльності з поступовим скороченням

неефективних витрат та забезпечує створення умов для залучення інвестицій з метою сталого функціонування та розвитку.

Розроблені на цих принципах механізми є цілком ринковими, оскільки мають чітко орієнтований на досягнення прибутку характер, з використанням для фінансування заходів з енергозбереження коштів, заощаджених внаслідок підвищення енергоефективності виробництва. Багатократне (“револьверне”) вкладання заощаджених коштів в нові проекти з енергозбереження дозволяє нарощувати енергоефективність виробництва прискореними темпами.

На превеликий жаль, через об’єктивні та суб’єктивні причини активна законотворча діяльність щодо розробки та запровадження ринкових механізмів заохочувального регулювання та економічного стимулювання енергозбереження, залучення інвестиційних ресурсів та створення необхідних для цього механізмів, не є задовільною. В роботі [18] констатується, що нормативно-правову базу у сфері державного управління енергоефективністю на сьогодні складають 7 Законів України, понад 250 нормативно-правових актів і методичних документів, 50 національних (ДСТУ) та 60 міждержавних (ГОСТ) стандартів (достатньо повний огляд існуючої нормативно-правової бази у сфері державного управління енергоефективністю в житлово-комунальному господарстві дивись також у роботі [32]). При цьому відмічається, що недієздатними залишаються більшість задекларованих в бази механізмів реалізації засад державної політики у сфері енергоефективності та енергозбереження, які значною мірою спираються на застарілі фінансово-економічні, адміністративно-організаційні та контролюючі методи і засоби державного управління та регулювання, і тому потребують негайного удосконалення.

Наслідком розпорошеності та незавершеності існуючої нормативно-правової бази у сфері енергоефективності та енергозбереження є низька ефективність пропонованих на державному рівні заходів та розташування України на перших позиціях у переліку лідерів енергетичного марнотратства у світі [18]. Для прикладу, на Рис.2.10 представлені розраховані за статистичними

даними Enerdata криві зміни по роках (з 1996 по 2011) енергоємності валових внутрішніх продуктів (ВВП) України та по Євросоюзу.

Результати експоненціальної апроксимації цих кривих за допомогою прогнозної функції табличного процесора Microsoft Excel, також наведені на Рис.2.10, показують, що середньорічні значення питомого показника енергоємності ВВП складатимуть на кожний рік прогнозного 50-ти річного періоду, відповідно, 0,049 для України та 0,018 для країн Євросоюзу з величиною достовірності апроксимації, визначеної за квадратом коефіцієнта кореляції Пірсона  $R^2$ , більше ніж 0,96. Тобто, навіть за оптимістичним сценарієм збереження наявних щорічних темпів відносного зниження енергоємності ВВП, що дорівнюватиме 2,72 за відношенням цих питомих показників, Україна в змозі наздогнати Євросоюз за показником енергоємності ВВП десь на початку 50-х років.

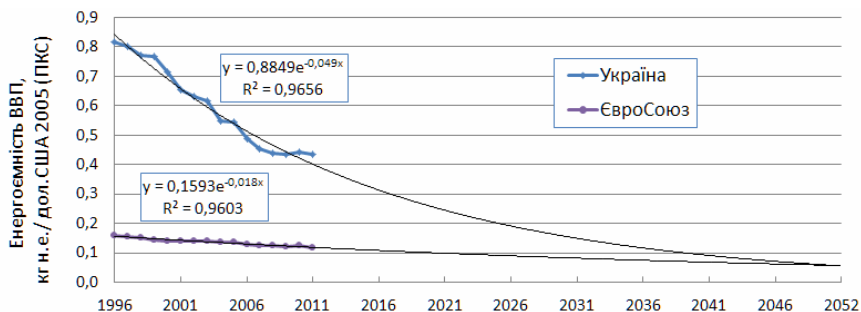


Рисунок 1.2.10 – Тенденції зміни по роках енергоємностей ВВП України та Євросоюзу

Джерело інформації: [www.yearbook.enerdata.net](http://www.yearbook.enerdata.net), [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua), власні розрахунки

В історично першому у сфері енергоефективності Законі України “Про енергозбереження” передбачено необхідність створення єдиної системи інституційних, регулятивних та заохочувальних заходів щодо режиму ощадного використання ПЕР і, у першу чергу, комплексного застосування економічних важелів та стимулів для орієнтації управлінської, науково-технічної і господарської діяльності підприємств, установ та організацій на раціональне використання і економію паливно-енергетичних ресурсів. Однак на



час, що минув, таку систему і механізми все ще не створено, не кажучи вже про використання економічних механізмів на рівні підприємств (установ).

Аналіз публікацій у цій сфері, у першу чергу означених вище фундаментальних монографій, показує, що головними причинами недосконалості наявних функцій і механізмів державного управління енергоефективністю та енергозбереженням є:

- у сфері цінової і податкової політики, – практика відшкодування втрат постачальників ПЕР і комунальних послуг за рахунок перехресного субсидування населення та бюджетного датування тарифів на комунальні послуги, яка подає спотворені сигнали щодо доцільності та ефективності використання різних видів ПЕР та енергозберігаючого обладнання, негативно впливає на баланс платежів в енергетиці та практично знищує зацікавленість постачальників і споживачів енергосервісних послуг у підвищенні енергоефективності;

- у сфері нормування та стандартизації, – відсутність чітких критеріїв, порядку і термінів їх застосування, що перетворює систему нормування та стандартизації з механізму, орієнтованого на досягнення конкретних прогресивних цілей з покращення енергоефективності, у механізм «узаконення» витрат ПЕР, які у подальшому включаються у валові витрати підприємств та ціни і тарифи на енергосервісні послуги;

- у сфері сертифікації та маркування, яка є розвинутою у світі, але не в Україні, – з ринковими механізмами впливу на виробників і постачальників обладнання, матеріалів та послуг з метою підвищення рівня їх енергоефективності через інформування та стимулювання споживачів, у тому числі матеріальне, до закупівлі й використання більш енергоефективного обладнання, матеріалів і послуг.

- у сфері експертизи, контролю та паспортизації – щодо визначення відповідності управлінської, інвестиційної та іншої діяльності, пов'язаної з енергоефективністю та енергозбереженням, запровадженням системи енергетичного менеджменту, проведенням енергетичних аудитів підприємств і

організацій усіх форм власності, підготовкою схем і проектів з залучення інвестицій в енергозбереження, які в Україні знаходяться у зародковому стані;

- у галузі професійної освіти і виховання – за відсутністю результатів ощадливого ставлення виробників та споживачів до використання ПЕР та енергосервісних послуг, яке має забезпечуватися шляхом засвоєння знань про економічні, екологічні та соціальні переваги енергоефективності та енергозбереження і здійснення контролю і перевірки щодо рівня її ефективності застосування отриманих знань.

При цьому, в ринкових умовах функціонування основним завданням державного управління у сфері енергоефективності та енергозбереження залишається забезпечення енергетичної безпеки держави шляхом створення механізмів функціонування ефективних ринків ПЕР, зменшення шкідливого впливу на довкілля, створення умов для залучення приватних інвестицій у розвиток і технічне оновлення систем енергозабезпечення тощо.

Серед об'єктивних причин необхідності державного регулювання, які мають безпосереднє відношення до сфери енергоефективності, необхідно виокремити: наявність монополізму та відсутність досконалої конкуренції на енергетичних ринках, які перебувають у стані природної монополії [39-41]; спотворений характер цінової та тарифної політики, що призводить до збиткової діяльності у сфері енергоефективності; вкрай низький рівень ефективності використання ПЕР; необхідність захисту населення.

Серед основних інструментів державного регулювання необхідно розрізнити [14, 16, 42]: бюджетно-податкову, цінову, грошово-кредитну, митну, екологічну політику тощо; контроль, ліцензування, квотування, сертифікацію і регламентацію; формування альтернативних форм власності, державні замовлення, залучення інвестицій під державні і місцеві гарантії, фінансову підтримку з державного і місцевих бюджетів, створення державного і муніципального фондів розвитку, індексацію доходів і соціальний захист населення.

В узагальненому вигляді державне управління і регулювання економікою визначається «як система заходів задля здійснення підтримуючої, компенсаційної та регулюючої діяльності держави, спрямованої на створення нормальних умов ефективного функціонування ринку та вирішення складних соціально-економічних проблем розвитку національної економіки й всього суспільства» [43]. Конкретизуючи це загальне поняття у формі цілісної системи адміністративних і ринкових функцій, способів, методів і механізмів управління та регулювання [16, 42] і застосовуючи його до сфери енергоефективності [44, 47], потрібно цілеспрямувати технічні аспекти управління (регулювання) у напрямі вироблення оптимальних пропорцій між підсистемами централізованого, помірно-децентралізованого і автономного забезпечення населення якісними ПЕР та енергосервісними послугами, які стимулюють суб'єктів ринкових відносин до збалансованості і підвищення ефективності виробництва, транспортування, постачання і споживання ПЕР та енергосервісних послуг. Досягнення цілі за цим визначенням має спиратися на ринкові механізми: формування цін і тарифів на принципах самоокупності; розвиток конкурентних відносин на енергетичних та енергосервісних ринках; пріоритетне застосування технологій комбінованого виробництва теплової та електричної енергії та використання вторинних енергетичних ресурсів, нетрадиційних і поновлювальних джерел енергії; створення умов для залучення приватних інвестицій в енергоефективність та впровадження енергозберігаючих технологій та засобів обліку і приладів регулювання споживання енергії; підвищення екологічної безпеки систем енергозабезпечення.

Удосконалення потреби і система наявних механізмів державного управління і регулювання питань ресурсного та організаційно-інформаційного забезпечення діяльності у сфері енергоефективності та енергозбереження, насамперед тих, що стосуються взаємодії держави і бізнесу (симбіоз опцій держави та ринку [18]), а саме:

- фондів енергозбереження (загальнодержавного і муніципальних),

екологічних фондів та фондів енергоефективності на підприємствах;

- механізмів цільового фінансування енергоефективних проектів з бюджетів різного рівня на основі револьверного механізму, пільгового державного кредитування реалізації інвестиційних проектів;
- механізму енергосервісних компаній (ЕСКО) на базі договорів енергоефективного підряду (перфоманс-контракту);
- механізмів передачі енергоефективного обладнання в довгострокову оренду (лізинг);
- механізмів державно-приватного партнерства, стратегічного альянсу, коаліції, коопетиції тощо;
- механізмів програмно-цільових кредитів і залучення міжнародної технічної допомоги, у тому числі в рамках проектів спільного впровадження та за схемою залучення «зелених» інвестицій);
- механізмів фінансування комерційними банками, кредитні лінії і угоди, венчурні фонди.

Реалізація означених механізмів має здійснюватися шляхом створення на місцевому рівні стратегічних альянсів, коаліцій, кластерів, енергосервісних компаній і фондів енергоефективного розвитку як форм інтеграції (кооперації, коопетиції тощо) діючих як єдине ціле юридично незалежних суб'єктів (учасників) ринку, – підприємств, компаній і організацій, включаючи партнерську участь у взаємодії (фінансову, координаційну, регуляторну тощо) органів державного і муніципального управління. Головний результат партнерства має полягати в отриманні і реалізації синергетичного ефекту зростання ефективності цілеспрямованої (скоординованої) діяльності об'єднаних в результаті інтеграції взаємодоповнюючих (комплементарних) активів всіх учасників ринку, який перевершує результат окремо взятих суб'єктів. При цьому слід розуміти, що погоджена конкурентна поведінка (діяльність) суб'єктів господарювання має сприяти удосконаленню виробництва, техніко-технологічному і економічному розвитку, раціоналізації

виробництва, інакше вона буде класифікуватися як антиконкурентна узгодженість дій, що забороняється законом [41].

Механізми економічного стимулювання у сфері енергоефективності та енергозбереження на рівні підприємств і установ різних форм власності за своєю суттю мають поєднувати нормативно-правові аспекти цільового заохочувального регулювання державою діяльності господарюючих суб'єктів, яке здійснюється на договірній основі та стосується підвищення ефективності використання і зниження втрат основних видів паливно-енергетичних і природних ресурсів. Виходячи з цієї посилки, основними напрямками щодо утворення механізмів економічного стимулювання у сфері енергоефективності та енергозбереження на підприємствах і в установах мають бути наступні [44, 47]:

- Вдосконалення систем обліку витрат та визначення рівня економічно допустимих втрат паливно-енергетичних та природних ресурсів по всіх ланках процесу від генерування, транспортування, розподілу та й до споживання.
- Розробка замкнених за зворотними зв'язками схем заохочувального регулювання та економічного стимулювання потоків грошових і капітальних активів, що спрямовані на реалізацію енергозберігаючих проєктів.
- Вдосконалення механізмів збалансованого регулювання рівня цін та тарифів на енергосервісні послуги за розробленими схемами економічного регулювання.
- Надання підприємствам (установам) податкових та інших пільг з державного та місцевих бюджетів для стимулювання впровадження енергозберігаючих технологій, обладнання і матеріалів.
- Пільгового кредитування інвестицій в енергоефективність та енергозбереження, тобто компенсацію позикового відсотка за рахунок коштів державного та місцевих бюджетів.
- Встановлення підвищених норм амортизації (прискореної амортизації) основних фондів підприємств (установ).

- Включення до тарифів на енергоносії та комунальні послуги інвестиційної енергозберігаючої складової, як джерела повернення інвестиційних коштів.

- Вдосконалення механізмів матеріального стимулювання колективів та окремих працівників за ефективне використання та економію паливно-енергетичних і природних ресурсів, впровадження інновацій.

На нормативно-правовому рівні, у першу чергу, потрібно забезпечити умови для ефективного використання коштів, що вивільняються на підприємствах і в установах внаслідок запровадження заходів з підвищення ефективності використання паливно-енергетичних і природних ресурсів та зниження технологічних втрат, на повернення інвестицій та кредитів, реалізацію нових енергозберігаючих заходів та матеріальне стимулювання колективів і окремих працівників. Досягнення цієї мети потребує вирішення наступних завдань [34, 44, 45, 47]:

- Визначення ціни та потенційних обсягів виробництва “товару” (тобто обсягів досягнутої економії ПЕР та коштів на їх споживання), що пропонується для інвесторів у якості джерела повернення коштів;

- Врахування товару, виробленого внаслідок запровадження енергозберігаючих заходів, в системі бухгалтерського обліку та фінансової звітності підприємств (установ);

- Вивільнення з обороту, накопичення та перерахування коштів, що обраховано в системі бухгалтерського обліку та фінансової звітності підприємства внаслідок зменшення обсягів споживання ПЕР, з поточного рахунку підприємства на спеціальний рахунок підприємства для цільового використання на повернення інвесторам, до бюджетів міста і держави та на реалізацію нових енергозберігаючих заходів;

- Врахування додаткових обсягів робіт, пов’язаних з монтажем, ремонтом та обслуговуванням енергозберігаючого обладнання, для запровадження системи матеріального стимулювання колективів і окремих

працівників, які забезпечують економію ПЕР протягом терміну реалізації енергозберігаючих заходів.

Досвід розвинутих країн світу доводить, що державне управління енергоефективністю є одним з ключових інструментів економічного розвитку та підвищення конкурентоспроможності економіки цих країн. На превеликий жаль, в Україні цей стратегічний ресурс практично не використовується, що в умовах дефіциту власних ПЕР потребує значних додаткових витрат державного і місцевих бюджетів на закупівлю імпортного природного газу, у той час, як величезні обсяги його власного видобутку неефективно використовуються на застарілому енергоємному обладнанні.

## **Глава 1.3. Основоположні методи та механізми енергетичного менеджменту складних багаторівневих систем**

### **1.3.1. Механізми заохочувального регулювання та економічного стимулювання підприємств і установ до енергозбереження**

Серед найбільш поширених методів і механізмів енергетичного менеджменту розрізняють такі, як метод інтегрованого ресурсного планування (Integrated Resource Planning), управління навантаженням (Load Management), управління енергоспоживанням кінцевого споживача (End Users Consumption Management), управління енерговикористанням на боці енергопостачальної організації (Supply Side Management or Supply Side Planning), управління попитом, або ж інакше, управління енерговикористанням (Demand Side Management), енергоефективного підряду (Performance Contracting), регуляторної бази активів (Regulatory Asset Base) тощо [1-7, 38, 48-52, 60, 69, 73-74, 76, 94].

Механізм управління попитом є одним з базових при розробці економічних механізмів стимулювання підприємств та установ до підвищення ефективності використання паливно-енергетичних і природних ресурсів та зниження технологічних втрат і широко застосовується у розвинених країнах з початку 1970-х років у США, Канаді, Західній Європі та Австралії. Наприкінці 90-х його почали застосовувати в Латинській Америці, Східній Європі та країнах Азії.

Найпоширенішими сферами використання цього механізму у розвинутих країнах є електроенергетика, комунальна теплоенергетика та житлове господарство, де він використовується постачальними і обслуговуючими компаніями при розробці заходів, які сприяють скороченню потреби в інвестиціях у нові виробничі потужності шляхом зменшення попиту на енергію та послуги, особливо в години пікового та сезонного навантаження. Це досягається різними засобами, найчастіше через



управління навантаженням (енерговикористанням тощо) шляхом застосування сучасних технологій енергетичного менеджменту [48-51]. Незважаючи на те, що сьогодні в більшості цих країн пряме регулювання замінено конкуренцією на ринку, більшість енергетичних компаній продовжили надання послуг підприємствам з підвищення їх енергоефективності, або створили дочірні енергосервісні компанії, яким делегували функції впровадження й моніторингу заходів з управління енерговикористанням, які раніше виконували самі енергетичні компанії. Досягнута внаслідок впровадження цих заходів економія паливно-енергетичних та природних ресурсів дозволяє енергетичним компаніям та й підприємствам-споживачам зменшувати ціни та тарифи, спрямовувати частку досягнутої економії фінансових ресурсів на цілі оновлення і модернізації виробництва та зменшити фінансову залежність компаній і підприємств від кредиторів, що в цілому сприяє досягненню фінансової стабільності підприємств та покращанню якості послуг, які надаються ними.

Серед найбільш поширених економічних механізмів системного залучення інвестицій в енергоефективність та енергозбереження, які в рамках міжнародної технічної допомоги частково вже пройшли пілотне випробування і в Україні, слід відмітити наступні:

- Механізм енергоефективного підяду (перфоманс-контрактинг).
- Лізингові механізми постачання та використання енергоефективного обладнання.
- Механізм заохочувального регулювання з боку постачальників паливно-енергетичних ресурсів (механізм управління енерговикористанням).
- Механізм багатократного (“револьверного”) використання заощаджених коштів на реалізацію нових проектів з енергоефективності та енергозбереження.
- Механізм фінансування (кредитування) на умовах повернення з державного та місцевого бюджетів.

Потенційними джерелами фінансування енергозберігаючих проектів за вищезгаданими економічними механізмами, у першу чергу можуть слугувати:

- власні кошти, трудові та матеріальні ресурси підприємств;
- кредитування за вирахуванням погашення та цільове фінансування з державного, обласного та міського бюджетів;
- інвестиційні кошти та матеріальні ресурси енергосервісних компаній;
- заохочувальні кредити постачальників паливно-енергетичних ресурсів;
- заохочувальні комерційні кредити виробників обладнання і матеріалів;
- залучені кошти приватних внутрішніх та зовнішніх інвесторів;
- інвестиції міжнародних фінансових установ;
- спонсорські фонди міжнародної технічної допомоги;
- консолідовані кошти споживачів (промислових і комерційних підприємств);
- кредити комерційних банків.

Окремої уваги потребує розробка механізмів економічного стимулювання житлово-комунальних підприємств і установ, а також основних споживачів їх послуг – бюджетну сферу і населення, до підвищення ефективності використання ПЕР та енергозбереження. Як вже відмічалось вище, основної уваги тут потребує розв'язання проблем ціноутворення, регулювання тарифів та залучення інвестицій в енергоефективність та енергозбереження. І якщо ціни і тарифи на електроенергію і газ вже декілька років регулюються ринковими механізмами, то ціни і тарифи на житлово-комунальні послуги залишаються економічно, а точніше, політично зарегульованими. При цьому в обох випадках вони ледве забезпечують фінансування виробничої, не кажучи вже інвестиційної діяльності підприємств (установ). Тому у першу чергу

необхідно визначати роль цінових важелів у регулюванні та контролі за фінансовими потоками суб'єктів природних монополій, якими є енергетичні компанії та комунальні підприємства тепло, - водопостачання і водовідведення, з метою системно збалансованого встановлення економічно обґрунтованих цін (тарифів) і справедливих норм прибутку. Тут глибокого економічного удосконалення потребують структура, порядок та правила встановлення цін і тарифів на енергоносії та комунальні послуги, які сьогодні не забезпечують фінансову стійкість та інвестиційну привабливість підприємств (установ). Суттєвої уваги потребують також питання розмежування сфер діяльності центральних, галузевих та місцевих органів влади у регулюванні (встановленні) цін та тарифів на енергоносії та житлово-комунальні послуги.

Серед сучасних ринкових підходів до розв'язання проблем у цій сфері, який починає активно запроваджуватися в Україні, слід відзначити також метод регуляторної бази активів (Regulatory Asset Base, RAB), засади якого визначаються сукупною вартістю запозиченого і власного активів суб'єкта природних монополій, що підлягає регулюванню. У разі застосування стимулюючого регулювання за цим методом визначають групи активів, включених до регуляторної бази, строк їх корисного використання та метод нарахування амортизації таких активів, а на регуляторну базу на середньостроковий період (не менше 3–5 років) у межах граничних рівнів встановлюється регуляторна норма доходу (рівень дохідності), що формує та забезпечує реалізацію політики регулятора [40].

Метод вперше був застосований у Великобританії наприкінці 1980-х років в процесі приватизації електропостачальних компаній та лібералізації ринку електроенергії, а з середини 1990-х років – в більшості країн Європи, у Канаді, США, Австралії [56-58, 60, 61]. В Росії RAB-метод під назвою регульованої бази інвестованого капіталу (регулируемая база инвестированного капитала) почали застосовувати з 2008 року при створенні системи довгострокового тарифоутворення, спрямованої на залучення

інвестицій у розширення і модернізацію інфраструктури енергопостачальних компаній [55]. Метод вважається найбільш ефективним при регулюванні тарифів на послуги компаній з розвинутою мережевою інфраструктурою, насамперед, в електроенергетиці, житлово-комунальному господарстві і транспорті.

За час, що минув, практика використання цього методу в означених країнах підтвердила його ефективність та суттєві переваги (у порівнянні з діючою в Україні системою «витрати плюс») при комплексному вирішенні питань залучення інвестицій, зниження цін і тарифів на товари і послуги та створення стимулів для скорочення операційних витрат компаній, що регулюються.

При переході на регулювання за методом RAB дохід компанії від здійснення основної діяльності (revenue, валова виручка) безпосередньо пов'язується з витратами на створення та використання її активів у ринкових умовах відповідно до національних положень бухгалтерського обліку [66] або міжнародних стандартів фінансової звітності [62-65] та витратами на амортизацію активів і враховує податки і збори до бюджетів та державних цільових фондів, регуляторну базу активів, регуляторну норму доходу, віддаленість різних груп споживачів від місця виробництва товарів, якість товарів, державні дотації та інші форми державної підтримки, гранти, внески споживачів [40].

При цьому інвестору гарантується дохід за відсотковою ставкою, що визнається учасниками ринку справедливою, внаслідок чого інвестиційна привабливість компанії різко зростає. Тариф на товари та послуги компанії за цим методом встановлює регулятор на базі норми доходу на інвестований капітал з урахуванням вартості позикового і власного капіталу за довгостроковий період, а також економічно обґрунтованого співвідношення цих капіталів.

Можна бачити, що регулювання за методом RAB здійснюється за більш складними, ніж у системі «витрати плюс», схемами та правилами і потребує

застосування специфічних понять. Так, під інвестованим капіталом розуміють капітал, який використовувався для створення активів, необхідних для здійснення діяльності, що підлягає регулюванню, розмір якого встановлюють з урахуванням результатів його незалежної оцінки на момент переходу до регулювання; під поняттям бази інвестованого капіталу – вартість активів компанії, що знаходяться в експлуатації, створених з використанням інвестованого капіталу; під поняттям необхідного валового доходу (необхідна валова виручка тощо) – економічно обґрунтований обсяг фінансових ресурсів, необхідних для здійснення регульованої діяльності протягом розрахункового періоду регулювання; під поняттям операційні витрати – витрати, пов'язані з виробництвом і реалізацією продукції та послуг за регульованими видами діяльності, за винятком амортизації основних засобів, витрат на обслуговування позикових коштів, витрат, пов'язаних з орендою майна, використовуваного для здійснення регульованої діяльності, та витрат по оплаті послуг, що надаються організаціями, які здійснюють регульовану діяльність, а також податків і зборів, передбачених законодавством.

До основних параметрів регулювання, які не змінюються протягом періоду регулювання, відносять: базовий рівень операційних витрат (матеріальні затрати, витрати на оплату праці, відрахування на соціальні заходи, амортизація, інші операційні витрати), індекс ефективності операційних витрат, розмір інвестованого капіталу, чистий оборотний капітал, норму прибутковості інвестованого капіталу, термін його повернення, рівень надійності і якості реалізованих товарів (послуг) [40, 59].

Потрібний для покриття витрат компанії необхідний валовий дохід (необходима валовая виручка) за методом RAB включає в себе операційні витрати, дохід на інвестований капітал та витрати на повернення інвестованого капіталу. При цьому, на відміну від системи «витрати плюс» інвестиційні витрати в дохід компанії безпосередньо не включаються, а зараховуються до бази інвестованого капіталу і поступово повертаються

інвестору разом з нарахованим на них доходом протягом довгострокового періоду.

В результаті регулювання за методом RAB, ціни і тарифи на продукцію та послуги компанії у довгостроковій перспективі мають стійку тенденцію до зниження внаслідок скорочення операційних витрат (регулятор кожні 3 – 5 років зменшує їх нормативний рівень на величину заощаджених за цей період витрат) та здешевлення капіталу, залученого на умовах щорічної індексації цін і тарифів на продукцію і послуги компанії з урахуванням зміни макроекономічних показників, зокрема інфляції. У той же час, інвестиційний капітал в міру задоволення потреб компанії може нарощуватися значно більшими темпами, ніж за методом «витрати плюс», де основним джерелом розвитку компанії є інвестиційна складова у тарифі та стаття витрат на амортизацію, строки використання яких обмежені річними рамками.

При регулюванні за методом RAB джерелом фінансування інвестицій також слугує тариф, але ж з'являється можливість залучати на довгостроковий період значно більші обсяги кредитних ресурсів у здійснення масштабних інноваційних перетворень, що, у свою чергу, дозволяє знизити операційні витрати та збільшити дохід компанії у перший же рік проведення таких перетворень і, при цьому, використовувати дохід на інвестований капітал та частку грошей зі статті витрат на повернення інвестованого капіталу, що покриває амортизацію, тільки на обслуговування залучених обсягів кредитних ресурсів.

Таким чином, по відношенню до методу «витрати плюс» регулювання за методом RAB надає принципово нові можливості для компаній щодо збільшення обсягів залучених інвестицій, зниження операційних витрат та збільшення прибутковості на цій основі, поліпшення структури капіталу та зростання ринкової вартості компаній, створення передумов для довгострокового планування діяльності і прийняття стратегічних рішень в ринкових умовах.

До недоліків і ризиків, властивих цьому методу регулювання, насамперед відносяться ризики застосування некоректних (нестійких тощо) даних про розміри первісної бази капіталу та про базові рівні витрат і прибутку компанії, похибки прогнозів інфляції на довгостроковий період, ризики неотримання необхідної валової виручки при зниженні обсягів виробництва, методична залежність величини регульованого тарифу від розмірів бази інвестованого капіталу, яка створює прецеденти істотного зростання тарифів при використанні ринкової оцінки бази капіталу тощо.

### **1.3.2. Введення до методології інтегрованого ресурсного планування**

Ефективність функціонування економіки будь-якої країни суттєво залежить від ефективності виробництва, розподілу і використання ПЕР та визначається багатьма техніко-економічними факторами, серед яких визначальними є: структура та якісний склад виробничих потужностей, збалансованість попиту та пропозиції, якість палива, стан розподільних мереж тощо, форма власності підприємств, ступень державного втручання, досконалість правил функціонування енергетичних ринків та взаємовідносин між його учасниками, соціально-політичний рівень життя.

Інтегроване ресурсне планування (Integrated Resource Planning) є одним з сучасних інструментів енергетичного менеджменту, призначеного для розв'язання проблемних питань підвищення ефективності та якості виробництва, розподілу і використання ресурсів в ринкових умовах функціонування складних енергетичних та енерготехнологічних систем [52, 67, 68, 69].

Методична платформа інтегрованого ресурсного планування (ІРП) складається з етапів оцінки існуючого стану та проведення системного аналізу витрат-вигод щодо визначення оптимального, серед можливих, варіанту реалізації стратегічного та оперативних планів забезпечення потреби в ПЕР для кожного з об'єктів (елементів) системи та реалізації

розроблених бізнес-програм і заходів за умов виконання вимог до надійності, якості та рівня впливу на оточуюче середовище.

При цьому, інтереси кожного з елементів системи (виробників, постачальників і споживачів ПЕР, органів державної і місцевої влади, фінансових установ і організацій, спеціалізованих енергосервісних і управляючих компаній, громадськості тощо) у досягненні власних короткострокових цілей, насамперед тих, що полягають у максимізації прибутку та мінімізації фінансових витрат, мають узгоджуватися з інтересами розвитку енергетичної системи і суспільства у цілому на довгострокову перспективу. Тут слід нагадати, що функція балансування інтересів бізнесу і суспільства не здійснюється «невидимою рукою» ринку, а залишається важливою функцією держави.

Як можна бачити з наведеного визначення, кінцевою метою ІРП є розробка та супровід виконання бізнес-планів і програм, що включають конкретні практичні заходи з раціонального видобування (або закупівлі) первинних ПЕР, виробництва, перетворення, розподілення, постачання і споживання різних видів і форм ПЕР, які за умов дотримання екологічних вимог забезпечують економічно доцільне і соціально розумне задоволення технологічних та побутових потреб енергетичної системи і суспільства.

Зрозуміло, що досягнення цієї мети має здійснюватися у рамках системного підходу, оскільки рішення залежить не тільки від умов та режимів використання задіяних у процес функціонування енергетичної системи ПЕР, їх обсягів, вартості, якості, ефективності тощо, а й від усіх інших видів і форм залучених у виробничий процес ресурсів, насамперед, будівельних конструкцій і інженерних мереж, обладнання, витратних матеріалів, трудових і фінансових ресурсів тощо.

При цьому, рішення з оперативного планування, як відмічалось вище, мають спиратися на результати прогнозування наслідків їх реалізації у середньо та довгостроковій перспективі, де недостатньо обґрунтовані короточасні вигоди можуть нанести набагато більших втрат. Тобто, за ІРП



підходом мінімізації підлягають довгострокові загальносистемні витрати на задоволення потреби в ПЕР з урахуванням усіх видів ресурсів та варіантів і способів їх використання.

У США, які вважаються країною зародження і становлення ІРП та де надруковані декілька монографій на цю тему [49, 50, 51, 69, 72], є принаймні два фундаментальних за обсягом та змістом законодавчі документи [70, 71], присвячені цієї темі. Так, у законі США від 1992 року надається визначення терміну "інтегроване ресурсне планування" як процесу планування і відбору енергетичних ресурсів серед спектру потенційно можливих, у тому числі таких, як введення нових генеруючих потужностей, закупівля енергії на стороні, енергозбереження та підвищення енергоефективності, когенерація та централізоване опалення і охолодження, нетрадиційні і поновлювані джерела енергії тощо, з метою забезпечення адекватного та надійного обслуговування споживачів за найнижчими загальносистемними витратами. При цьому, у процесі інтегрованого ресурсного планування в обов'язковому порядку мають враховуватися такі властивості і фактори функціонування системи, як різноманітність, надійність, диспетчеризація, ризики тощо, здатність до перевірки досягнутої за рахунок енергозбереження та енергоефективності економії енергії за період окупності енергозберігаючих заходів та урахування попиту і пропозиції ресурсів на рівноправній інтегрованій основі. Поняття "загальносистемних витрат" за цим законом включає всі реальні (чисті) витрати на енергоресурси протягом їх життєвого циклу, в тому числі витрати на виробництво, розподіл, транспортування, утилізацію відходів та дотримання природоохоронних вимог.

Закон США від 2005 року [71] є логічним продовженням попереднього закону і присвячений формулюванню понять і функцій системного енергетичного менеджменту, за яким вищезгадані методи отримують нові, синергетичні імпульси для свого подальшого розвитку. У законі детально розглянуто різні технології, види енергії і сфери їх застосування в техніці і економіці, питання екології, науки і освіти.

ІРП підхід почав розроблятися набагато пізніше за усі інші методи енергетичного менеджменту і тому на сьогодні в явній чи неявній формі узагальнює теоретичні положення своїх попередників, практично виконуючи функції загальносистемного методу (ядра) у системі енергетичного менеджменту. Процес інтегрованого ресурсного планування складається з наступних етапів [67, 69]:

1. Застосування кожним з учасників системи методів, заходів і засобів ІРП для координування (узгодження) власних програм і планів оперативного управління попитом з планами і програмами довгострокового планування ресурсів.

2. Оцінювання зовнішнього середовища та внутрішніх можливостей, встановлення цілей планування, періоду, горизонту та інтервалів прогнозування (нагадаємо, що період прогнозування — це одиниця часу, на яку робиться прогноз (день, місяць, рік тощо), горизонт — число періодів в майбутньому, які буде покривати прогноз, а інтервал — частота, з якою виконується новий прогноз).

3. Розроблення критеріїв оцінки впливу ІРП на прибутки учасників та на вартість управління енергозабезпеченням.

4. Визначення параметрів майбутнього енергоспоживання, у тому числі за такими напрямками, як кількісні та якісні характеристики споживання за типами споживачів, доступність різних видів ресурсів, насамперед інвестиційних, характеристики демографічної ситуації в регіоні, кліматичні особливості, можливості застосування досягнень науково-технічного прогресу, розвитку ринкових відносин, змін нормативно-правової бази тощо.

5. Створення та аналіз декількох сценаріїв енергозабезпечення та енергоспоживання при різних економічних, екологічних і соціальних умовах, підрахунок витрат, яких планується уникнути, аналіз вигід-витрат, оцінка ефективності та чутливості прогнозних заходів до змін параметрів тощо.

6. Врахування намірів інших учасників ІРП, розробка та запровадження гнучкого плану реалізації заходів, стійких до вірогідних змін.

7. Моніторинг і оцінка параметрів реалізації визначеного плану та його перегляд у разі виходу параметрів за межі допустимих.

8. Проведення відкритих обговорень з метою ознайомлення громадськості з ходом виконання заходів ІПП.

Розглянемо основні функціональні можливості ІПП більш детально [49, 51, 68, 69, 72, 73]. За прийнятою класифікацією енергогенеруючі установки залежно від типу навантаження розподіляють на три групи: установки, що працюють на базовому, проміжному і піковому навантаженні. Установки з базовим навантаженням, зазвичай, працюють на постійному навантаженні протягом доби і практично весь рік (сезон тощо), є найбільш потужними і тому їх спорудження вимагає найбільших капіталовкладень, вони здатні працювати на відносно дешевому (та/або більш низької якості) паливі, наприклад, вугіллі замість газу, або використовувати атомну енергію, їх експлуатаційні витрати порівняно невеликі. Установки з проміжним навантаженням, як правило, менш потужні, їх продуктивність змінюється протягом доби, відповідно до потреб споживачів. Установки з піковим навантаженням в основному мають відносно невелику потужність і вимагають малих капіталовкладень. Їх можна швидко запускати і зупиняти, але вони характеризуються більш високими експлуатаційними витратами від двох попередніх, тому їх застосовують протягом незначного проміжку часу, в основному для забезпечення пікового попиту і в аварійних ситуаціях. Наприклад, у пікових режимах, зазвичай, використовують і гідроакumuлюючі станції.

Інтегроване ресурсне планування у всіх цих випадках може бути застосоване для мінімізації як загальносистемних витрат, так і витрат з боку постачання та/або споживання, а також, що важливо, для еколого-економічного балансування між статтями витрат на спорудження нових виробничих потужностей у системі, або на енергозберігаючі заходи як на стороні виробника, так і у споживача, чи на вибір оптимального виду палива серед традиційних видів або їх заміну на відновлювані. При цьому, за

рахунок синергетичного ефекту з'являється можливість забезпечити прибутковість реалізації заходів з підвищення енергоефективності та енергозбереження для всіх учасників системи ІПР.

Досягнення загальносистемної (глобальної) мети за ІРП, як правило, здійснюється шляхом комплексного застосування усіх методів енергетичного менеджменту. Так, методи управління навантаженням і управління енерговикористанням дозволяють найбільш ефективно управляти змінами параметрів навантаження (форми кривої навантаження тощо), а енергоефективного підряду — гарантувати самоокупність проектів з підвищення енергоефективності та енергозбереження.

Класичні форми управління ефективністю використання енергії кінцевим споживачем за цими методами дозволяють вирішувати проблеми скорочення пікового попиту, заповнення провалів і переносу навантаження з пікових у позапікові зони, загальносистемного (стратегічного) зменшення або збільшення обсягів кінцевого споживання, як правило, шляхом заповнення провалів та застосовувати гнучкі форми зміни навантаження.

Блок-схему структурно-функціональної організації інтегрованого ресурсного планування для багаторівневої енерготехнологічної системи, що складається з *n* локальних підсистем управління із власними технологічними об'єктами і органами управління, цілями і методами управління, прямими і зворотними зв'язками, наведено на Рис. 1.3.1, де у систематизованій формі також представлені загальні властивості локальних і глобального методів інтегрованого ресурсного планування для такої системи [75].

Оскільки у загальному вигляді поняття “система” характеризується множиною елементів, зв'язками між ними та цілісним характером матеріального об'єкта, явища або процесу, що розглядаються, то система моделей інтегрованого ресурсного планування відповідно до структури базової енерготехнологічної системи також має формуватися як цілісне утворення, до складу якої входять цілісні об'єкти (в даному випадку локальні методи), поєднані ієрархічною системою зв'язків і цілей.

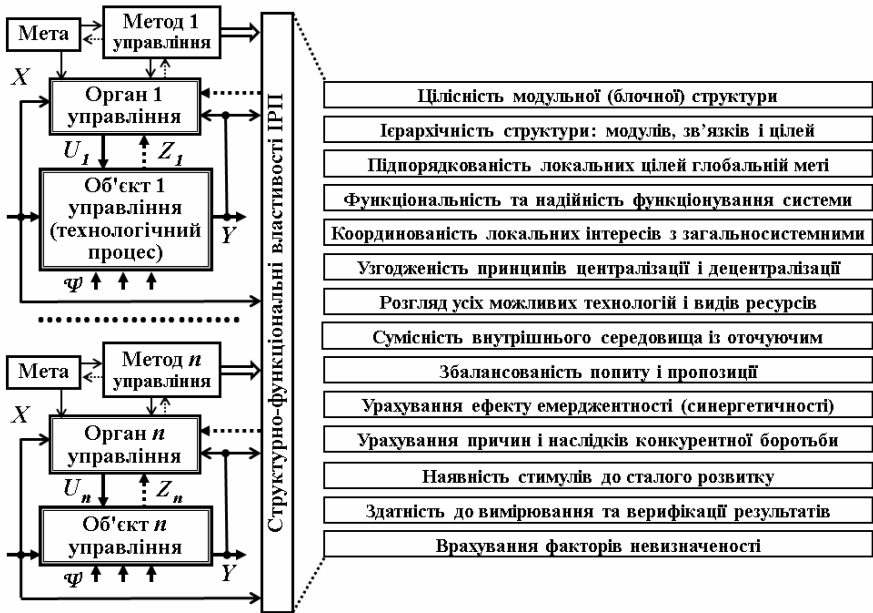


Рисунок 1.3.1. – Блок-схема структурно-функціональної організації системи ІРП

При цьому, функціонування та розвиток базової системи і її складових мають спрямовуватися на досягнення глобальної (загальносистемної) мети, з точки зору якої мають оцінюватися і всі зміни та удосконалення цієї системи, включаючи і методи управління нею. Надійність функціонування удосконаленої системи потрібно визначати, насамперед, безперебійністю виконання системних функцій, навіть при виході з ладу одного чи декількох елементів системи (підприємств, об'єктів), відхід з ринку одного чи декількох учасників тощо, створюючи умови для підвищення технічної та фінансово-економічної стійкості (платоспроможності тощо) учасників, що залишаються. Для цього, система має характеризуватися здатністю до удосконалення та сталого розвитку не тільки у короткостроковій, а й у довгостроковій перспективі, спираючись на розумний компроміс між централізацією і децентралізацією, оскільки централізована система є менш гнучкою і

неспроможною швидко реагувати і пристосовуватися до зміни зовнішніх умов.

Слід, також, враховувати, що функціонування сукупності взаємозв'язаних елементів системи може бути джерелом зародження якісно нових функціональних властивостей (емерджентність), якими не володіє ні один з окремих її елементів, інакше кажучи, враховувати та використовувати на практиці той факт, що системний ефект не зводиться до простої сукупності локальних ефектів, які генерують окремо функціонуючі елементи.

Це приводить до необхідності не тільки розрізняти серед різноманіття типів і видів взаємодії елементів зв'язки структурної побудови, функціонування, взаємодії, управління, координації, перетворення і розвитку тощо, а й приділяти особливу увагу специфічним системним ефектам, які виникають при застосуванні зв'язків, насамперед:

- синергетичному ефекту, який забезпечує зростання загальносистемного ефекту до більшого значення, ніж сума ефектів елементів (підсистем), які діють незалежно;
- ефекту рекурсивності, що встановлює відношення відмінності при повторних причинно-наслідкових впливах, та за яким причини припускають наслідок як внутрішню структурну можливість;
- ефекту циклічності, за яким функціонування або розвиток одного елемента (підсистеми) створює основу для функціонування та розвитку других і навпаки.

У процесі системного аналізу розв'язання певної проблеми, як правило, структурується за логічною послідовністю «проблеми – цілі – рішення» і складається з етапів формулювання та аналізу проблеми, ідентифікації призначення системи, встановлення функцій і структури системи, ідентифікації змінних і взаємозв'язків між ними, ідентифікації оточення (зовнішнього середовища) системи, формулювання глобальної мети системи і локальних цілей елементів, генерації та визначення альтернативних рішень,

оцінювання ресурсів, необхідних для досягнення цілей, встановлення критеріїв і оцінка ефективності варіантів, обґрунтування вибору прийнятної альтернативи, реалізації (впровадження) обраної альтернативи та верифікації (перевірки та встановлення достовірності) і моніторингу досягнутих результатів, корегування дій у разі необхідності.

Як наслідок, процес інтегрованого ресурсного планування за системним підходом має включати наступні етапи:

- Етап аналізу проблеми: визначення і формулювання проблеми, аналіз її логічної структури, аналіз розвитку проблеми в минулому і майбутньому, визначення зовнішніх зв'язків проблеми та обґрунтування принципової можливості її вирішення;
- Етап ідентифікації системи: специфікація завдання (формулювання завдання), визначення об'єкта дослідження, виокремлення елементів (визначення меж розчленування системи), визначення зовнішнього і внутрішнього середовища;
- Етап встановлення функцій і структури системи: визначення рівнів ієрархії, визначення підсистем і процесів, функцій управління і каналів інформації, встановлення зв'язків і функцій поточної діяльності і розвитку;
- Етап діагностування існуючої системи: моделювання технологічних та економічних процесів, оцінка потенційних і фактичних потужностей, виявлення недоліків виробництва і організації управління, формулювання заходів щодо їх усунення;
- Етап формулювання глобальної мети та критеріїв оптимальності функціонування системи: визначення цілей, вимог та обмежень оточуючого середовища (нормативно-правового, соціально-економічного тощо), обґрунтування глобальної мети та критеріїв оптимальності (ефективності, якості тощо) системи, їх декомпозиція за підсистемами, узгодження глобального і локального критеріїв;

- Етап виявлення потреби у ресурсах і процесах: оцінка сучасного стану та доступності ресурсів, аналіз реалізованих і запланованих проєктів, оцінка можливостей застосування новітніх технологій і потужностей, оцінка взаємодії з іншими системами;
- Етап прогнозування майбутніх умов: аналіз тенденцій розвитку системи та ресурсів майбутнього, прогноз розвитку і зміни середовища, передбачення появи нових факторів, прогнозування можливих змін цілей і критеріїв.
- Етап кількісної оцінки цілей і засобів: розрахунок комплексних (інтегральних) оцінок за визначеними критеріями, оцінка взаємозалежності та відносної важливості цілей, оцінка дефіцитності та вартості ресурсів, оцінка впливу зовнішнього середовища;
- Етап відбору варіантів: оцінка і порівняння варіантів, перевірка цілей на сумісність та повноту, обґрунтування заходів досягнення цілей;
- Етап розробки комплексної програми розвитку: визначення черговості цілей та заходів їх досягнення, розподіл сфер діяльності, компетенції та відповідальності;
- Етап розробки комплексного плану заходів з урахуванням обмежень за ресурсами і часом, розподіл заходів між відповідальними організаціями та виконавцями.
- Етап реалізації (впровадження) обраного рішення, верифікації (перевірки та встановлення достовірності) і моніторингу досягнутих результатів, корегування дій у разі необхідності.

### **1.3.3. Концептуальні основи діяльності ЕСКО у системі енергетичного менеджменту**

Енергосервісні компанії (ЕСКО) є однією з найефективніших і найпоширеніших у світі організаційних форм підвищення енергетичної ефективності національних економік, дієздатність якої доказана на практиці



як у розвинутих країнах, так і в країнах, що розвиваються [36-38, 50, 53, 76-78, 81-94].

Потужним імпульсом для розвитку ЕСКО стала світова енергетична криза кінця 1970-х років, коли ціни на енергоносії різко підскочили і життєво необхідним стало знаходження шляхів суттєвого скорочення обсягів споживання ПЕР шляхом підвищення ефективності їх використання. Результатом десятирічної праці багатьох дослідників було створення сучасної моделі ЕСКО, яка швидко доказала свою ефективність та дієздатність спочатку у розвинутих країнах світу, де все більше підприємців і компаній почали застосовувати цю модель розвитку.

Ідеологом та автором більшості концептуальних положень сучасної ЕСКО-моделі вважається Ширлі Хенсон (Shirley Hansen), а ідеологом її розповсюдження у Європі – Паоло Бертольдї (Paolo Bertoldi), перу яких належить більше десяти опублікованих монографій [36, 50, 76, 78, 84, 87].

ЕСКО першої хвилі являли собою незалежні дрібні компанії або ж невеличкі філіали при енергетичних компаніях, кількість яких спочатку зростала малими темпами, що пояснюється спадом світової економіки у 1970-1980-х роках. В міру зростання цін на ПЕР і появи нових енергоефективних технологій в промисловості і соціально-побутовій сфері, ЕСКО-проектів значно побільшало у 1990-х роках. Новим потужним імпульсом для розвитку енергосервісних послуг послужило дерегулювання енергетичних ринків і створення консолідованих з енергетичними компаніями ЕСКО.

Генеруючи компанії, які раніше являлися монополістами, тепер мали конкурувати за споживача. Це стимулювало їх використовувати енергосервісні послуги в якості потенційно нового напрямку підвищення ефективності ведення свого бізнесу не тільки на боці постачання (Supply Side Management), а й на боці споживання (Demand Side Management), що помітно сприяло зростанню кількості філіалів ЕСКО при енергетичних компаніях та розширенню ринка енергосервісних послуг. Однак вже на

початку другого тисячоліття, у зв'язку з корупційними скандалами і зговорами, більшість цих філіалів перетворилися у незалежні ЕСКО.

Створення перших енергосервісних компаній в Україні було започатковано за програмами технічної допомоги USAID у 1996 році (Hagler Bailly, PADCO), коли розпочали свою діяльність 10 малих приватних ЕСКО. Перша крупна ЕСКО (УкрЕСКО) була створена в 1998 році за кредитом ЄБРР та грантом технічної допомоги Європейського Союзу (програма TACIS). На сьогодні працюють близько 30 невеликих компаній (3-5 співробітників), що надають консультаційні та інформаційні послуги з підвищення енергоефективності, проводять енергетичні аудити та реалізують невеликі проекти з енергозбереження, головним чином у муніципальній сфері.

Такий стан речей не можна вважати задовільним. Основною перешкодою для розвитку ЕСКО в Україні є нерозвиненість законодавчої бази з енергозбереження, важкий доступ до фінансування, високі ставки по кредитах, спотвореність системи цін і тарифів, субсидування населення за рахунок промислових підприємств, відсутність стандартів якості, обмеженість доступу до передових технологій, нестача професійно-підготовлених кадрів, необізнаність керівництва і персоналу промислових підприємств з основними перевагами і недоліками ЕСКО-проектів тощо.

ЕСКО є комерційною організацією (компанією), що діє на підставі енергосервісного контракту (перфоманс-контракту) і надає широкий спектр комплексних енергетичних послуг, які охоплюють організаційні, техніко-економічні, фінансові та юридичні аспекти проектування, реалізації, моніторингу і верифікації досягнутих результатів від впровадження інноваційних проектів з розвитку енергетичної інфраструктури та енергозбереження на об'єктах промислового і соціально-побутового призначення Замовника (клієнта), базуючись на принципах енергетичного менеджменту, аутсорсингу, перфоманс-контрактингу, проектного фінансування та управління ризиками тощо шляхом використання власних

внутрішніх і залучених зовнішніх джерел і ресурсів, у тому числі фінансових, юридичних, матеріально-технічних, енергетичних і трудових.

ЕСКО виявляє та оцінює можливості реалізації заходів з підвищення енергоефективності та енергозбереження на об'єктах Замовника, розробляє пакет попередніх бізнес-пропозицій та рекомендує Замовнику для впровадження те з них, які є самоокупними. Інакше кажучи, ЕСКО гарантує, що досягнута внаслідок реалізації кожного з запропонованих бізнес-проектів економія паливно-енергетичних та інших обумовлених матеріально-технічних ресурсів буде відповідати або перевищувати виплати для покриття всіх витрат по проекту за період його окупності. Якщо ж економія не матеріалізується, різниця буде компенсована за рахунок ЕСКО. При цьому, з метою запобігання подібної ситуації, ЕСКО на самому початку проекту пропонує навчання персоналу і програму матеріально-технічного обслуговування.

В якості ефективних ЕСКО, окрім визначених енергосервісних компаній у світовій практиці часто виступають виробники енергоефективного обладнання, енергопостачальні організації, спеціалізовані інжинірингові та енергоексплуатаційні компанії. Однак послуги енергосервісних компаній ЕСКО принципово відрізняються від послуг традиційних енергосервісних постачальних компаній (Energy Service Provider Companies), які оплачуються за фіксованим тарифом або у вигляді надбавки до ціни на момент постачання обладнання та/або енергії, і де питання підвищення ефективності використання обладнання та наданих послуг взагалі не розглядаються. Останні не несуть ризиків подальшої експлуатації обладнання та кінцевого використання енергії, оскільки їх винагорода виплачується на момент надання послуги, а не за результатами використання. За такими признаками, енергосервісні перформанс-контракти, за якими працюють ЕСКО, також слід відрізнити від форми договорів на постачання обладнання та/або енергії (Delivery Contracting, Supply Contracting, Energy Supply Contracting, etc.), які

надають енергетичні послуги через аутсорсинг енергопостачання, але ж без гарантування кінцевих результатів з енергозбереження.

Під аутсорсингом у широкому значенні цього поняття розуміють закупівлю у зовнішнього постачальника чи виробника товарів і послуг гарантованої якості, які раніше вироблялися (надавалися) за рахунок внутрішніх сил компанії замовника [79, 96]. Переваги аутсорсингу в плані зниження загальних витрат замовника головним чином виявляються при системному використанні ефектів масштабу, спеціалізації та децентралізації, а основні недоліки полягають у можливому зростанні витрат компанії замовника на утримання інфраструктури постачальника аутсорсингових послуг та можливість його банкрутства.

Під аутсорсингом у сфері енергосервісних послуг (Energy Service Outsourcing, Outside-Resource-Using) будемо розуміти передачу організацією-замовником на підставі енергосервісного перформанс-контракту певних бізнес-процедур або виробничих функцій на обслуговування енергосервісній компанії, що спеціалізується у відповідній області. Енергетичний аутсорсинг дозволяє компанії замовника скоротити витрати на експлуатацію своїх енергоємних систем, знизити трудомісткість і спрямувати зусилля на основні виробничі процеси.

На аутсорсинг ЕСКО зазвичай передаються складні бізнес-процедури і виробничі функції по забезпеченню енергоефективного та надійного функціонування окремих енергетичних підсистем та інженерної інфраструктури на об'єктах замовника з метою концентрації його вивільнених організаційних, фінансових, матеріально-технічних та трудових ресурсів на розвитку нових та/або на поглибленні (розширенні тощо) існуючих напрямків діяльності, які вимагають підвищеної уваги. При цьому, наявність бізнес-процесу, пов'язаного з фінансуванням та розподіленням ризиків протягом терміну окупності запропонованих рішень, є невід'ємною рисою аутсорсинга ЕСКО у сфері енергосервісних послуг (енергетичного аутсорсинга).

Складність обслуговування енергетичних об'єктів Замовника, що передаються на аутсорсинг ЕСКО, потребує професійного володіння сучасними методами і інструментами проведення енергетичного аудиту та енергетичного менеджменту, глибокого знання виробничого процесу, режимів роботи основного та допоміжного енергетичного і технологічного обладнання, практичних навиків ефективної співпраці з керівним та обслуговуючим персоналом замовника при проведенні багаточисленних вимірювань, втручаннях у виробничий процес та формуванні системи енергетичного менеджменту для підтримки процедур прийняття спільних рішень.

ЕСКО, спираючись на широкий спектр економічно ефективних бізнес-проектів, спрямованих на підвищення енергоефективності та енергозбереження, пропонує замовнику повний набір комплексних енергосервісних послуг, які охоплюють:

- виявлення та оцінювання енергозберігаючих можливостей;
- управління проектом від проектування до монтажу, введення в експлуатацію та енергоефективного функціонування встановленого обладнання;
- розроблення схем та організацію фінансування бізнес-проектів в галузі енергоефективності та енергозбереження;
- вимірювання, моніторинг та перевірку (верифікацію) досягнутих за проектом заощаджень;
- управління ризиками, яке забезпечує гарантовані за проектом обсяги збереження (економії тощо);
- тренінг та навчання персоналу.

При цьому слід підкреслити, що ЕСКО серед інших несе ризики підвищення процентної ставки за кредитами та ризики підвищення вартості ПЕР і комунальних послуг за період окупності проектів, узгоджених з замовником в початкових угодах.

Енергетичний перфоманс-контрактинг (Energy Performance Contracting) є основною формою надання ЕСКО комплексних послуг «під ключ», за якими клієнтам (Замовнику) пропонується повний набір заходів (проектів) з підвищення енергоефективності та енергозбереження, результати запровадження яких перевіряються і контролюються протягом усього терміну дії договору та які забезпечуються гарантіями того, що економія, досягнута внаслідок запровадження цих заходів (проектів), буде достатньою для покриття повної вартості проектів (можливо також – для забезпечення узгодженого рівня підвищення енергоефективності чи інших погоджених критеріїв енергетичної ефективності, таких як економія коштів [53]). Така форма контрактингу, безумовно, є самою складною для ЕСКО і самою затратною для Замовника. В арсеналі ЕСКО, зазвичай, є декілька різних форм надання гарантій, і найпростіша – це гарантія, що надається виробниками устаткування та підкріплюється актом генерування заощаджень, досягнутих протягом періоду випробувань.

Інші назви перфоманс-контрактингу, що найбільш часто зустрічаються в публікаціях зарубіжних дослідників виглядають як: Energy Savings Performance Contracting (US), Chauffage (France), Contract Energy Management (UK), Energy Services Contracting (UK), Third Party Financing (Austria, Germany), Facility Contracting (Germany), First-in – First-out (Canada).

Ще одна невід’ємна складова перфоманс-контрактингу, визначена як «комплексна послуга під ключ» означатиме, що ЕСКО буде запроваджено повний комплекс заходів, необхідних для розроблення і реалізації обумовлених енергосервісним перфоманс-контрактом проектів з енергоефективності та енергозбереження, від початкового енергетичного аудиту до моніторингу та верифікації досягнутої економії за період окупності кожного з проектів.

Комплексність енергосервісної послуги означатиме, що ЕСКО буде розглядати доцільність використання різних типів і видів енерготехнологічного обладнання та ПЕР, включаючи місцеві, вторинні,

нетрадиційні та відновлювані ресурси, а також заходи щодо збереження інших природних ресурсів, які застосовуються у технологічному процесі та спрямовані на захист оточуючого середовища.

Інша, означена вище функція проектного фінансування (Project Finance), за своїм основним призначенням застосовується при фінансуванні середньо- та довгострокових інвестиційних зобов'язань, джерелом погашення яких слугують грошові потоки, які генеруються самим проектом, і де розподілення витрат і доходів між його учасниками здійснюється з урахуванням прийнятих на себе ризиків [97].

Учасниками проектного фінансування енергосервісних послуг є як мінімум: (1) ЕСКО, яка відповідає за розроблення і реалізацію проекту та зазвичай не має достатніх фінансової історії та майна для застави і тому не в змозі приймати на себе повну відповідальність і ризики за інвестований капітал; (2) Інвестор, який вкладає власні позикові або інші залучені кошти у капітал ЕСКО; (3) Кредитор, що надає позику і має право на цій основі вимагати від ЕСКО її повернення; (4) Замовник, який часто сам виступає учасником проектного фінансування, враховуючи той факт, що частка позикового капіталу в фінансуванні енергосервісних проектів зазвичай достатньо висока (складає до 70-80% всіх капітальних витрат проекту), і це потребує пошуку альтернативних шляхів залучення і захисту вкладених капіталів та зменшення їх вартості, оскільки у кінцевому результаті за все про все доводиться платити Замовнику. Досвід показує, що майже всі біль-менш крупні проекти ЕСКО фінансуються за рахунок сторонніх фінансових установ – банків та інших фінансових інститутів (так зване фінансування третьою стороною, Third-Party Financing).

Підсумовуючи вищесказане можна констатувати, що розподілення фінансування енергосервісних проектів та його ризиків між учасниками є складним процесом, який у міжнародній практиці регулюється цілісним пакетом меморандумів, перформанс-контрактів (договорів) і угод, іншими механізмами, серед яких найпоширенішими є наступні:

- Договір гарантування економії (Guaranteed Savings), за яким ЕСКО має гарантовано забезпечити обумовлений контрактом обсяг економії ПЕР при заданих параметрах виробничих процесів і режимах роботи енерготехнологічного обладнання Замовника.

- Договір енергопідряду (Chauffage), за яким ЕСКО бере на себе експлуатацію та технічне обслуговування енергетичного обладнання Замовника та продає йому потрібні види вихідної енергії (наприклад, пару) за узгодженою ціною на довгостроковий період.

- Договір розрахункової економії (Accounted Savings), де ЕСКО забезпечує економію ПЕР, розмір якої розраховується по відношенню до деякого базового рівня споживання за обумовлений контрактом період (наприклад, за рік або опалювальний сезон).

- Договір розподілення доходів від економії (Shared Savings), за яким передбачається щорічний (квартальний, за опалювальний сезон тощо) розрахунок досягнутої економії та розподіл отриманої вигоди від реалізації проекту між ЕСКО і Замовником в заздалегідь заданій пропорції.

- Договір першочергових виплат (First Pay-Out), в рамках якого ЕСКО отримує 100% економії до моменту повного погашення своєї частки фінансових зобов'язань за проектом.

- Договір звільненої від податків оренди (Tax-Exempt Lease Purchase), який також називають договором муніципальної оренди, оскільки він доступний тільки для неприбуткових організацій і оформлюється зобов'язаннями, за якими орендар (Замовник), має виплачувати орендодавцю (ЕСКО) за використання наданого активу його повну вартість, що амортизується протягом терміну оренди. Це дозволяє Замовнику здійснювати фінансування проектів без віднесення витрат на свій баланс, і при цьому ще економити за рахунок орендної ставки, яка зазвичай нижча за ставки по кредитах.

- Договір наскрізного енергоефективного підряду (Build-Own-Operate-Transfer), який включає в себе організацію наскрізної схеми проектування,



будівництва, фінансування, експлуатації певний період часу і передачі прав власності на об'єкт Замовнику.

- Головний договір оренди (Master Leases), за яким Замовник, що приймає участь у державних або муніципальних лізингових програмах і фондах (State or Local Government Leasing Pools), орендує саме ті активи з переліку запропонованих, які йому потрібні в даний момент, але згодом може орендувати інші активи через ці фонди без укладання додаткового договору, що дозволяє за рахунок ефекту масштабу знизити витрати на фінансування, приймаючи участь у великих програмах.

- Державні чи муніципальні облігації (State or Municipal Government Bonds), які пропонують нижчі, ніж навіть орендні, процентні ставки.

- Револьверні кредитні фонди (Revolving Loan Pools), які пропонують субсидовані державою процентні ставки.

- Договір закупівлі енергії і потужності (Energy and Power Purchase), за яким Замовник зобов'язується закуповувати обумовлені договором обсяги енергетичних продуктів, постачання (чи виробництво) яких має забезпечувати ЕСКО.

Слід відмітити, що найбільш поширеними в США є договори розподілення доходів від економії та гарантування економії, а в Європі, – договір енергопідряду.

Використання розглянутих типів енергосервісних перформанс-контрактів (договорів) і ЕСКО-механізмів на практиці дозволяє:

- застосовувати прозорі та дієздатні стимули, які гарантовано забезпечують високу якість закупленого за тендерними процедурами обладнання, своєчасне введення його в експлуатацію та належне обслуговування;

- забезпечувати підвищення енергетичної ефективності обладнання та інженерної інфраструктури без початкових витрат капіталу з боку Замовника, підвищувати на цій основі якість та споживчу вартість продуктів і товарів, які виробляє Замовник, покращити умови праці та підвищити рівень її безпеки;

- покращити систему планування і бюджетування витрат Замовника на паливно-енергетичні ресурси, систему ведення та обслуговування рахунків, що пом'якшує вразливість його бюджету до кризових явищ в економіці країни, змін у законодавстві, волатильністю ринкових цін на енергоносії тощо.

- проводити професійну експертизу та забезпечувати цілеспрямовану техніко-економічну підтримку інноваційних рішень у галузі енергоефективності, відновлюваних джерел енергії, збереження водних ресурсів та скорочення викидів тощо, залучаючи до роботи висококваліфікованих науковців, юридичних, фінансових і технічних спеціалістів, а також використовуючи навчальні центри для підвищення професійної підготовки працівників Замовника;

- запровадити систему енергетичного менеджменту на підприємстві.

У той же час, за наявності безперечних переваг енергосервісні перформанс-контракти несуть і певні ризики, особливо, при реалізації середньо - та довгострокових проєктів. До явних ризиків і перешкод відносять прорахунки в оцінюванні платоспроможності Замовника і в прогнозах розрахунках обсягів потенційної економії з урахуванням можливих змін ринкової кон'юнктури, зростання цін і тарифів, виходу з ладу обладнання, некоректної експлуатації обладнання і т. і.

Узагальнюючи вищесказане, можна констатувати, що розглянуті системні властивості ЕСКО-підходу, а саме – проєктне пакетування послуг, організація фінансування та забезпечення довгострокових перформанс-гарантій тощо, дозволяють енергосервісним компаніям займати лідируюче положення в розвинутих країнах світу у вирішенні стратегічних завдань сталого розвитку їх національних економік методами та засобами підвищення енергоефективності та енергозбереження.

При цьому, проєктне пакетування забезпечує зменшення адміністративних витрат та прискорює впровадження соціально значимих і нерентабельних проєктів завдяки їх наскрізному плануванню в пакеті бізнес-

проектів з різними періодами окупності та прибутковістю. Перфоманс-контрактинг стимулює ЕСКО до гарантованого досягнення економії та забезпечення рентабельності своїх проектів, а фінансова відповідальність за повернення залучених за проектами інвестицій – до високої якості та ефективності пропонувананих рішень на всіх етапах розроблення і впровадження проектів та експлуатації встановленого обладнання протягом періоду окупності.

При цьому важливим є те, що ЕСКО виконують навіть ці проекти з енергозбереження, від яких сам Замовник відмовився б у зв'язку з обмеженою кількістю власного капіталу та високими обліковими ставками запозиченого, які у той же час є значно нижчими в ЕСКО-проектах завдяки прийнятним комплексним рішенням з оцінювання ризиків та заходам по їх розподіленню та послабленню.

Застосування ЕСКО-підходу забезпечує і загальносистемні стимули розвитку економіки країни у цілому, підвищуючи її енергоефективність та сприяючи залученню на ринок енергосервісних послуг нових фінансових посередників, виробників енергоефективного обладнання та постачальників ПЕР.

Окремо слід відзначити високу продуктивність ЕСКО-підходу у виконанні проектів з підвищення енергоефективності та енергозбереження у ЖКГ (муніципальних проектів, бюджетній сфері та для населення), де завдяки залученого бюджетного фінансування та ефекту масштабу на рівні окремої адміністративно-територіальної одиниці вдається досягати набагато кращих результатів в порівнянні з іншими можливими підходами до реалізації такого роду проектів.

#### **1.3.4. Особливості функціонування муніципальної системи енергетичного менеджменту в бюджетних установах**

Бюджетна сфера є однією з основних сфер діяльності енергосервісних компаній (ЕСКО) як у розвинутих країнах, так і в країнах, що розвиваються [36, 37, 38, 76, 77, 81, 83, 84, 85-87, 91, 93].

Однак для бюджетних установ в Україні через вкрай зношені основні фонди і недостатнє фінансування заходів з їх оновлення, недосконалу систему державного регулювання і відсутність дієвих техніко-економічних механізмів стимулювання енергозбереження, нестачу практичного досвіду розробки та й запровадження інвестиційних проектів, потенціал енергозбереження залишається невикористаним, що призводить до відсутності гарячої води, недостатнього опалення, обмеженого освітлення і все це при значних бюджетних витратах, які приходиться кидати “на вітер” (опалювати повітря) замість того, щоб використовувати корисно для покращення ситуації.

Однак проблема полягає не тільки у вкрай зношених основних фондах і недостатньому фінансуванні бюджетних установ, а й у відсутності нормативної бази та стимулів до підвищення енергоефективності та енергозбереження, коли:

- Існуючі механізми залучення й розподілу бюджетних коштів на капітальні видатки та оплату енергоносіїв і комунальних послуг практично не враховують економічну доцільність і самоокупність заходів з енергоефективності та енергозбереження;
- Система управління й контролю за ефективністю розподілу й використання бюджетних коштів є монополізованою і непрозорою на всіх рівнях управління;
- Залучення в енергоефективність та енергозбереження інвестицій блокується існуючою законодавчо-нормативною базою, де відсутні робочі механізми повернення капітальних інвестицій, що були залучені;
- Бюджетна установа не має ні економічних, ні матеріальних стимулів до впровадження енергозберігаючих заходів, оскільки це неминуче приведе до додаткових капітальних видатків на розрахунки з підрядниками

та інвесторами в умовах скорочення лімітів на оплату енергоносіїв і комунальних послуг.

Для подолання цих негараздів потрібно впроваджувати ринкові механізми економічного стимулювання енергозбереження шляхом створення муніципальної системи енергетичного менеджменту, яка дозволить комплексно вирішувати сукупність питань і, у першу чергу:

1. Належну розробку та запровадження енергозберігаючих заходів, що є економічно доцільними для бюджетів усіх рівнів;
2. Створення умов для забезпечення гарантованого досягнення запланованих обсягів економії енергоносіїв і комунальних послуг та коштів на їх споживання;
3. Забезпечення умов стабільного фінансування енергозберігаючих заходів та повернення коштів, що були запозичені;
4. Створення умов для матеріального стимулювання зацікавленості колективів та працівників бюджетних установ в запровадженні енергозберігаючих заходів.

Як наслідок, впровадження ринкових механізмів економічного стимулювання енергозбереження дозволить:

- Підвищити ефективність використання енергоносіїв та комунальних послуг в бюджетних установах;
- Скоротити розміри їх бюджетного фінансування;
- Створити умови для залучення інвесторів до реалізації проектів з енергоефективності та енергозбереження;
- Забезпечити матеріальну зацікавленість колективів і окремих працівників бюджетних установ в досягненні економії спожитих обсягів енергоносіїв та комунальних послуг.

Для подолання існуючих перешкод, окрім ініціатив з боку держави, потрібно залучення і суттєві зусилля місцевої влади та й самих бюджетних установ на всіх стадіях розробки та впровадження муніципальної системи енергетичного менеджменту, що на жаль ще не набуло широкого

розповсюдження в Україні.

Економічні механізми стимулювання заходів з енергоефективності та енергозбереження, що пропонуються до затвердження рішенням сесії міської ради, забезпечують підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та енергозбереження в бюджетній сфері [34, 35, 45]:

(1) Шляхом координації зусиль міської влади, керівників бюджетних установ та комунальних підприємств із запровадження спеціалізованої муніципальної системи енергоменеджменту; (2) Залучення на зворотній основі бюджетів міста та держави до фінансування самоокупних проектів з енергозбереження; (3) Стимулювання сектору енергосервісних компаній, які виконують самоокупні проекти з енергозбереження “під ключ”.

Досягнення запланованих результатів має здійснюватися шляхом проведення організаційно-методичних та нормативно-технічних заходів, що є заохочувальними до ефективного використання енергоносіїв і комунальних послуг та економії коштів на їх закупівлю, тобто є економічно привабливими для держави, міста, інвесторів, бюджетних установ та комунальних підприємств.

Запровадження муніципальної системи енергоменеджменту потребує виконання наступних етапів та завдань:

I. Оволодіння керівниками міськвиконкомів, бюджетних установ та комунальних підприємств сучасними методами і прийомами ефективного управління використанням енергоносіїв і комунальних послуг;

II. Адаптації до місцевих умов нормативно-технічної та методичної бази економічного стимулювання енергоефективності та енергозбереження з подальшим затвердженням розроблених положень рішенням сесії міської ради;

III. Проведення у місті організаційно-методичних заходів з економічного стимулювання енергозбереження;

IV. Створення муніципального фонду економічного стимулювання енергоефективності та енергозбереження в бюджетній сфері та/або створення

муніципальної енергосервісної компанії (за рішенням виконавчого комітету міської ради), яка відповідає за діяльність з підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та енергозбереження в бюджетній сфері міста;

V. Запровадження в бюджетних установах та на комунальних підприємствах міста спеціального економічного порядку фінансування та виконання проектів з енергоефективності та енергозбереження.

Джерелами, що планується залучати для фінансування енергозберігаючих проектів, у першу чергу є:

- власні кошти, трудові та матеріальні ресурси бюджетних установ та міських комунальних підприємств;
- фінансування “на умовах повернення” та цільове фінансування з державного, обласного та міського бюджетів;
- інвестиційні кошти та матеріальні ресурси енергосервісних компаній;
- кошти заохочувального регулювання з боку постачальників паливно-енергетичних ресурсів;
- заохочувальні комерційні кредити виробників та постачальників обладнання і матеріалів;
- інвестиції та спонсорські фонди технічної допомоги;
- консолідовані кошти промислових і комерційних підприємств;
- кредити комерційних банків.

Процедура фінансування проектів з енергоефективності та енергозбереження, що пропонується, працює наступним чином:

- Бюджетна установа розробляє попередній економічно обґрунтований план стратегічного розвитку, де визначає конкретні проекти з енергоефективності та енергозбереження, терміни їх впровадження та обсяги фінансування кожної із потенційно залучених сторін;

- Місто затверджує розроблений план та надає установі кошти “на умовах повернення” для впровадження конкретних проектів з підвищення енергоефективності та енергозбереження;
- Бюджетна установа залучає до виконання проекту головного виконавця – ЕСКО та інших інвесторів;
- ЕСКО гарантує всі умови та технічні параметри, які необхідні для забезпечення якості та кількості заощадженої енергії, що забезпечують прибутковість проекту у цілому;
- Бюджетна установа домовляється з ЕСКО та іншими інвесторами про умови і терміни виконання проекту « під ключ»;
- ЕСКО забезпечує економію коштів міського бюджету протягом терміну окупності проектів (декількох років) внаслідок скорочення споживання енергоносіїв і комунальних послуг.

Зведену структурну схему означених процедур представлено на Рис.1.3.2.



Рисунок 1.3.2 - Зведена структурна схема процедури та джерел фінансування проектів з енергоефективності та енергозбереження



Основні етапи становлення і подальшого розвитку муніципальної системи енергетичного менеджменту, що відображені на Рис.1.3.3.

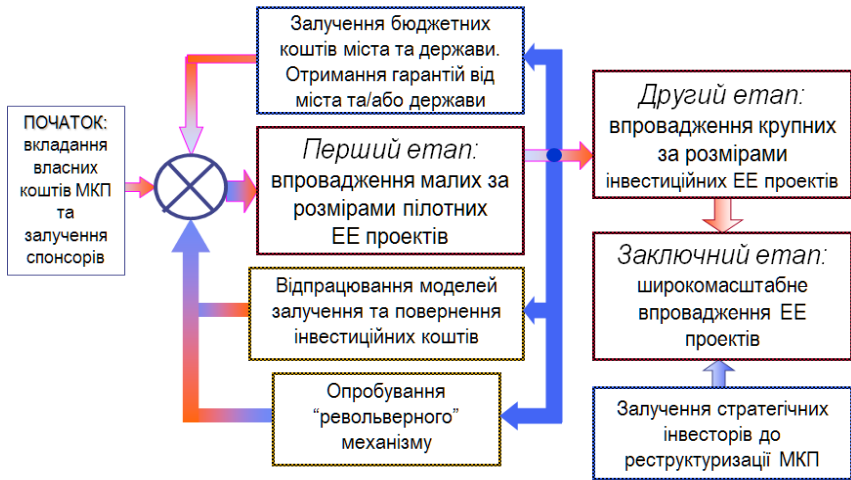


Рисунок 1.3.3 - Основні етапи розвитку діяльності муніципальної системи енергетичного менеджменту

Ці етапи охоплюють початковий етап вкладання власних коштів місцевих комунальних підприємств (МКП), етапи залучення коштів, впровадження малих за розмірами пілотних проектів з енергоефективності та енергозбереження, відпрацювання моделей залучення та повернення інвестиційних коштів, опробування «револьверного» механізму вкладання зекономлених ресурсів у нові проекти та заключні етапи широкомасштабного впровадження проектів та залучення стратегічних інвесторів.

Основні етапи виконання та виконавці енергозберігаючих проектів представлені на Рис.3.4.

Важливим з самого початку становлення муніципальної системи енергетичного менеджменту, відокремлювати соціальні та комерційні аспекти ведення бізнесу та залучення стратегічних інвесторів до фінансування енергозберігаючих проектів, пов'язаних з соціальною значимістю послуг у сфері ЖКГ.

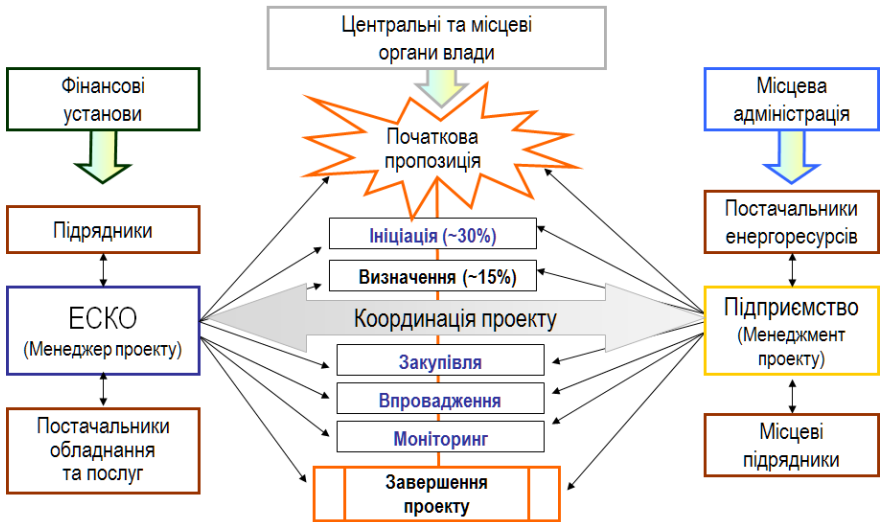


Рисунок 3.4 - Етапи виконання та виконавці енергозберігаючих проектів

Практичний досвід виконання енергозберігаючих проектів показує, що з точки зору економії часу та грошей на етапах ініціації буде достатнім забезпечувати розрахунки параметрів проектів з похибкою на рівні 30%.

Роль ЕСКО полягає у виконанні енергозберігаючих проектів на принципах самокупності. Під самокупними проектами (СЕР) будемо розуміти проекти, що:

- реалізуються при існуючих умовах фінансового і технічного стану бюджетних установ, в умовах існуючих нормативно-правової бази, системи бухгалтерської звітності та обліку;
- базуються на самокупній та “револьверній” основах, тобто вкладені в СЕР кошти повертаються до установи та в подальшому використовуються на впровадження нових СЕР та повернення інвесторам;

- є прибутковими для всіх учасників та демонструють переваги їх запровадження серед інших можливих шляхів підвищення ефективності використання бюджетних коштів;

- є прозорими і доступними для контролю.

Самоокупні енергозберігаючі проекти в процесі реалізації проходять декілька стадій розвитку, а саме: стадію стратегічного планування, попереднього аналізу та ініціації, стадію залучення ЕСКО на конкурсних засадах до виконання СЕП “під ключ”, стадію інвестиційного енергетичного обстеження та детального аналізу СЕП, укладання пакету договорів між містом, бюджетною установою та ЕСКО, стадію закупівлі товарів та послуг на конкурсних засадах, стадію впровадження СЕП “під ключ” і передачі прав власності, стадію запровадження системи моніторингу, вимірювання та верифікації досягнутої економії енергоносіїв і комунальних послуг та коштів на їх споживання.

Деталізована структурна схема механізм фінансування самоокупних енергозберігаючих проектів з залученням ЕСКО представлена на Рис.1.3.5.

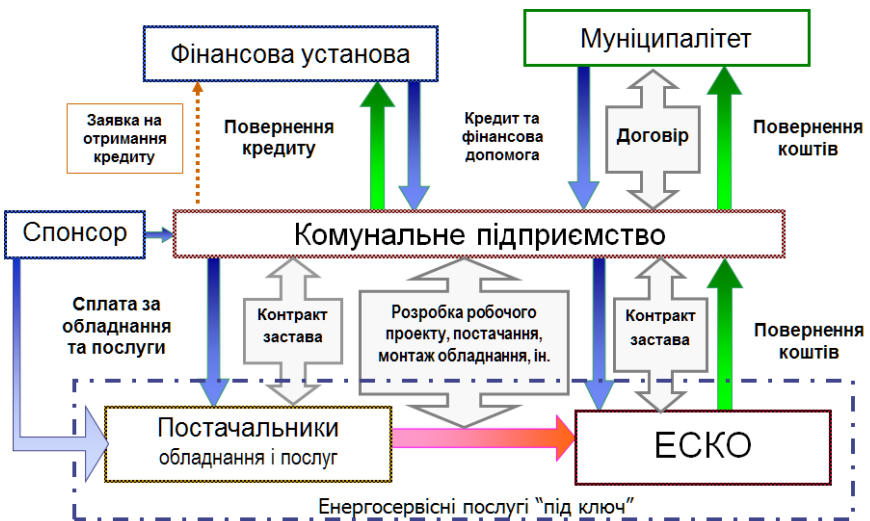


Рисунок 1.3.5 - Механізм фінансування самоокупних проектів з залученням ЕСКО

Реалізація розглянутих механізмів впровадження енергозберігаючих проєктів потребує вільних грошей, яких на сьогодні не мають ні центральні і місцеві органи влади, ні бюджетні установи. Потрібно їх залучати зі сторони. Держава постійно закликає до цього, але нічого не говорить про джерела та механізми повернення залучених коштів. І це є ризик для міської влади і бюджетних установ починати проєкти поперед створення та відпрацювання механізмів їх повернення.

Дієвий ефективний механізм вирішення цієї проблеми закладений в самому енергозбереженні, – потрібно лише створити умови бюджетним установам для використання коштів, які отримані внаслідок досягнутої від реалізації енергозберігаючих проєктів економії енергоносіїв і комунальних послуг, на повернення інвестицій та на реалізацію нових енергозберігаючих заходів. Тобто, гроші, які установи сьогодні марно витрачають на закупівлю, а потім на неефективне використання енергоносіїв і комунальних послуг, пропонується вкладати в енергозберігаючі заходи, які приносять прибуток.

Зробити це сьогодні в Україні дуже не просто. Необхідні політична воля, адміністративна рішучість та координованість дій державних і місцевих органів влади і керівного складу бюджетних установ брати на себе ризики. І робити це потрібно сьогодні, бо ситуація з неефективним використанням енергоносіїв і комунальних послуг в бюджетній сфері вже близька до критичної.

Розвинуті країни світу опинилися в аналогічній ситуації з нераціональним використанням енергетичних ресурсів в 70-х роках минулого століття і вишли з неї шляхом енергозбереження, так що практичний досвід економічного вирішення проблеми вже мається. Але ж Україні потрібно поспішати.

Для цього потрібно створити нормативно-правову базу, яка визначає потенціал енергозбереження в якості товару. Інакше кажучи, потрібно створити умови для використання коштів, що вивільняються внаслідок підвищення ефективності споживання енергоносіїв і комунальних послуг, на

повернення інвестицій та кредитів, реалізацію нових енергозберігаючих заходів та матеріальне стимулювання колективів і окремих працівників.

Досягнення цієї мети потребує вирішення на практиці наступних завдань:

- Визначення “ціни” та потенційних обсягів виробництва “товару”, що пропонується використовувати для залучення інвесторів;
- Врахування товару (тобто обсягів досягнутої економії енергоносіїв і комунальних послуг та коштів на їх споживання), виробленого внаслідок запровадження енергозберігаючих заходів, в системі бухгалтерського обліку та фінансової звітності бюджетних установ;
- Перерахування коштів, що вивільнено внаслідок зменшення обсягів споживання енергоносіїв і комунальних послуг, з поточного рахунку на спеціальний рахунок для цільового використання на повернення інвесторам, в бюджет держави, міста та на реалізацію нових енергозберігаючих заходів;
- Врахування додаткових обсягів робіт, пов’язаних з монтажем, ремонтом та обслуговуванням сучасного енергозберігаючого обладнання, та запровадження системи матеріального стимулювання колективів і окремих працівників, які забезпечують економію енергоносіїв і комунальних послуг протягом терміну реалізації енергозберігаючих заходів.

Успішна реалізація самоокупних енергозберігаючих проектів в рамках договору енергоефективного підряду чи лізингу потребує створення відповідної системи енергоменеджменту, що охоплює бюджетні установи та комунальні підприємства на рівні міста та включає до себе організаційні, фінансові, економічні, технологічні, інформаційні, соціальні та екологічні компоненти впровадження СЕП.

Муніципальний рівень системи енергетичного менеджменту утворюється Спостережною радою міста з енергоменеджменту, яка являє собою консультативно-дорадчий орган при виконавчому комітеті міської ради, який координує діяльність всіх інших учасників системи у сфері

енергозбереження. До складу останніх звичайно входять:

- Фінансове управління міськвиконкому (чи управління ЖКГ), яке виконує функції розпорядника коштів міського бюджету на виконання енергозберігаючих заходів;

- Муніципальна ЕСКО (Муніципальний фонд з енергоефективності та енергозбереження та/або Накопичувальний рахунок при органі міської влади, за подальшим рішенням виконавчого комітету міської ради);

- Наглядіві ради відділень фонду на міських комунальних підприємствах (МКП) та в бюджетних установах (БУС);

- Залучені інвестори, постачальники енергоефективного обладнання, товарів, послуг тощо.

Процедура створення муніципальної системи економічного стимулювання СЕЗ наведена на Рис.1.3.6.



Рисунок 1.3.6 - Процедура створення муніципальної системи енергоменеджменту

Організаційна робота починається на рівні місцевої влади з формування ініціативної групи (комісії) з доопрацювання “Положення про муніципальну систему економічного стимулювання енергозбереження в бюджетних установах міста”, до якої окрім заступників міського голови,

входять начальники управлінь економіки, фінансів і ЖКГ та директори ряду бюджетних установ міста.

Алгоритм управління організаційно-інформаційними і фінансовими потоками, наведено на Рис.1.3.7.

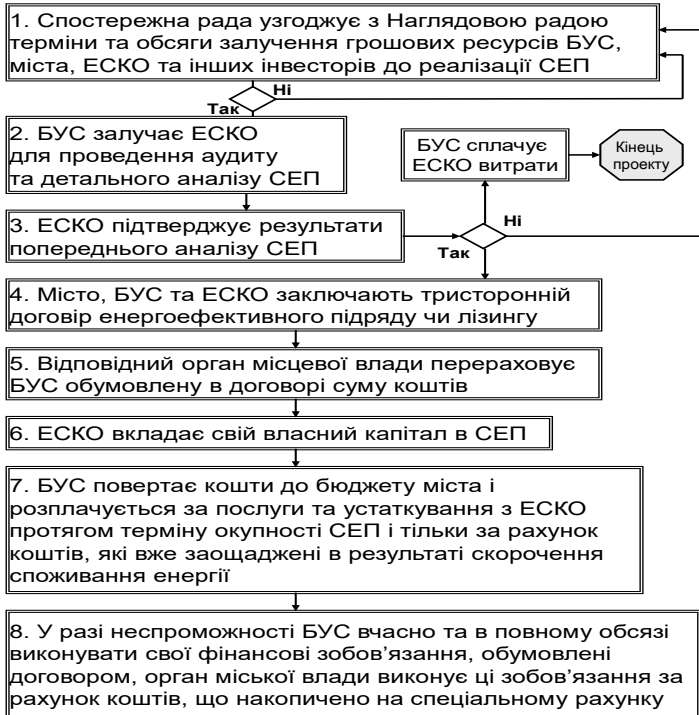


Рисунок 1.3.7 - Алгоритм управління організаційно-інформаційними і фінансовими потоками у муніципальній системі енергоменеджменту

Кінцевий варіант положення потребує затвердження сесією міської ради. Уся подальша робота ведеться за рішеннями виконавчого комітету міської ради. Робота по створенню муніципальної системи вважається успішно виконаною, коли економія енергоносіїв і комунальних послуг відображується окремим рядком в системі бухгалтерського обліку та фінансової звітності бюджетної установи.



Регулювання потоків капіталу і інформації здійснюється Спостережною радою міста з енергоменеджменту за погодженням з виконавчим комітетом міської ради між кожною бюджетною установою, муніципальним фондом з енергоефективності та енергозбереження та його відділеннями в бюджетних установах та на комунальних підприємствах, міським бюджетом (відповідальним органом місцевої влади), ЕСКО, інвесторами і фондами технічної допомоги.

Робота починається з узгодження термінів та обсягів залучення грошових ресурсів до реалізації СЕП та закінчується поверненням залучених коштів ЕСКО, іншим інвесторам та кредиторам.

Ключову роль у підвищенні ефективності управління фінансовими потоками грають відносини між Спостережною радою міста з енергоменеджменту, бюджетними установами та ЕСКО, що закріплені договорами енергоефективного підряду чи лізингу.

Становлення цих відносин доцільно проводити за добровільною згодою учасників, поступово та за декілька стадій.

Створення власної муніципальної енергосервісної компанії є вирішальним кроком, який дозволяє місту комплексно вирішувати питання підвищення ефективності використання енергоносіїв і комунальних послуг в бюджетних установах за рахунок підвищення ефективності використання власних коштів та залучення інвестицій до фінансування самоокупних проектів з енергозбереження.

Структурно-організаційну схему муніципальної системи енергоменеджменту, де центральне місце займає комунальне підприємство “Муніципальна енергосервісна компанія” (МЕСКО), наведено на Рис.1.3.8.

У цій схемі Муніципальний фонд енергоефективності та енергозбереження (МФЕ) утворюється при МЕСКО, а його відділення відкриваються при бюджетних установах та залучених комунальних підприємствах.

В узагальненому вигляді, на першому етапі свого становлення МЕСКО є комунальним підприємством.

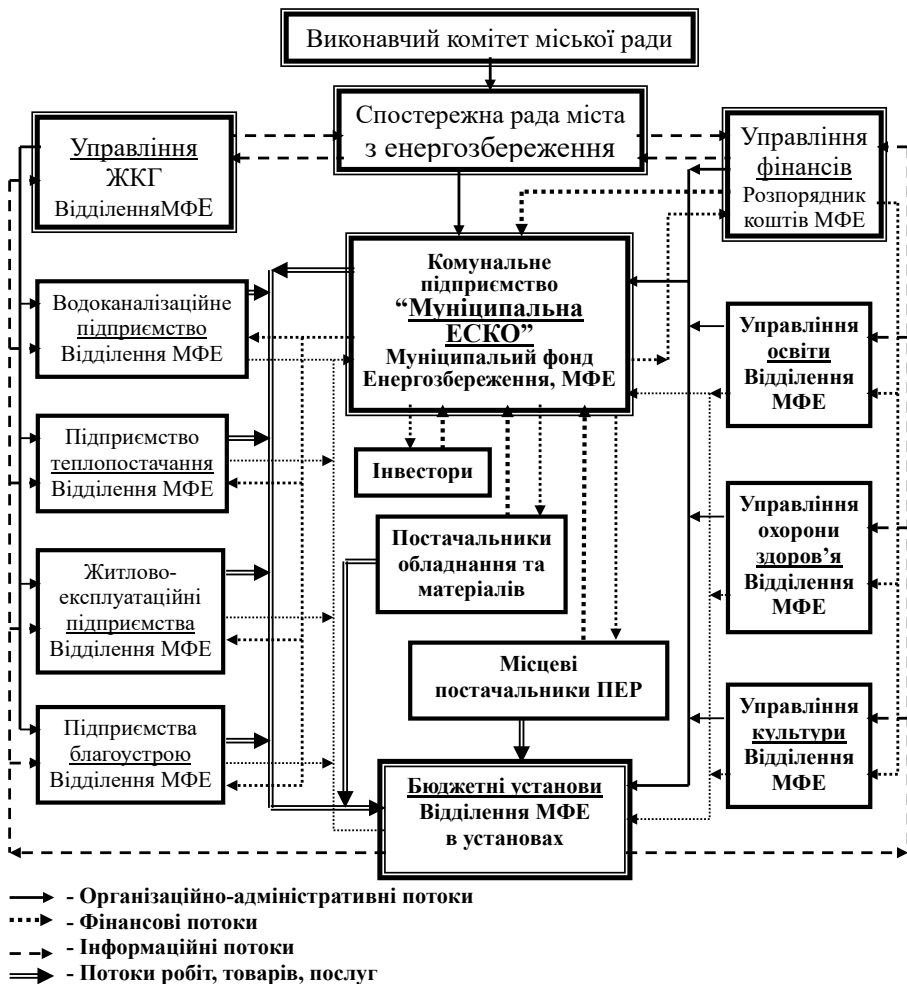


Рисунок 1.3.8 - Структурно-організаційна схема муніципальної системи енергоменеджменту

Рішенням виконавчого комітету міської ради МЕСКО делегуються повноваження з управління енергоефективністю та енергозбереженням в бюджетних установах міста з правом розпоряджатися відповідними коштами, які виділяються з бюджету міста на підвищення ефективності використання

енергоносіїв і комунальних послуг в цих установах. Тобто, МЕСКО є замовником й виконавцем робіт і послуг для бюджетних установ у сфері енергоефективності та енергозбереження, що реалізуються за рахунок коштів міського бюджету та інвесторів під гарантії міста.

Головним розпорядником коштів, що надаються з бюджету міста, залишається Управління фінансів міськвиконкому. Слід підкреслити, що Управління фінансів, так само, як і інші залучені до фінансування проектів з енергоефективності та енергозбереження установи та організації, має право розпоряджатися тільки своєю часткою фінансування та прибутку. Працює МЕСКО під постійним та безпосереднім контролем Спостережної ради міста з енергоменеджменту.

На закінчення слід наголосити, що залучення бюджетних установ та комунальних підприємств до муніципальної системи енергоменеджменту повинно здійснюватися виключно на добровільній основі і на терміни, які визначаються договорами, укладеними бюджетними установами і комунальними підприємствами з МЕСКО на кожний енергозберігаючий захід окремо. Діяльність комунальних підприємств та бюджетних установ в рамках цих договорів, їх права та обов'язки, кожного разу повинні визначатися в залежності від виду та розмірів енергозберігаючих проектів, що виконуються, розподілу ризиків та прибутку від їх впровадження та контролюватися виконавчим комітетом міської ради.

## **Глава 1.4. Принципи побудови та структуризація елементів системи енергетичного менеджменту багаторівневих енерготехнологічних систем**

### **1.4.1. Поле факторів системи енергетичного менеджменту багаторівневих енерготехнологічних систем**

Під узагальнюючим терміном “фактори” будемо розуміти економічні, матеріально-технічні, енергетичні, технологічні, екологічні, соціальні тощо умови, причини, рушійні сили, параметри, показники тощо, які впливають на стан та процеси підвищення ефективності управління складними системами та визначають його результати. Тому побудова поля факторів, яке адекватно відображає умови функціонування, причини і рушійні сили зміни параметрів і показників ефективності системи енергоменеджменту такого великого енергоємного народно-господарчого комплексу як ЖКГ країни є складною системною задачею, що потребує вирішення ряду окремих підзадач виявлення основоположних факторів та проведення аналізу закономірностей їх взаємовпливу і характеру взаємозв’язків.

На Рис.1.4.1 наведено поле факторів системі енергоменеджменту, побудоване за принципами функціонування та управління ефективністю у великих системах. За своїми структурно-функціональними особливостями така система управління має формуватися як багаторівнева ієрархічно побудована структура, що складається з керуючих та керованих елементів і підсистем, охоплених зв’язками субординації та координації, із загальносистемною (глобальною) метою та підпорядкованими, але ж достатньою мірою самостійно визначеними локальними цілями елементів та підсистем, наявними зворотними зв’язками та зовнішніми впливами і збуреннями, у першу чергу, обумовленими регулюванням цін і тарифів на ЖК послуги. В умовах ринкових перетворень перелік структурно-функціональних властивостей системи енергоменеджменту формально не змінюється, але ж принципово змінюються сутність та зміст адміністративно-

командних принципів і методів управління, які поступово замінюються на ринкові методи і механізми економічного регулювання та стимулювання діяльності комунальних підприємств в умовах функціонування монопольних ринків ЖК послуг.

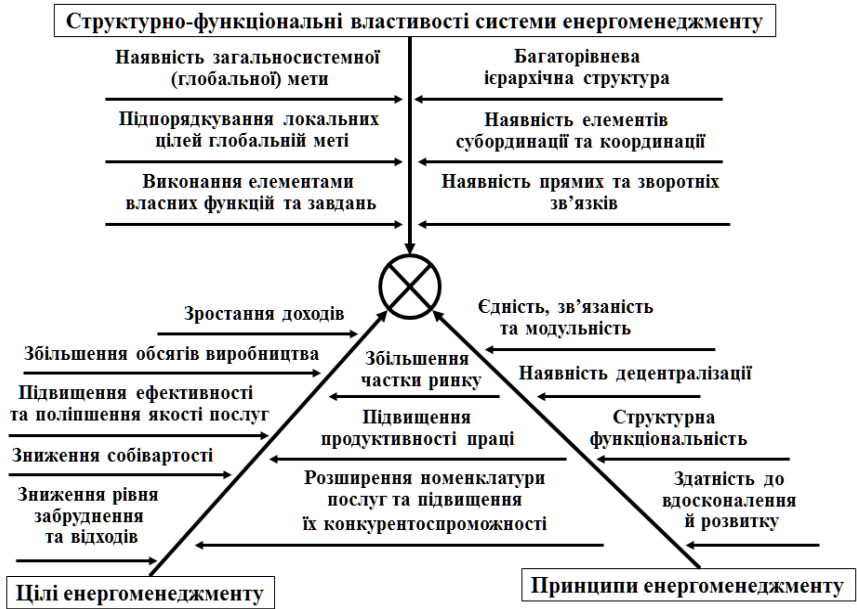


Рисунок 1.4.1 - Поле факторів системи енергоменеджменту

Перелік наведених найпоширеніших цілей енергоменеджменту в ринкових умовах включає такі, як зростання доходів підприємств-виробників, споживачів ЖК послуг та системи у цілому, збільшення обсягів виробництва і надання ЖК послуг, збільшення частки ринку, зниження собівартості, підвищення продуктивності праці та конкурентоспроможності, розширення номенклатури та поліпшення якості послуг, зменшення рівня викидів забруднюючих речовин та відходів.

Серед прямих і зворотніх зв'язків системи енергоменеджменту у першу чергу потребують визначення зв'язки взаємодії (координації), які розрізняються зв'язками властивостей і зв'язками об'єктів (підсистем), зв'язки перетворення, котрі реалізуються через певний об'єкт, що забезпечує

перетворення, або шляхом взаємодії двох і більше об'єктів, зв'язки структурної побудови, зв'язки функціонування, які у загальному вигляді можна поділити на зв'язки стану та функціональні зв'язки і зв'язки удосконалення (модифікації) та розвитку.

До основних принципів побудови системи енергоменеджменту, означених на Рис.1.4.1, відносяться:

- Принцип єдності, зв'язаності і модульності, за яким система розглядається як єдине ціле із взаємодіючими елементами, підсистемами, окремими модулями тощо.
- Принцип ієрархії, який передбачає виявлення або створення у системі ієрархічних зв'язків, модулів та цілей.
- Принцип функціональності, за яким структура системи визначається після визначення її основних функцій.
- Принцип розвитку та здатності до вдосконалення.
- Принцип децентралізації, який припускає компроміс між повною централізацією системи та здатністю реагувати на впливи і збурення зовнішнього середовища окремими частинами системи в умовах досягнення загальносистемної мети.
- Принцип узгодженості та спільності цілей, за яким локальні цілі елементів системи повинні бути узгоджені одна з одною та з глобальною метою системи.
- Принцип єдиної основи формування та передачі інформації між елементами системи.
- Принцип неповної детермінованості (невизначеності) причинно-наслідкових зв'язків.
- Принцип коригування (моніторингу) цілей та досягнутих результатів.
- Принцип комплексності (системності) й повноти вирішення проблемних питань з урахуванням причин виникнення та подальших наслідків.

Потрібно відмітити, що структура побудови системи енергоменеджменту ЖКГ країни, яка відноситься до класу деревоподібних ієрархічних структур, в ринкових умовах функціонування набуває все більше властивостей ромбовидних систем управління, для яких найнижче розташований у системі елемент домінує над найвищим. Таке явище обумовлюється тим, що державні та муніципальні органи всіх рівнів влади, які є суб'єктами регулювання об'єктів (підприємств) ЖКГ, включаючи населення, у свою чергу, створюються і залежать від них як платників податків та як суб'єктів політичних дій.

Відповідно до розглянутої структури поля факторів системи енергоменеджменту, спрямованої на підвищення енергоефективності та енергозбереження (ЕЕ), пропонується наступна процедура формалізації задачі управління ЕЕ:

**Шаг 1. Аналіз проблем управління ЕЕ:**

- 1.1. Визначення проблем та глобальної мети управління.
- 1.2. Аналіз історичного розвитку шляхів, методів і засобів розв'язання проблем.
- 1.3. Структуризація факторів та вимог оточуючого середовища.
- 1.4. Обґрунтування напрямів вирішення проблем.



**Шаг 2. Структуризація мети та призначення системи:**

- 2.1. Структуризація локальних цілей і критеріїв.
- 2.2. Структуризація глобальної мети розвитку системи.
- 2.3. Визначення конкурентів та можливостей збільшення частки ринку
- 2.4. Визначення місії та призначення системи управління.



**Шаг 3. Структурний аналіз системи управління ЕЕ:**

- 3.1. Визначення рівнів ієрархії.
- 3.2. Визначення підсистем.
- 3.3. Визначення процесів і функцій управління.
- 3.4. Визначення структури управління і каналів інформації.



**Шаг 4. Формалізація задачі управління ЕЕ:**

- 4.1. Вибір методу та принципів побудови моделі.
- 4.2. Ідентифікація змінних моделі та взаємозв'язків між ними.
- 4.3. Визначення виду та форми цільових функцій.



Шаг 5. Оцінка потреби в ресурсах та технологіях:

- 5.1. Оцінка існуючих технологій і потужностей.
- 5.2. Визначення потреб у ресурсах і технологіях.
- 5.3. Оцінка взаємодії з іншими системами.
- 5.4. Оцінка екологічних аспектів.



Шаг 6. Техніко-економічні розрахунки ЕЕ:

- 6.1. Оцінка взаємозалежностей цілей.
- 6.2. Оцінка відносної важливості цілей.
- 6.3. Оцінка дефіцитності та вартості ресурсів.
- 6.4. Оцінка впливу зовнішнього середовища.



Шаг 7. Прогнозування майбутніх змін:

- 7.1. Аналіз тенденцій розвитку системи.
- 7.2. Прогноз розвитку і зміни середовища.
- 7.3. Передбачення появи нових факторів впливу.
- 7.4. Аналіз ресурсів майбутнього.
- 7.5. Аналіз можливих змін цілей і критеріїв вибору.



Шаг 8. Розробка комплексного плану реалізації:

- 8.1. Визначення черговості цілей та заходів.
- 8.2. Планування досягнення окремих цілей.
- 8.3. Розподіл сфер компетенції та діяльності.
- 8.4. Урахування обмежень за ресурсами і часом.

За законодавством України суб'єктами відносин організаційно-адміністративного управління у сфері ЕЕ (учасниками ринку у цій сфері) вважаються фізичні та юридичні особи незалежно від організаційно-правових форм та форми власності, які здійснюють виробництво, транспортування, постачання і споживання паливно-енергетичних продуктів і ресурсів, енергосервісні і управляючі компанії, споживачі, органи виконавчої влади та місцевого самоврядування. Проголошується, що зекономлені внаслідок впровадження заходів з ЕЕ паливно-енергетичні продукти і ресурси визначаються товарною продукцією, призначеною для купівлі-продажу на умовах балансування попиту і пропозиції, однак на практиці це вкрай рідко виконується, особливо в умовах ЖКГ.



Що стосується факторів енергоефективного розвитку складних систем організаційно-адміністративного управління у сфері ЕЕ, у першу чергу, будемо розрізняти ті, що безпосередньо впливають на реалізацію виробничої, паливно-енергетичної, цінової і інвестиційної діяльності суб'єктів господарювання (підприємств, організацій, компаній) та забезпечують їх стійкий і безбитковий розвиток. При цьому процедура визначення та обґрунтування факторів розвитку має охоплювати наступні основні етапи і завдання:

1. Прогнозування середньострокового (на 3-5 років) та довгострокового (на 15-20 років) платоспроможного попиту споживачів на продукцію і послуги підприємства, що враховує можливості появи нових енергоефективних технологій і обладнання, тенденції зміни цін і тарифів на первинні паливно-енергетичні і природні ресурси, матеріали і технологічне обладнання, на продукцію і послуги конкурентів та зміни споживчих пріоритетів населення і бюджетної сфери;

2. Оцінку можливостей забезпечення потреб споживачів за рахунок оптимізації режимів роботи наявного енерготехнологічного обладнання, його модернізації і застосування принципово нових типів, нових технологій і методів управління, різних видів паливно-енергетичних ресурсів, включаючи нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії, освоєння нових сфер діяльності (продуктів і послуг) тощо у відповідності до потреб споживачів;

3. Визначення необхідних параметрів і масштабів оновлення генеруючих потужностей і транспортних мереж підприємства, а також можливих напрямів і обсягів участі підприємства у підвищенні ефективності використання споживачем продуктів і послуг, що виробляються та/чи надаються підприємством та його конкурентами;

4. Розробку раціональних балансів розподілення обсягів виробництва і транспортування продуктів і послуг між генеруючими потужностями (джерелами) і транспортними мережами підприємства та з урахуванням

можливостей економічно доцільного перерозподілу ринків виробництва, транспортування і збуту між конкурентами;

5. Попередню порівняльну оцінку ефективності запропонованих інвестиційних заходів (проектів) за визначеними напрямками розвитку з урахуванням власних джерел фінансування (амортизація, прибуток) та можливостей залучення коштів державного і місцевого бюджетів, приватного капіталу тощо;

6. Узгодження визначених напрямів і механізмів виробничої, паливно-енергетичної, цінової та інвестиційної діяльності у єдиній фінансово-економічній програмі підприємства з реалізації концепції енергоефективного розвитку;

7. Розробку декількох сценаріїв розвитку підприємства з урахуванням методичних, інформаційних та організаційних труднощів і перешкод, у тому числі обумовлених становленням ринкових відносин в економіці країни в умовах командно-адміністративного регулювання цін і тарифів широких груп товарів та послуг.

Серед основних чинників, які можуть обумовлювати, і обумовлюють, зворотний процес стагнації підприємств, на сьогодні відзначимо наступні:

- низька платоспроможність населення та споживачів бюджетної сфери;
- недосконалість системи тарифів на оплату ЖК послуг;
- затримки з оплатою за спожиті енергоносії та надані послуги;
- списання боргових зобов'язань;
- низька ефективність та застарілість генеруючого і споживаючого обладнання;
- низька якість товарів та послуг, обмежені можливості споживачів;
- відсутність умов та економічних стимулів до підвищення ЕЕ;
- монополізація та економічно необґрунтована централізація систем енергозабезпечення;

– незбалансованість цінових пропозицій на ринках інвестиційних ресурсів, енергоефективного обладнання та енергосервісних послуг.

Наприклад, серед основних чинників, які потрібно враховувати при визначенні напрямів і тенденцій розвитку енерготехнологічних систем централізованого теплопостачання (СЦТ) в Україні відзначимо наступні:

- відмова держави від субсидування стратегічного розвитку СЦТ, що в умовах дії економічно необґрунтованих цін і тарифів на послуги СЦТ призвело до стрімкого погіршення фінансово-економічного стану підприємств галузі та неможливості залучення зовнішніх інвестицій;
- прогнозована відмова промислових споживачів від послуг СЦТ, обумовлена адміністративно-командними рішеннями владних структур щодо політики управління цінами і тарифами на послуги теплопостачання, яка базується на субсидуванні населення за рахунок промисловості та інших споживачів системи, внаслідок чого навантаження СЦТ впало практично вдвічі, що суттєво погіршило енергетичну та економічну ефективність функціонування підприємств СЦТ, – вони стали збитковими;
- внаслідок відключення промислових споживачів форма графіку навантаження СЦТ значно змінилася внаслідок зростання пікової складової, що додатково збільшило витрати і втрати паливно-енергетичних ресурсів;
- штучно стримувані темпи зростання цін і тарифів на послуги теплопостачання, які суттєво відстають від темпів зростання цін на витратні матеріали і комплектуючі, а, головним чином, на паливно-енергетичні ресурси і, особливо, на природний газ, який є основним видом палива для СЦТ;
- стала політика держави щодо регулювання цін і тарифів, яка базується на встановленні суттєво менших цін на природний газ для населення, ніж для підприємств системи СЦТ, які використовують його на виробництво послуг з теплопостачання саме для населення, що робить

економічно вигідним відмову від СЦТ і перехід на індивідуальне опалення;

- зміна пріоритетів споживачів до використання в ринкових умовах послуг СЦТ, що обумовлено низькою якістю та неможливістю власного регулювання обсягів споживання цих послуг.

Підкреслимо, що система централізованого тепlopостачання є яскравим прикладом великої за своїми розмірами та складністю енергетичної системи, де в якості елементів розглядаються не менш складні тепло-, електроенергетичні об'єкти: 1) джерела теплової енергії, — теплогенеруючі станції і установки, теплові електростанції, теплоелектроцентралі, котельні, когенераційні установки, теплові насоси тощо, які використовують для виробництва теплоти різні види енергоносіїв (органічне паливо, електроенергію, нетрадиційні та поновлювані види енергії, вторинні енергетичні ресурси тощо); 2) магістральні і місцеві (розподільчі) теплові мережі, сукупність електроенергетичних установок, теплоенергетичного обладнання та трубопроводів які забезпечують транспортування теплоносія від джерел теплової енергії до теплових вводів споживача; 3) інженерні споруди, інше основне і допоміжне обладнання, яке використовується для забезпечення безпечної та надійної експлуатації СЦТ. За системною постановкою, СЦТ в обов'язковому порядку має включати в якості підсистем: 4) системи автономного тепlopостачання і 5) системи тепло споживання, — індивідуальні теплогенеруючі і регулюючі установки і теплові пункти, внутрішньообудинкові мережі, радіатори систем опалювання та огорожувальні конструкції будинків тощо, які визначальним чином впливають на ефективність і режими функціонування СЦТ.

Серед основних напрямів енергоефективного розвитку енерготехнологічних систем, у тому числі СЦТ, пропонується розглядати наступні:

- розвиток когенерації (тепло плюс електроенергія) та тригенерації (тепло-холод-електроенергія);

- перехід на місцеві види палива та нетрадиційні і відновлювані джерела енергії;
- помірна децентралізація та диверсифікація систем енергопостачання;
- розвиток ринкових відносин:
  - організація спеціалізованих енергосервісних та управляючих компаній, створення інтелектуальних систем управління енерговикористанням;
  - модернізація та використання вивільнених потужностей для забезпечення енергетичних потреб споживачів у базових та пікових режимах в кооперації з конкурентами.

Основними результатами реалізації запропонованих напрямів енергоефективного розвитку системи мають стати:

- для підприємств: покращення їх фінансово-економічного стану; розширення ринку послуг; створення економічних стимулів для впровадження енергоефективних технологій і обладнання; покращення умов доступу до інвестиційних ресурсів; зниження рівня неплатежів за товари та надані послуги;

- для державних і місцевих структур: стале зниження платежів бюджету за паливно-енергетичні ресурси і ЖК послуги; підвищення прозорості розрахунків обсягів субсидування, можливість надання адресної допомоги з скорочення заборгованості; використання зекономлених бюджетних коштів на додаткові витрати, пов'язані з виплатами відсотків по банківських кредитах, на створення муніципальних позабюджетних фондів з енергозбереження, спрямованих на проведення реконструкції і технічного переозброєння об'єктів ЖК сфери, на формування конкурентних відносин та підтримку створення муніципальних ЕСКО і управляючих компаній;

- для банківської сфери: розширення спектру банківських послуг та зниження ризиків кредитування;

- для населення: зниження частки платежів за ЖК послуги у бюджеті сім'ї; збільшення розмірів субсидій та розширення меж адресної

допомоги соціально незахищеним верствам населення; прогнозованість зміни витрат на ЖК послуги; прогресивне збільшення частки витрат на ЖК послуги у сукупному доході заможних домогосподарств; наявність економічних стимулів до підвищення енергоефективності, у тому числі, шляхом забезпечення доступу населення до здешевлених кредитних ресурсів в енергозбереження, встановлення приладів обліку і регулювання споживання газу, тепла і води; можливості впливу на якість та кількість отримуваних послуг.

#### **1.4.2. Методика структуризації причинно-наслідкових зв'язків у системах енергоменеджменту з багаторівневою ієрархічною структурою**

Оскільки енерготехнологічні об'єкти ЖКГ, де власно і виникає ефект економії ПЕР, у багаторівневої загальнодержавної системі енергоменеджменту безпосередньо підпорядковані місцевій підсистемі, спочатку розглянемо наведену на Рис.1.4.2 структурно-функціональну схему трирівневої системи енергоменеджменту, що охоплює [75]:

1. Споживачів енергоресурсів та ЖК послуг різних форм власності (див. означення на Рис.1.2.2), які діють на місцевих споживчих ринках енергоресурсів і ЖК послуг, означених як  $\mathcal{M}^C$ ;
2. Підприємства і організації з постачання первинних ПЕР (газу, вугілля, торфу, нетрадиційних і відновлюваних енергоресурсів (НВДЕ) тощо) та вироблення і надання ЖК послуг з газо-, тепло-, холодо-, електропостачання, які діють на місцевих енергоринках з постачання газу  $\mathcal{M}^{gs}$ , вугілля  $\mathcal{M}^{co}$ , НВДЕ  $\mathcal{M}^{nr}$ , електроенергії  $\mathcal{M}^{el}$ , тепла і холоду  $\mathcal{M}^{tm}$ , та які у сукупності утворюють місцевий ринок постачання енергетичних ресурсів  $\mathcal{M}^R$ ;
3. Управляючі компанії у сфері надання ЖК послуг (у тому числі житлово-експлуатаційні контори), які діють на місцевому ринку

управляючих компаній  $\mathcal{N}_M^K$ , що конкурує з іншими місцевими ринками у сфері енергозабезпечення за право надання споживачам ЖК послуг з показниками якості та ефективності, що задовольняють потребам споживачів;

4. Енергосервісні і енергоконсалтингові компанії (ЕСКО), які конкурують на місцевому ринку енергосервісних послуг  $\mathcal{N}_M^E$  за право надання іншим учасникам місцевої системи енергозабезпечення послуг з підвищення ефективності використання паливно-енергетичних та природних ресурсів, включаючи реалізацію заходів з енергозбереження «під ключ»;

5. Фінансово-комерційні установи і організації  $\mathcal{N}_M^A$ , які здійснюють фінансування спільних проєктів з підвищення ефективності та якості енергозабезпечення місцевих об'єктів ЖКГ.

На верхньому (місцевому) рівні пропонованої системи енергоменеджменту будуть розташовані:

6. Органи місцевої державної адміністрації ( $\mathcal{N}^{MD}$ ) і виконавчого комітету міської ради ( $\mathcal{N}^{MP}$ ) та спеціалізовані підрозділи місцевої влади, які є відповідальними учасниками-координаторами місцевої системи енергозабезпечення ЖК послуг;

7. Спеціально створена на місцевому рівні Комісія (або компанія) з регулювання ЖК послуг  $\mathcal{N}_M^{RC}$  (МКР ЖКП) з відповідними повноваженнями і ресурсами, які дозволяють їй в межах цих повноважень здійснювати системну координацію і організацію взаємодії між учасниками місцевої системи, узгоджувати плани окремих суб'єктів, здійснювати контроль і аналіз виконання ухвалених рішень на обох рівнях управління.

Зрозуміло, що взаємодія учасників системи енергоменеджменту, зв'язаних один з одним за допомогою прямих і зворотних зв'язків, означених як  $U$  з відповідними індексами, буде більш ефективною, якщо локальні цілі і завдання кожного учасника будуть узгодженими з глобальною метою

системи, спрямованою на мінімізацію загального споживання енергоресурсів у енерготехнологічній системі (в населеному пункті, поселенні) за умов забезпечення якості послуг. При цьому слід враховувати, що енергопостачальні організації, як природні монополісти, в умовах відсутності конкуренції і без належного контролю за їх діяльністю з боку місцевої влади і споживачів не є зацікавленими у вирішенні питань підвищення енергоефективності та енергозбереження.

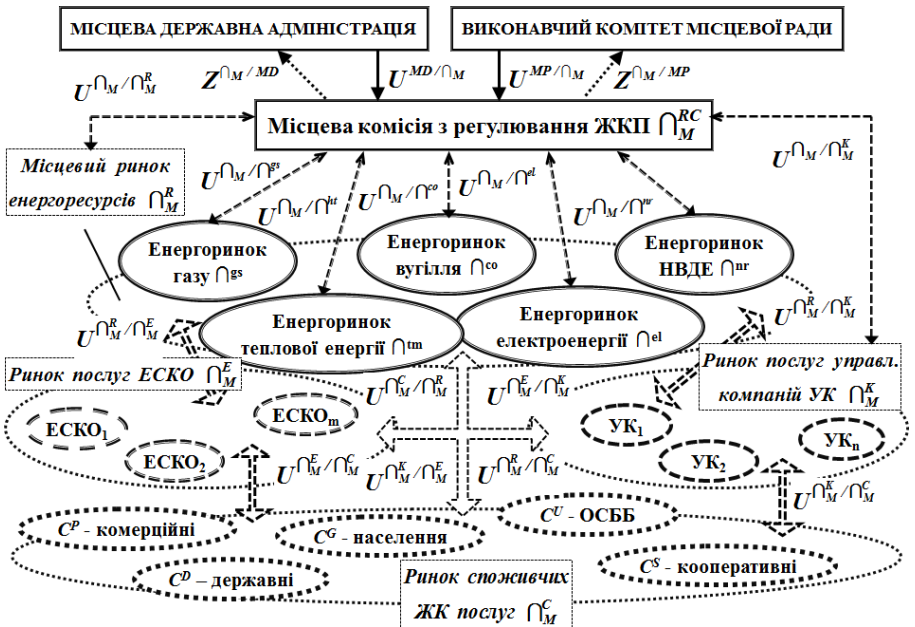


Рисунок 1.4.2 – Структурно-функціональна схема об’єктів виробництва, постачання і споживання ЖК послуг місцевої системи енергоменеджменту

І дійсно, забезпечувати зростання свого прибутку учасники енергопостачання можуть не тільки за рахунок реалізації заходів з підвищення енергоефективності та енергозбереження, що потребує складних додаткових зусиль і витрат, а й шляхом застосування більш простих і менш витратних «тіньових» заходів, наприклад, необґрунтованим підвищенням цін і тарифів на свою продукцію або надмірним нарощуванням її обсягів, у тому числі, обсягів неефективно витрачених на виробництво енергоресурсів. В останньому випадку «тіньова» діяльність  $j$ -го виробника



(енергопостачальника) спрямовується на збільшення різниці приходної і видаткової частин власного бюджету (прибутку) за рахунок кількісних, а не якісних змін, і де «енергозбереження» слугує прикриттям, що простіше за все досягається шляхом зміни параметрів, які забезпечують більш високі темпи зростання приходної частини бюджету по відношенню до його видаткової частини.

Зрозуміло, що потрібно слідкувати за змінами факторів, які визначають залежність прибутку енергопостачальних організацій від об'ємів витрачання енергоресурсів, наприклад, шляхом диференціювання за складовими багатоставочних тарифів, які врегульовують залежність величини прибутку не тільки від об'єму реалізації товарної продукції, а й від якості і ефективності її виробництва, враховуючи дві і більше таких складових. Саме диференціювання можливо реалізовувати не тільки шляхом застосовування лінійної апроксимації факторів впливу, як це прийнято у більшості практичних випадків, а й у формі виробничих функцій, наприклад, Кобба-Дугласа [98, 99].

Ще одна можливість регулювання виду та форми функціональної залежності прибутку енергопостачальних організацій від параметрів ефективності витрачання енергоресурсів з'являється у разі застосування індексного методу, який дозволяє визначати розміри відносного (і абсолютного також) відхилення величини фактично досягнутого показника ефективності (якості) діяльності господарюючого суб'єкта, наприклад, величини прибутку, по відношенню до нормативного (базового або перспективно досяжного) його значення, яке визначається за умов представлення факторів впливу у вигляді добутоків кількісного та якісного показників. Так, у разі врахування трьох факторів впливу на прибуток: обсягів реалізації товарної продукції  $Y^P$ , ціни одиниці реалізованої продукції  $c^P$  та собівартості її виробництва  $p^P$  по відношенню до їх нормативних значень  $Y^0$ ,  $c^0$ ,  $p^0$ , результуючий індекс залежності

прибутку від дії означених факторів може бути представлений у вигляді добутку індексів зміни цих факторів [98]

$$i^W = i^Y \cdot i^C \cdot i^P, \quad (1.4.1)$$

де сам результуючий індекс залежності прибутку визначається як

$$i^W = (c^P Y^P - p^P Y^P) / (c^0 Y^0 - p^0 Y^0),$$

а відносні відхилення прибутку за рахунок зміни окремих факторів, а саме від:

обсягу реалізації — як  $i^Y = (c^0 Y^P - p^0 Y^P) / (c^0 Y^0 - p^0 Y^0)$ ;

ціни реалізації одиниці — як  $i^C = (c^P Y^P - p^0 Y^P) / (c^0 Y^P - p^0 Y^P)$ ;

собівартості одиниці — як  $i^P = (c^P Y^P - p^P Y^P) / (c^P Y^P - p^0 Y^P)$ .

Зі свого боку, місцева влада теж вимушена займатися підвищенням енергоефективності та енергозбереженням. По-перше, під тиском споживачів – виборців, які не сприймають зростання вартості платежів за комунальні послуги та намагаються мінімізувати свої витрати, які в основному залежать від обсягів  $Y_C^{ej}$  споживання  $e$ -их послуг  $j$ -го споживача та цін і тарифів  $c_H^{ej}$  на них і дуже слабкою своєю складовою — від їх якості (головним чином — від офіційно зафіксованих переривів у наданні послуг, зазвичай, пов'язаних з ліквідацією аварійних ситуацій).

$$C_C^j = \sum_e c_H^{ej} Y_C^{ej} \rightarrow \min, \quad (1.4.2)$$

Окрім системи політичних виборів, споживачі можуть впливати на місцеву владу і економічними засобами, наприклад, розмірами пайової участі у програмах енергозбереження, бойкотом і неплатежами, зокрема до організацій, підконтрольних місцевій владі, скаргами тощо. По-друге — влада теж є як прямим (бюджетні об'єкти і установи), так і непрямим (підвідомчі підприємства, субсидії і дотації) споживачем комунальних послуг

та енергоресурсів, і зацікавлена в зниженні витрат на них, тим самим зменшуючи навантаження на місцевий бюджет. У сукупності, це змушує владу встановлювати такі правила поведінки учасників системи енергозабезпечення, які б стимулювали впровадження заходів з енергоефективності та енергозбереження, у першу чергу, встановленням економічно обґрунтованих тарифів, і робили економічно не вигідними застосування «тіньових» схем покращення результатів.

Щодо категорії споживачів, то при всій їх різноманітності (бюджетні організації, промислові підприємства, населення тощо), всі вони зацікавлені в зниженні платежів, доступності підключення, забезпеченні якості і надійності енергопостачання, можливостях незалежного регулювання (зниження або збільшення) об'ємів споживання, вільному виборі постачальника і, навіть, у створенні автономних систем енергозабезпечення.

Як можна бачити навіть з проведеного стислого аналізу, існує велика кількість різноманітних факторів, які мають бути враховані при вирішенні проблем підвищення енергоефективності та енергозбереження у системі енергозабезпечення ЖКГ України, серед яких такі загальносистемні, як зростаюча у всьому світі вартість первинних енергоресурсів, поширення ринкових відносин та збільшення частки приватних споживачів, технічна доступність сучасного енергозберігаючого обладнання і технологій, засобів автоматизації процесів енергоспоживання тощо, підвищення якості і збільшення кількості встановлених приладів обліку спожитих енергоресурсів і послуг у сфері енергозабезпечення ЖКГ та багато інших.

Слід відмітити, що практично у всіх публікаціях, присвячених питанням підвищення ефективності використання ПЕР та енергозбереження, у тому числі, з управління енергозабезпеченням та енерговикористанням, як правило, надається перелік факторів, які на думку авторів, мають відігравати вирішальну роль у розв'язанні цих проблемних питань, однак повноту цих переліків і, головне, критерії, за якими вони формулювалися, автори не визначають.

І дійсно, при спробі проведення класифікації і систематизації наявних сукупностей (множин) різноманітних факторів впливу з метою їх подальшої формалізації і ранжирування для визначення умов, що є необхідними і достатніми для постановки і проведення оптимізаційних розрахунків з підвищення енергоефективності та енергозбереження, виникають складні проблеми, які свідчать про неповноту класифікаційних властивостей, за якими ці сукупності факторів визначалися. Особливо це стосується категорій стратегічного розвитку систем енергозабезпечення в ринкових умовах, координування їх взаємодії і конкурентної боротьби. Така ситуація пояснюється не тільки складністю задачі, її великими розмірами і різноманітністю типів і видів факторів впливу, скільки відсутністю методологічного підходу та інструментів для її розв'язання.

Серед робіт у цьому напрямі, насамперед, слід відмітити досягнення наукової школи А.В. Праховника і В.П. Розена [5, 7, 23, 68, 73, 111-114], де для попередньої систематизації і ранжирування різноманітних факторів впливу пропонується залучати ідеологічно близькі до задачі управління ефективністю у системах енергозабезпечення графоаналітичні методи та моделі, розроблені у теорії управління якістю. Перелік класичних варіантів цих моделей і методів можна знайти у багатьох публікаціях, наприклад [101-110], де приводяться численні форми їх графічного відображення у вигляді діаграм Ісікава, Ганта, Парето, у формі дому якості, кривої Лоренца тощо.

Проведений аналіз цих моделей і методів показує, що на етапі попередньої систематизації та ранжирування різноманітних факторів впливу в якості графоаналітичної моделі доцільно використовувати причинно-наслідкову форму діаграми К. Ісікава (Ishikawa Diagram), яка дозволяє визначати сукупність різноманітних факторів впливу, проводити структурування ієрархічної системи їх побудови та формалізувати процедуру визначення стратифікаційних рівнів цих факторів [101, 102, 104].

За цією формою, на початку побудови діаграми Ісікава у формі риб'ячого скелета (Fishbone Diagram) (Рис.1.4.3) у логічній послідовності

причинно-наслідкових зв'язків представляються графічні відображення впливу основних факторів (причин) на  $j$ -ий показник якості (ефективності) системи  $G^j$ , розміщений на діаграмі справа, наприкінці горизонтальної лінії – хребта діаграми, а категорії (рівні розташування) факторів структуруються за формою риб'ячого скелета, де основними стрілками позначаються фактори першої за важливістю категорії впливу на показник якості системи (об'єкт аналізу).

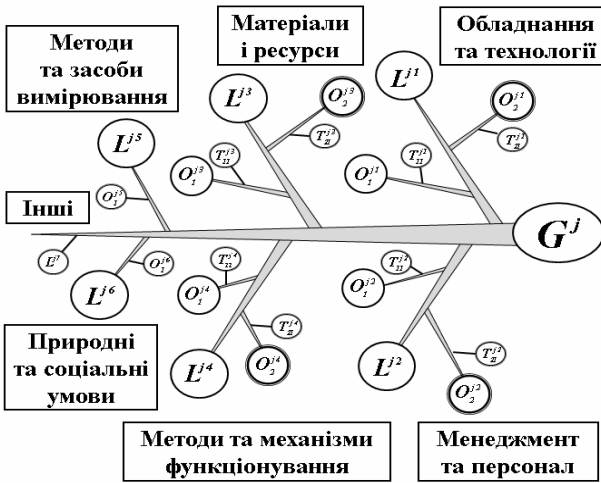


Рисунок 1.4.3 – Діаграма Іскави структуризації причинно-наслідкових зв'язків

До кожної основної стрілки-фактора підводяться стрілки другої категорії, до яких, в свою чергу, підходять стрілки третьої за важливістю категорії впливу на об'єкт аналізу і т.д. Стрілки більш високого рівня ієрархії відображають причини по відношенню до підпорядкованих стрілок нижчого рівня (категорії), які відображають наслідки дії.

Фактори розташовуються у висхідному від риб'ячого хребта порядку, починаючи з тих, що мають найбільший вплив на розв'язання проблеми. При цьому, більш впливові категорії розміщують ближче до «риб'ячої голови». Останньою категорією на діаграмі позначаються «інші» (невраховані) фактори. На окремо побудованих діаграмах також можливо відобразити

фактори, що показують причини виходу процесу (досягнення мети, розв'язання проблеми тощо) за допустимі межі, а також корегувальні стрілки-дії, за допомогою яких ці причини можливо усунути.

Причинно-наслідкова діаграма Ісікава і, особливо, мнемонічне правило «М» її побудови, за яким розрізняють такі п'ять категорій факторів впливу на показник якості (ефективності тощо), як матеріал (Material), обладнання (Machine), вимірювання (Measurement), метод (Method) і людина (Man), є потужними інструментами, які дозволяють систематизувати та класифікувати множини ієрархічно підпорядкованих факторів впливу, представлених у вербальній формі, що є практично унікальною властивістю такого роду діаграм.

В даній роботі, пропонується розрізнити п'ять ієрархічно підпорядкованих класифікаційних рівнів розв'язання проблеми підвищення ефективності використання ПЕР та енергозбереження, у тому числі, з управління енергозабезпеченням, схематично відображених на Рис.1.4.3 за правилом «М», а саме:

1. рівень  $G = (G^j)$ ,  $j = \overline{1, g}$  глобальних факторів (глобальних проблем, показників якості та ефективності тощо);

2. рівень  $L^j = (L^{ji})$ ,  $i = \overline{1, l}$  локальних факторів (локальних проблемних питань) – складових глобальних проблем;

3. рівень  $S^{ji} = (S_e^{ji})$ ,  $e = \overline{1, s}$  структурних і (1.4.3)  
 $F^{ji} = (F_h^{ji})$ ,  $h = \overline{1, f}$  функціональних факторів впливу, деталізованих на структурно-функціональному рівні;

4. рівень  $O_{S^e}^{ji} = (O_{S_p}^{ji})$ ,  $p = \overline{1, n}$  об'єктно-структурних і  
 $O_{F^h}^{ji} = (O_{F_r}^{ji})$ ,  $r = \overline{1, k}$  об'єктно-функціональних факторів

впливу — складових структурно-функціональних факторів;

5. рівень  $T_{o^{s_p}^j}^{ji} = (T_{o_v^{s_p}^j}^{ji})$ ,  $v = \overline{1, b}$  структурно-технологічних і  $T_{o_q^{f_h}^j}^{ji} = (T_{o_q^{f_h}^j}^{ji})$ ,  $q = \overline{1, d}$  функціонально-

технологічних факторів впливу — складових об'єктних факторів,

де:  $g$  — кількість глобальних факторів, що розглядається;  $l$  — кількість локальних факторів у  $j$ -му глобальному факторі;  $s$  — кількість структурних, а  $f$  — кількість функціональних факторів у  $i$ -му локальному факторі;  $n$  — кількість об'єктних факторів у  $e$ -му структурному факторі;  $k$  — кількість об'єктних факторів у  $h$ -му функціональному факторі;  $b$  — кількість технологічних факторів у  $p$ -му структурному факторі;  $d$  — кількість технологічних факторів у  $r$ -му функціональному факторі.

Тут і далі у роботі, для поіменної формалізації та деталізації системи факторів впливу встановимо наступне правило індексації: перший верхній індекс буде вказувати на ранжируваний за важливістю номер глобального фактору (в даному випадку  $j$ -го), якому підпорядкований поіменно визначений фактор, а другий верхній індекс — ранжируваний за важливістю номер відповідного локального фактору, до якого належить визначений фактор; перший нижній індекс структурного чи функціонального фактору буде вказувати на ранжируваний за важливістю номер цього фактору. На рівні об'єктних факторів перший нижній індекс у вигляді великої літери буде визначати відповідну категорію структурних  $S$  чи функціональних  $F$  факторів, верхній індекс якої буде вказувати на номер цього фактору, а нижній індекс — на ранжируваний за важливістю номер відповідного об'єктного фактору і т.д. за необхідністю деталізації факторів на технологічному рівні.

Відповідне дерево ієрархічної системи (1.4.3) факторів впливу, побудоване за мнемонічним правилом «М» Ісикава, та деталізація етапів його побудови відображені на Рис.1.4.4. Від відомих, це дерево відрізняється

розподіленням та збереженням, при деталізації на нижче розташованих рівнях, послідовного розмежування локальних факторів на категорії структурних і функціональних факторів впливу, що дозволяє застосовувати при аналізі і оптимізації такої системи методи структурно-функціонального підходу до управління та координування їх взаємодії у складних системах з ієрархічною структурою [115, 116].

Доцільність такого розмежування пояснюється тим, що практично всі відомі фактори впливу, як правило, характеризуються не тільки структурними, а й функціональними властивостями, системне врахування яких дозволяє будувати класифікаційні таблиці з упорядкованими за структурно-функціональними ознаками категоріями цих факторів. При використанні такого підходу до декомпозиції факторів не виникає проблем і в подальшому розширенні кількості категорій класифікаційних ознак, при цьому двовимірне їх розташування перетворюється у багатомірний об'єкт. Далі процедуру декомпозиції факторів розглянемо більш детально.

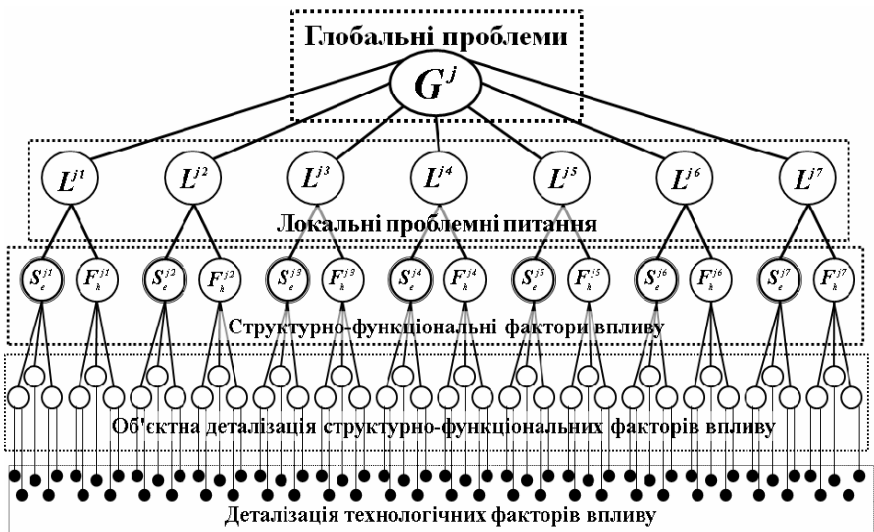


Рисунок 1.4.4 – Дерево ієрархічної системи факторів впливу

Представлене на Рис.1.4.4 дерево ієрархічної системи характеризуються великою кількістю і складним характером взаємозв'язків,



при цьому слід розуміти, що цілі (рішення) вище розташованого рівня не можуть бути досягнуті, поки не досягнуті цілі (рішення) найближчого нижнього рівня. Потрібно послідовно поділяти проблеми (фактори, завдання, цілі) верхнього рівня на сукупності більш простіших завдань на нижчих рівнях, для розв'язання яких існують певні методи та алгоритми. Такий поділ необхідно продовжувати доти, поки не отримуються прості, досить очевидні завдання, котрі можна реалізувати відомими методами і засобами.

### 1.4.3. Категорії та базові пріоритети урахування факторів впливу у системах енергоменеджменту з багаторівневою ієрархічною структурою

З урахуванням специфіки побудови складових елементів багаторівневих ієрархічних систем енергоменеджменту, деталізованої у попередньому розділі, визначимо на дереві (графі) їх факторів впливу, категорії та базові пріоритети урахування структурних факторів. Узагальнюючи правило «М», будемо розрізняти сім наступних категорій:

$$S^{ji} = (S_e^{ji}) = (S_1^{ji}, S_2^{ji}, S_3^{ji}, S_4^{ji}, S_5^{ji}, S_6^{ji}, S_7^{ji}), \quad (1.4.5)$$

де:

$S_1^{ji}$  — умовно-постійні ресурсні фонди (будівельні конструкції, обладнання та технології, структурні елементи будь-якої природи тощо);

$S_2^{ji}$  — трудові ресурси (менеджмент і персонал);

$S_3^{ji}$  — умовно-змінні ресурси (матеріали, паливно-енергетичні та інші природні ресурси);

$S_4^{ji}$  — методи і механізми підвищення ефективності та якості функціонування системи, рентабельності тощо;

$S_5^{ji}$  — методи та засоби вимірювання;

$S_6^{ji}$  — природні та соціально-політичні умови, пріоритети та потреби споживачів;

$S_7^{ji}$  — методи та засоби конкурентної взаємодії та боротьби.

Формулювання категорій факторів впливу за виразом (1.4.5) відрізняється від класичного не тільки додатковими категоріями, які розширюють області його застосування, а й якісними властивостями (змістом) кожної з них, що дозволяє комплексно враховувати як матеріально-ресурсні (у натуральній, фізичній формі), так і економічні (у грошовій формі) ознаки цих класифікаційних категорій з урахуванням впливу на них соціально-політичних факторів.

Аналогічно до виразу (1.4.5) та з урахуванням структури дерева (графа), зображеного у попередньому розділі, будемо розрізняти наступні категорії функціональних факторів впливу:

$$F^{ji} = F_h^{ji} = (F_1^{ji}, F_2^{ji}, F_3^{ji}, F_4^{ji}, F_5^{ji}, F_6^{ji}, F_7^{ji}), \quad (1.4.6)$$

де:

$F_1^{ji}$  — категорія адміністративно-організаційних факторів;

$F_2^{ji}$  — категорія виробничих (техніко-технологічні) факторів;

$F_3^{ji}$  — категорія фінансово-економічних факторів;

$F_4^{ji}$  — категорія нормативно-правових факторів;

$F_5^{ji}$  — категорія факторів стратегічно-інноваційного розвитку;

$F_6^{ji}$  — категорія екологічних факторів впливу;

$F_7^{ji}$  — категорія соціальних та інформаційно-освітніх факторів впливу.

На нижче розташованому рівні, типова деталізація структурних факторів (1.4.5) з переходом на рівень об'єктно-структурних факторів здійснюється наступним чином:

1.  $S_1^{ji}$  — Умовно-постійні ресурси системи (будівельні споруди, технологічне обладнання, основні фонди будь-
- (1.4.7)

якої природи тощо):

1.1  $O_{S_1}^{ji}$  — елементи;

1.2  $O_{S_2}^{ji}$  — зв'язки;

1.3  $O_{S_3}^{ji}$  — структурна форма;

1.4  $O_{S_4}^{ji}$  — характеристики стану;

2.  $S_2^{ji}$  — Трудові ресурси (менеджмент і персонал, — елементи, зв'язки, структура, стан та режими роботи):

2.1  $O_{S_1}^{ji}$  — органи центральної влади;

2.2  $O_{S_2}^{ji}$  — органи місцевої влади;

2.3  $O_{S_3}^{ji}$  — регулюючі установи;

2.4  $O_{S_4}^{ji}$  — контролюючі органи;

2.5  $O_{S_5}^{ji}$  — органи соціального захисту;

2.6  $O_{S_6}^{ji}$  — управляючі компанії;

2.7  $O_{S_7}^{ji}$  — ЕСКО;

2.8  $O_{S_8}^{ji}$  — підприємства;

2.9  $O_{S_9}^{ji}$  — домогосподарства;

3.  $S_3^{ji}$  — Умовно-змінні ресурси (матеріали, паливно-енергетичні, інші природні та інформаційні ресурси, оборотні фонди будь-якої природи тощо):

3.1  $O_{S_1}^{ji}$  — елементи;

- 3.2  $O_{S_2}^{ji}$  — зв'язки;
- 3.3  $O_{S_3}^{ji}$  — структура;
- 3.4  $O_{S_4}^{ji}$  — характеристики стану;
- 3.5  $O_{S_5}^{ji}$  — доступність, безпечність, екологічність тощо;
4.  $S_4^{ji}$  — Методи і механізми підвищення ефективності та якості функціонування системи, рентабельність тощо, — елементи, зв'язки, структура, стан:
- 4.1  $O_{S_1}^{ji}$  — інтегроване планування ресурсів, управління енерговикористанням тощо;
- 4.2  $O_{S_2}^{ji}$  — методи і механізми тарифного регулювання;
- 4.3  $O_{S_3}^{ji}$  — механізми економічного стимулювання енергоефективності та енергозбереження;
- 4.4  $O_{S_4}^{ji}$  — методи і механізми нормативно-правового регулювання;
- 4.5  $O_{S_5}^{ji}$  — методи управління якістю та ефективністю;
5.  $S_5^{ji}$  — Методи і засоби вимірювання та верифікації кількісних та якісних показників, ефективності тощо, — елементи, зв'язки, структура, стан та режими:
- 5.1  $O_{S_1}^{ji}$  — кількісні показники ефективності та якості процесів виробництва і споживання;
- 5.2  $O_{S_2}^{ji}$  — кількісні та якісні показники вимірювання «енергозбереження» як товару;

- 5.3  $O_{S_3}^{ji}$  — кількісні та якісні показники ефективності та якості управління, менеджменту тощо;
- 5.4  $O_{S_4}^{ji}$  — кількісні та якісні показники екологічної ефективності;
- 5.5  $O_{S_5}^{ji}$  — ринкові показники ефективності та якості функціонування системи;
6.  $S_6^{ji}$  — Соціально-природні ресурси та умови, — елементи, зв'язки, структура, стан, індикатори тощо:
- 6.1  $O_{S_1}^{ji}$  — чисельність споживачів (населення, домогосподарств, промислових підприємств і бюджетних установ тощо);
- 6.2  $O_{S_2}^{ji}$  — доходи на душу населення, домогосподарства, інших категорій споживачів тощо;
- 6.3  $O_{S_3}^{ji}$  — середньомісячна заробітна плата за категоріями споживачів;
- 6.4  $O_{S_4}^{ji}$  — забезпеченість споживачів різними видами ПЕР та ЖК послуг;
- 6.5  $O_{S_5}^{ji}$  — задоволеність споживачів якістю ПЕР та ЖК послуг;
- 6.6  $O_{S_6}^{ji}$  — частка використання місцевих видів ПЕР і НВДЕ;
- 6.7  $O_{S_7}^{ji}$  — природні умови (температура, швидкість вітру, кількість сонячних днів тощо);
7.  $S_7^{ji}$  — Методи і ресурси конкурентної боротьби та взаємодії:
- 7.1  $O_{S_1}^{ji}$  — рушійні сили конкуренції;

7.2  $O_{S_2}^{ji}$  — розміри та тип конкурентного ринку;

7.3  $O_{S_3}^{ji}$  — ступень та темпи розвитку ринкових відносин;

7.4  $O_{S_4}^{ji}$  — конкурентоспроможність продукції;

7.5  $O_{S_5}^{ji}$  — попит, пропозиція і еластичність.

Методи та засоби конкурентної взаємодії та боротьби  $S_7^{ji}$  займають особливе місце у системи факторів впливу (1.4.7) за глибиною і широтою свого проникнення у всі сфери функціонування економіки, за що їх називають «рушійними силами» розвитку [99, 117, 118]. М. Портер у своїй всесвітньо відомій моделі розрізняє п'ять сил конкуренції  $O_{S_7}^{ji}$  [117-120], які за запропонованою системою класифікації (1.4.5)-(1.4.7) будемо розглядати на структурно-технологічному рівні:

$$T_{O_{S_7}^{ji}}^{ji} = (T_{O_1^{S_7}^{ji}}^{ji}, T_{O_2^{S_7}^{ji}}^{ji}, T_{O_3^{S_7}^{ji}}^{ji}, T_{O_4^{S_7}^{ji}}^{ji}, T_{O_5^{S_7}^{ji}}^{ji}), \quad (1.4.8)$$

де:

$T_{O_1^{S_7}^{ji}}^{ji}$  — суперництво між конкурентами усередині галузі, сфері надання послуг, вихідні бар'єри тощо;

$T_{O_2^{S_7}^{ji}}^{ji}$  — загроза появи нових конкурентів та вхідні бар'єри;

$T_{O_3^{S_7}^{ji}}^{ji}$  — загрози від конкурентів, які намагаються наповнити ринок товарами-субститутами;

$T_{O_4^{S_7}^{ji}}^{ji}$  — інтеграція з постачальниками матеріалів, паливно-енергетичних ресурсів, обладнання тощо (інтеграція по входу) та здатність постачальників диктувати свої умови;

$T_{O_5^{S_7}^{ji}}^{ji}$  — інтеграція зі споживачами (інтеграція на виході) та

право споживачів товарів і послуг визначати свої умови.

Відповідно, конкурентоспроможність продукції  $O_{S_4}^{ji}$  будемо розрізняти на структурно-технологічному рівні за наступними основними категоріями

$$T_{O_{S_4}^{s_7}}^{ji} = (T_{O_1^{s_4}}^{ji}, T_{O_2^{s_4}}^{ji}, T_{O_3^{s_4}}^{ji}, T_{O_4^{s_4}}^{ji}), \text{ де:}$$

$T_{O_1^{s_4}}^{ji}$  — ціна продукції;

$T_{O_2^{s_4}}^{ji}$  — якість продукції;

$T_{O_3^{s_4}}^{ji}$  — витрати у сфері споживання за термін служби (експлуатації);

$T_{O_4^{s_4}}^{ji}$  — якість сервісних послуг.

У найбільш відомих моделях управління якістю (ефективністю) продукції загальні витрати на виробничий процес, що підлягають мінімізації, розглядаються за двома категоріями: витрати на забезпечення планового рівня якості (ефективності) продукції (послуг) та витрати, обумовлені невідповідністю досягнутого рівня запланованому, які, у свою чергу, розрізняють за витратами на запобіжні заходи, на вимірювання і контроль, на усунення недоліків, обумовлених внутрішніми виробничими причинами та змінами у зовнішньому середовищі тощо [122, 123].

На практиці кожен з глобальних факторів  $G^j$ , як правило, має складну внутрішню структуру з підпорядкованими складовими (проблемними питаннями), які також потрібно визначати при подальшій деталізації локальних факторів  $L^{ji}$ . Систематизацію таких складових доцільно здійснювати, використовуючи правило п'яти фундаментальних питань [99], на які система структурно-функціональних факторів має надати формалізовану відповідь:

$$G_P^j = (G_P^{j1}, G_P^{j2}, G_P^{j3}, G_P^{j4}, G_P^{j5}), \quad (1.4.9)$$

де:

$G_p^{j1}$  — які товари і послуги найбільш повно задовольняють потреби споживача;

$G_p^{j2}$  — що саме і скільки потрібно виробляти, які і в якому обсязі необхідно для цього залучати ресурси;

$G_p^{j3}$  — як організувати виробництво, за якою технологією та які компанії мають його здійснювати;

$G_p^{j4}$  — серед яких категорій споживачів та яким чином має розподілятися вироблена продукція, товари і послуги;

$G_p^{j5}$  — чи здатна система належним чином адаптуватися до змін у споживчому попиті, поставках ресурсів, в технологіях виробництва товарів і надання послуг, до змін нормативно-правової бази.

На Рис.1.4.5 наведено комплексну діаграму, що узагальнює розглянуті вище методичні підходи до структуризації причинно-наслідкових факторів впливу у системи енергоменеджменту об'єктів виробництва, постачання і споживання ЖК послуг. На цій діаграмі нумерація латинськими цифрами від 1 до 7 поіменно визначає типи об'єктів системи, класифікованих за виразами (1.4.5) - (1.4.7), малими літерами *a,b,c,d,e* умовно показані п'ять сил конкуренції, а римськими цифрами від *I* до *XII* означено основні рушійні сили  $W^j$ , які формують поле впливу оточуючого середовища на вирішення *j*-ої глобальної проблеми, що розглядається. Серед останніх, за концепцією Томпсона-Стрикленда розрізняють наступні причинно-наслідкові фактори змін структури конкурентних сил [118]:

I.  $W^{j1}$  — зміни у довгострокових тенденціях економічного зростання галузі в ринкових умовах, що впливають на співвідношення попиту і пропозиції; (4.10)

II.  $W^{j2}$  — зміни у складі споживачів, споживчому попиті та



у способах використання товару і послуг, що призводять до змін у номенклатурі та якості товарів і послуг;

- III.  $W^{j3}$  — організація виробництва нових інноваційних продуктів і послуг, їх диференціація та диверсифікація, що надає переваги перед конкурентами, які зволікають з впровадженням новинок;
- IV.  $W^{j4}$  — технологічні зміни, що забезпечують виробництво нових товарів і послуг та/або спрямованих на підвищення ефективності та якості виробництва існуючих;
- V.  $W^{j5}$  — зміни у системі маркетингу, що створюють умови для підвищення попиту на товари і послуги;
- VI.  $W^{j6}$  — входження на ринок або вихід з нього великих компаній, у тому числі, іноземних;
- VII.  $W^{j7}$  — розповсюдження ноу-хау та передача технологій;
- VIII.  $W^{j8}$  — глобалізація та економія на масштабах виробництва, створення кластерів та транснаціональних компаній;
- IX.  $W^{j9}$  — зміни у структурі витрат та продуктивності;
- X.  $W^{j10}$  — надання споживачами переваги стандартним (загальноприйнятим) або навпаки диференційованим за видами, типами і формою товарам і послугам;
- XI.  $W^{j11}$  — вплив змін у законодавстві та в політиці і діях уряду;
- XII.  $W^{j12}$  — зменшення впливу факторів невизначеності та ризику.

Для ранжирування причин і оцінки тяжкості наслідків дії факторів застосовують елементи FMEA-підходу (Failure Mode and Effects Analysis), за

яким розраховується пріоритетне число ризику (ПЧР) виникнення невідповідностей, яке визначається:

- значущістю (важливістю) наслідків від невідповідності – S (Significance);
- можливістю виникнення причин невідповідності – O (Origination);
- спроможністю усунення причини – D (Detection).

Кожний з рангів (S, O, D) визначається за 10-балльною шкалою, а ПЧР причини розраховується як добуток цих трьох рангів і може приймати значення від 1 до 1000. Ті причини, для яких ПЧР більше заданого граничного значення, підлягають усуненню в першу чергу.

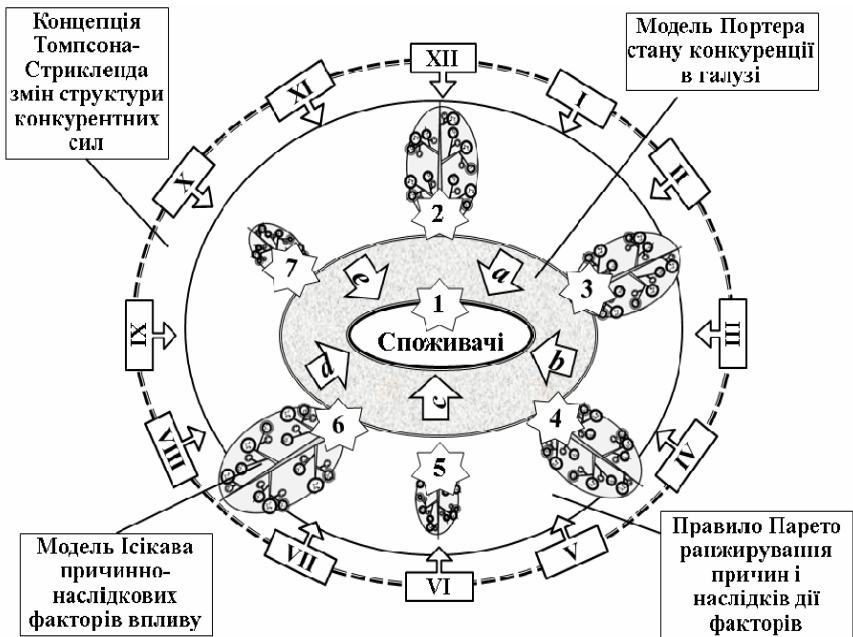


Рисунок 1.4.5 – Узагальнена діаграма структуризації причинно-наслідкових факторів впливу

Важливим інструментом первинного аналізу причин і оцінки тяжкості наслідків дії факторів слугує також розглянутий вище метод SWOT аналізу.

На цьому можливості формалізації (але не визначення та структуризації) системи факторів впливу за методикою, що базується на діаграмі Ісікава, вичерпуються і потрібно залучати інші моделі і підходи, які дозволяють подальшу формалізацію причинно-наслідкових зв'язків факторів, відображених на діаграмі у вигляді дерева з багаторівневою ієрархічно структурованою системою стрілок-гілок.

Такі можливості з'являються у разі застосування теорії графів, де множина направлених дуг  $U$  (стрілок-гілок), які з'єднують елементи визначеної множини точок (вершин стрілок), розміщених на площині  $X$  діаграми, може бути представлена як відображення множини  $X$  у саму себе [121].

За таким визначенням граф  $G$  вважається заданим, якщо дана множина його вершин  $X$  і спосіб відображення  $T : X \rightarrow X$  множини  $X$  в  $X$ . Інакше кажучи, граф  $G$  задається парою  $(X, T)$ , яка складається з множини  $X$  і відображення  $T$ , заданого на цій множині:  $G = (X, T)$ . Таке визначення графа повністю співпадає з визначенням відношення у теорії множин.

Як наслідок, на кожному графі  $G$  можливо виділяти сукупність підграфів  $G^j$ , до кожного з яких буде входити лише частина вершин графа  $G$  і дуг, що ці вершини зв'язує:  $G^j = (X^j, T^j)$ , тим самим ідентифікуючи глобальні, локальні, об'єктні та технологічні рівні ієрархічної системи факторів впливу, означених на діаграмі Ісікава.

Ще одним поняттям теорії графів, важливим для подальшої формалізації факторів впливу, є довжина  $l(\alpha)$  шляху  $\alpha = (u_1, \dots, u_k)$  на графі, яка вимірюється числом  $l(\alpha) = \sum_{u_i \in \alpha} l(u_i)$ , що визначається як сума довжин дуг, з яких складається даний шлях. При цьому, різноманіття шляхів на графі однозначно описується за допомогою матриць суміжності та інцидентів.

Теорія графів також надає можливість геометричного представлення відношень на множинах, яке відображає усі властивості відношень порядку: рефлексивності, транзитивності та антисиметричності [121]. Кажуть, що на графі  $G = (X, \mathcal{T})$  встановлено відношення порядку, якщо для будь-яких двох вершин  $x_1$  і  $x_2$ , які задовольняють умові  $x_1 \leq x_2$ , існує шлях із  $x_1$  в  $x_2$ . При цьому, вершина  $x_1$  буде передувати вершині  $x_2$ .

За допомогою понять теорії графів також набагато простіше піддається формалізації, стає прозорою і менш трудомісткою задача проведення оптимізаційних розрахунків з підвищення енергоефективності та енергозбереження у системах з ієрархічною структурою, яка формулюється у вигляді задачі знаходження найкоротшого шляху між двома вибраними вершинами графа. До такої задачі зводяться багато різноманітних задач вибору найбільш економного з точки зору відстані, часу або вартості маршруту на графі, переводу з мінімальними витратами (втратами) динамічної системи з одного стану в інший, оптимального управління складними системами тощо.

Для розв'язання таких задач можуть використовуватися методи лінійного, нелінійного і динамічного програмування, теорії ігор, теорії статистичних рішень, теорії розкладів і масового обслуговування, теорії нейронних мереж тощо. Однак для вирішення енергоекономічних задач найбільш доцільним представляється залучення балансово-оптимізаційних методів лінійного і нелінійного програмування, моделі яких найбільш адекватно відображають структурні та режимні особливості побудови і функціонування енергетичних систем, оперуючи з інформацією у вигляді фінансово-економічних і паливно-енергетичних балансових таблиць, найбільш поширених у практиці управління енергетичними системами та ведення обліку витрат і втрат. І, головне, такий підхід надає можливість не тільки окремо виділяти кожен з енергетичних об'єктів системи і кожен фактор впливу на ефективність та якість його функціонування, але ж і

можливість прозорого корегування кожного з параметрів, за яким здійснюється управління підвищенням енергоефективності та енергозбереженням на таких об'єктах.

#### 1.4.4. Структуризація системи глобальних факторів ефективності енерговикористання

В даному розділі, спираючись на результати проведеного у роботах [112, 124] вербального аналізу та класифікації стратегічних напрямків подолання проблем (перешкод, бар'єрів) на шляху підвищення ефективності використання ПЕР в енергетичних та енерготехнологічних системах, визначеної нами як глобальна проблема  $G^j$ , завершимо розпочатий у попередньому розділі процес побудови методики формалізації та структуризації факторів впливу для вирішення цієї проблеми. Це дозволить розрізняти наявні бар'єри як комплексні проблемні питання, категорії факторів впливу яких, на відміну від згаданих вище робіт, утворюють багаторівневу ієрархічну систему. Доцільність побудови такого роду розгалуженої системи (дерева) факторів впливу не викликає сумнівів, оскільки будь-яке питання, сформульоване як проблемне, зазвичай обумовлюється цілим рядом причин.

Задача комплексного врахування у багаторівневій системі сукупностей категорій факторів, які мають складну форму і структуру, наприклад, функціональних факторів, потребує гармонізації (координування) всієї сукупності з урахуванням розташованих поряд та вище і нижче категоріями.

Пропонується здійснювати таку гармонізацію за розширеним правилом « $M_1 \times M_2$ » у вигляді класифікаційної таблиці (матриці) узгодження категорій факторів, у даному прикладі розмірами  $k \times n$  (за означеннями, сформованими у попередніх розділах), де елементами таблиці будуть слугувати двоелементні кортежі декартового добутку множин

$$F^j \times S^j. \quad (1.4.11)$$

Для глобальної проблеми  $G^j$ , що розглядається, означимо ці двоелементні кортежі як  $F_h^{ji}$ . Тоді, для категорій факторів, наприклад, (4.5) і (4.9), класифікаційна таблиця узгодження за правилом « $M_1 \times M_2$ » буде мати вигляд, представлений на Рис.1.4.6.

При цьому, гармонізація (координування) означеної сукупності факторів впливу у цілому має цілеспрямовуватися на вирішення сформульованої глобальної проблеми и здійснюватися за глобальною метою  $\bar{G}^j$ .

Рівень F функціональних факторів	Рівень S структурних факторів						
	Умовно-постійні фонди	Умовно-змінні ресурси	Трудові ресурси та менеджмент	Ефективність та якість	Методи вимірювання	Природні та соціальні умови, потреби споживачів	Методи і ресурси конкуренції
Адміністративно- організаційні	$F_1^{j1}$	$F_1^{j2}$	$F_1^{j3}$	$F_1^{j4}$	$F_1^{j5}$	$F_1^{j6}$	$F_1^{j7}$
Виробничо- технологічні	$F_2^{j1}$	$F_2^{j2}$	$F_2^{j3}$	$F_2^{j4}$	$F_2^{j5}$	$F_2^{j6}$	$F_2^{j7}$
Фінансово- економічні	$F_3^{j1}$	$F_3^{j2}$	$F_3^{j3}$	$F_3^{j4}$	$F_3^{j5}$	$F_3^{j6}$	$F_3^{j7}$
Нормативно- правові	$F_4^{j1}$	$F_4^{j2}$	$F_4^{j3}$	$F_4^{j4}$	$F_4^{j5}$	$F_4^{j6}$	$F_4^{j7}$
Стратегічно- інноваційні	$F_5^{j1}$	$F_5^{j2}$	$F_5^{j3}$	$F_5^{j4}$	$F_5^{j5}$	$F_5^{j6}$	$F_5^{j7}$
Екологічні	$F_6^{j1}$	$F_6^{j2}$	$F_6^{j3}$	$F_6^{j4}$	$F_6^{j5}$	$F_6^{j6}$	$F_6^{j7}$
Інформаційно- освітні	$F_7^{j1}$	$F_7^{j2}$	$F_7^{j3}$	$F_7^{j4}$	$F_7^{j5}$	$F_7^{j6}$	$F_7^{j7}$

Рисунок 1.4.6 - Класифікаційна таблиця узгодження категорій факторів за розширеним правилом « $M_1 \times M_2$ »

Ця мета у свою чергу, як правило, також визначається сукупністю (множиною) локальних цільових функцій  $\bar{L}^i$ , взаємодія яких підлягає координуванню, тобто:

$$\bar{G}^j = (\bar{L}^i) \rightarrow opt, \quad (1.4.12)$$

де серед найпоширеніших локальних соціально-економічних цілей учасників (об'єктів, елементів) системи енергозабезпечення відмітимо наступні:

$\bar{L}^{j1}$  — зростання доходів;

$\bar{L}^{j2}$  — збільшення обсягів виробництва продукції (послуг) і продажу;

$\bar{L}^{j3}$  — збільшення частки ринку;

$\bar{L}^{j4}$  — зниження собівартості;

$\bar{L}^{j5}$  — підвищення якості продукції (послуг);

$\bar{L}^{j6}$  — підвищення конкурентоспроможності;

$\bar{L}^{j7}$  — розширення номенклатури та поліпшення якості товарів і послуг;

$\bar{L}^{j8}$  — поліпшення обслуговування клієнтів;

$\bar{L}^{j9}$  — підвищення продуктивності праці;

$\bar{L}^{j10}$  — підвищення рівня соціальної відповідальності;

$\bar{L}^{j11}$  — покращення добробуту найманих працівників.

Оскільки особливістю процедури координування цільових функцій за формулою (1.4.12) є суперечливість локальних цілей окремих елементів, які не завжди збігаються з цілями та функціями системи, то для ефективного координування необхідно так розподілити завдання і функції між елементами, щоб результати їх функціонування сприяли досягненню глобальної мети системи.

За таким підходом, комплексні проблемні питання, визначені у роботах [112, 124], будуть гармонізовані з системою категорій локальних факторів впливу за допомогою кортежів наступного виду, які в рамках побудованого дерева будуть визначати повну сукупність факторів, взаємодію яких потрібно враховувати при визначенні методів і засобів вирішення сформульованої глобальної проблеми (у розгорнутому вигляді покажемо перші три кортежі):

1. Незбалансованість попиту та пропозиції на продукцію та послуги:

$$(F_1^j, F_2^j, F_3^j, F_4^j, F_5^j, F_6^j, F_7^j) \times (S^{j1}, S^{j2}, S^{j3}, S^{j4}, S^{j5}, S^{j6}, S^{j7}).$$

Як бачимо, вирішення цього проблемного питання потребує врахування впливу та взаємодії тільки на об'єктно-функціональному рівні, як мінімум 49 двоелементних кортежів, утворених за компонентами (елементами) класифікаційної таблиці, представленої на Рис.1.4.6;

2. Низький рівень розробки бізнес-планів самоокупних проектів з енергозбереження та реалізації револьверних механізмів нарощування прибутку від їх реалізації, невідповідність матеріального стимулювання персоналу за економію паливно-енергетичних ресурсів:

$$(F_1^{j3}, F_1^{j4}, F_1^{j5}, F_2^{j5}, F_3^{j3}, F_3^{j5}, F_7^{j3}) \times (S^{j3}, S^{j4}, S^{j5});$$

3. Низький рівень освіти у сфері енергозбереження, енергомаркетингу та енергоменеджменту, низька інформованість керівництва підприємств та населення про альтернативні варіанти постачання енергії та техніко-економічні можливості використання енергозберігаючих матеріалів та обладнання, відсутність системи консалтингових і сервісних центрів з питань енергоефективності:

$$(F_7^{j1}) \times (S^{j1}, S^{j2}, S^{j3}, S^{j4}, S^{j5}, S^{j6}, S^{j7});$$

4. Обмежені можливості вибору постачальника, виду енергоносія, типу приладів обліку, плану тарифів на постачання енергії, що у сукупності обмежує можливості конкуренції;

5. Витрати, пов'язані з нераціональним використанням енергії покриваються суспільством, а не винуватцями;

6. Витрати, пов'язані із забрудненням навколишнього середовища, усуненням екологічних наслідків при виробництві, передачі або споживанні енергії не покриваються забруднювачами;

7. Фінансові потоки на енергетичних ринках побудовані за адміністративними ознаками, процес прийняття рішень не прозорий;

8. Відсутність капіталу, особливо оборотних коштів;



9. Великі витрати на нарощування капіталу внаслідок високих кредитних ставок (період окупності інвестицій для проектів з енергозбереження стає дуже тривалим);
10. Неплатежі за використану енергію (приводить до нестачі палива для електростанцій і ТЕЦ, дефіциту теплової і електричної енергії і зводить ідею функціонування енергоринків нанівець), безкарність за неплатежі за використану енергію;
11. Недосконалість тарифів на енергоносії, відсутність практики їх вибору і використання приводить до значних "комерційних" втрат потужності та енергії та ін.;
12. Тарифи на потужність та енергію не відображають міри участі всіх учасників енергоринку і недостатньо прозоро відображають реальні витрати енергокомпаній, відсутня система критеріїв вибору і узгодження тарифів на електричну енергію між постачальниками і споживачами;
13. Спрямування бюджетних і позабюджетних субсидій на виробництво і введення в експлуатацію установок нетрадиційної енергетики, а не користувачам цих установок, як це робиться в інших країнах;
14. Низький ККД генеруючого обладнання через його значне зношення;
15. Неefективна структура генеруючих потужностей (недостатня маневрова потужність);
16. Великі технологічні втрати у споживачів із-за низької якості ПЕР, електричної і теплової енергії, перерви в енергопостачанні тощо;
17. Понаднормативні технологічні і комерційні втрати енергії при транспортуванні і розподілі;
18. Незадовільні темпи оновлення обладнання, нестача інвестицій;
19. Порушення правил безпеки;
20. Відключення споживачів, які не мають заборгованості з оплати за ПЕР;

21. Відсутність автоматизованих систем обліку енергії і розрахунків за спожиту енергію;
22. Відсутність нормативних актів для обов'язкового обліку витрат теплової і електричної енергії, а також інших енергоносіїв на всіх рівнях - від виробництва до споживання;
23. Правила користування електричною енергією і практика їх застосування не враховують прав споживача, відсутній механізм захисту цих прав;
24. Нормативно-правова база технологічного і загальнозаводського нормування не дозволяє в повному обсязі використовувати потенціал енергозбереження;
25. Непрозорий процес та процедури прийняття рішень при приватизації, здачі в оренду, концесію тощо енергетичних і енерготехнологічних об'єктів;
26. Зміст та форма пільг за використання енергії не відповідає ринковим відносинам;
27. Несанкціонований відбір енергоносіїв та енергії (крадіжки);
28. Відсутність системи сертифікації енергозберігаючого обладнання на відповідність державним стандартам, яка дає право на його монтаж і отримання державних субсидій;
29. Нерозвиненість ринкових відносин, лобіювання інтересів окремих фірм-виробників;
30. Відсутність дієвого контролю з боку державних і місцевих органів влади (і навіть сприяння) за виробництвом товарів з високим рівнем енерговитрат, де інвестиції спрямовуються на збільшення обсягів. а не на підвищення енергоефективності, що у кінцевому результаті призводить до необхідності субсидування такого виробництва з боку держави (суспільства).

Алгоритм подальшої структуризації наведених проблемних питань буде полягати у визначенні пріоритетних факторів, за якими досягається

максимальний енергозберігаючий ефект при мінімальних витратах і зусиллях, що потребує визначення кількісних і якісних показників ефективності використання енергії у системі в порівнянні з передовою міжнародною практикою.

#### **1.4.5. Базові принципи координування взаємодії елементів системи з багаторівневою ієрархічною структурою**

Застосування ринкових принципів і механізмів в управлінні складними енерготехнологічними системами потребує створення конкурентного середовища, що, як правило, здійснюється шляхом послідовного проведення децентралізації системи та формування центрів відповідальності (координації), які забезпечують гарантоване отримання прибутку [90, 125]. Означимо такий підхід як координаційно-децентралізований.

Базові принципи децентралізації та координування взаємодії елементів багаторівневої системи енергоменеджменту ЖКГ України мають бути закладені як у структурі функціонально самостійних блоків (елементів системи), так і їх взаємозв'язках на різних рівнях ієрархії системи. Більш того, мають бути визначені стратифікаційні рівні (підсистеми), які розрізняються за характерними особливостями основних функцій елементів системи та зв'язків між ними.

За даних умов, проблему координованої децентралізації системи енергоменеджменту можливо сформулювати як задачу вибору оптимального ступеню функціональної самостійності її елементів (об'єктів, суб'єктів) в межах системних обмежень, що визначаються і регулюються вище розташованими суб'єктами (об'єктами), а в якості критерію оптимальності слугують показники економічної, енергетичної, екологічної, соціальної тощо ефективності функціонування суб'єктів і об'єктів управління (прибуток, рентабельність виробництва, рівень життя тощо). Принципово важливо, що в такій постановці ринкова за своєю метою задача оптимальної децентралізації

(стратифікації) системи енергоменеджменту зводиться до задачі математичного програмування з варійованими обмеженнями.

При цьому, обумовлена децентралізацією задача координування взаємодії помірно децентралізованих суб'єктів (локальних елементів) ієрархічної системи енергоменеджменту також може бути сформульована за принципами ринкової економіки (вільної, монополістичної тощо конкуренції), що припускає усередині системи обмін “товарів” між елементами за системно узгодженими “внутрішніми цінами” (об'єктивно обґрунтованими економічними оцінками). Відмітимо, що, у першу чергу, це стосується актуального для України питання визначення на законодавчому рівні енергозбереження як товару, що продається та купується. За цих умов глобальна задача оптимальної децентралізації та координації помірно децентралізованих суб'єктів ієрархічної системи управління енергозбереженням зводиться до оптимального вибору “внутрішніх цін”, що визначаються відповідними ринковими механізмами цінового (тарифного) регулювання, та фізичними обсягами енергозбереження як “енергетичного товару”.

Формалізація даної задачі потребує введення ряду понять, які дозволять провести класифікацію і аналіз специфічних особливостей побудови багаторівневих ієрархічних систем енергоменеджменту ЖКГ України з урахуванням можливих неузгодженостей (векторним характером) цілей управління на різних рівнях ієрархії.

У відповідності до сформованого у попередніх розділах факторного поля системи енергоменеджменту ЖКГ України, до базових (системоутворюючих) принципів побудови та функціонування багаторівневих ієрархічних систем відносяться:

- послідовно вертикальне (деревоподібне) розташування елементів і підсистем, які утворюють дану систему (вертикальна декомпозиція системи);

- пріоритет дій (цілей) або право втручання елементів (підсистем) верхнього рівня у діяльність підсистем нижчих рівнів;
- залежність дій підсистем верхнього рівня від фактичного виконання підсистемами нижчих рівнів своїх функцій.

Вертикальна підпорядкованість (структурованість) системи енергоменеджменту ЖКГ України дозволяє реалізовувати процедуру рішення проблеми, за якою сукупність заходів з енергоефективності та енергозбереження виконується на різних рівнях ієрархії в різний час і в різній послідовності, як правило, з інтервалами часу, що охоплюють місяці, квартали і, навіть, роки функціонування системи. Це, безумовно, відноситься до всіх підсистем системи, а не тільки до технологічних, де фізично виникає енергозберігаючий ефект. При цьому, на діяльність певної підсистеми енергоменеджменту безпосередні та явно визначені управляючі впливи здійснюють найближче розташовані підсистеми верхнього рівня ієрархії. Ці впливи навіть в ринкових умовах носять для нижче розташованих рівнів (підсистем) обов'язковий характер, пов'язаний не стільки з їх адміністративно-територіальною підпорядкованістю ( $U_A$ ), скільки з наявною системою економічних стимулів (премій ( $U_P$ ) і штрафів ( $U_{Ш}$ )), що впливають на кінцевий результат діяльності системи (продуктивність та прибутковість тощо).

Який би характер не носили ці управляючі впливи  $U$  ( $U_A$ ,  $U_P$ ,  $U_{Ш}$ ), їх дію потрібно розглядати як процес координації (узгодження) діяльності підсистем, що здійснюється з метою стимулювання до ефективного використання ПЕР та енергозбереження, оскільки пріоритет виконання рішень вище розташованих підсистем (у межах визначених повноважень) є необхідним для досягнення глобальної мети системи.

Хоча пріоритет управляючих дій (впливів) спрямований зверху вниз, ефективність функціонування системи у цілому та фактично кожного її ієрархічного рівня залежить від поведінки (реакції) усіх елементів системи, яка спрямована знизу вгору. Тому ефективність функціонування системи у

ринкових умовах, де забезпечується коректне врахування реакцій підсистем на управляючі впливи, суттєво підвищується.

Подібне врахування реакцій підсистем досягається шляхом прозорості (відкритої для всіх учасників ринку) формалізації процедур управління на основі стратифікаційних підсистем з відповідними управляючими і зворотними зв'язками, за допомогою яких управління функціонуванням системи у цілому та кожної з її підсистем здійснюється ієрархічно структурованою системою стратифікаційних механізмів, на кожному з рівнів абстрагування яких допускається застосування різних видів і типів параметрів управління та змінних, що у найбільшій мірі ним пасують.

Для багаторівневої ієрархічної системи енергоменеджменту ЖКГ України доцільним представляється визначення п'яти стратифікаційних підсистем, а саме: адміністративно-організаційної; економічної; технологічної; екологічної; та соціальної.

Реалізація цього підходу має охоплювати фізичні процеси підвищення енергоефективності та енергозбереження, що розглядаються на технологічному рівні, та враховувати фінансово-економічні фактори і процеси, які розглядаються з точки зору їх економічної, екологічної та соціальної ефективності і доцільності тощо, що потребує відповідного визначення параметрів управління та застосування специфічних методів і економічних механізмів на адміністративно-організаційному рівні, які поєднують стратифікаційні підсистеми управління у єдину систему.

Принципова можливість застосування розглянутого підходу у ЖКГ України пояснюється тим, що: (1) на всіх стратифікаційних рівнях системи з різних точок зору розглядається один і той же фізичний предмет (ресурс, продукт, послуга) — заощаджена енергія; (2) фізичний предмет за цим підходом визначається потоками двох стратифікаційних фундаментальних змінних — енергії ( $e$ ) та грошей ( $p$ ); (3) компоненти (складові) цих фундаментальних змінних підпорядковуються фізичним та економічним закономірностям збереження матерії, енергії, коштів тощо; (4)

загальносистемні баланси ресурсів, продуктів, послуг у системі за таким підходом розраховуються як у фізичних, так і у грошових одиницях [34, 45].

При цьому принципово важливо, що, незважаючи на нелінійний і динамічний характер технологічних процесів у системі та в її  $n$  підсистемах, обидві фундаментальні змінні  $e = (e_1, e_2, \dots, e_n)$  та  $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ , які вводяться до розгляду, по-перше, завжди позитивні, а по-друге — є елементами лінійних (векторних) просторів, що суттєво спрощує подальший аналіз та оптимізацію параметрів системи енергоменеджменту на всіх ієрархічних рівнях її розгляду. Як елементи лінійних просторів ці фундаментальні змінні задовольняють наступним умовам [126]:

(1) для будь-яких двох їх складових, наприклад,  $(e_1, e_2)$  або  $(p_1, p_2)$ , що належать до множини параметрів управління  $U$ , однозначно визначається їх сума  $e = e_1 + e_2$ ,  $e \in U$ , яка підпорядковується законам комутативності ( $e_1 + e_2 = e_2 + e_1$ ) та асоціативності ( $e_1 + (e_2 + e_3) = (e_1 + e_2) + e_3$ );

(2) для будь-яких чисел  $\alpha, \beta$  та будь-якого вектора  $e \in U$  визначається вектор  $\alpha e \in U$  (добуток вектора  $e$  на число  $\alpha$ ), причому  $\alpha(\beta e) = (\alpha\beta)e$ ,  $(\alpha + \beta)e = \alpha e + \beta e$ ,  $\alpha(e_1 + e_2) = \alpha e_1 + \alpha e_2$ ;

(3) будь-яке лінійне перетворення у цьому просторі може бути записано як множення вектора на лінійний оператор  $A$ , причому

$$A(e_1 + e_2) \equiv Ae_1 + Ae_2, A(\alpha e_1) \equiv \alpha(Ae_1).$$

Перше із співвідношень умови (3), є ключовим для подальшого аналізу, оскільки за фізичним змістом визначає принцип суперпозиції енергії. Дія цього фундаментального принципу в даній роботі поширюється на економічну категорію грошей та грошових потоків, які за своїм головним призначенням слугують загальним еквівалентом (товаром), за допомогою якого виражається вартість всіх інших товарів та економіко-математичні операції, котрі підпорядковуються умовам (1) - (3).

Це дозволяє поряд з поняттям енерготехнологічної ефективності, яка визначається як  $\eta_i = Q_{\text{вих}}/Q_{\text{вх}}$ , де  $Q_{\text{вих}}$  – потік (обсяг) вихідного енергетичного

ресурсу, продукту, послуги, а  $Q_{\text{вх}}$  - потік (обсяг) вхідних енергетичних ресурсів, продуктів, послуг  $i$ -тої підсистеми, які вимірюються у фізичних одиницях, формально визначати енергоекономічну ефективність функціонування будь-якої підсистеми (системи у цілому) як  $\mu_i = P_{\text{вих}}/P_{\text{вх}}$ , де  $P_{\text{вих}}$  - потік (обсяг) платежів за вихідний енергетичний ресурс, продукт, послугу, а  $P_{\text{вх}}$  - потік (обсяг) платежів за вхідні енергетичні ресурси, продукти, послуги  $i$ -тої підсистеми (системи), що вимірюються у грошових одиницях.

При цьому з'являється можливість формувати нові або використовувати відомі коефіцієнти і показники енергоекономічної ефективності та якості функціонування системи управління енергозбереженням, які формально утворюються за умовами (1) - (3) як функції параметрів енергетичних та фінансових потоків у системі, наприклад, — відомий показник енергоємності, який визначається відношенням спожитої системою енергії у фізичних одиницях до створеної системою валової додаткової вартості у грошових одиницях.

Систематизація коефіцієнтів та показників енергетичної та економічної ефективності системи енергоменеджменту на основі запропонованого енергоекономічного підходу дозволяє виявити ще один принципово важливий ефект, а саме — наявність вісі симетрії між фізичними та економічними змінними системи, що своєї черги, свідчить про можливість використання певної нової сукупності властивостей системи, які підпорядковуються узагальненому принципу енергоекономічної суперпозиції. Так, за цим принципом, обсяги (потоки) ресурсів, продуктів, послуг системи у фізичних та у грошових одиницях будуть визначатися ідентичними за структурою виразами [34,45]:

$$Q_{\text{вих}} = \eta_1 \eta_2 \dots \eta_n Q_{\text{вх}}, \quad P_{\text{вх}} = \mu_1 \mu_2 \dots \mu_n P_{\text{вих}}$$

Формування цілісної системи коефіцієнтів та показників енергоекономічної ефективності управління енергозбереженням відбувається поступово при переході від одного ієрархічно підпорядкованого



стратифікаційного рівня до іншого. У свою чергу, на кожному стратифікаційному рівні можливо й доцільно використовувати свої специфічні підходи та моделі. Так, на кожному адміністративно-організаційному стратифікаційному рівні, де основні труднощі пов'язані з процесами прийняття управлінських рішень, алгоритм пошуку і прийняття рішень має включати у явному або неявному вигляді етапи (відповідні блоки, елементи, зв'язки тощо) вибору стратегії управління, корегування неузгодженостей, що виникають на різних рівнях ієрархії, визначення доцільних способів та засобів досягнення запланованого результату в умовах існуючих обмежень.

Потрібно також підкреслити, що досягнення стратегічних цілей управління, в якості яких зазвичай слугують максимізація прибутку, підвищення енергоекономічної ефективності, мінімізація собівартості виробництва та екологічних витрат тощо, здійснюється шляхом впровадження енергозберігаючих заходів в ринкових умовах функціонування ЖКГ України, що потребує беззаперечного врахування вартості самого управління.

Специфіка визначення цієї вартості в ринкових умовах полягає в тому, що управляючі елементи (органи) нижчих рівнів ієрархії системи, хоча і діють в умовах цілеспрямованого впливу елементів верхнього рівня, але ж у цілому мають свободу вибору власних рішень, які можуть бути, але не обов'язково будуть співпадати з рішеннями, які приймаються на вище розташованому рівні. Така свобода вибору є необхідною для ефективного функціонування ієрархічних систем управління, бо тільки в області раціонального розподілення адміністративно-командних (директивних) і ринкових (конкурентних) функцій управління між елементами різних рівнів ієрархії виникає синергетичний ефект, який робить доцільним сам факт існування ієрархічної структури управління в ринкових умовах функціонування системи.

Розв'язання означених проблем у процесі побудови системи енергоменеджменту ЖКГ України є достатньо складним і потребує залучення теоретико-ігрових методів, методів теорії множин і функціонального аналізу, оптимізації та прогнозування [115, 127, 128]. При цьому для формалізації відносин між рівнями ієрархії управління спочатку доцільно розглядати дворівневу систему прийняття рішень, що охоплює місцевий (муніципальний) рівень та рівень господарюючих суб'єктів ЖКГ. Така дворівнева система має один вище розташований елемент (міську раду з її виконавчим комітетом) та  $n$  підпорядкованих йому нижче розташованих елементів – місцевих підприємств ЖКГ, що є типовим для системи енергоменеджменту ЖКГ України, яка у цілому складається з означених муніципальних підсистем за модульним принципом.

Процес управління у такій дворівневій системі з теоретичної точки зору може розглядатися як сукупність  $n$  незалежних ігор двох осіб — міського виконавчого комітету та окремо взятого підприємства ЖКГ, які діють в ринкових умовах, але ж обмежених умовами координації та підпорядкованості між ними, або – як більш складну гру  $n$  осіб, пов'язаних коаліційними угодами.

Ідеальна організація цього процесу як на практиці управління, так і з теоретичної точки зору, спирається на перший тип гри, який доповнюється елементами системно узгодженої координації зусиль всіх  $n$  підприємств ЖКГ, які при цьому визначаються відомими всім гравцям правилами функціонування локальних (в даному випадку — місцевих) ринків житлово-комунальних послуг та закріплюються договірними зобов'язаннями всіх учасників ринку.

Слід враховувати, що процеси координації управлінських рішень в ієрархічно побудованих системах протікають як у параметричному, так і часовому просторах. При цьому, часову послідовність прийняття управлінських рішень доцільно розглядати на двох інтервалах за алгоритмом, де на першому інтервалі вище розташований управляючий елемент

координує дії нижче розташованих елементів до моменту, як вони приймуть власні рішення. Така координація має спиратися на прогнозовану поведінку як системи у цілому, що складається з  $n$  незалежних гравців, так і оточуючого середовища. При такій постановці, до задач управляючого елемента входить визначення функцій ефективності діяльності елементів нижче розташованого рівня та відповідного механізму (процедури) визначення частки участі кожного з них у діяльності з підвищення ефективності функціонування системи у цілому. На другому інтервалі, після того моменту, як елементи нижче розташованого рівня приймуть та реалізують свої рішення, вище розташований елемент корегує свої рішення з урахуванням досягнутих системою результатів, застосовуючи за необхідністю штрафні санкції або засоби заохочення.

Параметри інформації, що циркулює по системі зверху вниз і навпаки, також змінюються у часі і просторі. При цьому сигнали, що надходять з гори, призвані конкретизувати задачі, які підлягають рішенню на рівні нижче розташованих елементів, а сигнали, що йдуть у зворотному напрямі – нести інформацію про стан функціонування елементів системи. В загальному випадку, вище розташований елемент формує алгоритми і правила взаємодії (правила гри) елементів та впливу на них з метою спрямування на досягнення глобальної мети системи, що реалізується за допомогою відповідних структур (органів), алгоритмів та способів взаємодії й координування.

У цілому, розглянутий алгоритм координації управлінських рішень, що має розрізняти часові та параметричні інтервали до та після реалізації заходів з підвищення ефективності функціонування системи у цілому та для кожного з її локальних елементів (підсистем) окремо, з математичної точки зору може розглядатися як задача оптимального управління запасами, в даному випадку — управління “запасами ефективності” (потенціалом енергозбереження). Оптимальна послідовність та динаміка управління “запасами” у системі проявляються в такій постановці задачі на етапах стиковки початкових і кінцевих умов реалізації кожного із заходів з підвищення енергоефективності

та енергозбереження, які впроваджуються на різних підприємствах ЖКГ за різними часовими інтервалами та обсягами витрат. При цьому, оптимальне управління набуває властивостей “револьверного” механізму [34, 45], якщо замикається у цикл, за яким отриманий внаслідок реалізації заходів з енергозбереження прибуток вкладається у нові заходи з енергозбереження.

## **Глава 1.5. Формалізація задач енергетичного менеджменту в межах загальної теорії управління багаторівневими системами**

### **1.5.1. Структурно-функціональні особливості побудови ієрархічних багаторівневих систем управління**

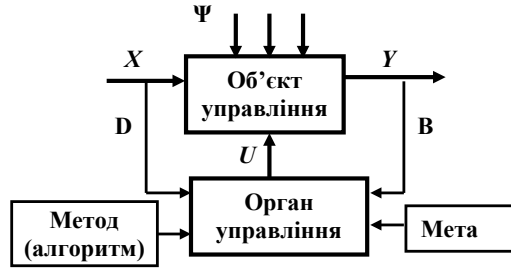
Незважаючи на велику кількість фундаментальних публікацій, присвячених проблемам підвищення енергоефективності та енергозбереження у світі та в Україні, де розглядаються питання управління у цій сфері на рівні країни та в окремих секторах економіки, у тому числі у житлово-комунальному господарстві [14-20, 22-23, 31-33 та ін.], потрібно відзначити суто вербальний характер розгляду цих питань та практичну відсутність формалізованих моделей і методів їх побудови.

З метою усунення цього недоліку, спочатку визначимо структурно-функціональні особливості побудови формалізованої моделі управління енергоефективністю у ЖКГ України як складної системи енергоменеджменту, що має ієрархічну багаторівневу структуру.

Теоретичні основи управління як процесу цілеспрямованого впливу на об'єкт управління достатньо широко і глибоко розроблені у класичних роботах таких вчених, як М.А. Айзерман, Е.П. Попов, М.М. Красовський, О.А. Фельдбаум, Я.З. Ципкін, Л.С. Понтрягін, В.Г. Болтянський, Р.Е. Kalman, R. Bellman, Е.В. Lee, R. Tomovich, А.Р. Sage, та багато інших.

Сформульоване у цих роботах поняття управління автори відносять до класу складних системних понять, що визначається упорядкованими множинами елементів та зв'язків між ними, у першу чергу таких складових як об'єкт управління (ОУ), орган управління, мета, метод та алгоритми управління, впливи і збурення. На Рис.1.5.1 наведено класичну структурно-функціональну схему системи автоматичного управління об'єктом, що поєднує у єдину систему управління об'єкт і орган управління (регулювання), канали вхідного впливу  $X$  і збурень  $\Psi$  оточуючого середовища на ОУ та вихідного

впливу  $Y$  об'єкта управління на зовнішнє середовище, канали впливу управляючої (регулюючої) дії  $U$  на ОУ та канали прямого ( $D$ ) і зворотного ( $B$ ) зв'язку. При цьому, за наявними прямими зв'язками  $D$  у такій системі реалізуються переваги принципу управління по збуренню, а за зворотними зв'язками  $B$  — принципу управління по відхиленню (розузгодженню).



**Рисунок 1.5.1 - Структурно-функціональна схема**

На жаль, вирішувати задачі енергоменеджменту у складній системі з багаторівневою ієрархічно побудованою структурою як ЖКГ України застосуванням виключно класичних методів управління не вдається, оскільки окрім технологічних аспектів необхідно враховувати економіко-організаційні та соціально-політичні фактори взаємодії між суб'єктами (елементами) системи. Останні грають принципово важливу роль у вирішенні проблеми підвищення енергетичної ефективності функціонування ЖКГ України, де складність управлінських завдань посилюється необхідністю безумовного забезпечення споживачів життєво необхідними послугами навіть в умовах неплатоспроможності (головним чином населення).

Відкритим в межах класичної теорії залишається також питання побудови моделі енергоменеджменту ЖКГ країни, де канали  $X$  і  $Y$  системи виконують функції каналів передачі “силової” інформації щодо обсягів і вартості спожитих паливно-енергетичних і природних ресурсів, а канали  $B$  і  $D$  — “управлінської” інформації щодо значень контрольованих в ОУ економіко-організаційних величин.

Теорія управління подібними багаторівневими ієрархічними організаційно-технологічними системами є відносно молодого, що почала активно розвиватися у 60-тих роках минулого століття з появою потужної

обчислювальної техніки зусиллями таких вчених, як А.Г. Аганбегян, В.Н. Бурков, В.А. Волконський, Ю.М. Єрмольєв, О.Г. Івахненко, В.С. Михалевич, М.М. Моїсєєв, Г.С. Поспєлов, Ю.М. Фаткін, Н.З. Шор, К.І. Arrow, R. Bellman, W.E. Miller, D. Macko, M.D. Mesarovich, J.D. Pearson, Y. Takahara та інші. На сьогодні достатньо розвинуто теорію одно- та багатоцільових рішень в однорівневих системах. Робіт, які присвячені математичним аспектам теорії багаторівневих ієрархічних систем, набагато менше. Серед останніх у першу чергу необхідно відмітити роботи [115, 127, 128], де на основі теоретико-множинних концепцій вперше вирішено задачу координування взаємодій у дворівневій системі, що складається з підсистем управління нижнього рівня, підпорядкованих органу управління верхнього рівня.

Відкритими в задачі побудови математичної моделі системи енергоменеджменту ЖКГ України, що формулюються в даній роботі, залишаються питання поєднання двох розглянутих підходів з метою визначення структури багаторівневої ієрархічно побудованої системи управління енергоефективністю та енергозбереженням у ЖКГ України, формалізації факторного і параметричного полів для кожного з рівнів ієрархії управління та удосконалення методів і алгоритмів розв'язання задачі цільового управління у такій складній системі.

Відразу ж слід наголосити, що формалізація (структурна та параметрична) об'єкта управління та каналів взаємних впливів  $X$ ,  $U$  і  $Y$  системи енергоменеджменту ЖКГ, як і будь-якої моделі управління взагалі, має виконуватися під кутом зору мети управління, яка власне насамперед і визначає ту сукупність умов, параметрів, властивостей і вимог, яким повинна задовольняти система управління, що знаходиться під дією управляючих впливів і збурень. Інакше кажучи, мета управління має слугувати тим головним фактором, який визначає вид, форму і параметри об'єкта управління та каналів його взаємодії з оточуючим середовищем. Саме такий підхід дозволяє провести формалізацію методів управління як сукупності правил, алгоритмів і способів цілеспрямованого впливу на об'єкт та забезпечує досягнення поставленої мети.

При цьому, мета і метод (алгоритми) управління носять зовнішній характер по відношенню до системи управління, оскільки визначаються іншою, розташованою на більш високому рівні ієрархії, системою управління.

Узагальнюючи такий підхід, слід відзначити, що окрім згаданих вище класифікаційних ознак система енергоменеджменту ЖКГ України має бути віднесена до класу програмно-адаптивних систем екстремального управління [129, 130], оскільки: по-перше, стан об'єкта управління цієї системи характеризується показниками енергетичної, економічної та екологічної ефективності, які є функцією параметрів ОУ; по-друге, метою управління є досягнення екстремуму функціоналу, що характеризує залежність обсягів досягнутого енергозбереження від обсягів фінансування в умовах проведення планових змін структури і технологічних параметрів ОУ; по-третє, екстремальний характер носять залежності вигоди-витрати на реалізацію організаційно-технічних заходів з управління енергоефективністю та енергозбереженням, не кажучи вже про екстремальний характер залежностей вигоди-витрати від впровадження заходів з охорони навколишнього середовища; і наприкінці – ЖКГ України являє собою складну ієрархічно побудовану систему, організаційно-технічні заходи з управління енергоефективністю та енергозбереженням в якій здійснюються на різних рівнях ієрархії. Тобто, до основної мети управління, яка полягає у досягненні оптимальних з енергетичної, економічної та екологічної точок зору обсягів енергозбереження, додаються ще екстремальні критерії якості досягнення цього результату економічно-та-соціально доцільними з організаційно-технологічної точки зору заходами.

В загальному випадку це потребує вирішення у системній постановці таких основних задач як: розробка прогнозів та програм підвищення енергоефективності та енергозбереження; техніко-економічне планування залучення інвестицій в енергоефективність та енергозбереження; організація управлінської діяльності, забезпечення обліку і контролю; економічне стимулювання, планування та управління оновленням матеріально-технічної



бази у цій сфері. При цьому, критерії якості (ефективності) надають кількісну оцінку можливостей досягнення мети управління декількома різними способами, серед яких необхідно вибирати такий, що потребує найменших витрат ресурсів.

З точки зору подальшої формалізації та побудови математичної моделі енергоменеджменту у розглянутій системі, розв'язання задач екстремального управління пропонується здійснювати шляхом їх декомпозиції на ряд більш простих задач за наступним алгоритмом. На першому етапі пропонується вирішувати задачі досягнення екстремальної мети у системі шляхом проведення виключно організаційно-технічних заходів з енергоефективності та енергозбереження (тобто, шляхом варіації організаційно-технологічних параметрів управління при незмінних інших). В такій постановці вихідна задача управління допускає рішення у класі оптимізаційних задач математичного програмування [131], де для розв'язання ринкових аспектів управління існують власні теоретико-ігрові підходи та алгоритми, наприклад, будь-яка дискретна гра може бути зведена до еквівалентної задачі лінійного програмування і навпаки [132, 133]. Така взаємозамінність є принциповою, оскільки з ринкової точки зору суб'єкти ЖКГ України з одного боку належать до різних форм власності, включаючи державну і муніципальну, а з іншого — є монополістами, для яких вищий орган управління має право самостійно змінювати правила гри, що в більшості випадків моделювання вкрай ускладнює застосування інших теоретико-ігрових підходів, але ж дозволяє ефективно і головне прозоро застосовувати методи математичного програмування та імітаційного моделювання.

На другому етапі розв'язання задачі екстремального управління можливо приступати до варіювання технологічних параметрів об'єкту управління. Для вирішення цієї задачі потрібно залучення методів планування оптимального експерименту [135], оскільки зміна технологічних параметрів об'єкту управління, як правило, пов'язана з впровадженням нових енергоефективних технологій та обладнання. При цьому, діапазони варіювання параметрів об'єкту

управління доцільно розбивати на низку піддіапазонів, де технологічні параметри об'єкту можливо вважати незмінними, та послідовно проводити розв'язання задачі екстремального управління для кожного з піддіапазонів, а наприкінці — серед знайдених локальних екстремумів вибрати глобальний. Зрозуміло, що у даному випадку реалізація розглянутого алгоритму розв'язання задачі екстремального управління шляхом її декомпозиції на ряд більш простих потребує проведення додаткових процедур кусочно-лінійної апроксимації технологічних параметрів і параметрів управління.

Узагальнена структурно-функціональна схема системи енергоменеджменту ЖКГ України показана на Рис.1.5.2. Як видно, ієрархія системи складається з чотирьох рівнів (підсистем) управління, означених нижніми індексами, відповідно: загальнодержавного —  $D$ ; місцевого (обласного, міського, селищного тощо) —  $M$ ; господарюючих суб'єктів ЖКГ (підприємств) —  $H$ ; і споживчого —  $C$ .

Узагальнену систему енергоменеджменту ЖКГ країни доповнено елементами порівняння (ЕП) та міжсистемними зв'язками, які призначені для врахування енергозберігаючого ефекту, досягнутого на нижчих рівнях

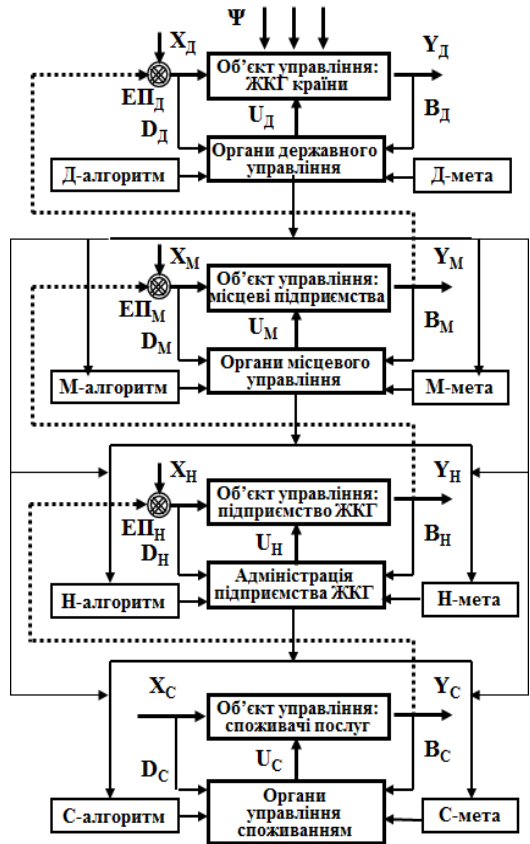


Рис.1.5.2 – Структурно-функціональна схема ієрархічної системи енергоменеджменту ЖКГ України

ієрархії.

Як видно, органи державного управління перш за все впливають на мету та алгоритми функціонування (пошук оптимальних рішень) органів місцевого управління, що дозволяє послідовно (зверху-вниз та знизу-вверх) проводити корегування їх діяльності та підвищувати ефективність системи енергоменеджменту ЖКГ України за результатами контролю досягнутого рівня енергетичної, економічної та екологічної ефективності на всіх рівнях ієрархії системи, включаючи і споживання житлово-комунальних послуг, що є принциповим у ринкових умовах функціонування системи.

Деталізовану на рівні підсистеми господарюючих суб'єктів частину функціональної схеми системи енергоменеджменту ЖКГ України наведено на Рис.5.3 [134]. Видно, що об'єкт управління підсистеми (господарюючий суб'єкт ЖКГ) під дією управляючих впливів  $U_Q$ ,  $U_P$  та  $U_E$  споживає енергетичні та екологічні ресурси в обсязі  $X_{QR}$  та  $X_{QE}$ , відповідно, та виробляє обсяги  $Y_{QQ}$  житлово-комунальних послуг, за надання яких отримує кошти в обсязі  $X_{PQ}$ , частину  $Y_{PR}$  яких витрачає на закупівлю енергетичних ресурсів. Оскільки виробництво не є замкненим, то за відходи, що утворюються в обсязі  $Y_{QE}$ , підприємство має здійснювати екологічні платежі до бюджету в розмірі  $Y_{PE}$ . При цьому за продаж лімітів викидів, обумовлених міжнародними (а у подальшому і національними) договорами, суб'єкти ЖКГ можуть отримувати екологічні доплати у розмірі  $X_{PE}$ . Механізм програмно-адаптивного екстремального управління енергоефективністю та енергозбереженням на даному рисунку представлений чотирма колами зворотного зв'язку **33**, означеними нижніми індексами, які відрізняються одиницями виміру змінних, а саме:  $Q$  — для фізичних, а  $P$  — для грошових одиниць, де додаткові індекси  $E$  та  $C$  виділяють, відповідно, екологічні та соціальні параметри та елементи підсистеми.

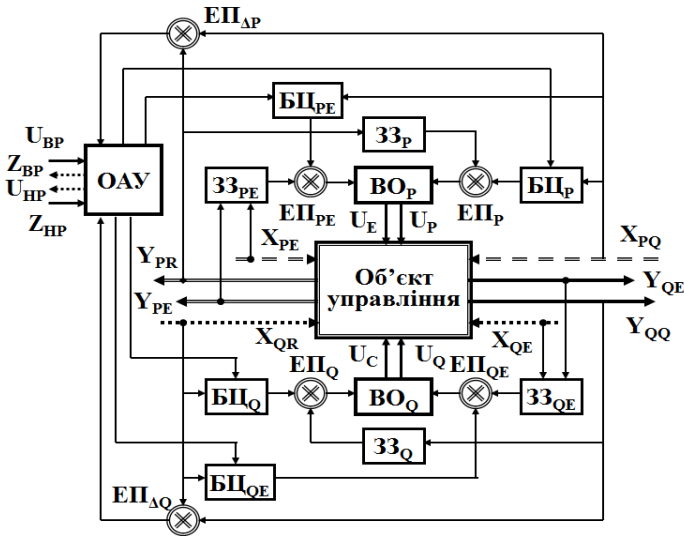


Рисунок 1.5.3 – Функціональна схема системи енергоменеджменту на рівні господарюючих суб'єктів

До основних функцій екстремального управління енергоефективністю та енергозбереженням відносяться функції визначення і максимізації показників енергетичної, економічної, екологічної тощо ефективності функціонування об'єкта управління (або мінімізації відповідних втрат) та подальшого вироблення управляючих дій. Виконання цих функцій носить комплексний характер, оскільки значення показників залежать від стану та параметрів системи управління у цілому. До цього додаються вимоги попереднього визначення напрямів зміни саме цих параметрів, які призводять до покращення (або погіршення) показників ефективності.

Принциповою відмінністю розглянутого механізму управління від відомих систем автоматичного регулювання по відхиленню є наявність підсистеми програмно-адаптивного управління, що включає: (а) орган адміністративно-організаційного управління **ОАУ** (для даного ієрархічного рівня підсистеми — це адміністрація та відповідні служби підприємства); (б) блоки вироблення цільових програмних завдань **БЦ** (означені відповідними зворотнім зв'язкам індексами); та (в) виконавчі органи **ВО**, які виконують

функції екстремальних регуляторів. Зовнішні зв'язки з верхнім  $U_{BP} = (U_Q, U_P, U_E, U_C)_{BP}$  і  $Z_{BP} = (Z_Q, Z_P, Z_E, Z_C)_{BP}$  та нижнім  $U_{HP} = (U_Q, U_P, U_E, U_C)_{HP}$  і  $Z_{HP} = (Z_Q, Z_P, Z_E, Z_C)_{HP}$  рівнями ієрархічної структури системи енергоменеджменту здійснюються за допомогою ОАУ та його служб.

У запропонованому механізмі на всіх ієрархічних рівнях його застосування визначаються стратифікаційні підсистеми управління, — рівні структурно-функціонального абстрагування підсистем системи управління. У даному механізмі пропонується розглядати п'ять різновидів стратифікаційних підсистем управління: адміністративно-організаційна, технологічна, економічна, екологічна та соціальна, які на Рис.1.5.3 представлені відповідними блоками, управляючими і зворотними зв'язками.

Слід розуміти, що узагальнений технологічний процес, представлений на цьому рисунку єдиним блоком ОУ, у дійсності складається з декількох, як правило, взаємозалежних технологічних процесів, для кожного з яких потрібно створювати та розглядати аналогічні елементи (блоки) та управляючі і зворотні зв'язки. За тим же принципом потрібно деталізувати і блоки інших ієрархічних рівнів управління, представлених на Рис.1.5.2 (за окремими областями, містами, підприємствами, окремими споживачами тощо).

З точки зору формалізації процесів управління енергоефективністю та енергозбереженням у ЖКГ України означені на Рис.1.5.3 різновиди стратифікаційних підсистем достатньо повно розкривають можливості формування на їх основі стратифікаційного структурно-функціонального дерева системи енергоменеджменту, де кожна з наведених стратифікаційних підсистем, що розглядається окремо, класифікується як різновид однорівневих одновекторних багатопараметричних підсистем.

Можливості формування двовекторних підсистем на їх основі показано на Рис.1.5.3 на прикладі поєднання економічної та екологічної підсистем. При цьому повна структурно-функціональна схема, яка охоплює і адміністративно-організаційну підсистему, буде відображатися дворівневим багатовекторним багатопараметричним стратифікаційним деревом.

У цілому, розглянуту модель системи енергоменеджменту ЖКГ України можна класифікувати як складну ієрархічно побудовану систему, яка з точки зору задачі оптимального управління являє собою багатопараметричний об'єкт типу “складний ящик” з багатьма локальними екстремальними характеристиками, значення показників ефективності та якості яких змінюються внаслідок зміни параметрів управління в такий спосіб, що не потребує врахування динамічних властивостей (інерції) як об'єкту, так і органу управління. За такими припущеннями це дозволить застосування для оптимального управління такими системами методів лінійного і нелінійного математичного програмування за умов використання сучасних способів і можливостей боротьби з “прокляттям розмірності”.

### **1.5.2. Основні етапи та процедури формалізації моделі системи екстремального управління**

У загальному випадку реалізація системи енергоменеджменту потребує поетапного проведення наступних основних процедур [136]:

- a) верифікації (перевірка істинності, встановлення достовірності) параметрів системи управління за результатами натурного експерименту до варіації управляючої дії (параметрів управління);
- b) ідентифікації (ототожнення, прирівняння) параметрів системи управління та її економіко-математичної моделі до варіації параметрів управління (до реалізації енергозберігаючих заходів);
- c) параметричного моделювання системи управління енергоефективністю та енергозбереженням до варіації параметрів управління;
- d) техніко-економічного обґрунтування потенційно привабливих енергозберігаючих заходів та прийняття рішення щодо варіації параметрів управління;
- e) параметричного моделювання системи управління за варіацією параметрів управління (після реалізації енергозберігаючих заходів);

f) ідентифікації параметрів системи управління енергоефективністю та енергозбереженням та її моделі за результатами натурних експериментів до і після варіації параметрів управління;

g) верифікації отриманих даних за результатами реалізації енергозберігаючих заходів (після варіації параметрів управління).

З математичної точки зору проведення формалізації та визначення параметрів системи управління здійснюється шляхом заміни означених змістовних процедур управління енергоефективністю та енергозбереженням відповідними операторами і функціоналами. Ключовими й найбільш складними процедурами формалізації є ідентифікація параметрів об'єкта і системи управління у цілому з параметрами економіко-математичної моделі як до (процедура b), так і після реалізації енергозберігаючих заходів (процедура f), а також їх зв'язок з процедурою d прийняття рішення щодо доцільності варіації параметрів управління.

Нехай стан системи управління енергоефективністю та енергозбереженням описується за допомогою оператора  $F$ . Тоді, до реалізації енергозберігаючих заходів рівняння стану системи управління можна представити у вигляді:

$$Y = F(X, U, G), \quad (1.5.1)$$

де  $X$  - вектор параметрів вхідних ресурсів об'єкта управління (паливно-енергетичних, фінансових, трудових тощо),  $U$  - вектор параметрів управляючих дій (впливів) системи управління,  $G$  - матриця технологічних коефіцієнтів об'єкта управління (технологічна матриця перетворення вхідних ресурсів),  $Y$  - вектор параметрів вихідних ЖК послуг до реалізації енергозберігаючих заходів.

За першої зовнішньої по відношенню до системи управління граничної умови — незмінності обсягів наданих ЖК послуг, тобто, при  $Y = \text{const}$ , рівняння (5.1) стану системи управління після реалізації енергозберігаючих заходів (після варіації параметрів управління) запишеться наступним чином:

$$Y^{*(1)} = Y = F(X^*, U^*, G^*), \quad (1.5.2)$$

де верхній індекс (\*) визначає стан відповідних параметрів і коефіцієнтів системи після зміни параметрів управління. Відмітимо, що у загальному випадку, деякі компоненти вектору  $Y$ , наприклад, тарифи на надані послуги або ставки заробітної плати, можуть бути змінені, однак ці фактори достатньо просто вирішуються в межах теорії планування експерименту шляхом декомпозиції цього вектора на енергетичну, економічну, екологічну тощо складові [135].

За іншої зовнішньої по відношенню до системи управління граничної умови — незмінності обсягів спожитих вхідних ресурсів (тобто, при  $X = \text{const}$ ), рівняння (5.1) після варіації параметрів управління прийме наступний вид:

$$Y^{*(2)} = F(X, U^*, G^*). \quad (5.3)$$

Як вже відмічалось вище, через відсутність методики формалізованого визначення  $X^*$ ,  $U^*$ ,  $G^*$  у світовій практиці енергозбереження було сформульовано рекомендації та наведені приклади можливих змін параметрів і характеристик енергозбереження, отримані з практичного досвіду для різних сфер застосування, в тому числі у ЖКГ [137]. Однак використання цих рекомендацій на практиці сполучено із значними ризиками, обумовленими специфічними особливостями кожної конкретної системи управління енергоефективністю та енергозбереженням та кожного конкретного управляючого впливу, які неможливо відобразити у протоколі будь-якого обсягу, що ще раз підтверджує актуальність створення математичної моделі енергоменеджменту.

По-перше, спробуємо прояснити можливості побудови лінійної моделі системи управління. Принципова можливість лінеаризації рівнянь (1.5.1) – (1.5.3) базується на притаманній програмно-адаптивним системам екстремального управління властивості, яка полягає в тому, що в процесі управління регульовані величини мало відхиляються від їх базових (програмних) значень, інакше система у цілому не виконувала б своєї задачі управління [129]. Тоді, для відносно малого околу базових значень  $X^0$ , при



інших незмінних параметрах управління, можна записати, що  $X^* = X^0 + \Delta X$ , де символом  $\Delta$  означено відхилення, та розкласти функцію  $Y^*$  у ряд Тейлора:

$$Y^*(X) = Y^*(X^0) + Y^{*'}(X^0)(X - X^0) + Y^{*''}(X^0)(X - X^0)^2/2 + \dots, \quad (1.5.4)$$

і обмежившись двома першими членами, означити лінеаризований вектор параметрів вихідних послуг як  $\hat{Y}$ .

Неважко далі послідовно провести операцію (5.4) для векторів  $U^*$  і  $G^*$  та за допомогою системи рівнянь (1.5.1) – (1.5.3) однозначно визначити у лінійній постановці значення  $Y^*$  для будь-якої проміжної точки у заданому діапазоні зміни параметрів системи управління.

$$Y^\wedge = F^\wedge(X^\wedge, U^\wedge, G^\wedge). \quad (1.5.5)$$

де верхнім символом  $\wedge$  позначено параметри лінійної моделі.

При цьому проблема неадекватності вихідної та лінеаризованої моделей в умовах невизначеності оператора  $F$  вирішується як задача мінімізації функції:

$$f(Y^\wedge - Y^*) \rightarrow \min, \quad (1.5.6)$$

що досягається при  $Y^* = Y^\wedge$ .

Відповідним чином формулюється і задача ідентифікації вектора параметрів управляючих дій  $U$ , під впливом яких досягається мета управління. При цьому, задача пошуку оптимальних управляючих дій формалізується шляхом введення міри відхилення досягнутого стану об'єкта  $Y^*$  від мети  $Y^{**}$ :

$$h(Y^* - Y^{**}), \quad (1.5.7)$$

де  $h$  — функція міри (наприклад, середньоквадратична), та представлення задачі пошуку оптимальних управляючих дій у формі процедури пошуку такого  $U$ , що мінімізує функцію (1.5.7) в класі припустимих впливів, тобто:

$$h[F(X^*, U^*, G^*) - F(X^{**}, U^{**}, G^{**})] \rightarrow \min. \quad (1.5.8)$$

Аналогічно процедурам (1.5.7) і (1.5.8) задача ідентифікації технологічних коефіцієнтів матриці  $G$  перетворення вхідних ресурсів, що безпосередньо визначають ефективність системи управління, формалізується шляхом введення міри відхилення обсягів досягнутого енергозбереження від запрограмованого рівня (від мети):

$$g(Y^* - Y^{**}), \quad (1.5.9)$$

де  $g$  — функція міри, та представлення задачі підвищення ефективності системи управління енергоефективністю та енергозбереженням у формі процедури пошуку таких значень коефіцієнтів матриці  $G$ , що мінімізують функцію (1.5.9) в класі економічно доцільних і технічно досяжних рішень, а саме:

$$g[R(X^*, U^*, G^*) - R(X^{**}, U^{**}, G^{**})] \rightarrow \min, \quad (1.5.10)$$

де  $R$  — функція втрат, у тому числі на реалізацію функцій управління.

При цьому, задача оптимального (екстремального) управління у цілому формалізується у вигляді сукупності розв'язків задач максимізації локальних показників ефективності (якості) функціонування об'єкта управління системи з подальшим застосуванням процедури ранжирування для визначення глобального екстремуму:

$$\mathcal{C}\Phi = \mathcal{C}\Phi(X, U, G) \rightarrow \max. \quad (1.5.11)$$

Приклад екстремальної характеристики локального показника ефективності  $\mathcal{C}\Phi$  функціонування об'єкта управління системи наведено на Рис.1.5.4. Як видно, характеристика має явно виражений екстремальний характер з максимумом, що досягається при оптимальних параметрах управляючих дій  $U^*$ . Можна побачити також ситуації ( $U_1$  і  $U_2$ ) з протилежними напрямками

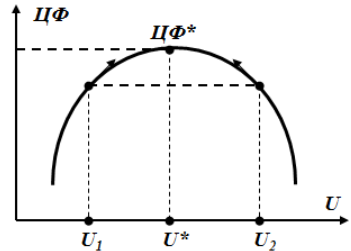


Рис.1.5.4. Типова екстремальна характеристика показника ефективності системи управління

руху до цілі. При цьому дуже важливо, що екстремальне управління не потребує апіорного визначення координат  $\mathcal{C}\Phi^*$ , що надає додаткові переваги розглянутому підходу до управління енергоефективністю та енергозбереженням у ЖКГ України, особливо в умовах постійного “дрейфу” вартісних параметрів і показників вхідних і вихідних параметрів системи у часі та просторі, не кажучи вже про кризові ситуації в економіці країни.

Таким чином, наведені процедури (1.5.1) – (1.5.11) у цілому складають алгоритм формалізації задачі управління енергоефективністю та енергозбереженням, яка складається з мети і критеріїв якості (ефективності) її досягнення та системи рівнянь і обмежень, що описують стан об'єкту управління в умовах обмежених фізичних і управлінських ресурсів, які можуть використовуватися для його покращення. Пропонується вирішувати цю задачу шляхом визначення (вимірювання) параметрів двох зовнішніх по відношенню до системи управління граничних умов (тобто при незмінності обсягів наданих ЖК послуг та незмінності обсягів спожитих вхідних ресурсів) до та після реалізації управляючих дій з подальшим проведенням процедур лінеаризації системи рівнянь стану системи та ідентифікації їх параметрів шляхом використання процедур мінімізації функціоналів нев'язки досягнутого і запрограмованого рівнів енергозбереження за результатами математичного моделювання системи управління та максимізації показників ефективності її функціонування.

### **1.5.3. Формалізація задач енергоменеджменту у дворівневої системі підприємства – споживачі ЖК послуг**

Проведений вище в межах теорії оптимального управління та загальної теорії великих систем аналіз задач управління енергоефективністю та енергозбереженням у ЖКГ країни показав, що на функціональному рівні стратифікаційна система управління визначається багаторівневою ієрархічною структурою, яка за кібернетичними ознаками відноситься до систем типу “дуже складний ящик”, структурно-функціональні моделі яких утворюються з модулів, побудованих за принципом “вхід-вихід” (“ресурси-продукти”, “витрати-випуск” тощо) із залученням понять теорії множин, функціонального аналізу та ієрархічних систем [10, 11, 115, 127, 128].

У якості теоретичної бази побудови такого системоутворюючого модуля будемо застосовувати основоположне поняття розбивки повної (вихідної)

множини  $\hat{S}$  структурно-функціональних елементів, блоків, зв'язків або змінних системи енергоменеджменту на систему з  $(i, n)$  відповідних підмножин (підсистем)  $\bar{S}^i = \{S_1^i, \dots, S_n^i\}$  за адміністративно-організаційними, технологічними, економічними, екологічними та соціальними стратифікаційними ознаками, де  $i = I^C, I^H, I^M, I^D$  — індекси рівнів ієрархії  $C, H, M, D$  системи управління енергоефективністю та енергозбереженням у ЖКГ України.

Така розбивка  $\bar{S} = \{S^C, S^H, S^M, S^D\}$  множини  $\hat{S}$  повинна задовольняти наступним трьом умовам теоретико-множинного підходу [121, 126, 138]:

$$(1) \forall S^i \in \bar{S}^i, S^i \subseteq \hat{S}; \quad (1.5.12)$$

$$(2) \forall (S_A^i, S_B^i) \in \bar{S}^i, S_A^i \neq S_B^i \rightarrow S_A^i \cap S_B^i = \emptyset, \quad (1.5.13)$$

тобто будь-які дві множини  $S_A^i, S_B^i \in \bar{S}^i$  є неперетинними, що означає, що відгук на впливи для кожної стратифікаційної підсистеми не повинен виходити за межі даної підсистеми

$$(3) \bigcup_{S^i \in \bar{S}} S^i = \hat{S}, \quad (1.5.14)$$

де об'єднання усіх множин, що входять у розбивку, дає множину  $\hat{S}$ ; та додатковій умові, що задає порядок взаємодії впливів і відгуків стратифікованої за умовами (1.5.12) – (1.5.14) системи розбивки змінних ієрархічних багаторівневих систем управління типу “вхід-вихід” [115]:

$$(4) X^i = X_1^i \times \dots \times X_n^i, Y^i = Y_1^i \times \dots \times Y_n^i, \forall (X^i, Y^i) \in S^i, \quad (1.5.15)$$

де  $X^i$  — множина впливів на підсистему  $i$ -го ієрархічного рівня, а  $Y^i$  — множина відповідних відгуків підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня, кожна з яких (цих множин) утворюється з усіх кортежів довжини  $n$ , перша компонента яких належить першому співмножнику  $X_j^i, i = \overline{1, n}$  (або  $Y_j^i, i = \overline{1, n}$ ), друга — другому і т.д.,  $\times$  — знак прямого (декартового) добутку.

Означимо операцію розбивки знаком  $\mathfrak{R}$ . Тоді запис операції розбивки множини  $\hat{S}$  на ієрархічно розташовані рівні системи управління формалізується у вигляді:

$$\begin{aligned} \mathfrak{R}\hat{S} = \{S^C, S^H, S^M, S^D\} &\rightarrow \hat{S} = S^C \cup S^H \cup S^M \cup S^D, \\ S^C &= S_1^C \times \dots \times S_k^C; \\ S^H &= S_1^H \times \dots \times S_l^H; \\ S^M &= S_1^M \times \dots \times S_m^M; \\ S^D &= S_1^D \times \dots \times S_n^D, \end{aligned} \quad (1.5.15a)$$

де у даному виразі індекси  $k, l, m, n$  визначають кількість стратифікованих підсистем (змінних тощо) на рівнях  $C, H, M, D$  системи управління.

Схему базового системоутворюючого модуля, побудованого відповідно до структурно-функціональних схем та змінних системи енергоменеджменту ЖКГ України, наведених у попередньому розділі, представлено на Рис.1.5.5.

До множини змінних вхідного впливу на підсистему  $i$ -го ієрархічного рівня (множини вхідних змінних підсистеми управління  $i$ -го рівня) системи енергоменеджменту ЖКГ України, де  $i = I^C, I^H, I^M, I^D$ , будуть належать змінні

$$X^i = \{X_{QR}^i, X_{QE}^i, X_{PQ}^i, X_{PE}^i, X_{PC}^i\} \quad (1.5.16)$$

Змінні в (1.5.16) складають відповідні п'ятиелементні кортежі змінних, а до множини змінних вихідного впливу  $i$ -ої підсистеми на зовнішнє середовище (множини вихідних змінних підсистеми управління  $i$ -го рівня) — змінні

$$Y^i = \{Y_{QQ}^i, Y_{QE}^i, Y_{PR}^i, Y_{PE}^i, Y_{PC}^i\}, \quad (1.5.17)$$

які також складають відповідні п'ятиелементні кортежі.

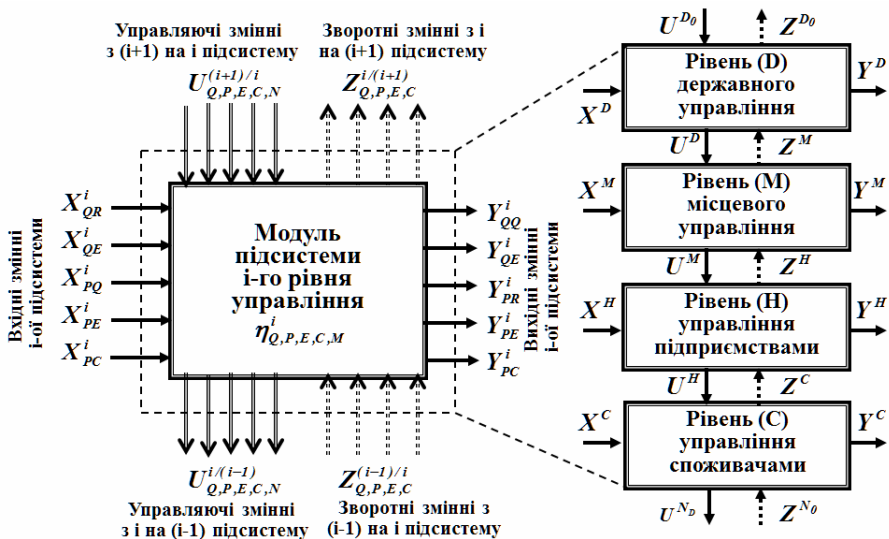


Рисунок 1.5.5 - Структурно-функціональний модуль багаторівневої системи енергоменеджменту

У (1.5.17) позначено:

$X_{QR}^i$  - множина обсягів (параметрів, характеристик)  $Q_R$  матеріальних технологічних ресурсів  $R_Q$  (паливно-енергетичні та матеріально-технічні ресурси, обладнання, споруди тощо) підсистеми і-го ієрархічного рівня у натуральних (фізичних) одиницях;

$X_{QE}^i$  - множина обсягів  $Q_E$  екологічних ресурсів  $E_Q$  підсистеми і-го ієрархічного рівня у натуральних одиницях;

$X_{PQ}^i$  - множина вартостей  $P_Q$  технологічних продуктів  $Q_P$  підсистеми і-го ієрархічного рівня у грошових одиницях;

$X_{PE}^i$  - множина вартостей  $P_E$  екологічних ресурсів  $E_P$  підсистеми і-го ієрархічного рівня у грошових одиницях;

$X_{PC}^i$  - множина вартостей  $P_{CR}$  вхідних соціальних дотацій та доплат  $C_R$  підсистеми і-го ієрархічного рівня у грошових одиницях;

$Y_{QQ}^i$  - множина обсягів  $Q_Q$  технологічних продуктів  $Q_P$  підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня у натуральних одиницях;

$Y_{QE}^i$  - множина обсягів  $Q_E$  викидів забруднюючих речовин  $E_Q$  підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня у натуральних одиницях;

$Y_{PR}^i$  - множина вартостей  $P_R$  фінансово-економічних та технологічних ресурсів  $R_P$  (трудових, інвестиційних тощо) підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня у грошових одиницях;

$Y_{PE}^i$  - множина вартостей  $P_E$  виплат за забруднення оточуючого середовища  $E_P$  підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня у грошових одиницях;

$Y_{PC}^i$  - множина вартостей  $P_C$  вихідних соціальних дотацій та доплат  $C_Q$  підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня у грошових одиницях.

До множини змінних управляючого (регулюючого) впливу підсистеми  $(i+1)$ -го ієрархічного рівня на підсистему  $i$ -го рівня (множини управляючих змінних  $(i+1)$ -ої підсистеми) відносяться змінні  $U_{Q,P,E,C,N}^{(i+1)/i}$ , а до множини змінних управляючого (регулюючого) впливу підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня на підсистему  $(i-1)$ -го рівня (множини управляючих змінних  $i$ -ої підсистеми) — змінні  $U_{Q,P,E,C,N}^{i/(i-1)}$ . До множини змінних зворотного зв'язку з підсистеми  $(i-1)$ -го ієрархічного рівня на підсистему  $i$ -го рівня (множини зворотних змінних  $(i-1)$ -ої підсистеми) відносяться змінні  $Z_{Q,P,E,C}^{(i-1)/i}$ , а до множини змінних зворотного зв'язку з  $i$ -ої підсистеми на підсистему  $(i+1)$ -го ієрархічного рівня (множини зворотних змінних  $i$ -ої підсистеми) — змінні  $Z_{Q,P,E,C}^{i/(i+1)}$ . Тут нижні індекси  $Q, P, E, C, N$  відносяться до змінних, які визначаються відповідними технологічними, економічними, екологічними, соціальними та нормативно-правовими стратифікаційними підсистемами (рівнями), а верхніми індексами  $D_\theta, N_\theta$  та  $N_D$  означені зовнішні для наведеної на Рис.1.5.5 системи енергоменеджменту у вигляді множини взаємозв'язків

загальнодержавного управління  $U^{D_0}$  і  $Z^{D_0}$  (рівень економіки країни у цілому) та нормативно-правового регулювання показників споживання ПЕР і ЖК послуг  $U^{N_0}$  і  $Z^{N_0}$  у ЖКГ України та впливу  $U^{N_D}$ , головним чином соціально-політичного спрямування, споживачів на таке управління і регулювання. Ефективність перетворення вхідних змінних у вихідні, яке здійснюється під впливом управляючих та зворотних змінних, за схемою “вхід-вихід” системоутворюючого модулю визначається множиною показників  $\eta_{Q,P,E,C,N}^i \in \mathcal{H}^i$ , які залежать від цих змінних.

Як можна бачити, усі перелічені множини змінних відповідно до умов (1.5.12) – (1.5.15) є упорядкованими множинами, які відображаються п’ятиелементними кортежами, що у сукупності визначають стан підсистем та системи енергоменеджменту у цілому. Наприклад, розкриття формули декартового добутку  $X^i \times Y^i$  для схеми системоутворюючого модуля типу “вхід-вихід” визначатиме наступні пари взаємодіючих змінних  $(X_j^i, Y_j^i), j = \overline{1,5}$ :

$$\left\{ \begin{array}{ccccc} (X_{QR}^i, Y_{QQ}^i) & (X_{QR}^i, Y_{QE}^i) & (X_{QR}^i, Y_{PR}^i) & (X_{QR}^i, Y_{PE}^i) & (X_{QR}^i, Y_{PC}^i) \\ (X_{QE}^i, Y_{QQ}^i) & (X_{QE}^i, Y_{QE}^i) & (X_{QE}^i, Y_{PR}^i) & (X_{QE}^i, Y_{PE}^i) & (X_{QE}^i, Y_{PC}^i) \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ (X_{PC}^i, Y_{QQ}^i) & (X_{PC}^i, Y_{QE}^i) & (X_{PC}^i, Y_{PR}^i) & (X_{PC}^i, Y_{PE}^i) & (X_{PC}^i, Y_{PC}^i) \end{array} \right\},$$

сукупність яких дозволяє вирізняти області визначення підсистем стратифікованої множини  $\overline{S}^i$  структурно-функціональних елементів, блоків, зв’язків та змінних системи управління на кожному її ієрархічному рівні окремо та для системи у цілому. При цьому діагональні елементи цієї сукупності будуть визначати пари прямого взаємовпливу, а поза діагональні елементи – варіанти взаємодії стратифікованих змінних, які розглядаються на даному ієрархічному рівні.

На основі запропонованого модуля як типового (базового) елемента блочно-модульної структури енергоменеджменту ЖКГ України побудовано



схему системи управління, деталізовану на рівні підприємств ЖКГ та споживачів ЖК послуг, наведену на Рис.1.5.6, де позначено:  $BP_j$  — місцеві виробники ЖК послуг,  $j = \overline{1, n}$ ;  $PC_j$  — місцеві постачальники ЖК послуг,  $j = \overline{1, m}$ ;  $CP_j$  — місцеві споживачі ЖК послуг,  $j = \overline{1, k}$ .

Взаємозв'язки підприємств ЖКГ та споживачів ЖК послуг з місцевим рівнем  $M$  ієрархії системи управління у запропонованій схемі здійснюються на місцевих ринках виробництва ( $F$ ), постачання ( $B$ ) і споживання ( $C$ ) ЖК послуг та постачання первинних ПЕР, енергозберігаючих матеріалів і енергоефективного обладнання ( $A$ ), які представлені на схемі укрупненими блоками (підсистемами) механізмів та організаційних структур економічного стимулювання учасників ринків до підвищення ефективності використання ПЕР та енергозбереження.

На Рис.1.5.6 також показано межу належності права власності на ЖК послугу, до якої права (і відповідальність за належне використання також) належать постачальнику, а за якої — споживачеві.

Саме на цій межі здійснюється балансування попиту-пропозиції на ЖК послуги шляхом встановлення ринкової рівноваги між обсягами та цінами їх постачання і споживання:

$$Y_{QQ}^B = X_{QR}^C \text{ та } Y_{PR}^C = X_{PQ}^B. \quad (5.18)$$

Цільовими орієнтирами щодо вибору економічно доцільних обсягів і цін ЖК послуг слугують нормативно-цільові показники їх споживання, які визначаються за прогресивними нормами та показниками технічно досяжних у ЖКГ України на даний період часу.

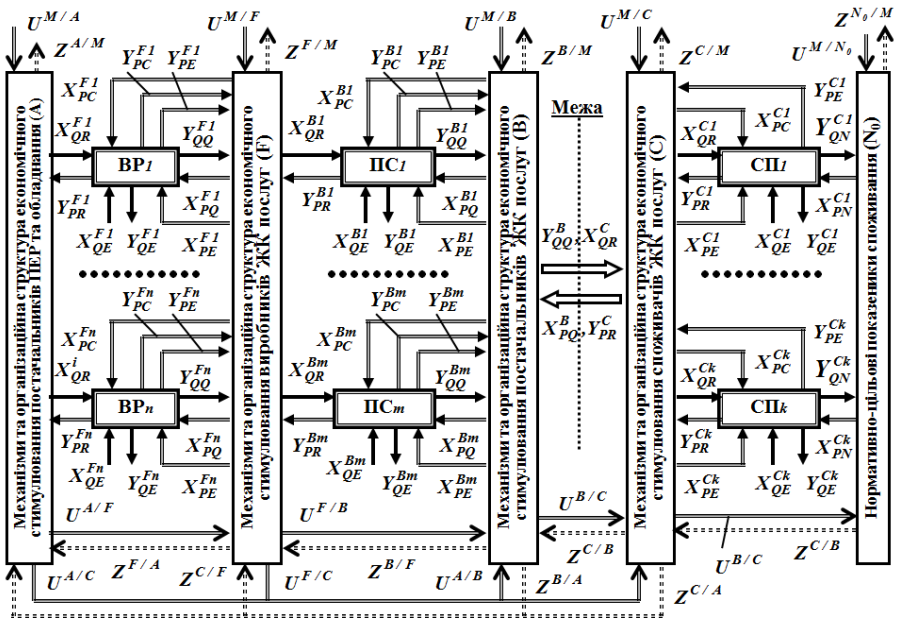


Рис.5.6 – Структурно-функціональна схема дворівневої системи енергоменеджменту: підприємства ЖКГ - споживачі

Узагальнюючі такий підхід до побудови багаторівневих систем можна бачити, що управляючі та зворотні зв'язки між ієрархічно підпорядкованими рівнями системи доцільно здійснювати на внутрішніх ринках (місцевих, обласних, регіональних тощо), організаційні структури та функціонування яких базується на принципах гармонійного поєднання адміністративно-командних та ринкових методів управління енергоефективністю та енергозбереженням, притаманних ЖКГ країни.

Враховуючі складність цієї задачі будемо здійснювати її формалізацію на основі теоретико-множинного підходу [115, 121, 127], який дозволяє встановлювати взаємозв'язки між змінними стратифікованих підсистем на всіх ієрархічних рівнях управління у вигляді упорядкованих сукупностей відображень  $\mathcal{H}^i : X^i \rightarrow Y^i$  множин вхідних змінних  $x^i \in X^i$  в множини  $y^i \in Y^i$  вихідних змінних підсистем  $i$ -го рівня ієрархії управління з подальшим

урахуванням (деталізацією) впливу на ці змінні управляючих  $u^i \in U^i$ ,  $u^{i-1} \in U^{i-1}$  та зворотних  $z^i \in Z^i$ ,  $z^{i+1} \in Z^{i+1}$  змінних.

Важливо, що формалізована таким чином сукупність  $\mathcal{H}^i$  буде мати чіткий фізичний взаємозв'язок з ефективністю перетворення множин вхідних змінних (енергетичних, технологічних, економічних, екологічних, соціальних тощо) в множини вихідних змінних для підсистем будь-якого рівня ієрархії, що має принципово значення для визначення ефективності управління енергозбереженням у ЖКГ України у цілому.

При цьому, трійка множин  $(X^i, Y^i, \mathcal{H}^i)$  буде задавати математично формалізовані відповідності, області визначення яких співпадають з  $X^i$ , і де для кожного  $x^i \in X^i$  будуть існувати  $y^i \in Y^i$ , такі що  $(x^i, y^i) \in \mathcal{H}^i \subseteq X^i \times Y^i$ , а у разі врахування залежності  $x^i$  і  $y^i$  множин  $X^i$  і  $Y^i$  від часу  $t$ , елементами множин  $\eta^i \in \mathcal{H}^i$  будуть пари  $(x^i(t), y^i(t))$ .

За цим підходом, для означених на Рис.1.5.5 чотирьох ієрархічних рівнів системи управління маємо наступну основну систему відображень  $\overline{\mathcal{H}}^i$  ефективності управління енергозбереженням у ЖКГ України, формалізованих за умовами (1) – (4) розбивки [75]:

$$\begin{aligned}
 \mathcal{H}^D &: X^D \times U^{D_0} \times Z^M \rightarrow Y^D; \\
 \mathcal{H}^M &: X^M \times U^D \times Z^H \rightarrow Y^M; \\
 \mathcal{H}^H &: X^H \times U^M \times Z^C \rightarrow Y^H; \\
 \mathcal{H}^C &: X^C \times U^H \times Z^{N_0} \rightarrow Y^C,
 \end{aligned}
 \tag{1.5.19}$$

та додаткову систему наступних двох підсистем відображень вихідних змінних в змінні управляючих і зворотних зв'язків між рівнями ієрархічної системи управління:

$$\begin{aligned}
\chi^{D_0} : Y^{D_0} &\rightarrow U^{D_0}; & \xi^M : Y^M &\rightarrow Z^M; \\
\chi^D : Y^D &\rightarrow U^D; & \xi^H : Y^H &\rightarrow Z^H; \\
\chi^M : Y^M &\rightarrow U^M; & \xi^C : Y^C &\rightarrow Z^C; \\
\chi^H : Y^H &\rightarrow U^H; & \xi^{N_0} : Y^{N_0} &\rightarrow Z^{N_0},
\end{aligned}
\tag{1.5.20}$$

яку визначено таким чином, що для кожного елемента  $x \in X^i$  та  $y = \mathcal{H}^i(x)$ :

$$\begin{aligned}
y^D &= \mathcal{H}^D(x^D, \chi^{D_0}(y^{D_0}), \xi^M(y^M)); \\
y^M &= \mathcal{H}^M(x^M, \chi^D(y^D), \xi^H(y^H)); \\
y^H &= \mathcal{H}^H(x^H, \chi^M(y^M), \xi^C(y^C)); \\
y^C &= \mathcal{H}^C(x^C, \chi^H(y^H), \xi^{N_0}(y^{N_0})),
\end{aligned}
\tag{1.5.21}$$

де  $y^{D_0} \in Y^{D_0}$  є елементами множини вихідних змінних системи управління енергозбереженням на рівні економіки країни, яка складається з відповідних п'ятиелементних кортежів змінних  $Y^{D_0} = \{Y_{QQ}^{D_0}, Y_{QE}^{D_0}, Y_{PR}^{D_0}, Y_{PE}^{D_0}, Y_{PC}^{D_0}\}$ ,

а  $y^{N_0} \in Y^{N_0}$  — є елементами множини вихідних змінних, які визначаються за прогресивними нормами та показниками, технічно досяжними у ЖКГ України на даний період часу, та яка (множина) також складається з п'ятиелементних кортежів змінних  $Y^{N_0} = \{Y_{QQ}^{N_0}, Y_{QE}^{N_0}, Y_{PR}^{N_0}, Y_{PE}^{N_0}, Y_{PC}^{N_0}\}$ .

Як наслідок, повна стратифікована система відображень ефективності застосування системи енергоменеджменту у ЖКГ України буде визначатися перетвореннями  $\mathcal{H}^i$ , що задають розбивку системи  $\bar{\mathcal{H}}^i$  на ієрархічно підпорядковані підсистеми, та відображеннями  $\chi^i$  та  $\xi^i$ , які встановлюють зв'язки між цими підсистемами.

З урахуванням ринкових умов (1.5.18) балансування потоків продуктів, ресурсів і послуг у фізичних та грошових одиницях, структура та механізми функціонування внутрішніх (місцевих) ринків енергоефективного обладнання і енергосервісних послуг (див. Рис.1.5.6), головною метою створення яких є економічне стимулювання підприємств-виробників і споживачів ЖК послуг до

підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та енергозбереження, також можуть бути формалізовані аналогічною до системи рівнянь (1.5.19)-(1.5.21) основною та додатковими підсистемами відображень множин вхідних і управляючих змінних в множини вихідних та зворотних змінних.

При цьому енергоекономічна задача управління енергоефективністю та енергозбереженням у ЖКГ України набуває специфічних властивостей ринкових задач прийняття рішень в умовах, коли стан об'єктів управління до впровадження енергозберігаючих заходів (передісторія) може бути визначеним за наявною статистичною інформацією, а фізичний зміст функціональних залежностей  $\mathcal{H}^i$  (операторів, функціоналів, функцій тощо) – таким, що однозначно визначається механізмами і засобами управління, які плануються для впровадження або практично застосовуються для перетворення вхідних ресурсів, продуктів, послуг тощо у вихідні.

#### 1.5.4. Формалізація задач енергоменеджменту у ЖКГ України на місцевому та державному рівнях

На структурно-функціональній схемі дворівневої системи енергоменеджменту на рівні підприємства ЖКГ - споживачі (Рис.1.5.6) взаємодію між рівнями  $C$  і  $H$  ієрархічної системи управління енергоефективністю та енергозбереженням у ЖКГ України детально відображено у вигляді зв'язків між вхідними  $X$  та вихідними  $Y$  змінними для кожного з  $n$  підприємств - виробників ( $BP$ ),  $m$  підприємств - постачальників ( $ПС$ ) та  $k$  споживачів ( $СП$ ) ЖК послуг, у той же час як управляючі  $U$  і зворотні  $Z$  зв'язки між ними та верхнім рівнем  $M$  ієрархії управління відображені на схемі у загальному вигляді.

Ці зв'язки деталізовані поіменно для кожного підприємства та споживача ЖК послуг і представлені на Рис.1.5.7 за допомогою організаційних структур

внутрішніх (місцевих) ринків виробництва  $\cap_F$ , постачання  $\cap_B$  і споживання  $\cap_C$  ЖК послуг, відповідних блоків (органів) адміністративно-організаційного управління підприємствами (організаціями) з виробництва  $O_F$ , постачання  $O_B$  і споживання  $O_C$  ЖК послуг та організаційних структур  $O_{\cap_A}, O_{\cap_F}, O_{\cap_B}, O_{\cap_C}$  економічного стимулювання учасників місцевих ринків до підвищення ефективності використання ПЕР та енергозбереження.

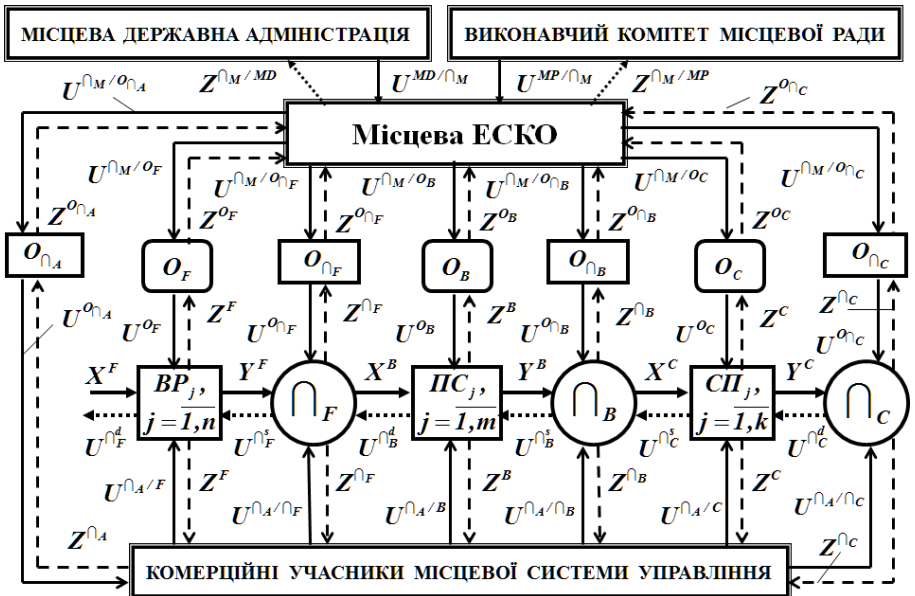


Рисунок 5.7 – Структурно-функціональна схема системи енергоменеджменту на місцевому рівні

На Рис.1.5.7 також представлені основні елементи (органи, підсистеми) місцевого  $M$  рівня управління енергоефективністю та енергозбереженням у ЖКГ України, а саме — органи місцевої державної адміністрації  $MD$  і виконавчого комітету місцевої ради  $MP$ , структура (орган, департамент тощо)  $\cap_M$  адміністративно-організаційного управління енергоефективністю та енергозбереженням на місцевому рівні, у тому числі місцева (або залучена) енергосервісна компанія ( $ЕСКО$ ), інші комерційні учасники місцевої системи

управління енергозбереженням  $\Pi_A$  (постачальники ПЕР, виробники енергозберігаючого обладнання, інвестиційні компанії, банки тощо) та деталізовані поіменно зв'язки між всіма учасниками пропонованої схеми, що охоплює три рівні ієрархічної системи управління енергоменеджменту ЖКГ України — *C, H, M*.

Центральне місце у цієї схемі займає місцевий орган адміністративно-організаційного управління енергоефективністю та енергозбереженням, який координує, а, як правило, і відповідає за виконання “під ключ” (яке здійснює місцева ЕСКО) всього комплексу робіт з енергоефективності та енергозбереження на місцевому рівні, починаючи з розробки бізнес-планів енергозберігаючих проектів на місцевих підприємствах і у споживачів та закінчуючи поверненням залучених інвестиційних ресурсів на фінансування цих проектів з енергозбереження [34]. Зв'язки місцевого органу управління  $\Pi_M$ , як і інших ринкових елементів системи управління на Рис.1.5.7 умовно означені математичним знаком перерізу множин  $\cap$ , оскільки саме ця математична операція виявляє спільний результат узгодженої взаємодії елементів системи.

Для подальшої формалізації задач енергоменеджменту на місцевому рівні взаємозв'язки цього рівня ієрархії з нижче розташованими *C* і *H* рівнями (див. Рис.1.5.7) представлені у вигляді дворівневої схеми з  $(n+m+k+4)$  локальними управляючими елементами

$$O_{\Pi_A}, O_{F_j}, O_{\Pi_F}, O_{B_j}, O_{\Pi_B}, O_{C_j}, O_{\Pi_C},$$

підпорядкованими єдиному вище розташованому управляючому елементу (місцевому органу управління енергоефективністю та енергозбереженням)  $\Pi_M$ . Таке підпорядкування є властивим для системи енергоменеджменту ЖКГ України, оскільки з боку місцевих органів влади управляючі елементи *C* і *H* рівнів розглядаються як розташовані на одному ієрархічному рівні системи місцевого управління.

Однак в ринкових умовах, до означених на Рис.1.5.7 організаційних структур (і відповідних механізмів) адміністративного управління  $O_F, O_B, O_C$ , потрібно додати і включити до схеми управління два інших типи органів (механізмів) управління енергоефективністю та енергозбереженням — економічного стимулювання  $O_{\cap_A}, O_{\cap_F}, O_{\cap_B}, O_{\cap_C}$  і фінансово-комерційні  $\cap_A$ , які у сукупності і будуть складати управляючу підсистему місцевої системи енергоменеджменту.

Ще однією специфічною особливістю управління енергоефективністю та енергозбереженням у ЖКГ України, яку потрібно врахувати при формалізації задачі управління на місцевому рівні, є великі розміри та різноплановість енерготехнологічної підсистеми місцевого господарства  $\cap_T$  з виробництва, постачання і споживання ЖК послуг, що складається з  $(n+m+k)$  взаємозв'язаних транспортно-мережними ланками технологічних елементів (підсистем), які взаємодіють за допомогою внутрішніх ринків ЖК послуг, з відповідними вхідними  $X$  і вихідними  $Y$  змінними та управляючими  $U$  і зворотними  $Z$  зв'язками, показаними на Рис.1.5.7 у вигляді узагальненого ланцюга

$$(BP_j) \Leftrightarrow (\cap_F) \Leftrightarrow (PC_j) \Leftrightarrow (\cap_B) \Leftrightarrow (CP_j) \Leftrightarrow (\cap_C), \quad (1.5.22)$$

За правилами (1.5.12) – (1.5.15) розбивки  $\mathfrak{R}$  множини структурно-функціональних елементів і зв'язків для узагальненого ланцюга (1.5.22) маємо наступну основну систему відображень ефективності управління енергозбереженням на рівні енерготехнологічної підсистеми місцевого господарства:



$$\begin{aligned}
\mathcal{H}_T^F &: X^F \times U^{O_F} \times U^{\cap_A/F} \times U^{\cap_F^s/F} \rightarrow Y^F; \\
\mathcal{H}_T^{\cap_F} &: Y^F \times U^{O_{\cap_F}} \times U^{\cap_A/\cap_F} \times U^{\cap_F^d/F} \rightarrow X^B; \\
\mathcal{H}_T^B &: X^B \times U^{O_B} \times U^{\cap_A/B} \times U^{\cap_B^s/F} \rightarrow Y^B; \\
\mathcal{H}_T^{\cap_B} &: Y^B \times U^{O_{\cap_B}} \times U^{\cap_A/\cap_B} \times U^{\cap_B^d/F} \rightarrow X^C; \\
\mathcal{H}_T^C &: X^C \times U^{O_C} \times U^{\cap_A/C} \times U^{\cap_C^s/F} \rightarrow Y^C; \\
\mathcal{H}_T^{\cap_C} &: Y^C \times U^{O_{\cap_C}} \times U^{\cap_A/\cap_C} \times U^{\cap_C^d/F} \rightarrow X^{N_\theta},
\end{aligned} \tag{1.5.23}$$

та додаткову систему наступних двох підсистем відображень вихідних і вхідних змінних у змінні зворотних зв'язків:

$$\begin{aligned}
\chi_T^F &: Y^F \rightarrow Z^F; & \xi_T^B &: X^B \rightarrow Z^{\cap_F}; \\
\chi_T^B &: Y^B \rightarrow Z^B; & \xi_T^C &: X^C \rightarrow Z^{\cap_B}; \\
\chi_T^C &: Y^C \rightarrow Z^C; & \xi_T^{N_\theta} &: X^{N_\theta} \rightarrow Z^{\cap_C},
\end{aligned} \tag{1.5.24}$$

де у відображеннях (1.5.23) - (1.5.24) верхніми індексами  $F, B, C$  означені множини виробників, постачальників і споживачів на відповідних ринках ЖК послуг:

$$F = \{F_j\}, j = \overline{1, n}; \quad B = \{B_j\}, j = \overline{1, m}; \quad C = \{C_j\}, j = \overline{1, k}, \tag{5.25}$$

а нижнім індексом  $T$  – належність до енерготехнологічної підсистеми,

$U^{\cap^s} = (U^{\cap_F^s}, U^{\cap_B^s}, U^{\cap_C^s})$  у відображеннях (1.5.23) - (1.5.24) визначає

координуючі впливи зворотних зв'язків, які формуються внаслідок взаємодії (конкуренції тощо) об'єктів-підприємств ЖКГ (елементів системи) на ринках виробництва, постачання і споживання ЖК послуг та корегують параметри

$Y = (Y^F, Y^B, Y^C)$  пропозицій товарів і послуг об'єктів системи в умовах дії

інших управляючих впливів, означених на Рис.5.7, а  $U^{\cap^d} = (U^{\cap_F^d}, U^{\cap_B^d}, U^{\cap_C^d})$

– визначає координуючі впливи зворотних зв'язків, що корегують параметри

попиту  $X = (X^F, X^B, X^C)$  на ці товари і послуги за результатами

балансування пропозицій об'єктів системи з наявним попитом.

За аналогічною (1.5.23) - (1.5.25) процедурою для сукупності локальних управляючих елементів  $O_F, O_{\cap_F}, O_B, O_{\cap_B}, O_C, O_{\cap_C}$  будемо мати відповідну основну систему відображень ефективності організаційних структур адміністративного управління та економічного стимулювання на місцевому рівні:

$$\begin{aligned}
 \mathcal{H}^{O_F} &: U^{\cap_M/O_F} \times Z^F \rightarrow U^{O_F}; \\
 \mathcal{H}^{O_{\cap_F}} &: U^{\cap_M/O_{\cap_F}} \times Z^{\cap_F} \rightarrow U^{O_{\cap_F}}; \\
 \mathcal{H}^{O_B} &: U^{\cap_M/O_B} \times Z^B \rightarrow U^{O_B}; \\
 \mathcal{H}^{O_{\cap_B}} &: U^{\cap_M/O_{\cap_B}} \times Z^{\cap_B} \rightarrow U^{O_{\cap_B}}; \\
 \mathcal{H}^{O_C} &: U^{\cap_M/O_C} \times Z^C \rightarrow U^{O_C}; \\
 \mathcal{H}^{O_{\cap_C}} &: U^{\cap_M/O_{\cap_C}} \times Z^{\cap_C} \rightarrow U^{O_{\cap_C}},
 \end{aligned} \tag{1.5.26}$$

та додаткову систему наступних двох підсистем відображень управляючих змінних у змінні зворотних зв'язків:

$$\begin{aligned}
 \chi^{O_F} &: U^{O_F} \rightarrow Z^{O_F}; \quad \xi^{O_{\cap_F}} : U^{O_{\cap_F}} \rightarrow Z^{O_{\cap_F}}; \\
 \chi^{O_B} &: U^{O_B} \rightarrow Z^{O_B}; \quad \xi^{O_{\cap_B}} : U^{O_{\cap_B}} \rightarrow Z^{O_{\cap_B}}; \\
 \chi^{O_C} &: U^{O_C} \rightarrow Z^{O_C}; \quad \xi^{O_{\cap_C}} : U^{O_{\cap_C}} \rightarrow Z^{O_{\cap_C}}.
 \end{aligned} \tag{1.5.27}$$

Аналогічна (1.5.26) - (1.5.27) система відображень ефективності фінансово-комерційних організаційних структур  $\cap_A$  на місцевому рівні буде мати вигляд:

$$\begin{aligned}
 \mathcal{H}^{\cap_A} &: U^{O_{\cap_A}} \times Z^A \times Z^{A_{\cap}} \rightarrow U^A \times U^{A_{\cap}}; \\
 \chi^{\cap_A} &: U^A \times U^{A_{\cap}} \rightarrow Z^{\cap_A},
 \end{aligned} \tag{1.5.28}$$

де  $Z^A = Z^F \times Z^B \times Z^C$ ,  $Z^{A_{\cap}} = Z^{\cap_F} \times Z^{\cap_B} \times Z^{\cap_C}$ ;

$U^A = U^{\cap_A/F} \times U^{\cap_A/B} \times U^{\cap_A/C}$ ,  $U^{A_{\cap}} = U^{\cap_A/\cap_F} \times U^{\cap_A/\cap_B} \times U^{\cap_A/\cap_C}$ .

Для місцевого органу адміністративно-організаційного управління енергозбереженням  $\cap_M$  за процедурою (1.5.23) - (1.5.26) будемо мати відповідну систему відображень ефективності управління локальними

організаційними структурами адміністративного і фінансово-комерційного управління та економічного стимулювання на місцевому рівні:

$$\begin{aligned} \mathcal{H}^{\cap_M} &: U^M \times Z^{O_M} \times Z^{O_{\cap_A}} \times Z^{O_{\cap_M}} \rightarrow U^{\cap_M/O_{\cap_A}} \times U^{\cap_M/O_M} \times U^{\cap_M/O_{\cap}} \\ \mathcal{X}^{\cap_M} &: U^{\cap_M/O_{\cap_A}} \times U^{\cap_M/O_M} \times U^{\cap_M/O_{\cap_M}} \rightarrow Z^{\cap_M/MD} \times Z^{\cap_M/MP}, \end{aligned} \quad (1.5.29)$$

де  $Z^{O_M} = Z^{O_F} \times Z^{O_B} \times Z^{O_C}$ ,  $Z^{O_{\cap_M}} = Z^{O_{\cap_F}} \times Z^{O_{\cap_B}} \times Z^{O_{\cap_C}}$ ;

$$\begin{aligned} U^M &= U^{MD/\cap_M} \times U^{MP/\cap_M}, \quad U^{\cap_M/O_M} = U^{\cap_M/O_F} \times U^{\cap_M/O_B} \times U^{\cap_M/O_C}; \\ U^{\cap_M/O_{\cap_M}} &= U^{\cap_M/O_{\cap_F}} \times U^{\cap_M/O_{\cap_B}} \times U^{\cap_M/O_{\cap_C}}. \end{aligned}$$

Аналогічна система відображень ефективності управління енергоефективністю та енергозбереженням органами місцевої державної адміністрації **МД** і виконавчого комітету місцевої ради **МР** записується у вигляді:

$$\begin{aligned} \mathcal{H}^M &: U^D \times Z^{\cap_M/MD} \times Z^{\cap_M/MP} \rightarrow Z^M; \\ \mathcal{X}^M &: Z^M \rightarrow U^{MD/\cap_M} \times U^{MP/\cap_M}. \end{aligned} \quad (1.5.30)$$

Таким чином, на базі систематизованих правил теоретико-множинних операцій з декартовими добутками сформовано модель ефективності управління енергоефективністю та енергозбереженням (модель енергоменеджменту) на місцевому рівні у вигляді упорядкованої сукупності (1.5.23) - (1.5.30) відображень взаємозв'язків вхідних і вихідних, управляючих і зворотних змінних. Означена модель може бути класифікована як модель ідеалізованого ринку прямих договорів, на якому кожен споживач ЖК послуг має право вибору виробника та постачальника і навпаки. Подальше удосконалення цієї моделі потребує додаткового врахування систем обмежень, обумовлених, головним чином, специфікою ринкових відносин у житлово-комунальній сфері та технічними можливостями реалізації прав вільного вибору.

Узагальнену структурно-функціональну схему системи енергоменеджменту на державному рівні наведено на Рис.1.5.8. Тут і далі за

текстом верхніми індексами означені: **PR** – Адміністрація Президента, **VR** – Верховна Рада, **CM** – Кабінет Міністрів, **DM** – Міністерство з питань житлово-комунального господарства, **DS** – Державний комітет з стандартизації (ДСТУ), **DC** – Національне агентство з ефективного використання енергетичних ресурсів (НАЕР), **DR** – Національна комісія регулювання електроенергетики (НКРЕ) та Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері комунальних послуг (НКРК), **SF** – Загальнодержавний фонд з енергозбереження, **DG** – Інспекція з ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та енергозбереження, **DF** – Фонд ЖКГ з енергозбереження, **RM** – множина міст країни, **RO** – множина областей країни, **RR** – множина регіонів країни, **HC** – множина підприємств ЖКГ та споживачів ЖК послуг, а знаками  $U_M, U_O, U_R$  означені масиви згрупованої (об'єднаної) інформації, відповідно, за містами, областями та регіонами країни.

Схема на Рис.1.5.8, як і попередня схема на Рис.1.5.7, що відображає модель системи енергоменеджменту на місцевому рівні, є тривірневою, оскільки охоплює множину взаємозв'язків державних органів **DM, DC, DR, DS, DG** і **DF**, які здійснюють визначені їх статутом функції управління енергоефективністю та енергозбереженням у ЖКГ країни, з загальнодержавними органами **PR, VR, CM** і **SF** управління економікою країни та органами **RM, RO, і RR** місцевого (державного і муніципального) управління енергоефективністю та енергозбереженням.

Як і для схеми на Рис.1.5.7, взаємозв'язки державного рівня ієрархії управління з нижче розташованими рівнями місцевого управління будемо розглядати у вигляді дворівневої схеми з локальними управляючими елементами **DC, DR, DS, DG** і **DF**, підпорядкованими єдиному вище розташованому управляючому елементу **DM** (центральному органу управління

енергоефективністю та енергозбереженням у ЖКГ країни). При цьому, місцевий рівень управління представимо у вигляді узагальненого ланцюга

$$(RM) \Leftrightarrow (U_M) \Leftrightarrow (RO) \Leftrightarrow (U_O) \Leftrightarrow (RR) \Leftrightarrow (U_R), \quad (1.5.31)$$

що складається з множин міст, областей і регіонів країни, взаємодіючих з державними органами управління та множиною підприємств ЖКГ і споживачів ЖК послуг за допомогою відповідних управляючих  $U$  і зворотних  $Z$  змінних, а зв'язки з загальнодержавними органами управління представлені як зовнішні по відношенню до системи.

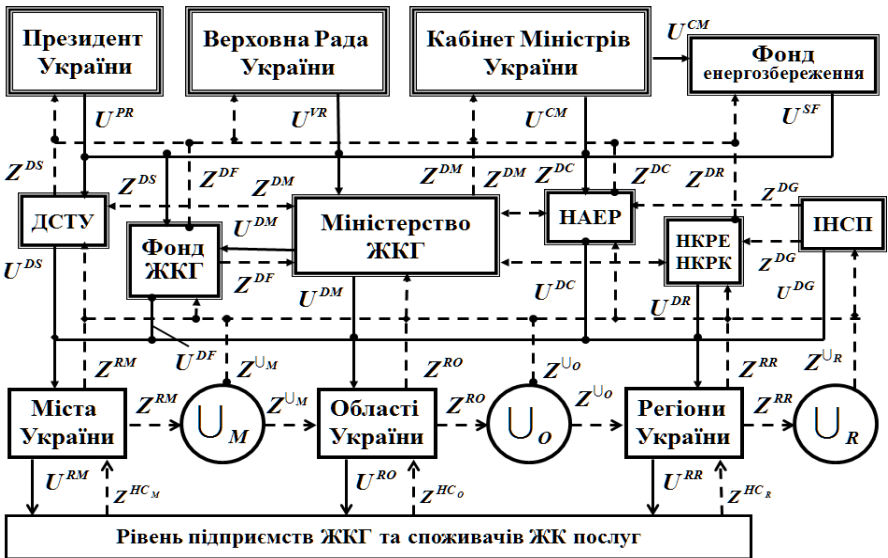


Рисунок 1.5.8 – Структурно-функціональна схема системи енергоменеджменту на державному рівні

За правилами розбивки  $\mathfrak{R}$  множини структурно-функціональних елементів і зв'язків (1.5.12) – (1.5.15) для ланцюга (1.5.31) взаємозв'язаних підсистем міського, обласного і регіонального управління маємо наступну основну систему відображень ефективності управління цими підсистемами у сфері енергоефективності та енергозбереження:

$$\begin{aligned}
\mathcal{H}^{RM} &: U^{DW} \times Z^{HC_M} \rightarrow U^{RM}; \\
\mathcal{H}^{RO} &: U^{DW} \times Z^{U_M} \times Z^{HC_O} \rightarrow U^{RO}; \\
\mathcal{H}^{RR} &: U^{DW} \times Z^{U_O} \times Z^{HC_R} \rightarrow U^{RR},
\end{aligned}
\tag{1.5.32}$$

де  $U^{DW} = U^{DS} \times U^{DF} \times U^{DM} \times U^{DC} \times U^{DR} \times U^{DG}$ , а  $HC_M$ ,  $HC_O$ ,  $HC_R$  визначають множини підприємств ЖКГ і споживачів ЖК послуг за містами, областями і регіонами країни, відповідно.

Аналогічно, для центрального органу  $DM$  управління енергоефективністю та енергозбереженням у ЖКГ країни та сукупності локальних управляючих елементів  $DS$ ,  $DF$ ,  $DC$ ,  $DR$  і  $DG$  маємо відповідну основну систему відображень ефективності організаційних структур адміністративного управління та економічного стимулювання енергоефективності та енергозбереження на державному рівні:

$$\begin{aligned}
\mathcal{H}^{DM} &: U^{SW} \times Z^{RW} \times Z^{DS} \times Z^{DF} \times Z^{DC} \times Z^{DR} \rightarrow U^{DM}; \\
\mathcal{H}^{DS} &: U^{SW} \times Z^{RW} \times Z^{DM} \rightarrow U^{DS}; \\
\mathcal{H}^{DF} &: U^{SW} \times U^{DM} \times Z^{RW} \rightarrow U^{DF}; \\
\mathcal{H}^{DC} &: U^{SW} \times U^{DM} \times Z^{RW} \times Z^{DG} \rightarrow U^{DC}; \\
\mathcal{H}^{DR} &: U^{SW} \times U^{DM} \times Z^{RW} \times Z^{DG} \rightarrow U^{DR}; \\
\mathcal{H}^{DI} &: Z^{RW} \rightarrow U^{DG},
\end{aligned}
\tag{1.5.33}$$

де  $U^{SW} = U^{PR} \times U^{VR} \times U^{CM} \times U^{SF}$ ,

$$Z^{RW} = Z^{RM} \times Z^{RO} \times Z^{RR} \times Z^{U_M} \times Z^{U_O} \times Z^{U_R}.$$

Підсумовуючи отримані результати формалізації моделі енергоменеджменту ЖКГ України на місцевому та державному рівнях слід нагадати, що схеми на Рис.1.5.7 і Рис.1.5.8 побудовані як схеми систем екстремального управління, які містять усі елементи такого роду систем. Так, основні функції екстремального управління у схемі на Рис.1.5.7, які охоплюють вироблення управляючих впливів та вимірювання і контроль за отриманими результатами, здійснюють місцеві ЕСКО, а у схемі на Рис.1.5.8 – Міністерство ЖКГ, безумовно за розподіленням частини функцій (за співробітництвом,

взаємозв'язками) з іншими означеними державними і місцевими органами управління, підприємствами ЖКГ та споживачами ЖК послуг.

## Глава 1.6. Теоретичні основи координування взаємодії елементів багаторівневої системи енергетичного менеджменту

### 1.6.1. Введення до проблеми координування взаємодії елементів у багаторівневих системах

Відкритим в побудованих вище дворівневих моделях енергоменеджменту ЖКГ України залишається питання координування взаємодії об'єктів (елементів) системи на всіх ієрархічних рівнях. Координованість як фундаментальна властивість складних систем виявляється у здатності елементів цих систем до узгодженої взаємодії задля досягнення загальносистемної (глобальної) мети.

Координування як системна задача є сферою відповідальності вище розташованих управляючих елементів (підсистем), у процесі якого вони намагаються стимулювати нижче розташовані управляючі елементи до реалізації глобальної мети навіть на збиток їх локальних інтересів. Це безумовно сприяє виникненню конфліктів, наслідки яких мають бути мінімізовані системно узгодженими діями, які мають базуватися на теоретично обґрунтованих та практично вивіренних методах і засобах управління, у першу чергу економічного стимулювання енергоефективності та енергозбереження на підприємствах ЖКГ.

Складність та різноманітність управління великим енерготехнологічним господарством ЖКГ, що складається з  $(n+m+k)$  технологічних підсистем (об'єктів), які управляються окремими (локальними) управляючими підсистемами, є першопричиною необхідності координації їх взаємодії (тут  $n$  – кількість підприємств-виробників,  $m$  – підприємств-постачальників та  $k$  – споживачів ЖК послуг).

В ринкових умовах процедура управління такого роду системами складається з двох взаємопов'язаних процесів – вироблення власних рішень (пропозицій) локальними управляючими підсистемами (наприклад,



підприємствами ЖКГ) та їх узгодження (корегування) за результатами взаємодії з постачальниками та споживачами на ринках ЖК послуг (узгодження за попитом та пропозицією).

За теоретико-множинним підходом ця процедура потребує введення у розгляд (до моделі управління) двох типів координуючих сигналів зворотних зв'язків  $U^{\cap^s}$  та  $U^{\cap^d}$ , що функціонують за правилами взаємодії об'єктів (підприємств) на ринках ЖК послуг (за механізмами типу “невидимої руки” тощо) (див. Рис.1.5.7).

Математична формалізація процедури координування починається з вирішення задачі поіменної індексації та упорядкування структурно-функціональних ознак елементів системи з визначенням місця і ролі кожного з учасників системи у кінцевих результатах з підвищення енергоефективності та енергозбереження у ЖКГ країни.

Система таких ознак, що розглядається у роботі, розрізняє поелементно велику кількість різнорідних та внутрішнє упорядкованих за специфічними правилами і закономірностями множин підприємств та органів управління (і змінних, що їх відображають тощо) багаторівневої системи енергоменеджменту ЖКГ України, у першу чергу елементи (підмножини, підприємства) множин  $H = H^F, H^B$  виробників  $F$  і постачальників  $B$  та споживачів  $C = C^D, C^P, C^S, C^U, C^G$  ЖК послуг, які, у свою чергу, розрізняються за індексами галузевої  $L = L^H, L^V, L^W, L^B, L^E, L^G, L^T, L^L, L^U$  та адміністративно-територіальної  $R = R^V, R^M, R^P, R^O, R^R$  належності, формою власності підприємств  $H^D, H^M, H^P$  тощо. Система має також розрізняти взаємозв'язані з ними елементи множин відповідних ринків  $O = O^F, O^B, O^C, O^A$  виробництва, постачання і споживання паливно-енергетичних ресурсів і продуктів, ЖК послуг, енергосервісних послуг, елементи множин органів управління тощо за рівнями ієрархії  $I = I^C, I^H, I^M, I^D$ , формами  $E = E^K, E^A, E^F$  адміністративно-командних і фінансово-комерційних структур управління та економічного стимулювання

енергоефективності та енергозбереження на державному  $D = D^M, D^S, D^C, D^R, D^G, D^F$  і місцевому  $M = M^D, M^P, M^M, M^F$  рівнях та на рівні окремих підприємств і споживачів.

Схематичне поле структурно-функціональних класифікаційних ознак системи енергоменеджменту ЖКГ України наведено на Рис.1.6.1.

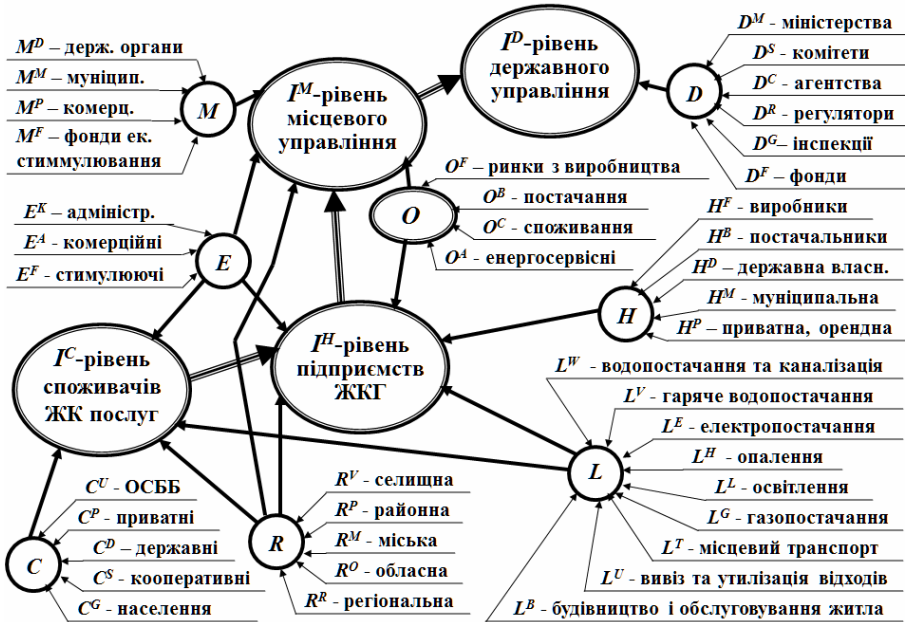


Рисунок 1.6.1 - Схематичне поле структурно-функціональних класифікаційних ознак системи енергоменеджменту ЖКГ України

Тут і далі:  $D^M, D^S, D^C, D^R, D^G, D^F$  – індекси міністерств, комітетів, агентств і регуляторних органів, інспекцій і фондів з енергоефективності та енергозбереження на рівні державного управління;  $R^V, R^P, R^M, R^O, R^R$  – індекси відповідних селищних, районних, міських, обласних та регіональних органів адміністративно-територіального управління;  $M^D, M^P, M^M, M^F$  – індекси місцевих державних органів, фінансово-комерційних і муніципальних енергосервісних компаній і фондів з економічного стимулювання енергоефективності та енергозбереження;  $L^H, L^V, L^W, L^B, L^E, L^G, L^T, L^L, L^U$

– індекси галузевої належності ЖК послуг з опалення, гарячого водопостачання, постачання питної води і водовідведення (каналізації), будівництва і обслуговування житлового фонду, електропостачання, газопостачання, місцевого транспорту, освітлення, вивозу та утилізації відходів тощо;  $H^D, H^M, H^P$  – індекси підприємств ( $F = F^D, F^M, F^P$  - виробників,  $B = B^D, B^M, B^P$  – постачальників) державної, муніципальної та приватної форм власності, акціонерних товариств, орендних підприємств тощо;  $C^D, C^P, C^S, C^U, C^G$  - індекси споживачів державної, приватної, кооперативної форм власності, об'єднань співвласників багатоквартирних будинків та окремих категорій населення, орендарів тощо.

Нагадаємо, що індекси, означені на схематичному полі структурно-функціональних класифікаційних ознак системи енергоменеджменту ЖКГ України (Рис.1.6.1), є верхніми індексами вхідних і вихідних, управляючих і зворотних змінних у побудованих моделях управління, де нижні індекси  $C, E, N, P, Q$  та  $PC, PE, PQ, PR, QE, QQ, QR$  (Рис.1.5.5) визначаються упорядкованими за правилами (1.5.16) - (1.5.17) технологічними, економічними, екологічними, соціальними та нормативно-правовими структурно-функціональними класифікаційними ознаками.

В межах теоретико-множинного підходу задача упорядкування означених верхніх індексів вирішується за аналогічними (1.5.16) - (1.5.17) правилами шляхом формування відповідних кортежів верхніх індексів. При цьому, область дії індексу  $j$  за виразом (1.5.25), який поіменно визначає елементи множин виробників, постачальників і споживачів ЖК послуг, поширена на всі інші множини для поіменного визначення їх елементів.

Ієрархічність (багаторівневість тощо) структури моделі енергоменеджменту ЖКГ України призводить до необхідності побудови адекватної їй ієрархічної системи індексації об'єктів моделі управління і множин, що їх відображають. Тому, на наступному за  $j$  ієрархічному рівні

системи індексації має бути розташований індекс  $i$  рівня ієрархії системи управління енергоефективністю та енергозбереженням.

Далі встановимо правило, за яким індекси всіх об'єктів і множин, означених на Рис.1.6.1 і за текстом великими (прописними) літерами, будуть визначатися відповідними до них малими (рядковими). Тоді, третій рівень запропонованої системи індексації буде представлений у вигляді кортежу  $(c, h, m, d, o)$  структурних індексів системи енергоменеджменту, деталізованих за формами власності та функціональної і адміністративної належності об'єктів системи, де:

$$\begin{aligned} c &= d, p, s, u, g; & m &= d, p, m, f; \\ f &= d, m, k; & d &= m, s, c, r, g, f; \\ b &= d, m, k; & o &= f, b, c, a, \end{aligned} \quad (1.6.1)$$

а четвертий — у вигляді кортежу індексів  $(r, l)$ , деталізованих за територіальною і галузевою належністю цих об'єктів:

$$\begin{aligned} r &= v, m, p, o, r; \\ l &= h, v, w, b, e, g, t, l, u. \end{aligned} \quad (1.6.2)$$

І на завершальному, п'ятому рівні запропонованої системи розташовуються індекси, що визначають форми управління енергоефективністю та енергозбереженням

$$e = k, a, f. \quad (1.6.3)$$

За правилами (1.6.1) - (1.6.3) побудови системи індексації легко формалізуються також індекси змінних управляючих і зворотних зв'язків між елементами системи за допомогою типового означення  $a/b$ , де  $a$  відноситься до об'єкту (елементу), з якого виходить, а  $b$  — до якого входить спрямований зв'язок.

Нагадаємо, що для належного функціонування запропонованої системи індексації принципово важливим є той факт, що множини змінних побудованих моделей підсистем управління енергоефективністю та енергозбереженням у ЖКГ України підпорядковуються правилам (1.5.12) - (1.5.15) розбивки  $\mathfrak{R}$ , які

встановлюють для кожного  $j$ -го об'єкту нижнього рівня ієрархії системи індексації (1.6.1) - (1.6.3) повноваження щодо вибору саме тих  $j$ -их компонентів класифікаційних ознак, які властиві саме цим об'єктам. Для прикладу, множина змінних системи відображень (1.5.23) - (1.5.24) за введеною системою індексації упорядковується у вигляді сукупності (кортежу) декартових добутків

$$\begin{aligned}
 X^A &= X^{A_1} \times \dots \times X^{A_j}; \\
 Y^A &= Y^{A_1} \times \dots \times Y^{A_j}; \\
 Z^A &= Z^{A_1} \times \dots \times Z^{A_j}; \\
 U^{O_A} &= U^{O_{A_1}} \times \dots \times U^{O_{A_j}}; \\
 U^{\cap_{A/A}} &= U^{\cap_{A/A_1}} \times \dots \times U^{\cap_{A/A_j}},
 \end{aligned}
 \tag{1.6.4}$$

де індекс  $A$  має повноваження приймати відповідні (1.5.23) - (1.5.25) значення з ряду множин  $F, B, C$ ,  $j$ -ті компоненти яких поіменно визначають кожного з виробників, постачальників і споживачів ЖК послуг та зв'язки між ними.

Ще однією, не зазначеною у явному вигляді функціональною властивістю запропонованої системи індексації залишається можливість об'єднання  $\cup$  як однорідних, так і різнорідних за класифікаційними ознаками об'єктів системи енергоменеджменту (і відповідних змінних, що їх відображають) у структурно-функціональні групи (класи, множини), наприклад, за адміністративно-територіальними та/або галузевими ознаками, тим самим визначаючи обсяги досягнутого за цими об'єднаннями енергозбереження.

Таким чином, застосування запропонованої системи наскрізної індексації взаємодіючих елементів багаторівневої системи енергоменеджменту ЖКГ України дозволяє не тільки поіменно визначати об'єкти (учасників) системи та зв'язки між ними за сукупністю структурно-функціональних класифікаційних ознак, а і об'єднувати ці об'єкти (і учасників) у групи і класи за більш складними, ніж операція прямого підсумовування, функціональними перетвореннями, наприклад, за правилами регулювання природних монополістів на ринках ЖК послуг [139-142]. До того ж, систематизувати

задачі координації планів, програм і конкретних проектів з підвищення ефективності функціонування управляючих елементів і підсистем, розташованих на різних ієрархічних рівнях системи управління, з відповідними планами, програмами і проектами з підвищення ефективності управління використанням енергетичних ресурсів у ЖКГ України.

Наступною після вирішення задачі індексації постає задача формалізації процесів координування взаємодії визначених елементів у системі. Серед існуючих підходів до розв'язання цієї проблеми у багаторівневих системах, що функціонують за ринковими правилами прийняття нижче розташованими елементами своїх рішень, можуть бути застосовані наступні підходи [115, 127, 139, 143-145]:

- прогнозування взаємодії, за яким управляючі сигнали  $u^j$  вище розташованих елементів формуються на базі інформації про прогнозні рішення  $x_{pr}^j(D^j)$  нижче розташованих локальних елементів;
- декомпозиції (розв'язання) взаємодії, за яким локальні елементи мають право варіювати параметри управляючих сигналів  $u^j$ , які розглядаються ними як частина наявної інформації для вироблення власних рішень;
- встановлення діапазону взаємодії, коли вище розташований управляючий елемент не указує параметри взаємодії, а задає лише допустимі області їх зміни, в межах яких нижче розташовані елементи мають свободу вибору власних рішень;
- об'єднання і створення коаліцій, наприклад, за галузевими (тепло, - водопостачання, освітлення тощо) або адміністративно-територіальними ознаками, які функціонують за визначеними в їх статутах умовами;
- встановлення правил гри, відомих нижче розташованим елементам, за якими реалізація рішень вище розташованого елемента є економічно доцільною для нижче розташованих елементів;

- надавання керуючими елементами дозволів або встановлення обмежень на обмін інформацією між нижче розташованими у системі елементами, співвідношення яких регулює ступінь конкуренції на ринках ЖК послуг.

В останньому випадку слід пам'ятати, що організація обміну інформацією між елементами одного рівня з загальносистемної точки зору не принесе додаткової вигоди, якщо застосовувати лінійні функції ефективності (якості).

Координування взаємодії управляючих елементів за означеними підходами частіше за все здійснюється за допомогою процедур знаходження рішення  $\chi(\mathcal{D}^s)$  глобальної (загальносистемної) задачі  $\mathcal{D}^s$  оптимізації параметрів управління системи, що складається з сукупності рішень  $\chi^j(\mathcal{D}^j)$  ієрархічно підпорядкованих локальних задач оптимізації  $\mathcal{D}^j(u^j)$ ,  $u^j \in \mathcal{U}$ , які розв'язують нижче розташовані управляючі елементи системи під впливами  $\mathcal{U}$  вище розташованих управляючих елементів. Формалізація таких процедур полягає у наступному.

Нехай  $\overline{\mathcal{D}}^s(u) = \{\mathcal{D}^1(u^1), \dots, \mathcal{D}^n(u^n)\}$  є сукупність локальних задач, яка потребує окремого від  $\mathcal{D}^s$  рішення, а  $\overline{\chi}(\mathcal{D}^s) = \{\chi^1(\mathcal{D}^1), \dots, \chi^n(\mathcal{D}^n)\}$  — рішення задачі  $\overline{\mathcal{D}}^s(u)$ . Тоді, задача координування управляючих дій системи формалізується у вигляді

$$\Phi(\chi(\mathcal{D}^s) - \overline{\chi}(\mathcal{D}^s)) \rightarrow \min, \quad (1.6.5)$$

розв'язання якої у більшості випадків здійснюється за умов визначення у явній чи неявній формі відображення (функції, функціоналу тощо)

$$\varphi: \overline{\chi}(\mathcal{D}^s) \rightarrow \chi(\mathcal{D}^s), \quad (1.6.6)$$

а глобальна задача оптимізації  $\mathcal{D}^s$ , яка реалізує загальносистемну мету управління, представляється за теоретико-множинним підходом парою  $(\mathcal{G}^s, \mathcal{U}^s)$ , де  $\mathcal{G}^s$  — задана цільова функція.

При цьому слід пам'ятати, що задача координування за виразами (1.6.5) - (1.6.6) у більшості випадків є задачею багатокритеріальної оптимізації, розв'язання якої потребує окремого визначення критеріїв (принципів) оптимальності (ефективності) і стійкості (рівноваги) рішень, що приймаються у процесі координування [128, 139, 140].

Як можна побачити, результати формалізації задачі координування управляючих дій багаторівневої системи за виразами (1.6.5) – (1.6.6) є подібними результатам формалізації задачі управління енергоефективністю та енергозбереженням у ЖКГ країни, сформульованими в межах теорії автоматичного управління, де задача пошуку оптимальних управляючих дій  $u^j$ , які мінімізують функцію міри відхилення досягнутого стану системи від мети (див. вирази (1.5.7) - (1.5.8)), вирішується шляхом введення зворотних зв'язків. За цією аналогією, в задачі координування “вихідний сигнал” системи  $\bar{x}(\mathcal{D}^s)$  має порівнюватися з бажаним станом “об'єкту управління”  $x(\mathcal{D}^s)$  і різниця (відхилення) після перетворення  $\Phi$  по ланцюгам зворотних зв'язків подаватися на органи управління для корегування управляючих впливів у потрібний бік. Така аналогія є продуктивною для розв'язання проблеми координування багаторівневої системи, яка у даному випадку зводиться до більш формалізованих задач вибору типу та параметрів глобального та локальних екстремальних регуляторів.

Окрім узгодження рішень (планів, завдань, проектів), що пропонуються об'єктами на різних ієрархічних рівнях системи управління, координуванню підлягають цільові функції, за якими вони реалізуються (здійснюються).

Зрозуміло, що природне намагання локальних елементів максимізувати власні цільові функції, у загальному випадку не гарантує досягнення глобального оптимуму, що призводить до конфліктів інтересів, розв'язання яких потребує застосування специфічних координуючих сигналів. У системах з ієрархічною структурою виникають два види такого роду конфліктів: міжрівневі, коли глобальна мета і локальні цілі не сумісні у тому сенсі, що досягнення мінімальних локальних витрат суперечить мінімізації



загальносистемних витрат, та внутрішньорівневі, коли мінімізація витрат одним локальним елементом не дозволяє іншому елементу досягати власних мінімальних витрат.

З точки зору координування, розв'язання такого роду конфліктів потребує формалізації залежностей цільових функцій глобальних та локальних витрат від відповідних управляючих впливів та функцій якості (ефективності) функціонування системи, а також залежностей між цими функціями якості на різних рівнях ієрархії системи управління.

### **1.6.2. Формалізація моделі програмно-цільового координування елементів місцевої системи енергоменеджменту**

У попередньому розділі ми розглянули структурно-функціональну схему моделі координування взаємодії технологічних та ринкових елементів ієрархічної системи енергоменеджменту на місцевому рівні, де в якості вище розташованого органу управління розглядався місцевий орган адміністративно-організаційного управління енергоефективністю та енергозбереженням  $\mathcal{N}_M$  (див. Рис.1.5.7).

При цьому, функції державних і місцевих органів влади (місцевих державних адміністрацій і виконавчих комітетів місцевих рад) та комерційних учасників місцевої системи управління враховувалися у неявному вигляді як зовнішні впливи. Розглянемо принципи побудови повномасштабної моделі координування взаємодії елементів системи управління енергоефективністю та енергозбереженням на місцевому рівні.

Формалізацію моделі координування місцевої системи з ієрархічно побудованою структурою будемо проводити за логічно узгодженим ланцюгом «ціль - функції - правила поведінки - параметри координування - моделі елементів» в межах методології програмно-цільового підходу (task-motivated, task force approach).

У главу цього підходу, орієнтованого на досягнення глобальних цілей програми, ставиться не організаційна структура системи, а алгоритми (процедури) управління елементами програми (програмними діями), що дозволяє в залежності від рівня програми (місцева, обласна, регіональна, державна тощо) послідовно розглядати всі рівні ієрархічної системи управління енергоефективністю та енергозбереженням у ЖКГ України.

Припустимо, на даному (місцевому) рівні ієрархічної системи управління діє місцева програма енергоефективності та енергозбереження, що охоплює  $(n + m + k)$  технологічних учасників, у тому числі  $n$  виробників, які виробляють  $h \geq n$  продуктів,  $m$  постачальників і  $k$  споживачів ЖК послуг (продуктів, товарів тощо). Успішне виконання програми у цілому потребує від кожного її учасника безумовного виконання протягом планового часу завдань програми щодо обсягів та якості виробництва і споживання ЖК послуг  $\hat{Y}^e = \hat{Y}^1, \hat{Y}^2, \dots, \hat{Y}^h$  та програмних завдань щодо обсягів і якості енергозбереження  $\hat{E}^e = \hat{E}^1, \hat{E}^2, \dots, \hat{E}^h$  — основних продуктів місцевої програми енергоефективності та енергозбереження.

Припустимо також, що ефективність зусиль учасників з реалізації програми на кожному етапі (за кожний період часу  $t$ ) та по кожному продукту оцінюється системою нормованих показників  $r_{Y,E}^e(t) = (r_Y^e(t), r_E^e(t))$ , де:

$$r_Y^e(t) = Y^e(t) / \hat{Y}^e(t); \quad r_E^e(t) = E^e(t) / \hat{E}^e(t); \quad e = \overline{1, h},$$

наприклад, у вигляді їх наступної сукупності [126]:

$$\bar{r}_I^e = \min_{t \in (0, T)} r_{Y,E}^e(t); \quad \bar{r}_{II}^e = \left( \sum_{e=1}^h r_{Y,E}^e(t) \right); \quad \bar{r}_{III}^e = \sqrt{\sum_{e=1}^h (r_{Y,E}^e(t))^{(2)}}. \quad (1.6.7)$$

Врахуємо також, що програмно-цільове управління технологічними підсистемами виробництва **ВР**, постачання **ПС** і споживання **СП** ЖК послуг, об'єднаних з відповідними ринками  $\cap_F, \cap_B, \cap_C$  ЖК послуг («об'єднаних підсистем», об'єднань), здійснюється на місцевому рівні, як правило, окремими

структурними підрозділами  $\mathcal{N}_M^{rl}$  (департаментами, відділами тощо) місцевого органу управління  $\mathcal{N}_M$ , формалізованими у моделі енергоменеджменту індексами  $r, l$  за територіальними  $r$  і галузевими  $l$  ознаками ЖК послуг (див. Рис.1.6.1 та вирази (1.6.2)).

В ринкових умовах функціонування ЖКГ одним з основних завдань цих структурних підрозділів за місцевою програмою енергоефективності та енергозбереження є розподілення капітальних інвестиційних ресурсів (у формі товарних кредитів тощо)

$$I_{\mathcal{N}_M}^K = I_{\mathcal{N}_M}^{K_D} + I_{\mathcal{N}_M}^{K_M} + I_{\mathcal{N}_M}^{K_A} + I_{\mathcal{N}_M}^{K_E} + I_{\mathcal{N}_M}^{K_P}, \quad (1.6.8)$$

залучених на її реалізацію на платній і безоплатній основі з державного  $I_{\mathcal{N}_M}^{K_D}(t)$  і місцевих  $I_{\mathcal{N}_M}^{K_M}(t)$  бюджетів, комерційних банків  $I_{\mathcal{N}_M}^{K_A}(t)$ , власних фондів  $I_{\mathcal{N}_M}^{K_E}(t)$  енергосервісних компаній та виробників енергозберігаючого обладнання  $I_{\mathcal{N}_M}^{K_P}(t)$  тощо, серед інших учасників програми, — об'єднань, окремих підприємств ЖКГ, споживачів тощо за їх територіальними і галузевими ознаками.

Крім того, на реалізацію програми з державного і місцевих бюджетів, інших джерел фінансування, спонсорських фондів тощо, означених далі індексом  $G$ , зазвичай залучаються фінансові ресурси

$$I_{\mathcal{N}_M}^L = I_{\mathcal{N}_M}^{L_D} + I_{\mathcal{N}_M}^{L_M} + I_{\mathcal{N}_M}^{L_E} + I_{\mathcal{N}_M}^{L_P} + I_{\mathcal{N}_M}^{L_G} \quad (1.6.9)$$

на інші цілі, наприклад, на збільшення фондів заробітної плати, на компенсацію відсотків за кредити комерційних банків, на проведення енергоаудитів, науково-дослідних і конструкторських робіт, розробку бізнес-планів, навчання персоналу, соціальні заходи тощо.

Окрім згаданих надходжень, означених виразами (1.6.8) - (1.6.9), в ринкових умовах функціонування ЖКГ загальний бюджет місцевого органу управління  $\mathcal{N}_M$  має також наповнюватися за рахунок відрахувань  $B_{\mathcal{N}_M}$

учасників програми, які вони сплачують з доходів, отриманих внаслідок реалізації включених до програми заходів з енергоефективності та енергозбереження. В якості таких відрахувань, що здійснюються за період виконання програми, у складі загального бюджету місцевого органу управління будемо розрізняти наступні відрахування учасників програми з фондів енергозбереження, створених ними за програмою

$$B_{\Pi_M}^{\Sigma} = B_{\Pi_M}^K + B_{\Pi_M}^L + B_{\Pi_M}^Q, \text{ де:} \quad (1.6.10)$$

$$B_{\Pi_M}^K = \sum_r \lambda^{Kr} \sum_l \lambda^{Kl} \sum_j (\lambda^{Kj} V_{\Pi_M}^{K^{rj}}) - \text{сума відрахувань з фондів капітальних}$$

вкладень учасників, де  $V_{\Pi_M}^{K^{rj}}$  – розмір отриманих  $rj$ -м учасником програми капітальних інвестиційних ресурсів;

$$B_{\Pi_M}^L = \sum_r \lambda^{Lr} \sum_l \lambda^{Ll} \sum_j (\lambda^{Lj} V_{\Pi_M}^{L^{rj}}) - \text{сума відрахувань учасників за}$$

отримані кредити на інші, крім капітальних вкладень, цілі, де  $V_{\Pi_M}^{L^{rj}}$  – обсяг кредиту, отриманого  $rj$ -м учасником;

$$B_{\Pi_M}^Q = \sum_r \lambda^{Qr} \sum_l \lambda^{Ql} \sum_j (\lambda^{Qj} E_{\Pi_M}^{Q^{rj}}) - \text{сума відрахувань учасників від}$$

вартості досягнутих ними за програмою обсягів енергозбереження  $E_{\Pi_M}^{Q^{rj}}$ , за покращення інших, обумовлених програмою, якісних показників продукції, послуг тощо.

Структурно-функціональна схема програмно-цільового розподілення інвестиційних ресурсів за системою енергоменеджменту наведена на Рис.1.6.2.

Нагадаємо, що всі процедури та операції за формулами (1.6.8) - (1.6.10), де  $\lambda$  з відповідними індексами визначає вагові (дольові, вартісні тощо) коефіцієнти, здійснюються за періоди часу, що розглядаються, зазвичай, за місяць, квартал, рік, а кортежі  $(r, l, j)$  індексів учасників формалізуються за правилами розбивки (1.5.12) - (1.5.15). Крім того, з точки зору формалізації

структури моделі залучення і розподілення кредитних ресурсів слід враховувати, що їх обсяги є обмеженими і недостатніми для реалізації програмних заходів, що потребує безумовного вкладання власних коштів (часткової участі у фінансуванні проектів з енергоефективності та енергозбереження) учасників – підприємств ЖКГ і споживачів ЖК послуг.

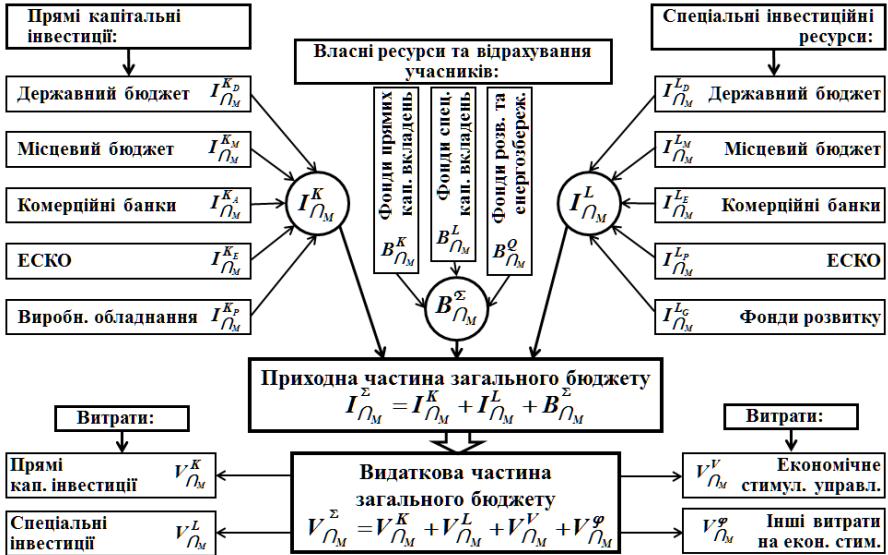


Рис.1.6.2 – Структурно-функціональна схема програмно-цільового розподілення інвестиційних ресурсів за системою енергоменеджменту

В результаті, приходна частина  $I_{\nabla M}^{\Sigma}$  загального бюджету  $W_{\nabla M}^{\Sigma}$  місцевого органу управління, призначеного для виконання програми, буде складатися з наступних внесків і відрахувань учасників програми

$$I_{\nabla M}^{\Sigma} = I_{\nabla M}^K + I_{\nabla M}^L + B_{\nabla M}^{\Sigma}, \quad (1.6.11)$$

а видаткова частина  $V_{\nabla M}^{\Sigma}$  загального бюджету визначатися у вигляді

$$V_{\nabla M}^{\Sigma} = V_{\nabla M}^K + V_{\nabla M}^L + V_{\nabla M}^V + V_{\nabla M}^{\Phi}, \quad (1.6.12)$$

де  $V_{\nabla M}^K(t) = \sum_r \sum_l \sum_j V_{\nabla M}^{K^{rlj}}(t)$ ;  $V_{\nabla M}^L(t) = \sum_r \sum_l \sum_j V_{\nabla M}^{L^{rlj}}(t)$ ;

$$V_{\mathcal{N}_M}^V(t) = \sum_{r,l,j} V_{\mathcal{N}_M}^{V^{rlj}}(t) = \sum_r v^{Q^r} \sum_l v^{Q^l} \sum_j (v^{Q^j} E_{\mathcal{N}_M}^{Q^{rlj}}(t)) - \text{сума відрахувань}$$

до фонду економічного стимулювання працівників місцевого органу управління, що залежить від досягнутих за програмою результатів їх діяльності;

$$V_{\mathcal{N}_M}^{\varphi}(t) = \sum_r \varphi^{Q^r} \sum_l \varphi^{Q^l} \sum_j (\varphi^{Q^j} E_{\mathcal{N}_M}^{Q^{rlj}}(t)) - \text{сума витрат на економічне}$$

стимулювання інших учасників (або надходження від можливих штрафних санкцій), що залежать від результатів їх діяльності. Розмір загального фонду економічного стимулювання (винагород та штрафів) має бути обмеженим:

$$V_{\mathcal{N}_M}^V + V_{\mathcal{N}_M}^{\varphi} \leq \delta_{\mathcal{N}_M}.$$

Як наслідок, зміни загального бюджету  $W_{\mathcal{N}_M}^{\Sigma}$  у часі з урахуванням (1.6.8)

- (1.6.12) відобразяться рівнянням

$$dW_{\mathcal{N}_M}^{\Sigma} / dt = I_{\mathcal{N}_M}^{\Sigma}(t) - V_{\mathcal{N}_M}^{\Sigma}(t) - \Delta W_{\mathcal{N}_M}^{\Sigma}(t), \quad (1.6.13)$$

де  $\Delta W_{\mathcal{N}_M}^{\Sigma}(t)$  – визначає револьверний накопичувальний фонд (резерв) місцевого органу управління, який створюється за програмою для реалізації загальносистемних заходів, крупних інвестиційних проектів тощо,

$$\Delta W_{\mathcal{N}_M}^{\Sigma}(t) = \sum_r \sum_l \sum_j \Delta W_{\mathcal{N}_M}^{rlj}(t).$$

За цих умов, задача програмно-цільового управління бюджетом буде полягати у виборі чисельних значень параметрів і коефіцієнтів управляючих впливів  $I_{\mathcal{N}_M}^{K^{rlj}}, I_{\mathcal{N}_M}^{L^{rlj}}, E_{\mathcal{N}_M}^{Q^{rlj}}, \lambda^{K^{rlj}}, \lambda^{L^{rlj}}, \lambda^{Q^{rlj}}, V_{\mathcal{N}_M}^{V^{rlj}}, V_{\mathcal{N}_M}^{K^{rlj}}, V_{\mathcal{N}_M}^{L^{rlj}}, \Delta W_{\mathcal{N}_M}^{\Sigma}$ , за якими досягається якнайкраще виконання програми, а структурні підрозділи місцевого органу управління  $\mathcal{N}_M$ , як органи адміністративно-організаційного управління, які безпосередньо не виробляють продукцію, мають здійснювати таке управління за одним з цільових функціоналів (1.6.14), визначених на базі нормованих показників (1.6.2):

$$\begin{aligned} \Theta_{\Gamma_{M1}}^{rl} &= \min_e \min_t (\delta^e(t) r^e(t)) \rightarrow \max; \\ \Theta_{\Gamma_{M2}}^{rl} &= \left( \sum_{e=1}^h \delta^e(t) r^e(t) \right) \rightarrow \max; \\ \Theta_{\Gamma_{M3}}^{rl} &= \sqrt{\sum_{e=1}^h (\delta^e(t) r^e(t))^2} \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (1.6.14)$$

де  $\delta^e$  — вагові коефіцієнти, що встановлюються за умов нерівноцінності виробництва (споживання) окремих продуктів у різні періоди часу.

На технологічному рівні ієрархічної системи управління кожен з  $(n + m + k)$  учасників програми має вкладати власні ресурси  $W_H^{rlj}$  (капітал, труд, матеріали, технології тощо) для виробництва обумовлених програмою обсягів і номенклатури продуктів (ЖК послуг тощо)  $Y_H^{rlej}$  гарантованої якості та досягнення планових обсягів і якості енергозбереження  $E_H^{rlej}$ .

Зміну бюджету кожного з технологічних учасників у часі опишемо диференціальним рівнянням

$$dW_H^{rlj} / dt = -\kappa^{rlj} W_H^{rlj} + I_H^{rlj} + V_{\Gamma_M}^{K^{rlj}} + V_{\Gamma_M}^{L^{rlj}}, \quad (1.6.15)$$

за яким процес виробництва буде визначатися виробничими функціями, наприклад, Коба-Дугласа з постійною еластичністю за факторами виробництва або екстремальною функцією Леонтьєва, і де  $I_H^{rlj}$  — самостійно залучені технологічним учасником інвестиційні ресурси,  $\kappa^{rlj}$  — коефіцієнт пропорційності.

Відмітимо, що відображення процесів управління бюджетом у вигляді диференціальних рівнянь на відміну від поширеного їх представлення лінійними (кусково-лінійними) функціями або алгебраїчними рівняннями, хоча і є більш складною, але найбільш адекватною формою представлення процесів функціонування систем неректорного типу, до яких повною мірою відносяться енерготехнологічні системи ЖКГ [99, 125, 128, 140].

За означених умов, приходна частина  $I_H^{\Sigma rlj}$  загального бюджету  $W_H^{\Sigma rlj}$  технологічного учасника програми, яку він формує на період часу, що розглядається, буде складатися з наступних надходжень

$$I_H^{\Sigma rlj} = C_H^{rlj} + I_H^{rlj} + V_{\cap_M}^{K^{rlj}} + V_{\cap_M}^{L^{rlj}}, \quad (1.6.16)$$

де  $C_H^{rlj} = \sum_e c_H^{rlj} Y_H^{rlj}$  — вартість реалізованої продукції, а  $c_H^{rlj}$  — ціна  $e$ -го продукту  $rlj$ -го учасника.

При цьому, видаткова частина  $V_H^{\Sigma rlj}$  загального бюджету  $rlj$ -го технологічного учасника програми визначається як

$$V_H^{\Sigma rlj} = V_H^{K^{rlj}} + V_H^{\cap_M^{rlj}} + V_H^{V^{rlj}} + V_H^{L^{rlj}} + V_H^{D^{rlj}}, \quad (1.6.17)$$

$V_H^{K^{rlj}}$  — сумарні витрати на матеріально-технічне забезпечення технологічного процесу (закупівлю енергозберігаючого обладнання, витратних матеріалів, запасних частин, паливно-енергетичних ресурсів тощо);

$V_H^{\cap_M^{rlj}}$  — виплати місцевому органу управління за використання учасником централізованих кредитних ресурсів (з урахуванням суми винагород або штрафів);

$V_H^{V^{rlj}}$  — витрати на повернення самостійно залучених кредитних ресурсів;

$V_H^{L^{rlj}}$  — витрати на заробітну плату;

$V_H^{D^{rlj}}$  — витрати на виплату податків.

Різниця  $\Delta_W = (I_H^{\Sigma rlj} - V_H^{\Sigma rlj})$  приходної і видаткової частин загального бюджету технологічного учасника програми визначає його чистий прибуток, який після проведення заходів з енергозбереження  $\Delta_{W^{rlj}}^{**}$  має бути більшим, чим до їх реалізації  $\Delta_{W^{rlj}}^*$ , тобто  $\Delta_{W^{rlj}}^{**} - \Delta_{W^{rlj}}^* \geq 0$  за умов ефективного



управління програмою. Будемо вважати, що саме зростання чистого прибутку учасників після проведення енергозберігаючих заходів є основною метою їх участі у програмі:

$$\Theta_H^{rj} = (\Delta_{W^{rj}}^{**} - \Delta_{W^{rj}}^*) \rightarrow \max. \quad (1.6.18)$$

Належне функціонування розглянутої моделі програмно-цільового координування місцевої системи енергоменеджменту потребує, щоб кожному учаснику були відомі правила поведінки за програмою, які визначають ступінь їх інформованості щодо цільових функцій, прийнятих рішень та допустимих впливів з боку інших учасників програми, державних і місцевих органів влади тощо. В умовах ринкових відносин ці правила повинні встановлювати порядок взаємодії учасників програми з урахуванням можливостей створення коаліцій та використання монопольного становища окремими її учасниками.

### **1.6.3. Кластерний механізм координування взаємодії складних елементів організаційно-технологічних систем**

Комплексний підхід до підвищення ефективності функціонування багаторівневих ієрархічних систем координування, які складаються з підсистем місцевого, обласного і регіонального рівнів управління, має бути спрямований на створення рівноправних умов для господарської діяльності кожного з суб'єктів (об'єктів, складних елементів тощо) системи, на раціональне використання їх виробничо-ресурсного потенціалу і досягнення на цій основі сталого зростання показників ефективності і якості вироблених ними продуктів і наданих споживачам послуг.

Серед головних чинників, які визначають доцільність створення багаторівневих ієрархічних систем управління, слід виділити притаманні таким системам можливості щодо вирівнювання пропорцій соціально-економічного розвитку окремих підсистем (регіонів, областей, міст), господарюючих суб'єктів, споживачів тощо, нерівнозначність яких негативно впливає на конкурентоздатність та темпи розвитку системи у цілому, можливості

концентрації ресурсних потенціалів системи та залучення зовнішніх інвестицій для забезпечення розширеного відтворення і сталого розвитку кожної з підсистем.

Ще одним позитивним чинником створення такого роду систем є можливості поглиблення та активізації взаємодії між підсистемами і елементами (суб'єктами і об'єктами) системи та формування нових локальних (внутрісистемних) та трансграничних ринків. Безумовно, що переваги багаторівневих ієрархічних систем управління в ринкових умовах господарювання можуть бути реалізовані за умов раціонального поєднання адміністративних методів державного управління з методами економічного стимулювання, які базуються на принципах індикативно-регуляторного управління.

Зрозуміло, що в умовах об'єднання (інтеграції) і глобалізації економічних відносин зростає і складність координування багаторівневих ієрархічних структур управління, де окремі підсистеми і елементи з метою підвищення рівня власної конкурентоспроможності починають об'єднуватися і створювати внутрісистемні та трансграничні (транскордонні тощо) кластерні формування, які мають забезпечувати синергетичні стимули для розвитку системи у цілому. При цьому, слід пам'ятати, що кластерна форма, як і будь-яка інша форма об'єднання зусиль і ресурсів учасників задля досягнення загальносистемної (глобальної) мети, буде нести і небезпеку втрати самостійності елементів системи [151-154].

Автором застосування кластерного підходу в економіці вважають М. Портера [117], який визначає кластер як географічне зосередження залежних компаній і фірм, пов'язаних з ними організацій, які діють у певному виді бізнесу, характеризуються спільністю напрямків діяльності та взаємодоповнюють один одного. Застосування кластерного підходу для розширення функціональних можливостей та підвищення ефективності управління багаторівневими ієрархічними структурами потребує відповідного узагальнення та уточнення існуючого різноманіття поняття кластер [146-149 і

багато ін.], яке в межах системного підходу доцільно трактувати як територіально-виробниче об'єднання (групу) соціально-економічних інституцій (підприємств, організацій, фірм тощо різних форм власності та соціально-економічної спрямованості), що охоплюють прямими і зворотними зв'язками організаційні, управлінські та технологічні підсистеми і елементи багаторівневої ієрархічної системи управління, розміщені по обидва боки «кордонів» на суміжних та/або різних рівнях адміністративно-територіального і галузевого підпорядкування, у різних економічних, податкових, митних, законодавчих тощо зонах і середовищах, основною метою створення яких є підвищення конкурентоспроможності продукції і послуг, що виробляються і надаються підсистемами та елементами системи.

Тут і далі під конкурентоспроможністю товарів, продукції і послуг (окремих об'єктів, елементів, підсистем, системи у цілому тощо) будемо розуміти їх властивість відповідати вимогам конкурентного ринку та потребам споживачів у порівнянні з іншими аналогічними товарами, представленими на ринку [117, 150].

Конкурентоспроможність визначається сукупністю показників якості товару (економічних, фінансових, технологічних, соціальних, екологічних тощо), його споживчими властивостями, ціною, рівнем до і після продажного сервісу, коливаннями попиту тощо, та залежить, насамперед від кількості та якості наявних ресурсів та ефективності управляючого органу, який розпоряджається цими ресурсами [117]. За кластерним підходом ефективність діяльності будь-якого об'єкта, суб'єкта, системи тощо може бути охарактеризована двома показниками, де перший визначатиме середню продуктивність усіх наявних на ринку конкурентів, а другий – місце даного об'єкту на шкалі продуктивності, – вище або нижче встановленого середнього рівня.

Доцільність застосування кластерного підходу диктується, насамперед, обмеженістю місцевих ресурсів, що стимулює не тільки місцеві територіально-промислові групи і бізнес-структури, а й місцеву владу до об'єднання зусиль та

використання альтернативних кредитних ресурсів, насамперед, облігацій місцевих позик, кредитів комерційних банків, коштів позабюджетних фондів і спеціалізованих бюджетних програм та до удосконалення форм і методів управління фінансовими потоками, які враховують специфічні особливості функціонування та цільові інтереси окремих підсистем і елементів системи. Муніципальна позика дозволяє залучати позичковий капітал на фінансування крупних інфраструктурних проектів під порівняно невеликі відсотки та на відносно малі терміни, насамперед, з розвитку магістральних транспортних мереж та систем централізованого тепло-, водопостачання та водовідведення, будівництва соціального житла та об'єктів освіти, охорони здоров'я, утилізації відходів тощо.

При цьому, роль вище розташованих управляючих елементів системи управління головним чином зводиться до координування і взаємоузгодження інтересів усіх нижче розташованих елементів багаторівневої ієрархічної системи управління, яке здійснюється шляхом розширення сфер їх взаємодії, подолання асиметрії розвитку та підтримання депресивних елементів, запровадження механізмів економічного стимулювання їх інноваційно-інвестиційного розвитку, а в якості показників збалансованого розвитку слугують індекси платоспроможного попиту, зростання (зменшення) виробничих потужностей, обсягів інвестиційних ресурсів, індекси наповнення внутрішнього ринку та посилення (послаблення) експортних можливостей.

Координування і взаємоузгодження локальних інтересів окремих елементів і підсистем з глобальною метою управління системою має забезпечуватися насамперед економічними, а не адміністративними методами управління, де зменшення питомої ваги останніх буде підвищувати самостійність суб'єктів господарської діяльності, скорочувати кількість вертикальних зв'язків управління, сприяти поширенню ринкових важелів і стимулів до раціонального використання матеріально-технічних та паливно-енергетичних ресурсів. При цьому, головною метою вищих органів управління стає забезпечення економічної й соціальної стабільності системи, захист її

учасників на внутрішніх і зовнішніх ринках, гармонізація майнових відносин та інтеграція в розвинутий економічний простір.

В якості фінансово-економічних засобів координування локальних інтересів окремих елементів з глобальними інтересами системи в світовій практиці управління складними соціально-економічними системами використовуються фонди інвестиційно-інноваційного розвитку, діяльність яких базується на ринкових принципах державно-приватного партнерства (Public-Private Partnership) та спрямовується на зближення (конвергенцію) інтересів суб'єктів господарської діяльності через покращення умов для економічного зростання та зайнятості шляхом підвищення обсягів та якості інвестицій у фізичний та людський капітал, на посилення конкурентоспроможності суб'єктів за рахунок посилення прикордонної/транскордонної співпраці, на захист і покращення довкілля, на підвищення результативності організаційно-адміністративної діяльності тощо.

Діяльність таких фондів здійснюється на основі договорів концесії, про спільну діяльність, про розподіл продукції, на управління державним та комунальним майном, інших видів договорів. При цьому, практика державної підтримки господарюючих суб'єктів (адміністративно-територіальних одиниць тощо) шляхом бюджетних дотацій виявляється малоефективною, оскільки породжує утриманські настрої, які негативно впливають на економічну мотивацію суб'єктів до розвитку і потребує її заміни на ринкові механізми економічного стимулювання шляхом податкових преференцій, пільгових кредитів, інвестиційних дотацій, цільових трансфертів, державних гарантій з повернення кредитів комерційним банкам тощо [146].

Рационалізація розподілу повноважень між державним і приватним секторами економіки дозволяє зменшувати бюджетні видатки, прискорювати темпи введення до експлуатації інфраструктурних об'єктів, отримувати більш широкий доступ до передових технологій та розширювати спектр залучених фінансових ресурсів через посередництво бізнес-структур.

Однією з найпоширеніших у світовій практиці форм діяльності інвестиційно-інноваційних фондів є венчурні фонди, спрямовані на стимулювання розвитку виробництва високотехнологічних, конкурентоспроможних та якісних товарів і послуг, важливими елементами інфраструктури яких є технопарки, інноваційні центри, бізнес-інкубатори, центри трансферту технологій тощо з базами даних, поєднаних у загальносистемну інформаційну мережу, за допомогою якої покращуються умови взаємодії бізнесу й капіталу з розробниками інноваційних технологій і проектів з їх реалізації.

Серед основних напрямів діяльності інвестиційно-інноваційних фондів у сфері енергоефективних технологій та енергозбереження слід відзначити проекти з використання місцевих енергетичних ресурсів, зменшення екологічного впливу процесів виробництва, транспортування та споживання енергії на зовнішнє середовище, дослідження недоліків та переваг заміщення існуючих енергетичних технологій на новітні у тому числі, нетрадиційні, використання ефекту масштабу. До основних проблем, на подолання яких спрямовується діяльність інвестиційно-інноваційних фондів, також відносяться проблеми сировинної спрямованості національного виробництва, залежності від імпорту енергоносіїв, браку інвестиційних ресурсів та їх слабкої зорієнтованості на реальний сектор економіки тощо [22, 146].

#### **1.6.4. Ефективність взаємодії на трансграничних ринках: принципи і модель порівняльної переваги**

Як відмічалось вище, одним з трьох основних напрямків вдосконалення діяльності у сфері енергоефективності та енергозбереження є створення гнучких організаційних структур трансграничного співробітництва компаній, що діють на конкурентних ринках.

Проведення техніко-економічного обґрунтування доцільності створення таких структур є складною задачею, оскільки має охоплювати специфічні

особливості діяльності компаній, які співпрацюють на різних рівнях трансграничного співробітництва, включаючи за необхідністю і рівень міжнародної конкуренції.

Не менш важливою і актуальною при цьому залишається й задача техніко-економічного обґрунтування доцільності створення таких структур на міжрегіональному (міжгалузевому тощо) рівнях трансграничного співробітництва таких компаній, що враховують відмінності міжрегіональної (міжгалузевої тощо) взаємодії компаній на внутрішніх ринках країни. Зрозуміло, що відповідним чином мають бути адаптовані існуючі моделі трансграничного та транскордонного співробітництва й торгівлі на конкурентних ринках.

Сучасна теорія трансграничної взаємодії сформована науковими працями Адама Сміта (Adam Smith), Давида Рікардо (David Ricardo), Елі Хекшера (Eli Heckscher), Бертила Оліна (Bertil Ohlin), Василя Леонт'єва (Wassily Leontief), Пола Самуельсона (Paul Samuelson), Пола Кругмана (Paul Krugman) та багатьох інших дослідників [125, 155-158].

Історично перші моделі Сміта і Рікардо побудовано на принципах трудової теорії вартості, за якою вирішальним фактором, що визначає доцільність виробництва товару для трансграничної торгівлі, вважається праця. Модель Сміта спирається на принцип абсолютної переваги у виробництві товару, за яким експорт товару з однієї трансграничної зони в іншу вважається вигідним для компанії, яка виробляє його з меншими питомими витратами ресурсів (в нашому випадку з меншими витратами робочого часу), ніж компанія-партнер (конкурент тощо), і імпортує ті товари, у виробництві яких абсолютна перевага належить торговельним партнерам.

Нагадаємо, що тут і далі під поняттям товар ми будемо розуміти будь-який продукт виробничо-економічної діяльності у матеріальній формі, а також об'єкти купівлі-продажу, ринкових відносин між продавцями і покупцями (енергосервісні послуги, обладнання, трудові і енергетичні ресурси тощо).

Модель Рікардо побудовано на більш універсальному, чим у моделі Сміта, принципі порівняльної переваги компанії (країни, регіону, області, сфери бізнесу тощо) у виробництві конкретного товару з меншими ніж в інших компаніях питомими економічними витратами. В межах такого підходу Рікардо розкриває можливості застосування принципів природної переваги у виробництві товару, що обумовлюються унікальними природними ресурсами і кліматичними умовами, в яких функціонує компанія, та принципу придбанної переваги, що досягається за рахунок розвитку в компанії (країні) більш ефективних технологій і використання більш високої професійної кваліфікації працівників.

Модель Хекшера-Оліна вже базується на принципах теорії факторів виробництва, за якими доцільним вважається експорт товару, для виробництва якого в країні (регіоні, області, сфері бізнесу тощо) існує надлишок факторів виробництва, і, навпаки, має імпортувати товар, на виробництво якого вона має потрібні фактори у дефіциті. Самуельсон посилив теоретичні положення моделі Хекшера-Оліна введенням принципу вирівнювання цін на фактори виробництва, які відбуваються внаслідок трансграничної торгівлі.

Модель Кругмана більш детально, ніж попередні, характеризує складні взаємозв'язки між кількістю компаній на ринку та ціною на їх товари, за якими чим більше компаній, тим менше обсяг виробництва кожної з них і більш високі середні витрати на одиницю товару, однак тим вище конкуренція і нижче ціни. При цьому, якщо ціна перевищує ринкову, то на ринку з'являються нові компанії, а якщо навпаки, – то зникають.

До Кругмана вважалось, що кожна компанія має спеціалізуватися у виробництві обмеженого асортименту товарів, які потребують менших ніж у конкурентів витрат, він же довів, що розширення асортименту набагато більшою мірою забезпечує зростання прибутку компанії ніж можливе за рахунок спеціалізації збільшення обсягів виробництва обмеженого асортименту товарів. Розрахунки за моделлю Кругмана дозволяють визначати, за яких обсягів виробництва, широті асортименту та рівні оплати праці забезпечується



ринкова рівновага як на рівні країни, так і для окремих компаній, що розглядаються. При цьому, конкурентна боротьба, і насамперед, цінова конкуренція залишаються невід'ємними елементами взаємодії компаній на трансграничних ринках, однак все більше виробників намагаються перемагати своїх конкурентів пропозиціями широкого асортименту товарів з більш прогресивними споживчими характеристиками.

Пристаючи до більш детального розгляду моделі Рікардо [157, 158, 159], підкреслимо ще раз, що класична рікардіанська модель розрізняє тільки одну відмінність між компаніями, що співпрацюють (конкурують) – різницю в технологіях, внаслідок чого, за моделлю будуть вигравати ті компанії, які концентруються на виробництві товарів, по яких вони мають порівняльну перевагу. При цьому, у рікардіанській моделі розглядається єдиний фактор виробництва – робоча сила і припускається, що кожна з технологій вичерпно характеризується одним показником (коефіцієнтом) продуктивності праці – трудомісткістю.

Нагадаємо, що трудомісткість праці (трудовитрата)  $\tau$  визначається сумарною кількістю робочого часу  $T$ , у годинах, витраченого на виробництво товару:  $\tau = T / Q$ , де  $Q$  – кількість (обсяг) виробленого за цей час товару, у натуральних одиницях; або ж  $\tau = 1 / \alpha$ , де  $\alpha$  – продуктивність праці.

Розглянемо особливості застосування однофакторної моделі Рікардо на прикладі двох енерготехнологічних компаній (ЕТКО), розташованих в різних країнах, які мають наміри співпрацювати між собою – купувати та продавати товари у сфері енергосервісних послуг [160-162]. Будемо розрізняти кожну ЕТКО верхнім індексом  $j$  (в даному випадку  $j = \overline{1,2}$ ). Припустимо, що кожна ЕТКО, використовуючи наявні технології, в змозі випускати два види товарів (визначимо їх нижнім індексом  $i = \overline{1,2}$ ), виробництво кожного з яких характеризується власним коефіцієнтом трудомісткості  $\tau_i^j$ . Наявні обмеження (границі) виробничих можливостей і варіантів використання трудових ресурсів для кожної ЕТКО формалізуються у вигляді:

$$\sum_i (\tau_i^1 \cdot Q_i^1) \leq L^1; \sum_i (\tau_i^2 \cdot Q_i^2) \leq L^2, \quad (1.6.19)$$

де:  $Q_i$  – кількість (обсяг) виробництва  $i$ -го товару за інтервал робочого часу, що розглядається;  $L^j, j = \overline{1,2}$  – гранична кількість трудового ресурсу, яким володіє  $j$ -та ЕТКО.

За умов постійності трудовитрат, а також доступної кількості трудового ресурсу (в однофакторній моделі Рікардо це труд), криві виробничих можливостей стають прямими лініями, рівняння яких в координатах  $Q_1 Q_2$  приймають вигляд:

$$Q_2^1 = \frac{L^1}{\tau_2^1} - \frac{\tau_1^1}{\tau_2^1} \cdot Q_1^1; \quad Q_2^2 = \frac{L^2}{\tau_2^2} - \frac{\tau_1^2}{\tau_2^2} \cdot Q_1^2. \quad (1.6.20)$$

З виразів (1.6.20) видно, що альтернативні витрати виробництва першого товару в одиницях другого, або ж витрати заміщення першого товару іншим, визначаються відношенням трудовитрат на виробництво одиниці першого і другого товарів ( $\tau_1^j / \tau_2^j$ ) для кожної з компаній. Величина цього відношення, взята зі знаком мінус, дорівнюватиме тангенсу кута нахилу прямої виробничих можливостей. Так, у нашому випадку, виробництво одиниці першого товару потребує витрат  $\tau_1^j = T_1^{*j}$  людино-годин, у той час як використання кожної з цих людино-годин на виробництво другого товару надасть можливість додатково виробляти  $Q_2^{*j} = 1 / \tau_2^j$  одиниць другого товару, \* – відповідні питомі величини в одиницю часу, на одиницю товару тощо.

Звернемо увагу на важливий для побудови моделі аспект використання поняття трудовитрат заміщення у вигляді відношення двох величин, яке Рікардо розглядає не просто як арифметичне відношення двох чисел, що визначає скільки разів одне число (дільник) міститься в іншому (ділене), а використовує його як цілісний економіко-математичний об'єкт у системі регулювання відносин між двома компаніями, що виробляють товари для

трансграничної торгівлі (аналогом фізичного уявлення такого регулювання в механіці можуть слугувати, наприклад, сполучені посудини).

Представлені на Рис.1.6.3 для двох ЕТКО границі виробничих можливостей компаній, побудовані за формулами (1.6.20), обмежують простір можливих комбінацій (сполучень) об'ємів одночасного виробництва декількох товарів в умовах повного и технічно ефективного використання наявних ресурсів ( $Q_1^I = L^I / \tau_1^I$  при  $Q_2^I = 0$ ;  $Q_2^I = L^I / \tau_2^I$  при  $Q_1^I = 0$ ).

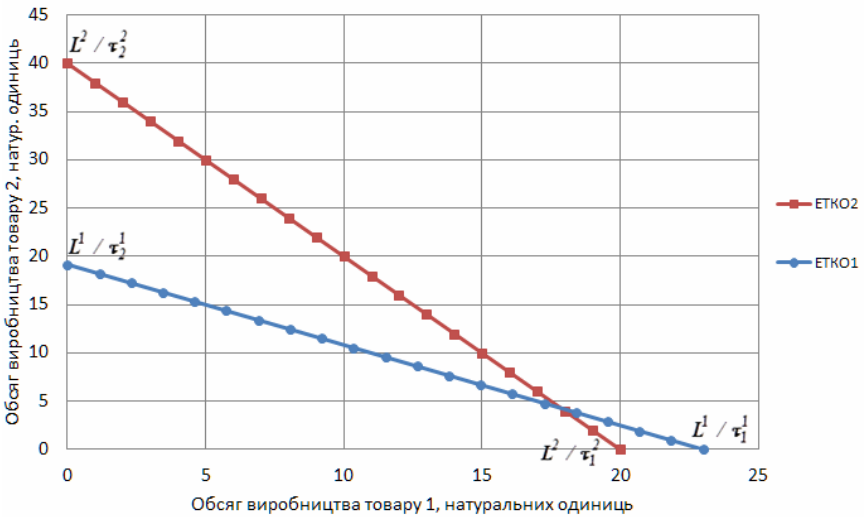


Рисунок 1.6.3 – Границі виробничих можливостей першої та другої ЕТКО

Максимальний економічно доцільний результат досягається на границі (на кривій) виробничих можливостей. При цьому, збільшення обсягів випуску одного товару можливе лише за рахунок скорочення виробництва іншого товару. Якщо ж рівень виробництва відображається внутрішньою точкою цього простору, то це свідчить про неповне або нерациональне використання ресурсів.

Величина втрат, які несе компанія у зв'язку з відмовою від виробництва одного товару заради збільшення виробництва іншого товару на одну одиницю,

визначає альтернативні (вмененні, посталені, неявні тощо) витрати використання наявних ресурсів (Opportunity Costs).

Додавання цих витрат до суми фактичних (явних тощо) виробничих витрат, які фіксуються за бухгалтерським обліком, дозволяє визначати величину упущеної вигоди (упущеного прибутку) компанії, пов'язану з нераціональним використанням (нераціональним розподіленням тощо) наявних ресурсів, відмовою від інших можливостей їх застосування у виробництві альтернативних товарів тощо.

Інакше кажучи, для прийняття коректного економічно обґрунтованого рішення, в економічних розрахунках при оцінюванні доходності можливих варіантів використання наявних ресурсів доцільно враховувати й не отриманий прибуток із-за відмови від інших варіантів.

Для вибору з множини можливих сполучень конкретного виду та обсягів кожного з двох товарів, які доцільно виробляти ЕТКО, в моделі Рікардо застосовують критерій відносної ціни одного з товарів, вимірної на одиницю іншого (ціну заміщення одного товару іншим). Нехай  $p_1^j$  і  $p_2^j$  – ціни першого і другого товарів  $j$ -ої ЕТКО. Оскільки у однофакторній моделі Рікардо прибуток відсутній у явній формі (він включений до оплати праці), погодинна оплата труда  $\lambda_i^j$  дорівнюватиме вартостям виробленого за одиницю часу (за годину) першого і другого товарів:  $\lambda_i^j = (p_1^j / \tau_1^j)$ .

Якщо  $(p_1^j / p_2^j) > (\tau_1^j / \tau_2^j)$ , тобто ціна заміщення у даному випадку першого товару другим, визначена як відношення ціни одного товару до іншого, перевищує альтернативні витрати виробництва цих товарів, то погодинна оплата труда буде вище при виробництві першого товару, а за умови  $(p_1^j / p_2^j) < (\tau_1^j / \tau_2^j)$  – теж, для другого товару.

Враховуючи природну потребу працівників отримувати вищу оплату за працю, ЕТКО за моделлю Рікардо будуть спеціалізуватися на виробництві виключно одного з товарів і тільки за умови рівної оплати праці – обох товарів.

В останньому випадку ціни заміщення товарів мають дорівнювати відносним трудовитратам (альтернативним витратам) на виробництво одиниці кожного з них:

$$(p_1^j / p_2^j) = (\tau_1^j / \tau_2^j). \quad (1.6.21)$$

Використовуючи рівняння (1.6.20) - (1.6.21), для подальшого визначення умов трансграничної торгівлі двома товарами (енергосервісними послугами тощо) між двома ЕТКО, розташованими у різних країнах, припустимо:

$$\frac{\tau_1^2}{\tau_2^2} > \frac{\tau_1^1}{\tau_2^1} \quad (1), \text{ або, що теж саме, } \frac{\tau_2^1}{\tau_2^2} > \frac{\tau_1^1}{\tau_1^2} \quad (2). \quad (1.6.22)$$

Нерівність (1) співвідношення (1.6.22) називають формулою відносної переваги, яка показує, що трудовитрати заміщення одиниці першого товару другим у ЕТКО1 нижче, ніж у ЕТКО2. У даному випадку, ЕТКО1 виявляється більш продуктивною у виробництві першого товару ніж другого (нерівність 2), тобто володіє порівняльною перевагою перед ЕТКО2 у виробництві цього товару. Це графічно відображено на Рис.1.6.3, кут нахилу лінії виробничих можливостей з віссю абсцис на якому для ЕТКО2 є більшим за ЕТКО1.

Однак, для вибору компанії, якій доцільно виробляти цей перший товар в умовах трансграничної торгівлі, ще недостатньо порівняти трудовитрати обох ЕТКО на виробництво одиниці цього товару і на основі виявленої абсолютної переваги приймати рішення про його виробництво. За теорією Рікардо потрібно спиратися саме на принцип порівняльної переваги, при цьому враховувати порівняльні витрати на виробництво будь-якого з продуктів по всіх товарах, які потенційно спроможні поставляти на ринок обидві компанії.

Ціни на означені товари, які раніше, за рівнянням (1.6.21), залежали виключно від факторів внутрішнього виробництва, в умовах трансграничного співробітництва вже мають враховувати ринкові фактори попиту і пропозиції на товари, які експортуються та/або імпортуються, оскільки ЕТКО, що має нижчі ціни, в умовах ринкових відносин починає конкурувати з іншими компаніями за частку трансграничного ринку, а це, у свою чергу,

стимулюватиме до вирівнювання (рівноваги) відносних цін на експортно-імпортні товари. У кінцевому результаті відносні рівноважні ціни встановлюються десь у проміжку між існуючими у кожній країні (регіоні, сфері бізнесу тощо) відносними цінами, а їх конкретний рівень визначається обсягами взаємного попиту і пропозиції, тобто, ціна імпортного товару буде залежати від ціни товару, який необхідно експортувати, щоб оплатити імпорт, а відношення цих цін – від внутрішнього попиту на ці товари в кожній з країн.

За аналогією з попередньо розглянутими альтернативними витратами виробництва, у рікардіанській моделі, удосконаленій Джоном Миллем (John Mill), цінову конкуренцію компаній на трансграничних ринках прийнято відображати за допомогою кривих взаємного (відносного) попиту і взаємної (відносної) пропозиції, які визначаються відношенням попиту (пропозиції) на один товар до попиту (пропозиції) на інший.

Означимо відносну ціну (ціну заміщення) першого товару другим як  $p_1 / p_2$ . Звернемо увагу, що ціни на товари тут представлено без верхнього індексу, а це означатиме, що рівноважні ціни, за якими буде здійснюватися трансгранична торгівля, відрізняються від цін на внутрішніх ринках (у випадку міжнародної торгівлі – це світові ціни). На Рис.1.6.4 представлено типові форми кривих відносних попиту і пропозиції на перший товар (відповідно можуть бути побудовані і криві відносно другого товару).

Особливістю моделі є специфічна (стрибокподібна) форма кривої відносної пропозиції, параметри якої визначаються співвідношенням відносних цін на перший товар на обох внутрішніх ринках та його відносної світової ціни. Крива є ламаною лінією з двома горизонтальними відрізками, на яких відносна світова ціна дорівнюватиме внутрішнім відносним цінам і де обидві ЕТКО виробляють обидва товари, та вертикальним відрізком, де кожна ЕТКО спеціалізується на виробництві того товару, по якому вона має відносну перевагу.

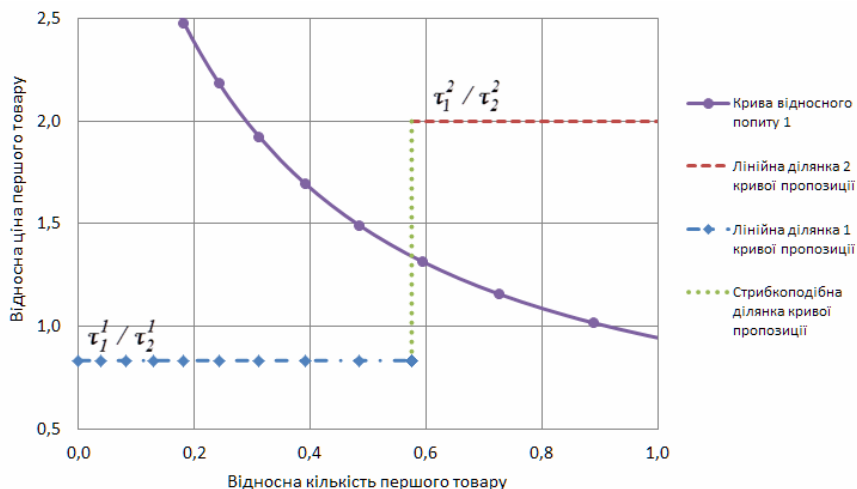


Рисунок 1.6.4 – Криві відносних попиту та пропозиції на перший товар

Теорія ринкової рівноваги попиту і пропозиції визначає відносну рівноважну ціну як точку перетину кривих попиту і пропозиції, де у нашому випадку по осі ординат відкладено значення відносної світової ціни ( $p_1^1 / p_2^1$ ), а по осі абсцис – відносної кількості  $\bar{Q}_1$  першого товару, що визначається формулою:

$$\bar{Q}_1 = (Q_1^1 + Q_1^2) / (Q_2^1 + Q_2^2). \quad (1.6.23)$$

Оскільки кількість трудового ресурсу  $L^j, j = \overline{1,2}$ , яким володіє кожна ЕТКО обмежена (вираз (1.6.19)), то при спеціалізації ЕТКО1 виключно на виробництві першого товару обсяг його виробництва буде складати  $L^1 / \tau_1^1$ , а за спеціалізацією ЕТКО2 на виробництві другого товару –  $L^2 / \tau_2^2$ . Тому значення відносної кількості виробництва першого товару, яке визначатиме положення вертикального відрізка кривої пропозиції на осі абсцис, розраховується за співвідношенням:

$$(L^1 / \tau_1^1) / (L^2 / \tau_2^2). \quad (1.6.24)$$

Нехай, як і раніше, ЕТКО1 має відносну перевагу при виробництві товару 1 (формула (1.6.22)), тоді ціна його заміщення ( $p_1^1 / p_2^1$ ), визначена за виразом (1.6.21) через співставлення трудовитрат, на графіку буде розташовуватися нижче (лінійна ділянка 1 кривої пропозиції) ціни заміщення ( $p_1^2 / p_2^2$ ) товару 1, який виробляється ЕТКО 2 (лінійна ділянка 2 кривої пропозиції).

У теорії розглядаються декілька можливих варіантів рівноваги попиту і пропозиції у трансграничній торгівлі [155-158]: (1) якщо  $(p_1 / p_2) < (\tau_1^1 / \tau_2^1)$ , то перший товар не вигідно виробляти обом ЕТКО; (2) якщо  $(p_1 / p_2) = (\tau_1^1 / \tau_2^1)$ , то  $p_1^1 = p_2^1$  і для ЕТКО1 не має різниці, який товар виробляти (лінійна ділянка 1 кривої пропозиції); (3) якщо ж  $(p_1 / p_2) = (\tau_1^2 / \tau_2^2)$ , то  $p_1^2 = p_2^2$  і вже для ЕТКО2 не має різниці, який товар виробляти (лінійна ділянка 2 кривої пропозиції); (4) якщо  $(\tau_1^2 / \tau_2^2) > (p_1 / p_2) > (\tau_1^1 / \tau_2^1)$ , то ЕТКО1 вигідно спеціалізуватися на виробництві першого товару, а ЕТКО2 – другого (вертикальний відрізок кривої пропозиції); (5) якщо ж  $(p_1 / p_2) > (\tau_1^2 / \tau_2^2)$ , то обом ЕТКО стає вигідним виробництво тільки першого товару. У свою чергу, якщо крива відносного попиту перетинає криву відносної пропозиції: (1) в межах вертикальної ділянки графіка (див. Рис.1.6.4), то кожній ЕТКО буде вигідно спеціалізуватися на виробництві того товару, по якому вона має відносну перевагу; (2) якщо в межах горизонтальних ділянок графіка, то трансгранична торгівля стає збитковою.

Вигода ЕТКО від трансграничного співробітництва (кооперації, торгівлі тощо) обумовлюється можливостями збільшення обсягів виробництва найбільш прибуткових товарів на експорт та закупівлі частки інших товарів за кордоном, можливостями економії при цьому витрат праці і збільшення обсягів споживання товарів тощо.



Нехай продуктивність праці в ЕТКО1 з виробництва першого і другого товарів (тобто кількість кожного з цих товарів, вироблених в одиницю часу) складає  $\alpha_1^I = 1 / \tau_1^I$  і  $\alpha_2^I = 1 / \tau_2^I$ , а ціна заміщення першого товару другим –  $(p_1^I / p_2^I)$ . За цих умов, ЕТКО1 має вибір, – виробляти за одиницю часу або  $\alpha_1^I$  одиниць першого товару, або ж  $\alpha_2^I$  одиниць другого товару, оскільки вона має можливість виробляти і продавати надлишок першого товару та купувати (і не виробляти) необхідний їй другий товар у співвідношенні одна одиниця першого товару за  $(p_1^I / p_2^I)$  одиниць другого товару. Це дозволить ЕТКО1 отримувати за одну використану одиницю трудового часу  $Q_2^{*I} = (p_1^I / p_2^I) \cdot \alpha_1^I$  одиниць другого товару, і така процедура заміщення власного (або ж внутрішнього) виробництва цього товару імпортом буде вигідною для ЕТКО1 поки  $Q_2^{*I} > \alpha_2^I$ , або ж:

$$(p_1^I / p_2^I) > (\alpha_2^I / \alpha_1^I) = (\tau_1^I / \tau_2^I), \quad (1.6.25)$$

тобто поки із-за кордону вона за свій експорт першого товару зможе отримувати більшу кількість другого товару, ніж закуповувати його на внутрішньому ринку або ж виробляти власними силами.

Не важко помітити, що нерівність (1.6.25) тотожна основним формулам порівняльної переваги (1.6.21) - (1.6.22), тому для ЕТКО1 найбільш вигідною буде стратегія трансграничних взаємовідносин з ЕТКО2, орієнтована на збільшення експорту першого товару та імпорт недостатньої кількості другого товару, а для ЕТКО2 навпаки – орієнтація на збільшення експорту другого товару за рахунок імпорту першого. Така стратегія “непрямого виробництва” товарів (Indirect Method of Production) в умовах ринкової економіки дозволяє також збільшувати обсяги споживання обох товарів в кожній з країн. Покажемо це.

За чисельних значень обсягів виробництва першого і другого товарів обох ЕТКО, представлених на Рис.1.6.3, розрахуємо вигоду цих компаній від

трансграничного співробітництва, враховуючи, що продуктивність праці в ЕТКО1 складає  $\alpha_1^1 = (1/2, 5)$  одиниць першого товару і  $\alpha_2^1 = (1/3, 0)$  одиниць другого товару, а в ЕТКО2 –  $\alpha_1^2 = (1/1, 5)$  і  $\alpha_2^2 = (1/0, 75)$  одиниць, все за одну і ту же одиницю робочого часу. Порівнюючи наведені значення продуктивності праці не важко побачити, що ЕТКО2 має абсолютну перевагу у виробництві обох товарів, однак робити висновок, що в умовах трансграничного співробітництва перший і другий товари буде виробляти і поставляти на обидва ринки виключно ЕТКО2, буде не правомірним. Докажемо це, розглядаючи можливі вигравні альтернативи поведінки обох ЕТКО з точки зору теорії порівняльної переваги.

По-перше, оскільки для ЕТКО1 ціна заміщення другого товару першим  $(p_2^1 / p_1^1) = (3, 0/2, 5)$  є більшою за відповідну ціну  $(p_2^2 / p_1^2) = (0, 75/1, 5)$  для ЕТКО2, то у випадку, якщо ЕТКО1 вироблятиме власними силами або закуповуватиме другий товар на внутрішньому ринку, вона буде витратити на одиницю цього товару  $(3, 0/2, 5)$  одиниці свого першого товару, а експортуючи перший товар для закупівлі другого – тільки  $(0, 75/1, 5)$ . Тобто, співпрацюючи з ЕТКО2 на зовнішньому ринку, ЕТКО1 буде мати альтернативний вигравш, який забезпечується шляхом збільшення обсягів виробництва першого товару у  $(3, 0/2, 5 - 0, 75/1, 5)$  разів за рахунок згортання виробництва другого товару.

У формалізованому вигляді граничний обсяг  $\check{Q}_1^1$  розширеного виробництва ЕТКО1 першого товару за рахунок другого визначається за формулою:

$$\check{Q}_1^1 = (1 + \delta_1^1) \cdot Q_1^1, \quad \delta_1^1 = (\tau_2^1 / \tau_1^1 - \tau_2^2 / \tau_1^2), \quad (1.6.26)$$

де  $\delta_1^1$  – коефіцієнт розширеного виробництва ЕТКО1 першого товару.

На Рис.1.6.5 наведені розраховані за комп'ютерною реалізацією моделі порівняльної переваги характеристики зростання виробничих можливостей ЕТКО1, досягнуті внаслідок трансграничної взаємодії, де границя виробничих можливостей, означена як ЕТКО1 (до) взаємодії, співпадає з відповідною

границею, представленою на Рис.1.6.3, а нова границя за зростанням виробничих можливостей ЕТКО1 відображена як ЕТКО1 (за).

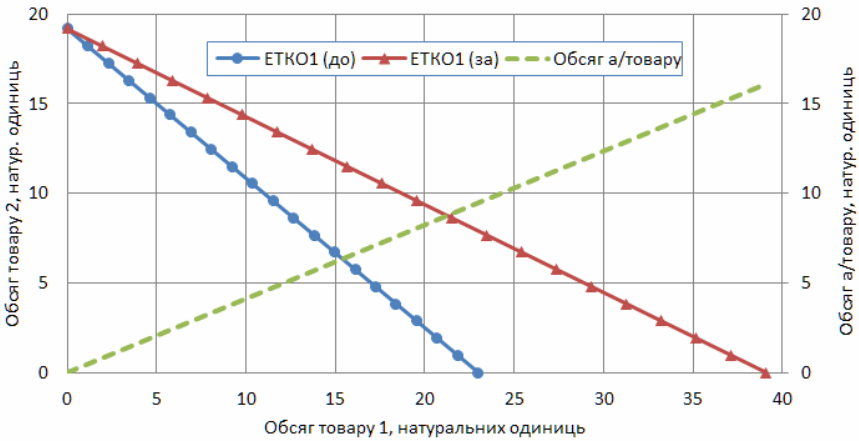


Рисунок 1.6.5 – Зростання виробничих можливостей ЕТКО1

Залежність величини виграшу  $\Delta_{Q_1^I}$  (обсягу виробництва альтернативного товару, а/товару, призначеного для трансграничного заміщення) від обсягів виробництва першого товару, що розрахована за формулою

$$\Delta_{Q_1^I} = \delta_1^I \cdot Q_1^I, \tag{1.6.27}$$

представлена на Рис.1.6.5 окремою штрих пунктирною прямою, відображеною відносно правобічної осі ординат.

І за другою альтернативою: оскільки для ЕТКО2 ціна заміщення першого товару другим  $(p_1^2 / p_2^2) = (1,5/0,75)$  є більшою за відповідну ціну заміщення  $(p_1^1 / p_2^1) = (2,5/3,0)$  для ЕТКО1, то у випадку, якщо ЕТКО2 вироблятиме власними силами або закуповуватиме перший товар на внутрішньому ринку, вона буде витратити на одиницю цього товару  $(1,5/0,75)$  одиниці свого другого товару, а експортуючи другий товар для закупівлі першого – тільки  $(2,5/3,0)$ . Тобто, співпрацюючи з ЕТКО1 на зовнішньому ринку, ЕТКО2 буде мати альтернативний виграш, який забезпечується шляхом збільшення обсягів

виробництва другого товару у (1,5/0,75 - 2,5/3,0) разів за рахунок згорання виробництва першого товару. Або ж у формалізованому вигляді:

$$\check{Q}_2^2 = (1 + \delta_2^2) \cdot Q_2^2, \quad \delta_2^2 = (\tau_1^2 / \tau_2^2 - \tau_1^1 / \tau_2^1); \quad (1.6.28)$$

де  $\check{Q}_2^2$  – граничний обсяг, а  $\delta_2^2$  – коефіцієнт розширеного виробництва ЕТКО2 другого товару.

Аналогічно попередньому розрахунку, на Рис.1.6.6 наведені характеристики зростання виробничих можливостей ЕТКО2, досягнуті внаслідок трансграничної торгівлі, де границя виробничих можливостей, означена як ЕТКО2 (до) взаємодії, співпадає з відповідною границею, представленою на Рис.1.6.3, а нова (збільшена) границя за зростанням виробничих можливостей ЕТКО2 відображена як ЕТКО2 (за). Залежність величини виграшу  $\Delta Q_2^2$  (обсягу виробництва альтернативного товару, а/товару) від обсягів виробництва другого товару, розрахована за формулою

$$\Delta Q_2^2 = \delta_2^2 \cdot Q_2^2, \quad (1.6.29)$$

представлена на Рис.1.6.6 окремою штрих пунктирною прямою, пов'язаною з правобічною віссю ординат.

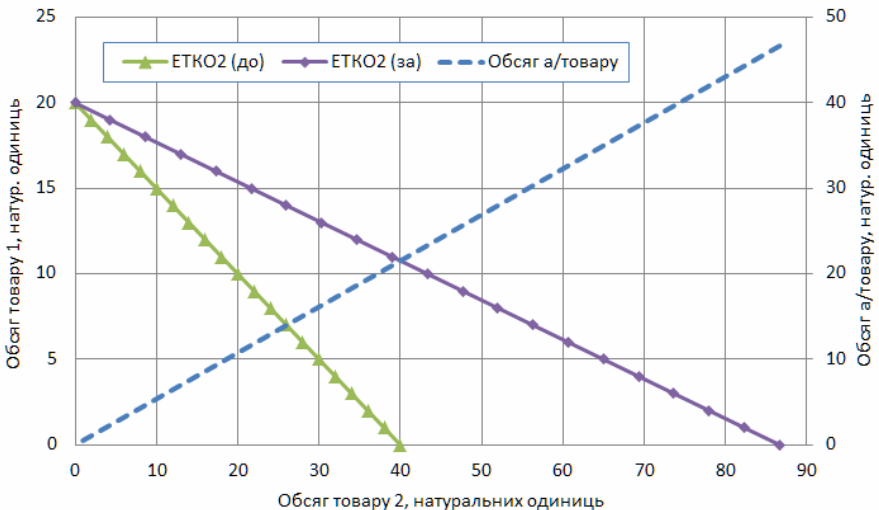


Рисунок 1.6.6 – Зростання виробничих можливостей ЕТКО2

Звернемо увагу, що осі ординат і абсцис на Рис.1.6.5 та Рис.1.6.6 поміняні місцями, і таким чином, якщо для ЕТКО1 на Рис.1.6.5 вигідним є імпорт другого товару, який виробляється ЕТКО2, то для ЕТКО2 на Рис.1.6.6 – імпорт першого товару, який виробляється ЕТКО1.

### **1.6.5. Урахування впливу цінового фактору у моделі порівняльної переваги**

Що стосується урахування впливу цінового фактору, то в процесі трансграничної торгівлі ціни на товари не залишаються постійними і в ринкових умовах встановлюються на рівні, що визначається рівновагою попиту і пропозиції. Процедура врівноваження цін за моделлю порівняльних переваг Рікардо, як це впливає з залежностей (1.6.25), може розглядатися як з точки зору порівняння трудовитрат (кількості робочого часу, витраченого на виробництво одиниці товару), так і порівняння кількості одиниць товару, виробленого за одиницю робочого часу (за продуктивністю праці). Порівняння продуктивностей дозволяє напряму визначати кількість (обсяг) одного з товарів, від виробництва якого слід відмовитися ЕТКО, щоб мати можливість виробляти додаткову одиницю іншого товару та планувати альтернативні обсяги виробництва цих товарів [160-162].

Структурований опис розглянутих процедур трансграничної взаємодії двох компаній за виразами (1.6.26) - (1.6.29) з точки зору впливу цінового фактора можна відобразити наступним алгоритмом. Нехай ЕТКО1 виробляє одиницю першого товару за 2,5 грошові одиниці валюти 1, продає вироблений товар ЕТКО2 за 1,5 грошові одиниці у валюті 2 і купує на отримані гроші дві одиниці товару 2, які вже вдома продає за 6,0 одиниць валюти 1, маючи при цьому виграш  $(6,0 - 2,5) > 0$  одиниць валюти 1.

Цей виграш, розрахований на одиницю першого товару, виникає за рахунок прибутковості процедури трансграничної взаємодії двох компаній при виконанні умов порівняльної переваги (1.6.22) та визначається ціною відповідних трансграничних послуг, в даному випадку – ціною (вартістю)  $P_{2/1}^1$

послуг трансграничного заміщення товару 2 одиницею товару 1, який виробляється ЕТКО1. Зрозуміло, що в ринкових умовах, відповідно до закону попиту, ця ціна залежатиме від узгоджених з ЕТКО2 обсягів розширеного внаслідок трансграничної взаємодії енерготехнологічних компаній виробництва товару 1, точніше, – від величини попиту  $\check{Q}_1^I$  споживачів на цей товар, насамперед, з боку ЕТКО2.

Формалізація процедури визначення величини попиту в рамках моделі порівняльної переваги потребує урахування всіх розглянутих вище змінних  $(Q_i^j, p_i^j, \tau_i^j)$ ,  $i, j = \overline{1, 2}$  в умовах обмеженості трудових ресурсів  $L^j$ , якими володіють ЕТКО. Рішення цієї задачі для кожної ЕТКО пропонується здійснювати шляхом побудови спеціальної кривої попиту, – залежності обсягів розширеного виробництва товару 1 від ціни трансграничного заміщення товару 2 на товар 1. Так, для ЕТКО1:

$$p_{2/1}^1 = (\tilde{p}_{2/1}^1 - p_1^1) \cdot d_{2/1}^1;$$

$$\tilde{p}_{2/1}^1 = (p_1^2 / p_2^2) \cdot p_2^1; \quad (1.6.30)$$

$$d_{2/1}^1 = \exp(-\tau_1^1 \cdot (\check{Q}_1^1 - Q_1^1) / (\tau_1^1 \cdot Q_1^1 + \tau_2^1 \cdot Q_2^1)),$$

де:  $\tilde{p}_{2/1}^1$  – товарна ціна трансграничного заміщення визначеної кількості товару 2 одиницею товару 1 (нагадаємо, що товарна ціна товару 1 це вартість кількості товару 2, на який можливо обміняти одиницю товару 1);  $d_{2/1}^1$  – пропонована функціональна залежність ціни трансграничного заміщення товару 2 на товар 1 від обсягів виробництва обох товарів та відповідних коефіцієнтів трудомісткості.

За виразами (1.6.27) і (1.6.30) обсяг альтернативної виручки  $R_{2/1}^1$  від трансграничного заміщення товару 2 товаром 1, досягнутої ЕТКО1 за рахунок трансграничної взаємодії з ЕТКО2, розраховується за формулою

$$R_{2/1}^1 = p_{2/1}^1 \cdot \Delta_{Q_1^1}. \quad (1.6.30a)$$

На Рис.1.6.7 за представленими у попередніх розрахунках чисельними значеннями параметрів побудовано залежності обсягів досягнутої ЕТКО1 за рахунок трансграничної взаємодії з ЕТКО2 альтернативної виручки від заміщення товару 2 товаром 1 (а/виручка 2/1), значення якої вимірюються за правобічною віссю ординат у валюті 1, від ціни трансграничного заміщення товару 2 одиницею товару 1 (ціна  $\tau$ /заміщення 2/1 у валюті 1), розрахованої за кривою трансграничного попиту на заміщення товару 2 товаром 1 ( $\tau$ /попит 2/1) та обсягу виробництва альтернативного товару 1 (а/товару 1), призначеного для трансграничного заміщення, і все це – від зміни обсягу розширеного виробництва товару 1.

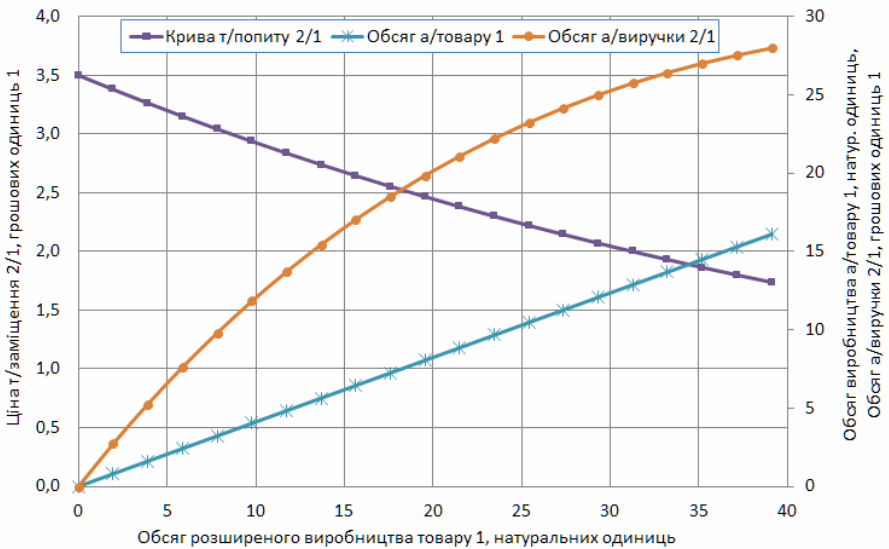


Рисунок 1.6.7 - Залежність обсягу альтернативної виручки ЕТКО1 від ціни заміщення 2/1 та обсягу виробництва альтернативного товару 1

Так, у розглянутому діапазоні розширеного виробництва товару 1 обсяг альтернативної виручки ЕТКО1 від трансграничної взаємодії з ЕТКО2 стабільно зростає і у разі збільшення обсягів виробництва до 39,10 натуральних одиниць товару 1 (до 16,10 натуральних одиниць альтернативного товару) складає 28,0 грошових одиниць у валюті 1 за ціною трансграничного заміщення 1,74 грошових одиниць у валюті 1.

Що стосується цінової еластичності попиту, то у розглянутому діапазоні розширеного виробництва товару 1 трансграничний попит від ціни трансграничного заміщення 2/1 є еластичним,  $e_{2/1}^1 > 1$ , де  $e_{2/1}^1$  – коефіцієнт цінової еластичності трансграничного попиту (Price Elasticity of Transboundary Demand), який показує на скільки відсотків змінюється величина трансграничного попиту  $Q$  при зміні ціни трансграничного заміщення  $p$  на один відсоток:  $e = |(\Delta Q / Q) / (\Delta p / p)|$ .

У комп'ютерній реалізації моделі, де синхронізація подій (станів) системи, що моделюється, здійснюється за допомогою просторово-часової їх дискретизації, розраховується дугова еластичність попиту (Arc Elasticity of Demand) за формулою:

$$\tilde{e} = -(Q_2 - Q_1) / (p_2 - p_1) \cdot (p_2 + p_1) / (Q_2 + Q_1),$$

де нижні індекси 1 і 2 визначають відповідні координати граничних точок відрізка кривої попиту, що розглядається за даною подією.

Аналогічно формулам (1.6.30), залежності обсягів розширеного виробництва ЕТКО2 товару 2 від ціни трансграничного заміщення товару 1 на товар 2 визначаються наступними виразами:

$$\begin{aligned} p_{1/2}^2 &= (\tilde{p}_{1/2}^2 - p_2^2) \cdot d_{1/2}^2; \\ \tilde{p}_{1/2}^2 &= (p_2^1 / p_1^1) \cdot p_1^2; \end{aligned} \quad (1.6.31)$$

$$d_{1/2}^2 = \exp(-\tau_2^2 \cdot (\tilde{Q}_2^2 - Q_2^2) / (\tau_1^2 \cdot Q_1^2 + \tau_2^2 \cdot Q_2^2)),$$

де:  $\tilde{p}_{1/2}^2$  – товарна ціна трансграничного заміщення визначеної кількості товару 1 одиницею товару 2;  $d_{1/2}^2$  – функціональна залежність ціни трансграничного заміщення товару 1 на товар 2 від обсягів виробництва обох товарів та відповідних коефіцієнтів трудомісткості.

За виразами (1.6.31) і (7.44) обсяг альтернативної виручки  $R_{1/2}^2$  від трансграничного заміщення товару 2 товаром 1, досягнутої ЕТКО1 за рахунок трансграничної взаємодії з ЕТКО2, розраховується за формулою



$$R_{1/2}^2 = p_{1/2}^2 \cdot \Delta Q_2^2 \quad (6.31a)$$

На Рис.1.6.8 побудовано відповідні залежності обсягів досягнутої ЕТКО2 за рахунок трансграничної взаємодії з ЕТКО1 альтернативної виручки від заміщення товару 1 товаром 2 (а/виручка 1/2).

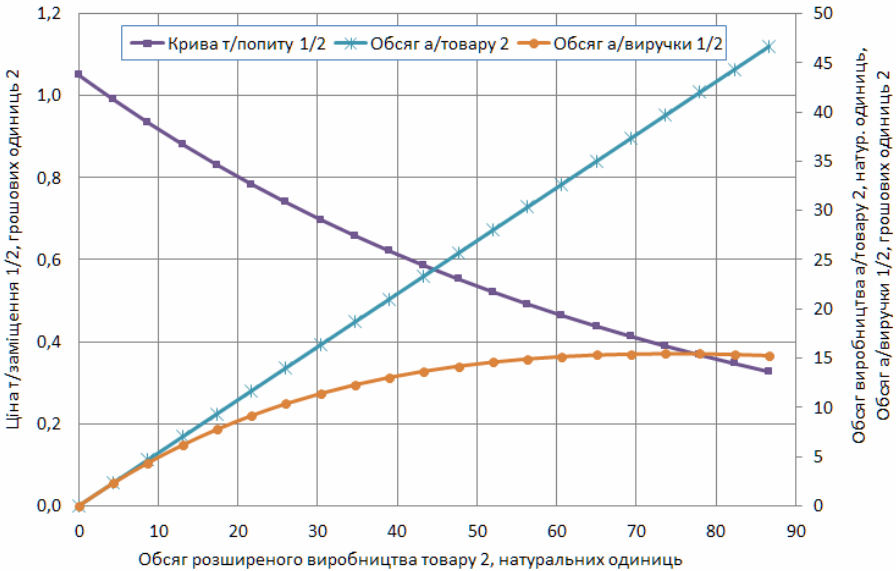


Рисунок 1.6.8 - Залежність обсягу альтернативної виручки ЕТКО2 від ціни заміщення 1/2 та обсягу виробництва альтернативного товару 2

Значення цієї виручки вимірюються за правобічною віссю ординат у валюті 2, від ціни трансграничного заміщення товару 1 одиницею товару 2 (ціна т/заміщення 1/2 у валюті 2), розрахованої за кривою трансграничного попиту на заміщення товару 1 товаром 2 (т/попит 1/2) та обсягу виробництва альтернативного товару 2 (а/товару 2), призначеного для трансграничного заміщення, і все це – від зміни обсягу розширеного виробництва товару 2.

Так, максимальний обсяг альтернативної виручки ЕТКО2 від трансграничної взаємодії з ЕТКО1 у розмірі 15,45 грошових одиниць у валюті 2 досягається за обсягів розширеного виробництва 73,67 натуральних одиниць товару 2 (за обсягів виробництва 39,67 натуральних одиниць альтернативного

товару 2), за ціною трансграничного заміщення товару 1 одиницею товару 2 в розмірі 0,39 грошових одиниць у валюті 2.

Що стосується цінової еластичності попиту, то у даному випадку, до точки максимуму альтернативної виручки трансграничний попит від ціни трансграничного заміщення є еластичним,  $e_{1/2}^2 > 1$ , а після точки максимуму – нееластичним,  $e_{1/2}^2 < 1$ .

Тепер розглянемо більш детально особливості застосування моделі Рікардо до аналізування переваг трансграничної торгівлі ЕТКО декількома (більше двох) товарами. Припустимо, що кожна з двох ЕТКО, використовуючи наявні технології, в змозі запропонувати чотири види товарів  $i = \overline{1,4}$ , виробництво яких характеризується коефіцієнтами трудомісткості  $\tau_i^j$  з чисельними значеннями, представленими у Табл.1.6.1.

Таблиця 1.6.1. Коефіцієнти трудомісткості виробництва товарів і послуг двох ЕТКО, що співпрацюють на трансграничних ринках

$i$	1	2	3	4
ЕТКО1	$\tau_1^1=3,0$	$\tau_2^1=3,5$	$\tau_3^1=2,5$	$\tau_4^1=2,0$
ЕТКО2	$\tau_1^2=0,75$	$\tau_2^2=2,0$	$\tau_3^2=1,5$	$\tau_4^2=1,4$
$\alpha_i^2 / \alpha_i^1$	4,0	1,75	1,67	1,43

Припустимо також, що виконуються співвідношення:  $\tau_1^2 < \tau_1^1$ ;  $\tau_2^2 < \tau_2^1$ ;  $\tau_3^2 < \tau_3^1$ ;  $\tau_4^2 < \tau_4^1$ , які означають, що ЕТКО2 володіє технологіями, які надають їй абсолютну перевагу перед ЕТКО1 за витратами по всіх вироблених товарах (послугах).

Відмітимо, що всі товари (послуги) мають бути розташовані у Табл.1.6.1 в порядку спадної порівняльної переваги ЕТКО2 за відносною продуктивністю праці  $\alpha_i^j$ :

$$\frac{\alpha_1^2}{\alpha_1^1} > \frac{\alpha_2^2}{\alpha_2^1} > \frac{\alpha_3^2}{\alpha_3^1} > \frac{\alpha_4^2}{\alpha_4^1}, \quad (1.6.32)$$

або ж, що допускається за теорією, – в порядку зростаючої порівняльної переваги.

Як наслідок, означений першим у двопродуктовій реалізації моделі Рікардо товар, за чисельними значеннями складових у нерівностях (1.6.32) буде розташований у Табл.1.6.1 на третій позиції, а другий товар – на першій.

До розгляду вводиться поняття відносної трансграничної заробітної плати  $(w^2 / w^1)$ , яка визначається співвідношенням зарплат за однаковий труд в різних ЕТКО, в нашому випадку – співвідношенням величин  $w^j$  почасової заробітної плати працівників обох ЕТКО (плати за одиницю робочого часу). Тоді, вартість виробництва  $j$ -ою ЕТКО однієї одиниці  $i$ -го товару буде дорівнювати  $(w^j \cdot \tau_i^j)$ , а відносна трансгранична ціна для ЕТКО2 розраховуватися за формулою:

$$\frac{p_i^2}{p_i^1} = \frac{w^2}{w^1} \cdot \frac{\tau_i^2}{\tau_i^1}. \quad (1.6.33)$$

Якщо  $(p_i^2 / p_i^1) < 1$ , то виробництво  $i$ -го товару буде менш витратним для ЕТКО2, ніж для ЕТКО1, і тому цей товар доцільно буде виробляти ЕТКО2, а при  $(p_i^2 / p_i^1) > 1$ , навпаки – ЕТКО1. З рівняння (6.33) не складно визначити, що перше з цих нерівностей тотожне наступному:  $(w^2 / w^1) < (\tau_i^1 / \tau_i^2)$ , яке означатиме, що  $i$ -й товар доцільно виробляти ЕТКО2, відносна заробітна плата в якій нижче відносної вартості цього товару в ЕТКО1. Аналогічно, для другої нерівності маємо:  $(w^2 / w^1) > (\tau_i^1 / \tau_i^2)$  і  $i$ -й товар буде доцільно вже виробляти ЕТКО1, оскільки відносна заробітна плата в ЕТКО2 вище відносної вартості цього товару в ЕТКО1. Інакше кажучи, товар має виробляти саме та з ЕТКО, відносна заробітна плата в якій нижче,

тобто там, де виробництво цього товару є менш витратним (найбільш продуктивним тощо).

Не складає труднощів упевнитися, що для чисельних значень коефіцієнтів трудомісткості, представлених у перших двох рядках Табл.1.6.1, відносна трансгранична ціна  $(p_i^2 / p_i^1)$  кожного з 4-х товарів, розрахована за рівнянням (6.33), дорівнюватиме одиниці при значеннях  $w^2 / w^1 = \alpha_i^2 / \alpha_i^1$ , відображених в останньому рядку цієї таблиці; відносна ціна стає більше 1 для будь-якого з 4-х товарів, які вироблятиме ЕТКО2, за умови  $w^2 / w^1 > \alpha_i^2 / \alpha_i^1$ , у нашому випадку більше  $(3,0 / 0,75)$ .

При цьому, не зважаючи на свою абсолютну технологічну перевагу виробництво кожного з 4-х товарів буде дорожчим для ЕТКО2 і тільки при  $(w^2 / w^1) = (3,0 / 0,75)$  перший товар буде вироблятися ЕТКО2, у той час як всі інші, як і раніше, – ЕТКО1. Така ситуація пояснюється гранично низькою відносною заробітною платою, простіше кажучи – значною різницею у рівнях оплати праці в ЕТКО, що взаємодіють на трансграничному ринку.

Якщо відносна заробітна плата знизиться нижче  $(w^2 / w^1) = (3,5 / 2,0)$ , то не тільки перший, а й другий товар буде вже вироблятися ЕТКО2 і так далі. За умови  $w^2 / w^1 < \alpha_4^2 / \alpha_4^1$  виробництво кожного з чотирьох товарів стає дешевше в ЕТКО2.

Оскільки існує однозначна відповідність між виробництвом та витратами робочої сили (трудом), попит на товари може бути безпосередньо виражений через попит на труд як функцію від заробітної плати. На Рис.1.6.9 у вигляді ламаної спадаючої кривої представлений графік залежності відносного попиту на робочу силу (труд), визначений через відношення величин попиту на труд в кожній з ЕТКО  $(L^2 / L^1)$ , від відносної заробітної плати  $(w^2 / w^1)$ . Як можна бачити, ламана крива складається з горизонтальних та нахилених

сегментів, координати яких визначаються значеннями та розташуванням коефіцієнтів трудомісткості у Табл. 1.6.1.

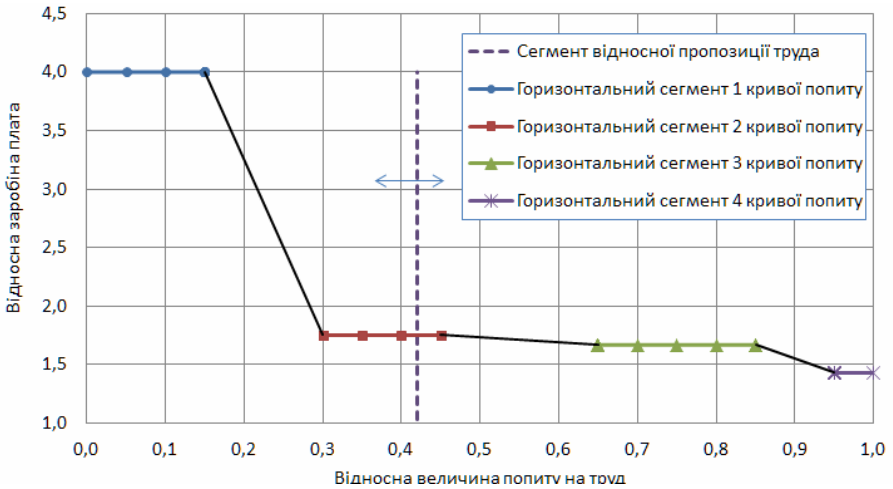


Рисунок 1.6.9 - Залежність відносного попиту на труд та його пропозиції від відносної заробітної плати

Означені сегменти кривої відносного попиту на труд відображають наступні параметри і характеристики взаємовідносин ЕТКО в умовах:

- Область зміни відносної заробітної плати вище горизонтального сегменту 1 кривої попиту:  $(w^2 / w^1) > (3,0/0,75)$ . Всі товари виробляє ЕТКО1, попит на труд в ЕТКО2 відсутній,  $(L^2 / L^1) = 0$ ;
- Горизонтальний сегмент 1 кривої попиту:  $(w^2 / w^1) = (3,0/0,75)$ . ЕТКО2 є конкурентоздатною з ЕТКО1 у виробництві першого товару та виробляє його. ЕТКО1 як і за попередньої умови виробляє всі чотири товари;
- Перший нахилений сегмент кривої попиту:  $(3,0/0,75) > (w^2 / w^1) > (3,5/2,0)$ . Виробництво першого товару повністю переходить до ЕТКО2, а ЕТКО1 виробляє другий, третій і четвертий товари;

- Горизонтальний сегмент 2 кривої попиту:  $(w^2 / w^1) = (3,5/2,0)$ . ЕТКО2 виробляє перший і другий товари, а ЕТКО1 – другий, третій і четвертий товари;
- Другий нахилений сегмент кривої попиту:  $(3,5/2,0) > (w^2 / w^1) > (2,5/1,5)$ . ЕТКО2 виробляє перший і другий товари, а ЕТКО1 – третій і четвертий товари;
- Горизонтальний сегмент 3 кривої попиту:  $(w^2 / w^1) = (2,5/1,5)$ . ЕТКО2 виробляє перший, другий і третій товари, а ЕТКО1 – третій і четвертий товари;
- Третій нахилений сегмент кривої попиту:  $(2,5/1,5) > (w^2 / w^1) > (2,0/1,4)$ . ЕТКО2 виробляє перший, другий і третій товари, а ЕТКО1 – четвертий товар;
- Горизонтальний сегмент 4 кривої попиту:  $(w^2 / w^1) = (2,0/1,4)$ . ЕТКО2 виробляє перший, другий, третій і четвертий товари, а ЕТКО1 – четвертий товар;
- Область зміни відносної заробітної плати нижче сегменту 4 кривої попиту:  $(w^2 / w^1) < (2,0/1,4)$ . Для ЕТКО1 виробництво кожного з товарів стає більш затратним, ніж в ЕТКО2, тому ЕТКО2 виробляє всі товари, а ЕТКО1 іде з ринку виробників.

Пропозиція труда у моделі Рікардо вважається екзогенною величиною, яка на Рис.1.6.9 відображається вертикальною лінією, оскільки визначається відносними розмірами наявної робочої сили. Лінія пропозиції є розмежувальною межею, зліва від якої розташовуються товари, які буде виробляти ЕТКО2, а праворуч – товари, на виробництві яких буде спеціалізуватися ЕТКО1. Якщо ж для якогось товару відношення величин попиту на труд  $(L^2 / L^1)$  зрівнюється за значенням з відносною заробітною платою  $(w^2 / w^1)$ , то даний товар виробляють обидві ЕТКО.

Простіше кажучи, коли крива відносного попиту перетинає криву відносної пропозиції в межах нахиленого сегменту, відбувається чіткий розподіл виробництва товарів (праці тощо) між ЕТКО, а коли в межах горизонтального сегменту – обидві ЕТКО виробляють цей товар, а товари спеціалізації розташовуються зліва і праворуч. При цьому рівноважна відносна заробітна плата визначається в точці перетину кривих відносного попиту і пропозиції.

Таким чином, розглянутий формат області побудови графіка та взаємне розташування кривих попиту і пропозиції однозначно визначають відносну заробітну плату та структуру виробництва товарів за однофакторною (труд) моделлю Рікардо трансграничної торгівлі декількома товарами при припущеннях, що: ЕТКО по-різному забезпечені факторами виробництва, обсяги яких обмежені і повністю використовуються в процесі виробництва, характеризуються повною мобільністю (повної зайнятості) в межах країни та відсутністю мобільності між країнами; в обох ЕТКО застосовуються однакові технології, ефект масштабу відсутній, торговельні потоки збалансовані, а транспортні витрати відсутні; торгівля здійснюється в умовах досконалої конкуренції та повної еластичності попиту по ціні, однакових уподобаннях споживачів тощо.

Не зважаючи на серйозні припущення, модель Рікардо дозволяє достатньо прозоро визначати системні особливості і розраховувати чисельні параметри доступного виграшу від трансграничної торгівлі для всіх її учасників, навіть у складних ситуаціях, пов'язаних з запровадженням зон вільної торгівлі, обмеженнями конкуренції з боку більш розвинутих країн тощо, при цьому враховуючи їх абсолютну перевагу у технологіях і продуктивності труда, різницю в рівнях оплати праці і кількість доступних трудових ресурсів в обох країнах (ЕТКО тощо).

## Список літератури

1. Гулбрандсен Т.Х., Падалко Л.П., Червинский В.Л. Энергоэффективность и энергетический менеджмент: учебно-методическое пособие. – Минск: БГАТУ, 2010.– 240 с.
2. Андрижиевский А.А., Володин В.И. Энергосбережение и энергетический менеджмент. – Минск: Высшая школа, 2005.– 294 с.
3. Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006.– 256 с.
4. Стафиевская В.В., Велентеенко А.М., Фролов В.А. Методы и средства энерго- и ресурсосбережения: электрон. учеб. Пособие. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 430 с.
5. Энергетический менеджмент / А.В. Праховник, А.И. Соловей, В.В. Прокопенко и др. – К.: ИЭЭ НТУУ «КПИ», 2001. – 472 с.
6. Праховник А.В. Управление электропотреблением (концепция, методы и средства) // Известия АН СССР.— 1990.— Том 36.— С. 5-16.
7. Праховник А.В. Управління енерговикористанням: проблеми, завдання та методи вирішення / Управління енерговикористанням: Зб. доп. — К.: Альянс за збереження енергії, 2001.— 568 с., С. 169-190.
8. ГОСТ Р ИСО 50001-2012. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению ISO 50001:2011 (Energy management systems – Requirements with guidance for use). – Москва: Стандартинформ, 2012. – 59 с.
9. Хохлявин С.А. ISO 50001 и другие стандарты – главный инструмент при реализации энергоменеджмента // ЭнергоАудит. – 2011. – № 1(17). – С.42-47.
10. Теоретические основы системных исследований в энергетике/ А.З. Гамм, А.А. Макаров, Б.В. Санеев и др. – Новосибирск: Наука, 1986. – 335 с.
11. Макаров А.А., Мелентьев Л.А. Методы исследования и оптимизации энергетического хозяйства. – Новосибирск: Наука. – 1973. – 275с.



12. Щедровицкий Г.П. Методология и философия организационно-управленческой деятельности: основные понятия и принципы. – М.: Путь, 2003. – 145 с.
13. Янковский Н.Я. Правовые основы функционирования коммунального хозяйства в Европейских странах. – Владивосток: Сфера ЖКХ, 2007. – 340 с.
14. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Механізми реалізації політики енергозбереження / За ред. В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія. – Київ: Академперіодика, 2006. – Т.1. – 510 с.
15. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Загальні засади енергозбереження / За ред. В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія. – Київ: Академперіодика, 2006. – Т.2. – 600 с.
16. Енергозбереження — пріоритетний напрямок державної політики України / Ковалко М.П., Денисюк С.П.: Відп. ред. Шидловський А.К. – Київ: Укреноергозбереження, 1998. – 506 с.
17. Енергетика світу та України. Цифри та факти / Вороновський Г.К., Денисюк С.П., Кириленко О.В., Стогній Б.С., Шидловський А.К. – Київ: Українські енциклопедичні знання, 2005. – 404 с.
18. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році / С.Ф. Єрмілов, В.М. Геєць, Ю.П. Ященко, В.В. Григоровський, В.Е. Лір та ін. – Київ: НАЕР, 2009. – 93с.
19. Ukraine: Energy Policy Review 2006 / Led by team leader L. Coburn. – Paris: IEA Head of Publications Service, 2006. – 383 p.
20. Комунальна теплоенергетика України: Стан, проблеми, шляхи модернізації в 2-х томах / За ред. А.А. Долінського, Б.І. Баска, Є.Т. Базєєва, І.А. Піроженко. – 2007. – Т.1. – 394 с.
21. Пустовойт О. Эффективность модели развития внутреннего рынка Украины // Экономика Украины, №5, 2008, с. 24-36.

22. Економіка України: Стратегія і політика довгострокового розвитку / За ред. В.М. Гейця. — К.: Ін-т екон. прогноз., Фенікс, 2003. — 1008 с.
23. Суходоля О.М. Енергоефективність національної економіки: методологія дослідження та механізми реалізації: Монографія. — К.: Вид-во НАДУ, 2006. — 400.
24. Пухтаєвич Г. О. Аналіз національної економіки: Навч. посібник — К.: КНЕУ, 2005. — 254 с.
25. Алексеев І.В., Колісник М.К. Гроші та кредит. Навч. посібник. — К.: Знання, 2009. — 253 с.
26. Черемухин А.А. Паритет покупательной способности и причины отклонения курса рубля от паритета в России. — М.: ИЭПП, 2005. — 117 с.
27. Froot K.A., Rogoff K. Perspectives on PPP and Long-Run Real Exchange Rates. — Cambridge: National Bureau of Economic Research, 1994. — 55 p.
28. Eurostat-OECD Methodological Manual on Purchasing Power Parity / Chaired by S. Stapel and drafted by D. Roberts. — Paris: OECD PUBLICATIONS, 2006. — 280 p.
29. Baldwin J.R., Macdonald R. PPPs: Purchasing Power or Producing Power Parities — Ottawa: Statistics Canada, 2009. — 38 p.
30. Лір В.Е. Енергетична ефективність економіки України // Економіст. — №9, 2000. — С. 61 – 63.
31. Долінський А.А., Басок Б.І., Базєєв Є.Т., Кучин Г.П. Основні положення концепції Національної стратегії теплозабезпечення населених пунктів України // Промышленная теплотехника. — 2009. — т.31. - №4. — С. 68-77.
32. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації (Долінський А.А., Басок Б.І., Базєєв Є.Т., Пироженко І.А. та ін., колективна монографія). — К.: Т. 1-2. — 2007. — 828 с.
33. Стратегия повышения энергоэффективности в муниципальных образованиях/ Под общ. рук. В.Г. Семенова. — М.: ОАО «ВНИИПИэнергопром». — 2008. — 261 с.

34. Новосельцев О.В., Євтухова Т.О. Механізм економічного стимулювання енергозбереження на підприємствах комунальної власності // Проблеми загальної енергетики. – 2003. – №8. – С.40 – 47.
35. Bachmann J., Novoseltsev A. Partnership and Incentives: Making Performance Contracting Work in Ukraine // Energy Engineering. – No.6. – Vol.101, 2004. – P. 49–70.
36. Hansen S.J., Bertoldi P., Langlois P. ESCOs Around the World: Lessons Learned in 49 Countries. – Lilburn: The Fairmont Press, 2009. – 377 p.
37. Painuly J.P., Park H., Lee M.-K., Noh J. Promoting Energy Efficiency Financing and ESCOs in Developing Countries: Mechanisms and Barriers // Journal of Cleaner Production. – No.11, 2003. – P. 659–665.
38. Сиваев С.Б. Создание и деятельность энергосервисных компаний и перфоманс-контрактов в России. Том 1: Энергосервис и перфоманс контракты: возможности и проблемы их реализации в России. – М.: WWF, 2011. – 111 с.
39. Закон України «Про інвестиційну діяльність» від 18 вересня 1991 року, №1560-ХІІ.
40. Закон України «Про природні монополії» від 20 квітня 2000 року, №1682-ІІІ.
41. Закон України «Про захист економічної конкуренції» від 11 січня 2001 року, №2210-ІІІ.
42. Михасюк І.Р., Швайка Л.А. Державне регулювання економіки: Підручник. – Львів: Магнолія плюс, 2006. – 220 с.
43. Дідківська Л.І., Головка Л.С. Державне регулювання економіки: Навчальний посібник. – К.: Знання, 2006. – 213 с.
44. Ковалко О.М. Механізми державного управління і регулювання діяльності з підвищення енергоефективності системи теплопостачання в Україні // Наук. вісник АМУ, Сер. Управління. – Вип.4, 2012. – С.103 – 110.
45. Новосельцев О.В., Євтухова Т.О. Концептуальні засади, метод і модель системного регулювання цін і тарифів на енергоємні ресурси, продукти та послуги // Проблеми загальної енергетики. – 2007. – №16. – С.21 – 27.

46. Державне управління: основи теорії, історія і практика: Навчальний посібник / В.Д. Бакуменко, П.І. Надолішній, М.М. Іжа, Г.І. Арабаджі. – Одеса: ОРІДУ НАДУ, 2009. – 394 с.
47. Новосельцев О.В., Ковалко О.М. Функції, форми та механізми державного управління енергоефективністю муніципальних систем комунальної теплоенергетики / Матеріали наук.-практ. конференції за міжн. участю «Завдання державного, регіонального та муніципального управління в контексті нових реалій національного розвитку», Ч.2, Київ, 6 квітня 2012. – Київ: АМУ. – С.281 – 282.
48. Integration of Demand Side Management, Distributed Generation, Renewable Energy Sources and Energy Storages / IEA DSM Programme Report, Led by Seppo Karkkainen. – Espoo: Technical Research Centre of Finland, 2009. – Vol. 1. – 77 p., Vol. 2. – 142 p.
49. Nadel S.M., Reid M.W., Wolcott D.R. Regulatory Incentives for Demand-Side Management. – Washington, USA: American Council for an Energy-Efficient Economy, 1992. – 302 p.
50. Hansen S.J., Weisman J.C. Performance Contracting: Expanding Horizons. – Lilburn, USA: Fairmont Press, 1998. – 323 p.
51. Gellings C.W., Chamberlin J.H. Demand-Side Management: Concepts and methods. – Lilburn, USA: Fairmont Press, 1988. – 465 p.
52. Tools and Methods for Integrated Resource Planning: Improving Energy Efficiency and protecting the Environment / Riso, Denmark: Grafisk Service. – 1997. – 259 p.
53. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency // Official Journal of the European Union. – L315, 2012. – P. 1-56.
54. Дослідження чинного законодавства України у житлово-комунальній сфері та підготовка пропозицій щодо його вдосконалення з метою забезпечення дерегуляції та прозорості шляхом розроблення єдиного уніфікованого базового законопроекту в житлово-комунальному господарстві / Проміжний звіт за

договором № Н-7/328-2012 від 26.10. 2012, Етап 1. – Київ: Інститут соціально-економічних стратегій, 2012. – 152 с.

55. Методические указания по регулированию тарифов организаций, оказывающих услуги по передаче тепловой энергии, с применением метода доходности инвестированного капитала / В ред. Приказа ФСТ России от 30.03.2012, № 228-э. – 26 с.

56. Johnstone D. Replacement Cost Asset Valuation and the Regulation of Energy Infrastructure Tariffs: Theory and Practice in Australia. – Bath: CRI Centre, University of Bath, 2003. – 51 p.

57. Diewert E., Lawrence D., Fallon J. Asset valuation and productivity-based regulation taking account of sunk costs and financial capital maintenance / Report for Commerce Commission. – Hawker: Economic Insights Pty Ltd, 2009. – 76 p.

58. Water and Wastewater Price Review / Price Determination Report. –Canberra: Independent Competition and Regulatory Commission, 2007. – 191 p.

59. Постановление Правительства РФ «О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике» от 29 декабря 2011 года, №1178.

60. Newbery D. Determining the Regulatory Asset Base for Utility Price Regulation // Utilities Policy. – Vol. 6. – No.1, 1997. – P. 1 – 8.

61. Carne S., Currie D., Siner M. The Competition and Policy Implications of Regulatory Depreciation and the Asset Base Regulation Initiative / Discussion Paper Series, No.25. – London: Business School, 1999. – 37 p.

62. Международный стандарт финансовой отчетности (МСФО18) Выручка / Приказ Минфина России от 18 июля 2012, №106н. – 6 с.

63. Міжнародний стандарт бухгалтерського обліку 18 (МСБО 18) Дохід / Стандарт, IASB. – Міжнародний документ від 01.01.2012. – 6 с.

64. International Accounting Standard (IAS 18) Revenue / EU version as of 16 September 2009. – 6 p.

65. Голов С.Ф., Костюченко В.М.. Бухгалтерський облік та фінансова звітність за міжнародними стандартами – К. : Лібра, 2004. – 880 с.

66. Посібник з бухгалтерського обліку та складання фінансової звітності підприємствами України (за національними положеннями (стандартами бухгалтерського обліку) / Авт. кол.: С.Я. Зубілевич, І.Ю. Кравченко, О.О. Прокопенко і др. – Київ: Укрпапір, Програма Агентства США з міжнародного розвитку, 2002. – 472 с.
67. Концепція управління навантаженням та споживанням електричної енергії в Україні в рамках інтегрованого ресурсного планування. Праховник А.В., Кулик О.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір Державного департаменту інтелектуальної власності МОН України № 11313 від 12.10.04.
68. Праховник А.В., Іншеков Є.М. Визначення термінів і одиниць виміру та аналіз енергетичної ситуації // Вісник СумДУ, №5 (89), 2006, С.22-30.
69. Best Practices Guide: Integrated Resource Planning for Electricity, Boston, USA: The Tellus Institute. — 2000. — 58 p.
70. Energy Policy Act of 1992. Public Law 102–486—Oct. 24, 1992, Washington, USA: U.S. Government printing Office.— 1992.— 393 p.
71. Energy Policy Act of 2005. Public Law 109–58—Aug. 8, 2005, Washington, USA: U.S. Government printing Office.— 2005.— 551 p.
72. Turner W.C. Energy Management Handbook.— Lilburn, USA: Fairmont Press, 1996.— 702 p.
73. Prakhovnik A.V., Talukdar S.N. Demand-Side Management — Some Technics and Algorithms / EDRC 18-43-93: Carnegie Mellon University, Pittsburg, USA, 1993.— 66 p.
74. Lessen N. Local Integrated Resource Planning: a New Tool for a Competitive Era// Electricity Journal. – July 1996, Vol. 9, #6. – pp. 26-36.
75. Ковалко О.М., Новосельцев О.В., Євтухова Т.О. Формалізація моделі програмно-целевого управління розвитком городських систем комунальної теплоенергетики в умовах ринкової економіки // Промышленная теплотехника. – №8. – Том 33, 2011. – С. 165 – 170.

76. Hansen S.J. Performance Contracting for Energy and Environmental Systems. – Lilburn: The Fairmont Press, 1992. – 317 p.
77. Langlois P., Hansen S.J. World ESCO Outlook. – Lilburn: The Fairmont Press, 2012. – 200 p.
78. Hansen S.J. ESCOs Around the World // Strategic Planning for Energy and the Environment. – No. 3, Vol. 30, 2011, – P. 9-15.
79. Heywood B.J. Outsourcing Dilemma: The Search for Competitiveness. – London: Pearson Education, 2001. – 224 p.
80. Heijer W.L., Grobler L.J. Methodology to Measure and Verify the Impacts Obtained from Energy Efficiency Activities // Energy Engineering. – No. 2, Vol. 107, 2010, – P. 41-51.
81. Ellis J. Energy Service Companies (ESCOs) in Developing Countries. – Winnipeg: International Institute for Sustainable Development, 2010. – 72 p.
82. Okay N., Akman U. Analysis of ESCO Activities Using Country Indicators. – Istanbul, Bogazici University: Social Science Research Network, 2009. – 35 p.
83. IFC Energy Service Company Market Analysis / Washington: Econoler, Final report, Ref. No.5712, 2011. – 128 p.
84. Bertoldi P., Rezessy S., Vine E. Energy Service Companies in European Countries: Current Status and a Strategy to Foster their Development // Energy Policy. – No.34, 2006. –P. 1818–1832.
85. Vine E. An International Survey of the Energy Service Company (ESCO) Industry // Energy Policy. – No.33, 2005. – P. 691–704.
86. Vine E., Nakagami H., Murakoshi C. The Evolution of the US Energy Service Company (ESCO) Industry: from ESCO to Super ESCO // Energy. – No.24, 1999. – P. 479-492.
87. Marino A., Bertoldi P., Rezessy S. Energy Service Companies Market in Europe / Status Report EUR 24516, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010. – 114 p.

88. Goldman C.A., Hopper N.C., Osborn J.G. Review of US ESCO Industry Market Trends: an Empirical Analysis of Project Data // Energy Policy. – No.33, 2005. – P. 387–405.
89. Commission Delegated Regulation (EU) No.244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements // Official Journal of the European Union. – L81, 2012. – P.18-36.
90. Knox B., Lew V., Magee M., Meister B., Mills D., Sloss M., Traylor S. How to Hire an Energy Services Company. – Sacramento: California Energy Commission, 2000. – 112 p.
91. Bleyl-Androschin J.W., Schinnerl D. Competitive Energy Services: Energy-Contracting, ESCo Services. – Graz: Grazer Energieagentur Ges.m.b.H. – IEA Final Report, 2010. – 73 p.
92. Zhao H., Kolarik W., Turner W., Case K. A Win-Win Strategy to Energy Financing Challenges – Performance Contracts // Energy Engineering. – No.4. – Vol.103, 2006. – P. 53– 80.
93. International Performance Measurement & Verification Protocol: Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings, Vol.I. – Oak Ridge: U.S. Department of Energy, 2001. – 93 p.
94. Bullock C., Caraghiaur G. A Guide to Energy Services Companies. – New Jersey: Prentice Hall, 2001. – 184 p.
95. Барсукова С.Ю. Трансакционные издержки вхождения на рынок предприятий малого бизнеса // Проблемы прогнозирования. – № 1, 2000. – С. 108 – 119.
96. Микало О.І. Підходи до визначення терміна “аутсорсинг” // Економічний вісник НТУУ «КПІ», 2010. – С. 111–115.
97. Thumann A., Woodroof E. Energy Project Financing: Resources and Strategies for Success. – Lilburn: The Fairmont Press, 2008. – 462 p.



98. Лахтіонова Л.А. Фінансовий аналіз суб'єктів господарювання. — К.: КНЕУ, 2001. — 387 с.
99. Макконнелл К.Р., Брю С.Л. Экономикс: принципы, проблемы, политика. К.: Хагар-Демос. – 1993. – 785 с.
100. Фомичев, С. К., Скрябина Н. П., Уразлина О. Ю. Концепции «Шесть сигм» и «Бережливое управление»: Звездный союз // Методы менеджмента качества. — 2004. — № 6. — С. 16—20.
101. Пономарев С. В., Мищенко С. В., Белобрагин В. Я. Управление качеством продукции. Введение в системы менеджмента качества. — М.: РИА «Стандарты и качество», 2004. — 248 с.
102. Фокс М. Дж. Принципы и методы всеобщего руководства качеством. Модуль БПС № 416 а; пер. с англ. под общей ред. проф. В. Н. Азарова. — М.: Фонд «Европейский центр по качеству», 1999. — 105 с.
103. Затраты на качество или стоимость плохого качества. Сер. Все о качестве. Зарубежный опыт. М. : НТК "Трек", 1999. Вып. 9. 40 с.
104. Окрепелов В.В. Управление качеством продукции : учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / В.В. Окрепелов. М. : Экономика, 1998. 640 с.
105. Bruhn M., Grund M.A. Theory, Development, and Implementation of National Customer Satisfaction Indices: The Swiss Index of Customer Satisfaction (SWICS) // Total Quality Management, V. 11, #7, 2000, pp. 1017-1028.
106. Park Y.J., Neo P.S., Rim M.H. Measurement of a Customer Satisfaction Index for Improvement of Mobile RFID Services in Korea // ETRI Journal, V. 30, #5, 2008, pp. 634-643.
107. Gastwirth J., Modarres R., Bura E. The use of the Lorenz curve, Gini index and related measures of relative inequality and uniformity in securities law// International Journal of Statistics, 2005, V. LXIII, # 3, pp. 451-469.
108. Chen J., Chen J. C. QFD-based Technical Textbook Evaluation – Procedure and a Case Study // Industrial Technology, V. 18, #1, 2002, pp. 1-8.

109. Lockamy A., Khurana A. Quality function deployment: total quality management for new product design // *International Journal of Quality & Reliability Management*, 1995, V.12, #6, pp. 73-84.
110. Huff L., Anderson E.W. Quality and Productivity: Contradictory and Complementary // *Quality Management Journal*, 1996, V. 4, # 1, pp. 22-39.
111. Розен В.П., Залунина О.М. Определение исходного состава факторов, влияющих на энергетическую безопасность территории // *Наукові праці КДТУ*, Вип.5, Ч.1, Кіровоград, 2004, с 313-321.
112. Праховник А.В., Иншеков Є.М. Ефективне енерговикористання в Україні: основні проблеми та шляхи вирішення / *Управління енерговикористанням*. Зб. доповідей. — К.: Альянс за збереження енергії, 2001. — с.19-34.
113. Розен В.П., Калинин В.П., Мейта А.В. Формирование факторного поля для экспериментальных исследований дробильно-измельчительного комплекса // *Вісник НТУУ «КПІ»: Гірництво*, 2003, Вип.9, С.110-117.
114. Розен В.П., Соловей А.И., Чернявский А.В. Применение метода анализа иерархий при выборе энергосберегающих мероприятий, технологий и оборудования // *Новини енергетики*, 2003, №3-4, С.31-36.
115. Месарович М., Мако Д., Такахага И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир. – 1973. – 344 с.
116. Механизмы устойчивости геосистем /отв. ред. Н.Ф. Глазовский, А.Д. Арманд. - М.: Наука, 1992.-208с.
117. Портер М.Е. Конкуренция: Пер. с англ. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. — 608 с.
118. Томпсон А.А., Стрикленд А.Дж. Стратегический менеджмент. Искусство разработки и реализации стратегии./Пер. с англ.- М.: Банки и биржи, ЮНИТИ. – 1998. – 576 с.
119. Портер М.Е. Конкурентная стратегия: Методика анализа отраслей и конкурентов/ Пер. с англ. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. — 454 с.
120. Porter M. E. How Competitive Forces Shape Strategy// *Harvard Business Review*, V.57, № 2, 1979. — P.137-145.

121. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики. М.: Энергоатомиздат. – 1987. – 496 с.
122. ГОСТ Р 52380.1-2005. Руководство по экономике качества. Часть 1. Модель затрат на процесс.— М.: Стандартиформ.— 2005.— 25 с. (идентичный стандарту Великобритании BS 6143.1-1992 «Guide to the economics of quality. Part 1: Process cost model»).
123. ГОСТ Р 52380.2-2005. Руководство по экономике качества. Часть 2. Модель предупреждения, оценки и отказов.— М.: Стандартиформ.— 2005.— 29 с. (идентичный стандарту Великобритании BS 6143.2-1992 «Guide to the economics of quality. Part 2: The prevention, appraisal and failure model»).
124. Праховник А.В., Іншеков Є.М. Бар'єри на шляху до ефективного енерговикористання в Україні // Енергетика: економіка, технології, екологія. - 2001,- №1, С. 4-7.
125. Самуельсон П. Економіка: Підручник. – Львів: Світ. –1993. – 496 с.
126. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. – 832 с.
127. Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н. Введение в системный анализ, Л.: Изд-во Ленинградского университета. – 1988. – 232 с.
128. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем, М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1975, 527 с
129. Растрингин Л.А. Системы экстремального управления, М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974, 632 с.
130. Гитис Э.И., Данилович Г.А., Самойленко В.И. Техническая кибернетика, М.: Советское радио, 1969, 488 с.
131. Мину М. Математическое программирование. Теория и алгоритмы, М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990, 488 с.
132. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Задачи и методы линейного программирования, М.: Советское радио, 1961, 492 с.
133. Канторович Л.В. Об одном эффективном методе решения некоторых классов экстремальных проблем // ДАН СССР. – 1940. – т.28, №3. – С.212-215.

134. Євтухова Т.О. Структурно-функціональні особливості побудови системи управління енергозбереженням у ЖКГ України // Проблеми загальної енергетики. - 2010.- вип.2(22).- С.39-44.
135. Ермаков С.М., Жиглявский А.А. Математическая теория оптимального эксперимента, М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987, 320 с.
136. Євтухова Т.О. Механізм реалізації самоокупних енергозберігаючих заходів на комунальних підприємствах тепло-, водопостачання та водовідведення // Проблеми загальної енергетики. - 2003.- №9.- С.55-58.
137. Міжнародний протокол щодо змін характеристик та перевірки заходів з енергозбереження, пер. з англ.: Департамент енергетики США - 1996.- 215 с. Джерело інформації та більш пізні версії документу англ. мовою: [www.ipmvp.org](http://www.ipmvp.org).
138. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1976. – 544 с.
139. Viscussi W.K., Vernon J.M., Harrington J.E. Economics of Regulation and Antitrust. London, England, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, 1993, 864 p.
140. Begg D., Fischer S., Dornbusch R. Economics. – London: McGRAW-HILL. – 1991. - 808 p.
141. Бабак А.В., Романюк О.П. Ефективне регулювання цін природних монополістів // Аспекти тарифної реформи. – 2003. - №1. – С.1-9.
142. Shleifer A. A Theory of Yardstick Competition in English and Welsh water industry // The Rand Journal of Economics, Vol.6, Issue 3. - 1985, P.319-327.
143. Волконский В.А. Модель оптимального планирования и взаимосвязи экономических показателей. М.: Наука, 1967.- 168 с.
144. Кузнецов Н.Н. Оптимальное распределение средств в иерархической системе, Изв. АН СССР, Техническая кибернетика, №4, 1970.
145. Фаткин Ю.М. Оптимальное управление в иерархических структурах, ДАН СССР, 202, №1, 1972, С.1972-1975.
146. Державне управління регіональним розвитком України / За ред. В. Є. Воротіна, Я. А. Жаліла. – К. : НІСД, 2010. – 288 с.

147. Мікула Н.А. Міжтериторіальне та транскордонне співробітництво. – Л. : ІРД НАН України, 2004. – 395 с.
148. Беленький П. Ю., Мікула Н. А., Матвеев Є. Е. Конкуренційність на транскордонних ринках. – Л. : ІРД НАН України, 2005. – 214 с.
149. Бутенко А. І., Лазарева Є. В. Феномен кластера у формуванні інноваційної моделі економіки регіону //Інвестиції: практика та досвід, №2, 2009, С. 25 – 28.
150. Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. — М.: ИНФРА-М, 1998. — 479 с.
151. Соколенко С. І. Кластери в глобальній економіці. Наукове видання. – К.: Логос, 2004. – 848 с.
152. Войнаренко М.П. Кластери в інституційній економіці: монографія. – Хмельницький: ХНУ: ТОВ «Триада-М», 2011. – 502 с.
153. Dunning J.H. The globalization of business: the challenge of the 1990s. – N.Y.: Routledge, 1993. – 467 p.
154. The European Cluster Memorandum / Europe INNOVA Initiative of European Commission. – Sophia: Pixographist, 2008. – 13 p.
155. Jerger J. International Economics. – Regensburg: University of Regensburg, 2008. – 217 p.
156. Курс экономической теории / Под. ред. проф. А.В. Сидоровича; МГУ им. М.В. Ломоносова. – М.: Изд-во «Дело и Сервис», 2001. – 832 с.
157. Кругман П.Р., Обстфельд М. Международная экономика. Теория и политика. М.: МГУ, ЮНИТИ, 1997. – 799 с.
158. Киреев А.П. Международная экономика. В 2-х ч. – Ч. I. Международная микроэкономика: движение товаров и факторов производства. – М.: Изд-во Международные отношения, 1997. – 416 с.
159. Ковалко О.М., Новосельцев О.В., Євтухова Т.О. Економіко-математична модель порівняльної переваги трансграничної взаємодії енергосервісних компаній // Енергетика: економіка, технології, екологія, 2013, №1, с.7-14.

160. Kovalko A.M., Evtukhova T.A., Novoseltsev A.V. ESCOs and cross-border energy services: ideas for international cooperation / Proceedings of World Energy Engineering Congress, Washington, 25-27 Sept., 2013, Atlanta: AEE, Ch.75. – p.1-9.
161. Ковалко А.М., Евтухова Т.А. Теоретико-множинна модель багаторівневої системи організаційно-технологічного управління енерговикористанням у системах з ієрархічною структурою // Енергетика: економіка, технології, екологія, 2010, №2, с.42-49.
162. Novoseltsev O., Kovalko O., Evtukhova T. Cross-border cooperation of energy service companies as a factor enhancing energy and economic safety / In book: Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems – G. Pivnyak, O. Beshta, M. Alekseyev (eds), London: Taylor & Francis Group, CRC Press, 2013, p. 37-46.

## **РОЗДІЛ 2. ВЕРТИКАЛЬНО-ІНТЕГРОВАНІ СТРУКТУРИ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ<sup>1</sup>**

### **Глава 2.1. Оцінка стану та перспектив підвищення ефективності систем комунальної теплоенергетики в Україні**

#### **2.1.1. Аналіз поточного стану та перспектив розвитку систем комунальної теплоенергетики як складової енергетичної галузі**

В сучасних умовах глобалізації енергетичних ринків проблема підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), актуальність якої значною мірою обумовлена стійкою тенденцією зростання енергетичної складової у структурі витрат на виробництво продукції і впливом на зміни клімату, все більше переміщується на поле підвищення 3-Е ефективності [1-4].

Актуальність проблеми управління ефективністю функціонування місцевих (обласних, районних, міських тощо) систем комунальної теплоенергетики (КТЕ) значною мірою обумовлена негативними наслідками нерационального використання в комунальній теплоенергетиці України понадмірних обсягів ПЕР, насамперед природного газу [5, 6].

Вирішення цієї проблеми є актуальним не тільки для України, а набуло статусу визначального чинника сталого розвитку економіки розвинутих країн ще на початку 70-х років минулого століття за наслідками енергетичної кризи, спричиненою різким зростанням цін на ПЕР, насамперед нафту і природний газ, та сталими змінами клімату на планеті, обумовленими надмірними обсягами викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище від виробничої діяльності людини [7-15].

---

<sup>1</sup> Ковалко О.М., Новосельцев О.В., Євтухова Т.О. Вертикально-інтегровані структури управління ефективністю функціонування систем комунальної теплоенергетики. – Київ: ІТТФ НАН України, 2017. – 258 с.

Враховуючи актуальність, складність і комплексність проблеми, системним питанням підвищення ефективності використання ПЕР в КТЕ присвячені багаточисленні фундаментальні праці вітчизняних і зарубіжних дослідників, таких як: М.В. Гнідий, С.П. Денисюк, В.І. Дешко, А.А. Долінський, С.В. Дубовський, В.А. Жовтянський, І.М. Карп, М.П. Ковалко, М.М. Кулик, Є.Б. Кубко, Є.Є. Нікітін, У.Е. Письменна, Ю.Ф. Снежкін, Г.Г. Фаренюк та ін., Л.І. Абалкін, А.Г. Аганбегян, В.М. Аньшін, К.А. Багриновский, Е.М. Блех, В.Ю. Будавей, В.В. Бузирев, А.А. Збріцкій, А.Ю. Єгоров, В.Б. Зотов, Т.А. Івчїк, Л.Е. Лимонов, Г.С. Поспелов, С.Л. Прузнер, Б.А. Райзберг, В.А. Спектор, В.С. Чекалін та ін., Г. Аарон, В. Гамільтон, Д. Кейнс, Г. Кассель, Д. Робертсон, Р. Страйк, Р. Харрод, Е. Хансен та інших.

У той же час, розв'язанню та науковому обґрунтуванню теоретичних і практичних питань комплексного урахування 3-Е аспектів багаторівневого ВІОТ-управління енергозбереженням та енергоефективністю у цих роботах приділено недостатньо уваги.

Нагадаємо, що інтеграційні процеси є невід'ємним елементом сучасного підходу до розв'язання проблем підвищення ефективності функціонування складних енергетичних та енерготехнологічних систем завдяки новим можливостям комплексного вирішення взаємопов'язаних та взаємообумовлених організаційно-управлінських, нормативно-правових, техніко-економічних, екологічних і технологічних аспектів господарювання, які в умовах інтегрування здатні охоплювати окремі регіони, галузі промисловості, підприємства тощо, об'єднані єдністю цілей, завдань, методів і засобів управління.

Дослідженню теоретичних і практичних питань застосування вертикально-інтегрованих структур в господарській діяльності присвячено значну кількість наукових публікацій (див., насамперед [16-25]), де наряду з позитивними наслідками інтеграції, відмічається необхідність ретельного обґрунтування доцільності застосування вертикально-інтегрованих організаційно-технологічних (ВІОТ) структур в кожному окремому випадку.



Серед позитивних рис вертикального інтегрування в цих публікаціях передусім визначаються: зростання економії від масштабу; зниження поточних витрат; перерозподіл ризиків; ліквідація дублюючих функцій; зниження податкового тиску; поліпшення умов кредитування; поява нових синергетичних ефектів. За умов організації ефективної роботи вертикально-інтегрованих структур це дозволяє більш високими темпами освоювати нові технології, підвищувати прибутковість підприємств та залучати стратегічних інвесторів до реалізації проєктів їх розвитку.

В ланцюжку вертикально-інтегрованих процесів виробництва кінцевого продукту або надання послуги розрізняють два напрямки, – до постачальників первинних ресурсів та до споживачів (низхідна та висхідна інтеграція відповідно).

За механістичною аналогією, вертикально-інтегровані структури можна порівняти з технологічним конвеєром, на якому всі розмежовані раніше стадії і процеси виробництва складного продукту поєднанні в єдиний нерозривний ланцюг. При цьому поєднання сприяє підвищенню рівня спеціалізації і продуктивності та прибутку від господарської діяльності, оперативності і ефективності організаційно-технологічного управління.

Під системою комунальної теплоенергетики у роботі розглядається система тепlopостачання, насамперед, централізованого тепlopостачання, що складається з джерел теплової енергії (теплогенеруючих установок, теплових електростанцій, теплоелектроцентралей, котельних та когенераційних установок) та магістральних і місцевих (розподільних) теплових мереж, які об'єднані між собою та використовуються для тепlopостачання споживача, населеного пункту тощо [26].

За законом України «Про природні монополії» [27], діяльність суб'єктів (підприємств) комунальної теплоенергетики (КТЕ) на ринках транспортування теплової енергії (теплоти) регулюється органом, який здійснює державне регулювання діяльності суб'єктів природних монополій, а виробництво та постачання теплоти суб'єктами КТЕ підпадає до сфери

регулювання господарської діяльності на суміжних ринках (див. також закон України [28]).

При цьому в законі [27] зазначено, що регулювання господарської діяльності суб'єктів КТЕ є доцільним, коли задоволення попиту на товарних ринках є більш ефективним за умови відсутності конкуренції внаслідок технологічних особливостей діяльності, а товари (послуги), що виробляються (надаються), не можуть бути замінені у споживанні іншими товарами (послугами). За цим законом, державне регулювання означених сфер діяльності суб'єктів КТЕ має здійснюватися на основі принципів гласності, відкритості, адресності та самоокупності, стимулювання до підвищення якості товарів, задоволення попиту на них, забезпечення захисту прав споживачів та підвищення ефективності функціонування суб'єктів КТЕ шляхом скорочення неефективних витрат і створення умов для залучення інвестицій. У той же час потрібно розуміти, що підвищення ефективності діяльності суб'єктів КТЕ за умов державного регулювання, визначених законом [28], значною мірою здійснюється за допомогою законодавчого надання суб'єктам регулювання виняткових прав, а не шляхом розвитку конкуренції. За умов же конкуренції, споживачі і суб'єкти господарювання мали би право вибирати між кількома продавцями і покупцями. При цьому, окремий суб'єкт господарювання вже не буде визначати умови функціонування ринку.

Інакше кажучи, будь-яке регулювання, а тим більше управління функціонуванням суб'єктів КТЕ, засади якого визначаються законом України «Про теплопостачання» [11], має розглядатися Антимонопольним комітетом України під кутом зору запобігання антиконкурентних узгоджених дій та зловживання монополюючим (домінуючим) становищем на ринку, де під узгодженими діями розуміють укладення суб'єктами господарювання угод у будь-якій формі, прийняття їх об'єднаннями рішень у будь-якій формі, а також будь-яка інша погоджена ними конкурентна поведінка [29].

За законодавством України антиконкурентними узгодженими діями, зокрема, визнаються узгоджені дії, які стосуються [29]:

- встановлення цін чи інших умов придбання або реалізації товарів;
- обмеження виробництва, ринків товарів, техніко-технологічного розвитку, інвестицій або встановлення контролю над ними;
- розподілу ринків чи джерел постачання за територіальним принципом, асортиментом товарів, обсягом їх реалізації чи придбання, за колом продавців, покупців або споживачів чи за іншими ознаками;
- спотворення результатів торгів, аукціонів, конкурсів, тендерів;
- усунення з ринку або обмеження доступу на ринок (вихід з ринку) інших суб'єктів господарювання, покупців, продавців;
- застосування різних умов до рівнозначних угод з іншими суб'єктами господарювання, що ставить останніх у невідгідне становище в конкуренції.

У той же час, узгоджені дії можуть бути дозволені Антимонопольним комітетом, якщо їх учасники доведуть, що ці дії сприяють вдосконаленню виробництва, придбанню або реалізації товару, техніко-технологічному, економічному розвитку та раціоналізації виробництва. Саме у цій площині мають бути визначені принципи та правила функціонування систем регулювання і управління діяльністю суб'єктів КТЕ в умовах ринкових відносин, спрямовані, насамперед, на усунення таких негативних наслідків існування природних монополій, як нераціональне господарювання, встановлення завищених цін на продукцію і послуги та неналежну їх якість, відсутність мотивації до підвищення ефективності функціонування та зменшення собівартості продукції і послуг.

Нагадаємо, що ефективність (процесу, дії, роботи) це відносна величина, яка визначається відношенням ефекту (результату) до витрат, що обумовили й забезпечили його одержання. Це означає, що підвищення ефективності може досягатися різними способами та засобами, насамперед,

за рахунок отримання максимального ефекту при незмінних витратах, заданого ефекту при мінімальних витратах, максимального ефекту при мінімальних витратах тощо.

Тому ефективністю функціонування складних систем потрібно управляти і управляти науково-обґрунтованими методами, враховуючи той факт, що система складається з підсистем (елементів системи), які мають різну ефективність функціонування і управління якими потребує залучення різних методичних підходів (стратегій), наприклад, «підтягуванням» найбільш «слабких» елементів або впливаючи на всі підсистеми разом за середньоарифметичними або середньоквадратичними показниками.

Звернемо увагу, що на сьогодні практична більшість суб'єктів господарювання у сфері теплопостачання за своєю організаційною структурою є вертикально-інтегрованими системами, оскільки поєднують в собі підсистеми виробництва, транспортування і розподілення теплоти. При цьому, моделі ринків теплової енергії, які створено в країнах ЄС, та спроби організувати діяльність таких ринків в Україні шляхом виділення підсистем транспортування теплоти в окремі суб'єкти господарювання [30, 31] показують, що навіть за цих умов організаційна структура управління ефективністю функціонування сфери теплопостачання у цілому залишиться вертикально-інтегрованою.

В даній роботі під вертикально-інтегрованою структурою управління ефективністю функціонування систем КТЕ будемо розуміти ієрархічно структуровану багаторівневу систему управління бізнес-процесами, технологіями, компетенціями тощо суб'єктів господарювання (підсистем) КТЕ, які поєднуються у систему за принципом їх відносної організаційно-технологічної самостійності і спрямованості на узгоджену максимізацію консолідованого прибутку (мінімізацію середньозваженого тарифу на теплову енергію тощо), яка досягається ринковими методами та засобами підвищення ефективності функціонування кожного з цих суб'єктів та системи господарювання у цілому. А під поняттям «структура» тут і далі

будемо застосовувати системне поняття, яке характеризується елементами (підсистемами) і зв'язками між ними, що вирізняються наступними властивостями [32]: модифікація кожного з елементів системи потребує модифікації інших її елементів; режими функціонування кожного елемента та їх поведінка за умов модифікації мають бути узгоджені в межах системи; виникнення в системі нової якості визначається синергетичним ефектом і не зводиться до суми якостей її елементів. До того ж слід уявляти, що вертикально-інтегрована структура управління ефективністю функціонування систем КТЕ є багаторівневою, з підсистемами управління на державному, місцевому (обласному, районному, міському тощо) рівнях і на рівні підприємств та має охоплювати єдиним технологічним ланцюгом підсистеми виробництва, транспортування, розподілення і споживання теплоти.

Аналіз багато численних публікацій з дослідження питань підвищення ефективності використання паливно-енергетичних та природних ресурсів в економіці різних країн світу показує, що Україна займає одно з лідируючих позицій у переліку най затратних країн [8, 10, 14, 15]. Такий стан пояснюється багатьма об'єктивними і суб'єктивними факторами, визначальним серед яких є низька ефективність функціонування КТЕ, обумовлена моральним і фізичним зношенням генеруючого обладнання і розподільних мереж та браком коштів на їх модернізацію [33-37].

На Рис.2.1.1 представлено результати порівняльного аналізу змін за роками середньо статистичних значень енергоємності валового внутрішнього продукту (ВВП) України та країн Євросоюзу. Показники енергоємності ВВП, наведені на рис.1.1, виміряні за паритетом купівельної спроможності (ПКС, Purchasing Power Parity), значення якої розраховуються для багатьох країн світу і регулярно публікуються низкою міжнародних організацій, у першу чергу ООН, Світовим банком та Міжнародною енергетичною агенцією (МЕА) в умовних грошових одиницях – міжнародних доларах [38, 39].

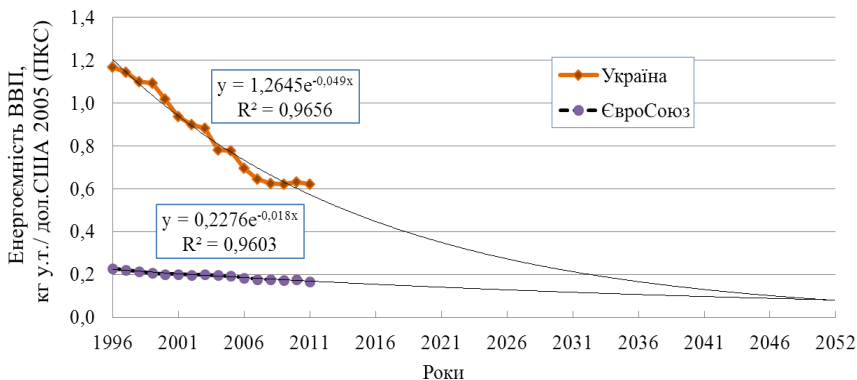


Рисунок 2.1.1 – Тенденції зміни по роках енергоємностей ВВП України та Євросоюзу

Джерело інформації: [www.yearbook.enerdata.net](http://www.yearbook.enerdata.net), власні розрахунки

Побудовані на Рис.2.1.1 за експоненціальним законом лінії трендів з наведеними рівняннями та величинами достовірності апроксимації показують, що за наявними в країнах, що порівнюються, темпами зменшення енергоємності, Україна в змозі досягти показники Євросоюзу десь на межі 50-х років 21 століття. При цьому ситуація з ефективністю використання ПЕР у системі тепlopостачання населення та господарюючих суб'єктів в Україні є ще більш гіршою ніж в економіці країни у цілому [5, 9, 29, 40-43].

За своїми розмірами та складністю система тепlopостачання в Україні належить до великих народно-господарчих систем, що має розвинуту інфраструктуру, яку формують 250 теплових електростанцій різного типу, близько 92 тис. промислових і опалювальних котелень, 500 тис. автономних теплогенераторів, понад 380 тис. центральних та індивідуальних теплових пунктів та 42 тис. км магістральних і розподільних теплових мереж у двотрубному обчисленні. За структурою споживання теплової енергії біля 70% споживають житлово-комунальне господарство (ЖКГ) та населення, промисловість – трохи більше 20%, а залишок – інші галузі.

За даними підприємств, які виробляють і відпускають тепло та гарячу воду населенню та на комунально-побутові потреби (крім підприємств, що

відпускають теплову енергію (теплоту) лише на виробничо-технологічні потреби підприємств та організацій) [44], сумарна потужність котельень в Україні на кінець 2013 року (міські поселення та сільська місцевість) склала 114,0 тис. Гкал/год, в тому числі: 21,0 тис. Гкал/год потужністю до 3 Гкал/год; 24,5 тис. Гкал/год потужністю від 3 до 20 Гкал/год; 22,5 тис. Гкал/год потужністю від 20 до 100 Гкал/год; 46,0 тис. Гкал/год потужністю від 100 і більше Гкал/год. Протяжність теплових та парових мереж на кінець цього року у двотрубному обчисленні склала 31314,1 тис. км, у тому числі ветхих та аварійних – 5,95 млн. км. Вироблено 96,5 млн. Гкал теплової енергії, витрачено 2,85 млн. Гкал теплової енергії на власні виробничі потреби котельень, відпущено 89,1 млн. Гкал теплової енергії. Втрати теплової енергії за рік склали 13,2 млн. Гкал.

На Рис.2.1.2 відображена динаміка змін за роками кількості опалювальних котельень у міських поселеннях і сільській місцевості в Україні за видами використаного первинного палива (ліва вісь ординат) та сумарної потужності (права вісь ординат) цих котельень.

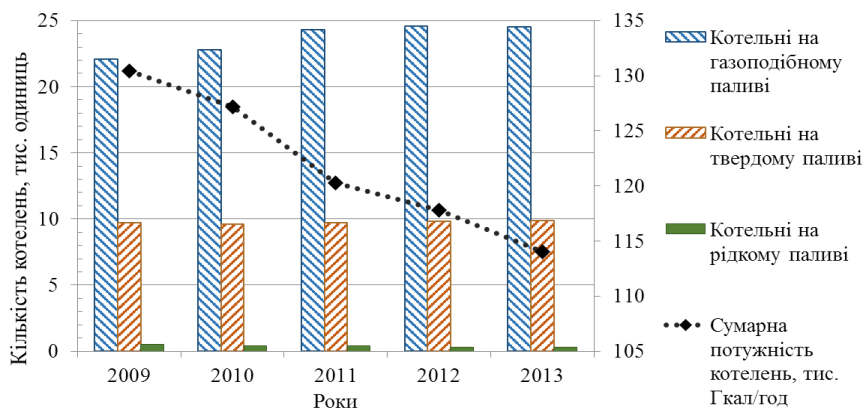


Рисунок 2.1.2 – Зміни кількості опалювальних котельень та їх сумарної потужності за 2009 - 2013 роки

Джерело інформації: <http://ukrstat.gov.ua/>

Видно, що сумарна потужність котельень неухильно зменшується за роками, що пояснюється, головним чином, відмовою частини споживачів від послуг централізованого теплопостачання.

На Рис 2.1.3. відображена динаміка змін за роками обсягів виробленої і відпущеної теплової енергії (права вісь ординат) та її витрат на власні потреби і втрат при виробництві і транспортуванні в міських поселеннях і сільській місцевості в Україні (ліва вісь ординат).

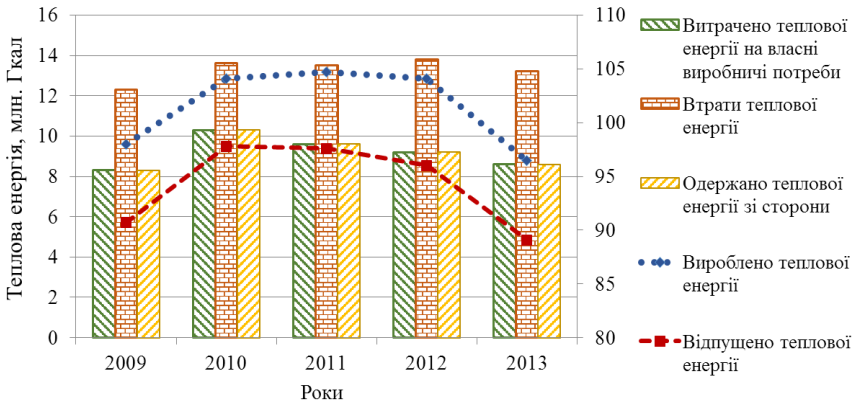


Рисунок 2.1.3 – Зміни показників роботи опалювальних котельень за 2009 - 2013 роки (міські поселення та сільська місцевість)

Джерело інформації: <http://ukrstat.gov.ua/>

Основну увагу у роботі приділено системам централізованого і помірно-централізованого тепlopостачання, які надають комунальні послуги з опалення і гарячого водopостачання, насамперед, населенню та на комунально-побутові потреби. За даними 2013 року в Україні функціонує 21 обласне і 17 міських об'єднань та підприємств комунальної теплоенергетики, які за розмірами та складністю є регіональними системами КТЕ, що у сукупності забезпечують послугами з централізованого опалення близько 60 %, а гарячим водopостачанням – понад 40 % загальної площі житлового фонду країни. До складу КТЕ (з повною чи відокремленою частиною комунальної власності) входять: 8 ТЕЦ, понад 11 тис. опалювальних котельень, де встановлено близько 30 тис. котлів різної потужності; близько 20 тис. км теплових мереж у двотрубному обчисленні; 3,5 тис. центральних теплових пунктів [1, 2, 5].

Ефективність використання ПЕР у системах КТЕ в Україні є вкрай низькою [1, 2, 5, 29, 40-42]. Так, середнє значення питомих витрат палива на



відпуск теплоти опалювальними котельними системи централізованого теплопостачання (СЦТ) в цілому по країні становить 141,7 кг у.п. /МВт·год. (164,8 кг у.п./Гкал), в тому числі міськими котельними – 141,4 (164,5) і сільськими – 147,3 (171,3), що відповідає ККД нетто котелень 86,5 %, 86,6 % і 83,3 %, відповідно. У той же час сучасні котли матимуть питомі витрати палива на відпуск теплоти не вище за 132,0-133,4 кг у.п./МВт·год. та ККД нетто 92-93 %.

За інформацією Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України (Держстат, форма 11-МТП за 2013 рік), із загального обсягу виробництва теплоти в Україні у 2013 році (164,0 млн. Гкал), обсяги централізованого теплопостачання склали 89,0 млн. Гкал (103,5 млрд. кВт·год.), у тому числі населенню – 51,9 млн. Гкал, на комунально-побутові потреби – 20,6 млн. Гкал, на виробничі потреби – 10,3 млн. Гкал, іншим підприємствам – 6,2 млн. Гкал. Внаслідок використання недосконалого управління і застарілого обладнання витрати умовного палива на відпуск теплоти в СЦТ становили 15,1 млн. т у.п. (105,7 млн. Гкал). При цьому втрати склали 15,8 %. Втрати теплоти в інженерних мережах зафіксовано в обсязі 13,2 млн. Гкал, тобто 14,9 % від загальної кількості виробленої теплоти (фактичні втрати теплоти в мережах є ще більшими і досягають 20-30 %). Загальна зношеність теплових мереж на сьогодні доходять до 70 %. Для порівняння, втрати теплоти в теплових мережах розвинених країн Європи коливаються в межах 4-6 % і не перевищують 8 % [36, 37].

Фактичні витрати на виробництво, транспортування і використання теплоти та електричної енергії в КТЕ не відповідають сьогодні платоспроможності більшості верств населення країни, що обумовлює необхідність надання субсидій як споживачам, так і виробникам енергії і постачальникам первинних ПЕР.

Ситуацію, в якій опинилася система теплопостачання в Україні, можна і потрібно класифікувати як кризову, яка посилюється вкрай загостреними

протиріччями у соціально-економічній системі країни та яка є прямою загрозою для існування, нормального функціонування і конкурентоспроможності комунальної теплоенергетики країни [29, 40-43].

Складний характер накопичених проблем потребує комплексного вирішення наукових і практичних задач підвищення ефективності функціонування і управління місцевими (регіональними) системами КТЕ, як складними енергетичними системами, розробку методів їх дослідження, включаючи тепло- і електроенергетичні підсистеми, з урахуванням організаційних, техніко-економічних, екологічних, технічних і технологічних аспектів виробництва, транспортування і використання теплоти та електричної енергії, спрямованих на підвищення енергоефективності та енергозбереження.

З точки зору управління виходом з кризи ситуація, що склалася, визначається наступними основними факторами [36, 37, 43]: несприятлива державна політика в галузі, відсутність на державному і місцевому рівнях дієздатної стратегії виходу з кризи; падіння рівня життя, низький рівень доходів більшої частини населення; зниження попиту на продукцію підприємств СЦТ та одночасне зростання попиту на продукцію підприємств-конкурентів; підвищення цін на сировину і технічне оснащення; інноваційні розробки підприємств-конкурентів; старіння і погіршення технічної бази підприємств СЦТ: знос, моральне старіння, використання технологій, що призводять до надмірних втрат і зниження якості продукції; недостатня організація управлінської структури; відсутність програм з мінімізації втрат та виходу з кризи, що охоплюють питання використання більш дешевших енергетичних, матеріальних і сировинних ресурсів, впровадження ресурсозберігаючих технологій тощо.

В Україні прийнято ряд законодавчо-нормативних актів, урядових програм і планів, у тому числі закони України «Про теплопостачання», «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу», «Про житлово-комунальні

послуги», Державну цільову економічну програму модернізації комунальної теплоенергетики на 2010-2014 роки. Відповідно до Національного плану дій з енергоефективності до 2020 року [6, 45], Україна, як Договірна Сторона Енергетичного Співтовариства, заявила про наміри виконання Директиви 2006/32/ЄС щодо енергетичної ефективності кінцевого використання енергії та енергетичних послуг, Директиви 2010/31/ЄС щодо енергоефективності в будівлях, Директиви 2010/30/ЄС щодо маркування енергетичної продукції. Однак ситуація в галузі комунальної теплоенергетики в Україні залишається кризовою:

1. Досі не створено дієздатної системи організаційно-технологічного управління підприємствами галузі, що функціонує за нерозривним технологічним ланцюгом: постачальник ПЕР – виробник комунальних послуг – споживач, побудованої на всіх рівнях ієрархічної структури управління за принципами єдиної політики та системно узгоджених цілей і завдань.

2. Мотивація і стимулювання підвищення 3-Е ефективності в КТЕ України практично не розглядаються органами влади в якості фінансово-економічних інструментів прямої дії, а логіка – ринок у всьому розбереться, не спрацює. При цьому, заходи з підвищення 3-Е ефективності на місцевому рівні фактично вважаються витратними, а не такими, що стимулюють розвиток економіки регіону і дозволяють одержувати додаткові вигоди і прибуток.

3. Не розвинута інфраструктура ринків, спрямованих на підвищення 3-Е ефективності, що починається з діяльності спеціалізованих, у першу чергу, енергосервісних компаній, не створено передумов для розвитку приватного бізнесу у сфері підвищення 3-Е ефективності і залучення інвестицій.

4. Фінансово-економічні умови діяльності об'єктів комунальної інфраструктури визначаються за принципами «виживання», які навіть не

передбачають можливостей проведення модернізації об'єктів КТЕ з урахуванням енергозберігаючих технологій.

Питанням аналізу стану та перспективам розвитку систем теплопостачання в Україні присвячено багато наукових праць, серед яких у першу чергу слід відмітити такі фундаментальні монографії і аналітичні доповіді, як [1, 2, 4-9, 36, 37, 46], де зроблено однозначний висновок, що на сьогодні комунальна теплоенергетика не відповідає сучасним вимогам за техніко-економічними, енергетичними та екологічними показниками і потребує оновлення та модернізації, насамперед, шляхом впровадження нових технологій та підвищення ефективності функціонування і покращення якості управління.

Серед можливих альтернатив розвитку систем КТЕ розглядаються системи автономного (внутрішньобудинкового), децентралізованого, помірно-централізованого і централізованого теплопостачання [36, 47]. Відмічається висока конкурентоспроможність СЦТ в умовах ущільненої забудови міських районів і великих теплових навантажень, її висока енергетична, економічна та екологічна ефективність при застосуванні сучасних технологій комбінованого виробітку теплоти і електричної енергії, теплових насосів, новітніх технологій і матеріалів у теплових мережах, можливість використання місцевих і альтернативних видів палива, зокрема, технологій чистого спалювання побутових і промислових відходів, вугілля, біопалива, найменший серед відомих систем теплозабезпечення шкідливий вплив на довкілля та на здоров'я людини.

В аналітичних матеріалах [5, 30] достатньо повно проаналізовано стан та перспективи використання СЦТ в ряді розвинених країн світу. Наведено, що наприкінці 20 століття системи централізованого теплопостачання з використанням технологій комбінованого виробітку теплової та електричної енергії стали домінуючими у Данії, Німеччині, Фінляндії, Швеції, Австрії, Норвегії, Нідерландах, Польщі, Латвії, Литві, Естонії тощо, де кліматичні умови близькі українським. При цьому зазначено, що автономні і

децентралізовані системи теплозабезпечення – це системи, які в переважній своїй більшості працюють на природному газі чи електроенергії. Так, що навіть у разі їх 100 % застосування не вдасться заощадити більше ніж 3-5 % природного газу, що використовується в системі теплозабезпечення країни. Слід також прийняти до уваги, що можливості розподільних газотранспортних та електричних мереж в містах не розраховані на покриття теплових навантажень і тому потребуватимуть модернізації, вартість якої буде не набагато меншою від модернізації теплових мереж.

Разом з тим, можливості економії природного газу в СЦТ набагато ширше. Тому у згаданих зарубіжних країнах в останні десятиліття інтенсивно споруджуються і експлуатуються такого роду системи. Позитивний ефект досягається шляхом реструктуризації і приватизації підприємств КТЕ, демонополізації і лібералізації ринку теплової енергії, застосування дієвих засобів управління та ринкових методів формування тарифів, використання сучасних технологій екологічно чистого спалювання вугілля, низькосортного масляного палива, а також побутових відходів та вторинних енергетичних ресурсів в когенераційних установках, що стає технічно можливим і економічно виправданим тільки у великих енергетичних системах. Окрім цього, до переліку основних технологій сталого розвитку систем КТЕ мають входити сонячні колектори і вітроустановки, теплові насоси і термотрансформатори, інші нетрадиційні і відновлювані джерела енергії.

Серед об'єктивних передумов активного впровадження автономних (децентралізованих) систем теплопостачання слід відзначити наступні: відсутність у ряді випадків вільних потужностей на централізованих джерелах та/або недостатня розвиненість інженерної інфраструктури в умовах ущільнення забудови міських районів; більш низькі капіталовкладення і можливість поетапного покриття теплових навантажень; можливість підтримки комфортних умов у квартирі за власним бажанням, що в свою чергу є більш привабливим у порівнянні з квартирами при

централізованому теплопостачанні, температура в яких залежить від директивного рішення про початок та закінчення опалювального періоду; поява на ринку великої кількості різних модифікацій вітчизняних та імпортованих (закордонних) теплогенераторів малої потужності.

У той же час слід відзначити, що питання про перехід на автономне теплопостачання в масштабах міста (району) є складним і потребує застосування комплексного підходу з урахуванням енергетичних, техніко-економічних та екологічних факторів, у тому числі урахування пропускну здатності наявних систем електро- та газопостачання.

Основним стимулом економічної доцільності широкого розповсюдження в містах України систем автономного теплопостачання стала диспропорція цін на природний газ для підприємств КТЕ та населення. При цьому, проводячи системний аналіз переваг і недоліків систем централізованого та автономного теплопостачання, постачальники газового обладнання для індивідуального опалення не акцентують уваги на цілому ряді ключових факторів, у першу чергу таких, як: альтернативної заміни природному газу в автономних системах теплопостачання немає, так що вартість їх експлуатації буде стрімко зростати в умовах переходу на ринкові ціни за природний газ; не враховується реальна вартість переходу від централізованого опалення до індивідуального, а це оплата заміни опалювальної техніки, систем вентиляції, ремонту і перевірки лічильника газу тощо, а також приєднання до газових мереж; не враховується реальна вартість модернізації газових розподільних мереж, пропускну спроможність яких не розрахована на забезпечення теплових навантажень з опалення; споживачів не інформують про підвищення рівня забруднення території біля будівлі та шкідливий вплив автономних систем теплопостачання на здоров'я всіх мешканців багатоквартирного будинку (співробітників установи тощо), про ті нещасні випадки, які відбуваються внаслідок необережного використання газу в побуті.

На думку фахівців, частка систем автономного (внутрішньобудинкового) та децентралізованого (потужність джерел від 1 до 3 Гкал / год) тепlopостачання в містах повинна складати до 10-15 % від ринку теплової енергії. Такі системи, оснащені сучасними котлами з коефіцієнтом корисної дії 92÷95 %, з точки зору споживання природного газу є більш економічними за централізованих систем з ККД 82÷86%.

Значні резерви економії первинних ПЕР сконцентровані в системі кінцевого споживання теплоти. Так, середнє питоме річне енергоспоживання житлового фонду України, який є основним споживачем теплової енергії, становить 267 кВт·год/м<sup>2</sup> і варіюється від 145 до 327 кВт·год/м<sup>2</sup> в залежності від типу будівлі та кліматичної зони, в якій будівля розташована. У той же час, за даними СБРР, у Норвегії питоме енергоспоживання домашніх господарств поблизу м. Осло в середньому 140÷170 кВт·год/м<sup>2</sup>. У Болгарії, клімат якої відповідає 3-4 кліматичній зоні України, енергоспоживання житловим сектором в середньому складає 100÷130 кВт·год/м<sup>2</sup>.

Що стосується перспектив підвищення 3-Е ефективності систем КТЕ в Україні, то за Законом України [48] серед основних напрямів підвищення екологічної ефективності виробництва визначено енергозбереження, розвиток відновлюваних та альтернативних джерел енергії, збільшення обсягів використання джерел енергії з низьким рівнем викидів CO<sub>2</sub>, ресурсозбереження, зменшення питомого споживання природних ресурсів на одиницю виробленої продукції тощо.

### **2.1.2. Проблемні питання та особливості ВІОТ управління підвищенням ефективності функціонування систем КТЕ в Україні**

Незважаючи на велику кількість фундаментальних публікацій, присвячених проблемам підвищення енергетичної, економічної і екологічної ефективності у світі та в Україні, де розглядаються питання організаційно-технологічного управління енергозбереженням на рівні економіки країни у цілому та в окремих секторах економіки, у тому числі у системах КТЕ [8, 9,

11, 13-15, 41, 49 та ін.], потрібно відзначити суто вербальний характер розгляду цих питань та відсутність формалізованих моделей.

Теоретичні основи управління як процесу цілеспрямованого впливу на об'єкт управління достатньо широко і глибоко розроблені у класичних роботах таких вчених, як М.А. Айзерман, Е.П. Попов, М.М. Красовський, О.А. Фельдбаум, Я.З. Ципкін, Л.С. Понтрягін, В.Г. Болтянський, Р.Е. Kalman, R. Bellman, Е.В. Lee, R. Tomovich, А.Р. Sage, та багато інших. Сформульоване у цих роботах поняття управління автори відносять до класу складних системних понять, що визначається упорядкованими множинами елементів та зв'язків між ними, у першу чергу таких складових як об'єкт управління (ОУ), орган управління, мета, метод та алгоритми управління, впливи і збурення.

Система автоматичного управління об'єктом поєднує у єдину систему управління об'єкт і орган управління (регулювання), канали вхідного впливу  $X$  і збурень  $\Psi$  оточуючого середовища на ОУ та вихідного впливу  $Y$  об'єкта управління на зовнішнє середовище, канали впливу управляючої (регулюючої) дії  $U$  на ОУ та канали прямого ( $D$ ) і зворотного ( $B$ ) зв'язку. При цьому, за наявними прямими зв'язками  $D$  у такій системі реалізуються переваги принципу управління по збуренню, а за зворотними зв'язками  $B$  – принципу управління по відхиленню (розузгодженню).

На жаль вирішити задачу багаторівневого ВІОТ-управління ефективністю функціонування такої великої системи як КТЕ України застосуванням виключно класичних методів управління не вдається, оскільки окрім технологічних аспектів необхідно враховувати енергетичні, економічні, екологічні, організаційні та соціально-політичні фактори взаємодії між суб'єктами (елементами) системи. Останні грають принципово важливу роль у вирішенні проблем підвищення ефективності функціонування системи КТЕ України, де складність управлінських завдань посилюється необхідністю безумовного забезпечення споживачів життєво необхідними послугами навіть в умовах неплатоспроможності населення.



Відкритим в межах класичної теорії залишається також питання побудови математичної моделі управління 3-Е ефективністю у системі КТЕ України, де канали  $X$  і  $Y$  системи виконують функції каналів передачі “силової” інформації щодо обсягів і вартості спожитих паливно-енергетичних і природних ресурсів, а канали  $B$  і  $D$  – “управлінської” інформації щодо значень контрольованих в ОУ енергетичних, економічних і екологічних параметрів.

Теорія багаторівневого ВІОТ-управління є відносно молодою, що почала активно розвиватися у 60-х роках минулого століття з появою потужної обчислювальної техніки зусиллями таких вчених, як А.Г. Аганбегян, В.Н. Бурков, В.А. Волконський, Ю.М. Єрмольєв, О.Г. Івахненко, В.С. Михалевич, М.М. Моїсєєв, Г.С. Поспєлов, Ю.М. Фаткін, Н.З. Шор, М.А. Adelman, К.Ж. Arrow, Р. Bellman, W.E. Miller, D. Macko, M.D. Mesarovich, J.D. Pearson, Y. Takahara та інші.

На наступний час достатньо розвинуто теорію одно- та багатоцільових рішень в однорівневих системах. Наукових робіт, присвячених математичним аспектам теорії багаторівневих ієрархічних систем, набагато менше. Серед останніх у першу чергу необхідно відмітити роботи [50-53], де на основі теоретико-множинної концепції вирішено задачу координації взаємодій у дворівневій системі, що складається з підсистем управління нижнього рівня, підпорядкованих органу управління верхнього рівня.

Відкритими в задачі побудови математичної моделі ВІОТ-управління 3-Е ефективністю у системі КТЕ України, що формулюються в даній роботі, залишаються питання поєднання двох розглянутих підходів з метою визначення структури багаторівневої ієрархічно побудованої системи управління 3-Е ефективністю у системі КТЕ України, формалізації факторного і параметричного полів для кожного з рівнів ієрархії управління та удосконалення методів і алгоритмів розв’язання задачі цільового управління 3-Е ефективністю у такій системі.

Узагальнюючи такий підхід, слід відзначити, що окрім згаданих вище класифікаційних ознак система управління 3-Е ефективністю у системі КТЕ України має бути віднесена до класу програмно-адаптивних систем екстремального управління [54, 55], оскільки: по-перше, стан об'єкта управління цієї системи характеризується показниками енергетичної, економічної та екологічної ефективності, які є функцією параметрів ОУ; по-друге, метою управління є досягнення екстремуму функціоналу, що характеризує залежність обсягів досягнутого ефекту від обсягів фінансування в умовах проведення змін структури і технологічних параметрів ОУ; по-третє, екстремальний характер носять залежності вигоди-витрати на реалізацію організаційно-технічних заходів з управління 3-Е ефективністю у системі КТЕ; і наприкінці – ВІОТ-управління 3-Е ефективністю у системі КТЕ України являє собою складну ієрархічно побудовану систему, організаційно-технічні заходи з управління в якій здійснюються на різних рівнях ієрархії. Тобто, до основної мети управління, яка полягає у досягненні оптимальних з енергетичної, економічної та екологічної точок зору обсягів енергозбереження, додаються ще екстремальні критерії якості досягнення цього результату технологічно-та-соціально доцільними з організаційно-технічної точки зору заходами.

З точки зору подальшої формалізації та побудови математичної моделі ВІОТ-управління 3-Е ефективністю у системі, що розглядається, розв'язання задач екстремального управління пропонується здійснювати шляхом їх декомпозиції на ряд більш простих задач за наступним алгоритмом. На першому етапі пропонується вирішувати задачі досягнення екстремальної мети у системі шляхом проведення виключно організаційно-технічних заходів з енергозбереження (тобто, шляхом варіації організаційно-технічних параметрів управління при незмінних інших). В такій постановці вихідна задача управління допускає рішення у класі оптимізаційних задач математичного програмування, де для розв'язання ринкових аспектів управління існують теоретико-ігрові підходи та алгоритми, наприклад, будь-

яка дискретна гра може бути зведена до еквівалентної задачі лінійного програмування і навпаки [56, 57]. Така взаємозамінність є принциповою, оскільки з ринкової точки зору суб'єкти КТЕ України з одного боку належать до різних форм власності, включаючи державну і муніципальну, а з іншого – є монополістами, для яких вищий орган управління має право самостійно змінювати правила гри, що в більшості випадків моделювання вкрай ускладнює застосування інших теоретико-ігрових підходів, але ж дозволяє ефективно і головне прозоро застосовувати методи математичного програмування.

На другому етапі розв'язання задачі екстремального управління можливо приступати до варіювання технологічних параметрів об'єкту управління. Задля вирішення цієї задачі потрібно залучення методів планування оптимального експерименту [58], оскільки зміна технологічних параметрів об'єкту управління, як правило, пов'язана з впровадженням нових енергоефективних та екологічно ошадливих технологій і обладнання. При цьому, діапазони варіювання параметрів об'єкту управління доцільно розбивати на низку піддіапазонів, де технологічні параметри об'єкту можливо вважати незмінними, та послідовно проводити розв'язання задачі екстремального управління для кожного з піддіапазонів, а наприкінці – серед знайдених локальних екстремумів вибирати глобальний. Зрозуміло, що у даному випадку реалізація розглянутого алгоритму розв'язання задачі екстремального управління шляхом її декомпозиції на ряд більш простих потребує проведення додаткових процедур кусочно-лінійної апроксимації технологічних параметрів і параметрів управління.

Узагальнена структурно-функціональна схема системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю в КТЕ України показана на Рис.2.1.4.

Як видно, ієрархія системи складається з чотирьох рівнів (підсистем) управління.

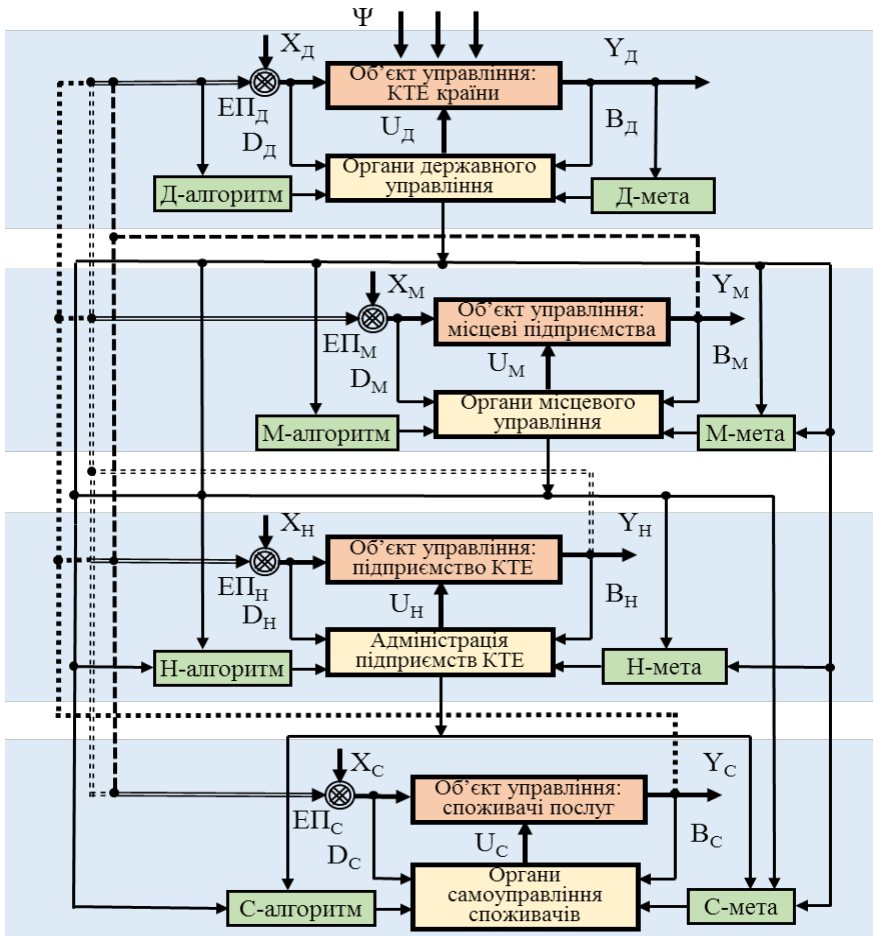


Рисунок 2.1.4 – Структурно-функціональна схема системи ВІОТ управління

Ці рівні на Рис.2.1.4 означені нижніми індексами, відповідно: загальнодержавного –  $D$ ; регіонального (обласного, районного, міського, селищного тощо) –  $M$ ; господарюючих суб'єктів системи КТЕ (підприємств) –  $H$ ; і споживчого –  $C$ . , де кожен з рівнів управління характеризується різною природою об'єктів та органів управління, різними цільовими функціями, різними методами та алгоритмами ВІОТ управління –

організаційно-адміністративними, нормативно-правовими, техніко-технологічними і техніко-економічними.

На кожному рівні системи ВІОТ управління, представленої на рис. 2.1.4, визначаються канали збурень  $\Psi$  оточуючого середовища, вхідного  $X$ , вихідного  $Y$  та регулюючого  $U$  впливів, прямих  $D$  та зворотних  $B$  зв'язків (останні на Рис. 2.1.4 означені штрих-пунктирними лініями). Узагальнену систему управління доповнено елементами порівняння (ЕП) та міжсистемними зв'язками, які призначені для врахування комплексного 3-Е ефекту, досягнутого на нижчих рівнях ієрархії.

Як видно, органи державного управління перш за все впливають на мету та алгоритми функціонування (пошук оптимальних рішень) органів місцевого управління, що дозволяє послідовно (зверху-вниз та знизу-вверх) проводити корегування їх діяльності та підвищувати ефективність системи управління за результатами контролю досягнутого рівня енергетичної, економічної та екологічної ефективності на всіх рівнях ієрархії системи, включаючи і споживання житлово-комунальних послуг з опалення та гарячого водопостачання, що є принциповим у ринкових умовах функціонування системи.

Деталізовану на рівні підсистеми господарюючих суб'єктів (підприємств) частину структурно-функціональної схеми системи управління 3-Е ефективністю у КТЕ України наведено на Рис.2.1.5 [3].

Видно, що об'єкт управління підсистеми (господарюючий суб'єкт ЖКГ) під дією управляючих впливів  $U_Q$ ,  $U_P$  та  $U_E$  споживає енергетичні та екологічні ресурси в обсязі  $X_{QR}$  та  $X_{QE}$ , відповідно, та виробляє обсяги  $Y_{QQ}$  житлово-комунальних послуг з опалення та гарячого водопостачання, за надання яких отримує кошти в обсязі  $X_{PQ}$ , частину  $Y_{PR}$  яких витрачає на закупівлю енергетичних ресурсів. Оскільки виробництво не є замкненим, то за відходи, що утворюються в обсязі  $Y_{QE}$ , підприємство має здійснювати екологічні платежі до бюджету в розмірі  $Y_{PE}$ . При цьому за продаж лімітів викидів, обумовлених міжнародними (а у подальшому і національними)

договорами, суб'єкти КТЕ можуть отримувати екологічні доплати у розмірі  $X_{PE}$ .

Механізм програмно-адаптивного екстремального управління 3-Е ефективністю на Рис. 2.1.5 представлений чотирма колами зворотного зв'язку ЗЗ, означеними нижніми індексами, які відрізняються одиницями виміру змінних, а саме:  $Q$  – для фізичних, а  $P$  – для грошових одиниць, де додаткові індекси  $E$  та  $C$  виділяють, відповідно, екологічні та соціальні параметри та елементи підсистеми.

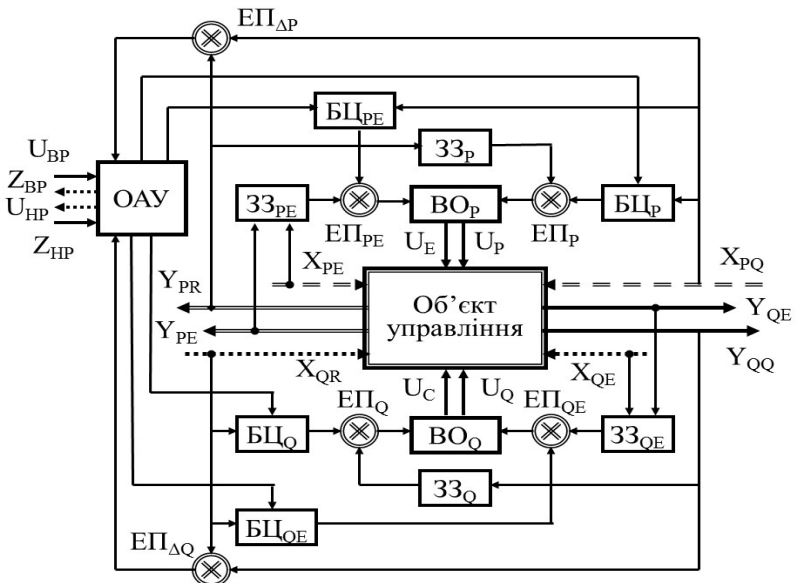


Рисунок 2.1.5 – Структурно-функціональна схема системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю на рівні господарюючих суб'єктів

Принциповою відмінністю розглянутого механізму управління від відомих систем автоматичного регулювання по відхиленню є наявність підсистеми програмно-адаптивного управління, що включає: (а) орган адміністративно-організаційного управління ОАУ (для даного ієрархічного рівня підсистеми – це адміністрація та відповідні служби підприємства); (б) блоки вироблення цільових програмних завдань БЦ (означені відповідними зворотнім зв'язком індексами); та (в) виконавчі органи ВО, які виконують

функції екстремальних регуляторів. Зовнішні зв'язки з верхнім  $U_{BP} = (U_Q, U_P, U_E, U_C)_{BP}$  і  $Z_{BP} = (Z_Q, Z_P, Z_E, Z_C)_{BP}$  та нижнім  $U_{HP} = (U_Q, U_P, U_E, U_C)_{HP}$  і  $Z_{HP} = (Z_Q, Z_P, Z_E, Z_C)_{HP}$  рівнями ієрархічної структури системи управління енергозбереженням здійснюються за допомогою ОАУ та його служб.

У запропонованому механізмі на всіх ієрархічних рівнях його застосування визначаються стратифікаційні підсистеми управління, – рівні структурно-функціонального абстрагування підсистем системи управління. У даному механізмі пропонується розглядати п'ять різновидів стратифікаційних підсистем управління: адміністративно-організаційна, технологічна, економічна, екологічна та соціальна, які на Рис.2.1.5 представлені відповідними блоками, управляючими і зворотними зв'язками.

Слід розуміти, що узагальнений технологічний процес, представлений на цьому рисунку єдиним блоком ОУ, у дійсності складається з декількох, як правило, взаємозалежних технологічних процесів, для кожного з яких потрібно створювати та розглядати аналогічні елементи (блоки) та управляючи і зворотні зв'язки. За тим же принципом потрібно деталізувати і блоки інших ієрархічних рівнів управління, представлених на Рис.2.1.4 (за окремими областями, містами, підприємствами, окремими споживачами тощо).

У цілому, систему ВІОТ-управління 3-Е ефективністю функціонування КТЕ України можна класифікувати як складну ієрархічно побудовану систему, яка з точки зору задачі оптимального управління являє собою багатопараметричний об'єкт типу “дуже складний ящик” з багатьма локальними екстремальними характеристиками, значення показників ефективності та якості яких змінюються через деякий час після зміни параметрів управління, що потребує врахування динамічних властивостей (інерції) як об'єктів, так і органів управління. Тому, застосування традиційних підходів до математичного моделювання таких систем стає нерациональним через складність та надмірні розміри об'єкту моделювання (через “прокляття розмірності”).

Пропонується наступний алгоритм ВІОТ-управління 3-Е ефективністю функціонування КТЕ, що складається з поетапного проведення таких процедур:

а) верифікації (перевірка істинності, встановлення достовірності) параметрів управління за результатами натурного експерименту поведінки системи КТЕ до варіації управляючої дії (параметрів управління);

б) ідентифікації (ототожнення, прирівняння) параметрів управління на економіко-математичної моделі системи КТЕ до варіації параметрів управління (до реалізації заходів з підвищення 3-Е ефективності);

в) параметричного моделювання режимів управління 3-Е ефективністю до варіації параметрів управління;

г) техніко-економічного обґрунтування потенційно привабливих заходів з підвищення 3-Е ефективності та прийняття рішення щодо варіації параметрів управління;

д) параметричного моделювання системи КТЕ за варіацією параметрів управління (після реалізації на моделі заходів з підвищення 3-Е ефективності);

е) ідентифікації параметрів управління 3-Е ефективністю за результатами модельних та/або натурних експериментів до і після варіації параметрів управління;

ж) верифікації отриманих даних за результатами фактичної реалізації заходів з підвищення 3-Е ефективності.

З математичної точки зору проведення формалізації та визначення параметрів системи управління здійснюється шляхом заміни означених змістовних процедур управління 3-Е ефективністю відповідними операторами і функціоналами. Ключовими й найбільш складними процедурами формалізації є ідентифікація параметрів об'єкта і системи управління у цілому з параметрами економіко-математичної моделі як до (процедура б), так і після реалізації заходів з підвищення 3-Е ефективності



(процедура  $f$ ), а також їх зв'язок з процедурою  $d$  прийняття рішення щодо доцільності варіації параметрів управління.

За розглянутим алгоритмом, задача оптимального (екстремального) управління ефективністю функціонування системи КТЕ у цілому формалізується у вигляді сукупності розв'язків задач максимізації локальних показників ефективності (якості) функціонування об'єкта управління системи з подальшим застосуванням процедури ранжирування для визначення глобального екстремуму:

$$ЦФ = ЦФ(X, U, G) \rightarrow opt, \quad (2.1.1)$$

де  $X$  – вектор параметрів вхідних ресурсів об'єкта управління (паливно-енергетичних, фінансових, трудових тощо),  $U$  – вектор параметрів регулюючих впливів системи управління,  $G$  – матриця технологічних коефіцієнтів об'єкта управління (технологічна матриця перетворення вхідних ресурсів).

У сукупності, це дозволяє класифікувати систему ВІОТ-управління ефективністю функціонування КТЕ України як складну багаторівневу систему з ієрархічно побудованою структурою, яка з точки зору задачі оптимального управління складається з багатопараметричних об'єктів типу “дуже складний ящик”, значення показників ефективності та якості яких змінюються у часі, що потребує застосування комплексного підходу та спеціалізованих алгоритмів до математичного моделювання таких систем через складність та великі розміри задачі моделювання.

### **2.1.3. Засоби та механізми нормативно-правового забезпечення заохочувального регулювання та економічного стимулювання підприємств КТЕ до підвищення 3-Е ефективності**

За умов обмежених обігових коштів підприємств і високих банківських ставок за кредитами в Україні, в декілька разів більших, ніж в розвинутих країнах, для фінансування 3-Е проектів (енергозберігаючих заходів, ЕЗЗ) доцільно використовувати економію коштів, досягнуту внаслідок зниження

технологічних (технічних та комерційних) втрат паливно-енергетичних та природних ресурсів, складова яких у структурі загальних матеріальних витрат підприємств (установ) в Україні швидко зростає (практично втричі) протягом 90-х років і за темпами свого повернення до економічно обґрунтованого їх рівня за останнє десятиріччя суттєво відстає не тільки від розвинутих країн, а й від більшості країн, що розвиваються [4, 7-11].

Нерішучі спроби уряду країни виправити цю вкрай негативну тенденцію постановами непрямої дії та державними програмами, не забезпеченими належним фінансуванням, призвели до того, що величезний потенціал енергозбереження в Україні залишається практично невикористаним, а сама проблема вже вийшла на рівень загрози енергетичній безпеці держави [5-7].

Розв'язання цієї проблеми не є простим і з наукової точки зору потребує проведення комплексу досліджень, цілеспрямованих на розробку методичних засад та ринкових механізмів стимулювання підприємств та установ до підвищення енергоефективності та енергозбереження, створення відповідної законодавчо-правової бази та впровадження на підприємствах (в установах тощо) спеціального економічного порядку реалізації 3-Е проєктів, який забезпечує сприятливі умови для використання досягнутої економії паливно-енергетичних та природних ресурсів у якості обмінного товару для залучення інвестицій [3, 12, 35, 43, 59, 60].

При цьому, слід підкреслити, що підхід до розв'язання проблеми підвищення ефективності використання паливно-енергетичних та природних ресурсів в країнах пострадянського простору і, насамперед в Україні з її енергоємною структурою виробництва, має бути значною мірою специфічним і спрямованим на перехід до ринкових методів економічного регулювання і стимулювання енергоефективності та енергозбереження шляхом поступової відмови від директивних адміністративно-командних методів централізованого управління енергозбереженням, що базуються на спотвореній системі цін, тарифів і заробітних плат, на перехресному

субсидуванні споживачів та недосконалому обліку використання енергоресурсів.

Розв'язанню цієї актуальної для економіки країни проблеми присвячені фундаментальні наукові праці багатьох українських вчених і дослідників, насамперед таких, як В.М. Гесць, М.В. Гнідий, С.П. Денисюк, А.А. Долінський, В.А. Жовтянський, О.В. Кириленко, М.П. Ковалко, С.О. Кудря, М.М. Кулик, В.Е. Лір, О.Ю. Майстренко, О.В. Новосельцев, Г.Г. Півняк, А.В. Праховник, В.П. Розен, Б.С. Стогній, О.М. Суходоля, А.К. Шидловський. Аналогічні підходи розглядаються також в публікаціях російських вчених І.А. Башмакова, А.А. Макарова, С.Б. Сіваєва та інших. У той же час робіт, присвячених дослідженню саме ринкових методів економічного регулювання і стимулювання енергоефективності та енергозбереження і розробленню на цій основі дієздатних в умовах перехідної економіки економічних механізмів регулювання та проектів нормативно-правових документів, що їх реалізують, вкрай недостатньо, хоча на концептуальному рівні такий підхід неодноразово формулювався як українськими, так і зарубіжними дослідниками [1-15, 49].

Під економічним регулюванням суб'єктів господарської діяльності в умовах ринкової економіки розуміють сприятливий вплив на економіку підприємства з боку відповідних керуючих та регулюючих органів з метою підтримки економічних процесів на оптимальному рівні і для запобігання і припинення несприятливих явищ. В широкому значенні, економічне регулювання включає в себе компоненти прогнозування, планування, фінансування, бюджетування, оподатковування, кредитування, інвестування, адміністрування, обліку і контролю.

В централізованій економіці регулювання здійснюється за допомогою переважно директивних, розпорядницьких методів, а в ринковій – шляхом використання в основному ринкових механізмів (економічних регуляторів). У відповідності з цим, розрізняють директивне регулювання, економічне регулювання та ринкове саморегулювання. Економічне регулювання передбачає обов'язкову наявність економічних і матеріальних стимулів для

досягнення поставленої мети. В будь-якому випадку, основною метою державного регулювання має бути відстоювання громадських і державних інтересів.

Під стимулюванням енергоефективності та енергозбереження будемо розуміти використання матеріальних стимулів для спонукання (заохочувального регулювання, *incentive regulation*) учасників стимулювання (виробників, посередників, споживачів) до практичних дій (організаційних, методичних, нормативно-правових, фінансових, техніко-економічних, інформаційних) з реалізації ЕЗЗ, які є економічно доцільними (прибутковими) та екологічно прийнятними для усіх учасників.

В редакції Закону України “Про природні монополії” [16] вже використовується ринкове поняття стимулюючого державного регулювання цін (тарифів) на товари суб’єктів природних монополій та суб’єктів господарювання на суміжних ринках, що передбачає застосування визначених органом, який здійснює державне регулювання діяльності суб’єктів природних монополій, параметрів регулювання, що мають довгостроковий термін дії, стимулює суб’єктів природних монополій та суб’єктів господарювання на суміжних ринках до підвищення якості товарів та ефективності регульованої сфери діяльності з поступовим скороченням неефективних витрат та забезпечує створення умов для залучення інвестицій з метою сталого функціонування та розвитку.

Розроблені на цих принципах механізми є цілком ринковими, оскільки мають чітко орієнтований на досягнення прибутку характер, з використанням для фінансування 3-Е заходів коштів, заощаджених внаслідок підвищення ефективності виробництва. Багатократне (“револьверне”) вкладання заощаджених коштів в нові 3-Е проекти дозволяє нарощувати ефективність і конкурентоздатність виробництва прискореними темпами.

На превеликий жаль, через об’єктивні та суб’єктивні причини активна законотворча діяльність щодо розробки та запровадження ринкових механізмів заохочувального регулювання та економічного стимулювання

енергоефективності та енергозбереження, залучення інвестиційних ресурсів та створення необхідних для цього механізмів, не є задовільною.

В роботі [4] констатується, що нормативно-правову базу у сфері державного управління енергоефективністю на сьогодні складають 7 Законів України, понад 250 нормативно-правових актів і методичних документів, 50 національних (ДСТУ) та 60 міждержавних (ГОСТ) стандартів (достатньо повний огляд існуючої нормативно-правової бази у сфері державного управління енергоефективністю в ЖКГ дивись також у роботі [61]). При цьому відмічається, що недієздатними залишаються більшість задекларованих в бази механізмів реалізації засад державної політики енергоефективності та енергозбереження, які значною мірою спираються на застарілі фінансово-економічні, адміністративно-організаційні та контролюючі методи і засоби державного управління та регулювання, і тому потребують негайного удосконалення.

Наслідком розпорошеності та незавершеності існуючої нормативно-правової бази у сфері енергоефективності та енергозбереження є низька ефективність пропонованих на державному рівні заходів та розташування України на перших позиціях у переліку лідерів енергетичного марнотратства у світі [4-6, 11, 12, 41].

В історично першому у сфері енергоефективності Законі України “Про енергозбереження” [62] передбачено необхідність створення єдиної системи інституційних, регулятивних та заохочувальних заходів щодо режиму ощадного використання паливно-енергетичних ресурсів і, у першу чергу, комплексного застосування економічних важелів та стимулів для орієнтації управлінської, науково-технічної і господарської діяльності підприємств, установ та організацій на раціональне використання і економію паливно-енергетичних ресурсів.

Управління у сфері енергозбереження за цим законом має бути спрямоване на забезпечення потреб економіки та населення України в паливі, тепловій та електричній енергії на основі раціонального використання

енергоресурсів, скорочення всіх видів втрат ПЕР, здійснення функцій державної експертизи з енергозбереження, прогнозування, інформування тощо. Джерелами фінансування заходів щодо ефективного використання ПЕР визначено Державний фонд енергозбереження, власні та позикові кошти підприємств, установ і організацій, Державний бюджет України, місцеві бюджети, а також інші джерела [62].

Однак на час, що минув, таку систему і механізми все ще не створено, не кажучи вже про використання економічних механізмів на рівні підприємств (установ).

Серед об'єктивних причин необхідності державного регулювання, які мають безпосереднє відношення до сфери енергоефективності та енергозбереження, необхідно виокремити: наявність монополізму та відсутність досконалої конкуренції на енергетичних ринках, які перебувають у стані природної монополії; спотворений характер цінової та тарифної політики, що призводить до збиткової діяльності у сфері енергоефективності; вкрай низький рівень ефективності використання ПЕР; необхідність захисту населення [16, 17, 64].

В узагальненому вигляді державне управління і регулювання економікою визначається «як система заходів задля здійснення підтримуючої, компенсаційної та регулюючої діяльності держави, спрямованої на створення нормальних умов ефективного функціонування ринку та вирішення складних соціально-економічних проблем розвитку національної економіки й всього суспільства» [65]. Конкретизуючи це загальне поняття у формі цілісної системи адміністративних і ринкових функцій, способів, методів і механізмів управління та регулювання [66, 67] і застосовуючи його до сфери енергоефективності [68, 69], доцільно цілеспрямувати технічні аспекти управління (регулювання) у напрямі вироблення оптимальних пропорцій між підсистемами централізованого, помірно-децентралізованого і автономного забезпечення населення якісними ПЕР та енергосервісними послугами, які стимулюють суб'єктів ринкових відносин до збалансованості і підвищення

ефективності виробництва, транспортування, постачання і споживання ПЕР та енергосервісних послуг. Досягнення цілі за цим визначенням має спиратися на ринкові механізми: формування цін і тарифів на принципах самоокупності; розвиток конкурентних відносин на енергетичних та енергосервісних ринках; пріоритетне застосування технологій комбінованого виробництва теплової та електричної енергії, теплових насосів та використання вторинних енергетичних ресурсів, нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії; створення умов для залучення приватних інвестицій в енергоефективність, впровадження енергозберігаючих технологій та засобів обліку і приладів регулювання споживання енергії; підвищення екологічної безпеки систем енергозабезпечення.

Удосконалення потребує і система наявних механізмів державного управління і урегулювання питань ресурсного та організаційно-інформаційного забезпечення діяльності у сфері енергоефективності та енергозбереження, насамперед тих, що стосуються взаємодії держави і бізнесу (симбіоз опцій держави та ринку), а саме: фондів енергозбереження (загальнодержавного і муніципальних), екологічних фондів та фондів енергоефективності на підприємствах; механізмів цільового фінансування енергоефективних проектів з бюджетів різного рівня на основі револьверного механізму, пільгового державного кредитування реалізації інвестиційних проектів; механізму енергосервісних компаній (ЕСКО) на базі договорів енергоефективного підряду (перфоманс-контрактингу); механізмів передачі енергоефективного обладнання в довгострокову оренду (лізинг); механізмів державно-приватного партнерства, стратегічного альянсу, коаліції, коопетиції тощо; механізмів програмно-цільових кредитів і залучення міжнародної технічної допомоги, у тому числі в рамках проектів спільного впровадження та за схемою зелених інвестицій; механізмів фінансування комерційними банками, кредитні лінії і угоди, венчурні фонди [62-64, 70-77].

Механізми економічного стимулювання енергозбереження на рівні підприємств і установ різних форм власності за своєю суттю мають

поєднувати нормативно-правові аспекти цільового заохочувального регулювання державою діяльності господарюючих суб'єктів, яке здійснюється на договірній основі та стосується підвищення ефективності використання і зниження втрат паливно-енергетичних і природних ресурсів. Виходячи з цієї посилки, основними напрямками щодо створення механізмів економічного стимулювання енергоефективності та енергозбереження на підприємствах КТЕ та у споживачів мають бути наступні:

- Вдосконалення систем обліку витрат та визначення рівня економічно допустимих втрат паливно-енергетичних та природних ресурсів по всіх ланках процесу від генерування, транспортування, розподілу та до споживання.

- Розробка замкнених за зворотними зв'язками схем заохочувального регулювання та економічного стимулювання потоків грошових і капітальних активів, що спрямовані на реалізацію енергозберігаючих проектів.

- Вдосконалення механізмів збалансованого регулювання рівня цін та тарифів на енергосервісні послуги за розробленими схемами економічного регулювання.

- Надання підприємствам (установам) податкових та інших пільг з державного та місцевих бюджетів для стимулювання впровадження енергозберігаючих технологій, обладнання і матеріалів.

- Пільгового кредитування інвестицій в енергоефективність та енергозбереження, тобто компенсацію позикового відсотка за рахунок коштів державного та місцевих бюджетів.

- Встановлення підвищених норм амортизації (прискореної амортизації) основних фондів підприємств (установ).

- Включення до тарифів на енергоносії та комунальні послуги інвестиційної енергозберігаючої складової, як джерела повернення інвестиційних коштів.



- Вдосконалення механізмів матеріального стимулювання колективів та окремих працівників за ефективне використання та економію паливно-енергетичних і природних ресурсів, впровадження інновацій.

На нормативно-правовому рівні, у першу чергу, потрібно забезпечити умови для ефективного використання коштів, що вивільняються на підприємствах і в установах внаслідок запровадження заходів з підвищення ефективності використання паливно-енергетичних і природних ресурсів та зниження технологічних втрат, на повернення інвестицій та кредитів, реалізацію нових ЕЗЗ та матеріальне стимулювання колективів і окремих працівників.

Досягнення цієї мети потребує вирішення наступних завдань:

- Визначення ціни та потенційних обсягів виробництва “товару” (тобто обсягів досягнутої економії ПЕР та коштів на їх споживання), що пропонується для інвесторів у якості джерела повернення коштів;

- Врахування товару, виробленого внаслідок запровадження ЕЗЗ, в системі бухгалтерського обліку та фінансової звітності підприємств (установ);

- Вивільнення з обороту, накопичення та перерахування коштів, що обраховано в системі бухгалтерського обліку та фінансової звітності підприємства внаслідок зменшення обсягів споживання ПЕР, з поточного рахунку підприємства на спеціальний рахунок підприємства для цільового використання на повернення інвесторам, до бюджетів міста і держави та на реалізацію нових ЕЗЗ;

- Врахування додаткових обсягів робіт, пов’язаних з монтажем, ремонтом та обслуговуванням енергозберігаючого обладнання, для запровадження системи матеріального стимулювання колективів і окремих працівників, які забезпечують економію ПЕР протягом життєвого циклу ЕЗЗ.

Серед сучасних ринкових підходів до розв’язання проблем економічного стимулювання енергозбереження у сфері КТЕ, який починає активно запроваджуватися в Україні [78, 79], слід відзначити метод

регуляторної бази активів (regulatory asset base, RAB), засади якого визначаються сукупною вартістю запозиченого і власного активів суб'єкта природних монополій, що підлягає регулюванню. У разі застосування стимулюючого регулювання за цим методом визначають групи активів, включених до регуляторної бази, строк їх корисного використання та метод нарахування амортизації таких активів, а на регуляторну базу на довгостроковий період (не менше 3–5 років) у межах граничних рівнів встановлюється регуляторна норма доходу (рівень дохідності), що формує та забезпечує реалізацію політики регулятора [16, 17, 32] відповідно до національних положень бухгалтерського обліку [80] або міжнародних стандартів фінансової звітності [81-83].

Метод вперше був застосований у Великобританії наприкінці 1980-х років в процесі приватизації електропостачальних компаній та лібералізації ринку електроенергії, а з середини 1990-х років – в більшості країн Європи, у Канаді, США, Австралії [84-88]. Метод вважається найбільш ефективним при регулюванні тарифів на послуги компаній з розвинутою мережевою інфраструктурою, насамперед, в електроенергетиці, житлово-комунальному господарстві і транспорті.

За час, що минув, практика використання цього методу в означених країнах підтвердила його ефективність та суттєві переваги (у порівнянні з діючою в Україні системою «витрати плюс») при комплексному вирішенні питань залучення інвестицій, зниження цін і тарифів на товари і послуги та створення стимулів для скорочення операційних витрат компаній, що регулюються.

При переході на регулювання за методом RAB дохід компанії від здійснення основної діяльності (revenue, валова виручка) безпосередньо пов'язується з витратами на створення та використання її активів у ринкових умовах та витратами на амортизацію активів і враховує податки і збори до бюджетів та державних цільових фондів, регуляторну базу активів, регуляторну норму доходу, віддаленість різних груп споживачів від місця

виробництва товарів, якість товарів, державні дотації та інші форми державної підтримки, гранти, внески споживачів [16, 17, 32].

В результаті регулювання за методом RAB, ціни і тарифи на продукцію та послуги компанії у довгостроковій перспективі мають стійку тенденцію до зниження внаслідок скорочення операційних витрат (регулятор кожні 3÷5 років зменшує їх нормативний рівень на величину заощаджених за цей період витрат) та здешевлення капіталу, залученого на умовах щорічної індексації цін і тарифів на продукцію і послуги компанії з урахуванням зміни макроекономічних показників, зокрема інфляції. У той же час, інвестиційний капітал в міру задоволення потреб компанії може нарощуватися значно більшими темпами, ніж за методом «витрати плюс», де основним джерелом розвитку компанії є інвестиційна складова у тарифі та стаття витрат на амортизацію, строки використання яких обмежені річними рамками.

До недоліків і ризиків, властивих цьому методу регулювання, насамперед відносяться ризики застосування некоректних (нестійких тощо) даних про розміри первісної бази капіталу та про базові рівні витрат і прибутку компанії, похибки прогнозів інфляції на довгостроковий період, ризики неотримання необхідної валової виручки при зниженні обсягів виробництва, методична залежність величини регульованого тарифу від розмірів бази інвестованого капіталу, яка створює прецеденти істотного зростання тарифів при використанні ринкової оцінки бази капіталу тощо.

Практичну реалізацію вище згаданих економічних механізмів, зазвичай здійснюють спеціалізовані посередники, які у світовій практиці називаються енергосервісними компаніями (ЕСКО, Energy Service Company) [71-74, 76, 77] та Центрами промислового енергоаудита (Industrial Assessment Center, IAC) [70, 89, 90]. Останні приймають на себе зобов'язання виконати повний комплекс послуг з реалізації енергозберігаючих проектів “під ключ”, який включає: технічну, економічну й фінансову оцінку підприємств (установ); проведення енергетичних обстежень (енергоаудитів); розробку й узгодження проектно-конструкторської документації; організацію та забезпечення

фінансування проектів; закупівлю, доставку, монтаж, пуск в експлуатацію, гарантійне й післягарантійне обслуговування енергозберігаючого обладнання; та забезпечення гарантованого рівня енергозбереження, який у цілому перевищує витрати на розробку й впровадження ЕЗЗ. В доповнення до цих функцій ІАС здійснюють і підготовку необхідних для виконання цієї роботи професіональних кадрів.

Залучення ЕСКО, яка у якості генерального підрядника власним коштом відповідає за кінцеві результати впровадження проектів з підвищення 3-Е ефективності та енергозбереження, є корисним для держави, міста та й підприємств (установ), оскільки як матеріально зацікавлена сторона, виконує реалізацію проектів “під ключ”, гарантує виконання всіх обумовлених договорами технічних умов та належну експлуатацію обладнання після впровадження проектів, забезпечує якість та кількість збереженої енергії за період окупності проектів.

Проведений аналіз засобів та механізмів нормативно-правового забезпечення заохочувального регулювання та економічного стимулювання підприємств КТЕ до підвищення 3-Е ефективності показує нагальну потребу системного удосконалення методичних положень стимулювання підприємств КТЕ до підвищення ефективності їх функціонування та реалізації ЕЗЗ, які мають поєднувати методи державно-приватного партнерства у спільному фінансуванні ЕЗЗ, заходи щодо створення фондів енергозбереження на регіональному рівні та на рівні міських комунальних підприємств, залучення ЕСКО до реалізації гарантовано прибуткових (самоокупних) ЕЗЗ, застосування Міжнародного протоколу змін характеристик та перевірки заходів з енергозбереження [91].

#### 2.1.4. Концептуальні засади побудови моделі управління ефективністю функціонування систем КТЕ

Специфіка реалізації методів і механізмів підвищення 3-Е ефективності функціонування та розвитку систем КТЕ в умовах становлення ринкових відносин в Україні полягає в необхідності урахування фінансово-економічних індикаторів, викривлених невідповідними вартісними співвідношеннями між фактично встановленими цінами і тарифами на комунальні послуги (К-послуги), паливно-енергетичні ресурси та енергозберігаюче обладнання.

За означених умов, конкурентний ринок К-послуг з опалення та гарячого водопостачання має складатися з наступних учасників і координаторів [3]:

1. Споживачів ПЕР та К-послуг різних форм власності (державної  $C^D$ , приватної (комерційної)  $C^P$ , кооперативної  $C^S$ , співвласників багатоквартирних будинків  $C^U$  та окремих категорій населення  $C^G$ , орендарів тощо), які у сукупності утворюють місцеві споживчі ринки енергоресурсів і К-послуг;

2. Підприємств і організацій з постачання первинних ПЕР (газу, вугілля, торфу, нетрадиційних і відновлюваних енергоресурсів тощо) та вироблення і надання К-послуг з газо-, тепло-, холодо-, електропостачання, які у сукупності утворюють місцеві ринки постачання енергоресурсів і К-послуг. Серед останніх необхідно розрізняти підприємства централізованого і децентралізованого (поквартирного тощо) тепло-, енергозабезпечення;

3. Управляючих компаній у сфері надання К-послуг, у тому числі житлово-експлуатаційних контор, які у сукупності утворюють місцевий ринок послуг управляючих компаній, на якому вони конкурують з іншими місцевими підприємствами у сфері енергозабезпечення за право надання споживачам комунальних послуг з показниками якості та ефективності, що задовольняють потребам споживачів;

4. Енергосервісних і енергоконсалтингових компаній (ЕСКО), які конкурують на місцевому ринку енергосервісних послуг за право надання іншим учасникам місцевої системи енергозабезпечення послуг з підвищення 3-Е ефективності використання паливно-енергетичних та природних ресурсів, включаючи реалізацію 3-Е заходів «під ключ»;

5. Органів та спеціалізованих підрозділів місцевої влади, які є відповідальними учасниками-координаторами місцевої системи енергозабезпечення і надання К-послуг.

Зрозуміло, що взаємодія учасників системи енергозабезпечення і надання К-послуг буде більш ефективною, якщо власні (локальні) цілі й завдання кожного учасника будуть узгодженими з глобальною метою системи 3-Е управління, спрямованою на мінімізацію загального споживання енергоресурсів у системі (в місті, населеному пункті, поселенні тощо) за умов забезпечення належної якості послуг та мінімізації екологічного впливу. При цьому слід враховувати, що енергопостачальні організації, як природні монополісти, в умовах відсутності конкуренції і без належного контролю за їх діяльністю з боку місцевої влади і споживачів не є мотивованими до вирішення питань підвищення 3-Е ефективності, оскільки в умовах України це пов'язано з великими ризиками неповернення вкладеного капіталу.

У розпорядженні місцевої влади є цілий набір інструментів (методів і засобів) підвищення дієздатності програми реалізації 3-Е заходів, представлених на Рис.2.1.6 у вигляді діаграми Ісікава [92-94]), у тому числі шляхом фінансування запланованих заходів на паритетних умовах та надання додаткових гарантій інвестору.

При цьому пряме бюджетне фінансування або співфінансування можливе не тільки по об'єктах бюджетної сфери, оскільки, наприклад, 3-Е заходи в житлових будинках напряму зменшують бюджетні витрати на виплату пільг і субсидій, а для державного бюджету – на фінансування «дотаційних» регіонів.



Рисунок 2.1.6 – Напрямки підвищення інвестиційної привабливості 3-Е заходів з боку місцевої влади

Джерелами фінансування 3-Е заходів можуть слугувати виробничі та інвестиційні програми енергопостачальних організацій, плата за підключення, кошти на капремонті будівель, продаж вивільненої потужності, кошти забудовників та споживачів, інвестори, бюджетні асигнування, муніципальні цінні папери, Паризька угода із боротьби зі зміною клімату, інші не заборонені законодавством України джерела.

Що стосується розвитку ринкових відносин у системі КТЕ України, то на відміну від ринку електроенергії правила комерційного обороту теплової енергії в країні ще не встановлені, і для ефективної організації ринків тепла необхідно створювати відповідну систему ВІОТ управління, яка має визначати порядок взаємодії між усіма учасниками цього ринку і встановлювати правила розподілу навантаження. Відсутність такої системи призводить до конфлікту інтересів, внаслідок якого ефективність функціонування системи тепlopостачання знижується.

Комунальна теплоенергетика є підгалуззю системи тепlopостачання країни, яка забезпечує споживачів комунальними послугами з опалення та гарячого водopостачання. Оскільки в законодавстві України не означено поняття «місцева (регіональна) система комунальної теплоенергетики», то, спираючись на існуючу практику [1, 2, 5], тут і далі під місцевою (регіональною) системою КТЕ будемо розуміти складну енергетичну систему, розташовану в межах територіальної одиниці (область, місто, район), що вирізняється з-поміж інших єдністю цілей, завдань, методів і засобів управління, обумовлених специфікою природно-кліматичних умов, ресурсних, соціально-економічних і екологічних факторів її існування та розвитку. За прийнятими визначеннями, системи централізованого і помірно-централізованого тепlopостачання належать до регіональних систем КТЕ.

Реалізація системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю в КТЕ України з урахуванням необхідності формалізації ринкових правил та функцій координації діяльності господарюючих суб'єктів у вигляді математичної моделі має спиратися на технологічні, організаційні, фінансово-економічні та екологічні аспекти цієї діяльності, представлені об'єктно-орієнтованими модулями та відповідними принципами їх побудови і алгоритмами реалізації, у першу чергу:

- оптимізації складу джерел теплової енергії і теплових мереж регіональної системи КТЕ, їх встановлених потужностей, режимів завантаження і схем розміщення, обґрунтованого вибору виду використовуваних паливно-енергетичних ресурсів тощо;
- координації взаємовідносин виробників і постачальників К-послуг на ринку теплової енергії з органами місцевої влади, фінансовими установами, інвестиційними компаніями, енергосервісними і управляючими компаніями та споживачами;
- формування рівноважної системи цін і тарифів на К-послуги з тепlopостачання, що базуються на принципах самоокупності;



- залучення приватних інвестицій в 3-Е ефективність та впровадження енергозберігаючих та екологічно чистих технологій;
- економічного стимулювання виробників К-послуг до застосування технологій комбінованого виробництва теплової та електричної енергії, використання вторинних паливно-енергетичних ресурсів, нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії;
- забезпечення вимог екологічної безпеки систем КТЕ.

Враховуючи складність і великі розміри сформульованої задачі (наприклад, для міста обласного підпорядкування це, як мінімум, десятки районних джерел теплової енергії, сотні потужних котлів, тисячі споживачів), пропонується здійснювати її математичну формалізацію у вигляді моделі техніко-економічної оцінки стану та напрямів підвищення 3-Е ефективності господарюючих суб'єктів та регіональної системи КТЕ у цілому як системно побудованої моделі з чотирьохрівневою ієрархічною структурою, що складається з об'єктно-орієнтованих модульних блоків, персоніфікованих для кожного з розташованих на верхньому (четвертому) рівні ієрархії органів ВІОТ-управління 3-Е ефективністю, для кожного з суб'єктів господарювання – підприємств КТЕ на третьому рівні, для основного енерготехнологічного обладнання на другому рівні та для кожного з згрупованих споживачів теплової енергії (житлових та громадських будинків) на нижньому (першому) рівні ієрархії системної моделі, та окремих модульних блоків координації їх взаємодії в умовах ринкових відносин [35].

Зрозуміло, що програмна реалізація такої складної моделі потребує послідовного виконання декількох завдань: (1) розробки концепції функціонування системи, що моделюється (етап побудови концептуальної моделі), на якому опис системи здійснюється на вербальному рівні з використанням структурно-функціональних схем, таблиць, графіків і діаграм; (2) проведення логіко-математичної формалізації вербального опису у вигляді рівнянь, обмежень, функціональних залежностей та цільових функцій; (3) розробки алгоритмів та програмного забезпечення моделювання

поведінки системи та її елементів з урахуванням прямих та зворотних зв'язків; (4) проведення наладки, калібрування та верифікації результатів на тестових прикладах як стратегічного, так і тактичного планування.

Враховуючи складність реалізації повномасштабної моделі ВІОТ-управління 3-Е ефективністю в складних багаторівневих системах КТЕ, пропонується зосередитися на загальносистемних енергетичних, економічних та екологічних аспектах проблеми підвищення 3-Е ефективності, а режимні процеси в технологічних підсистемах КТЕ, наприклад, термодинамічні та гідравлічні, розглядати шляхом використання нормативних або ж фактичних (за наявністю) даних, адаптованих до режимів управління, що розглядаються.

При цьому природним, за адекватністю представлення результатів та можливостей складання і підрахунку різного роду енергетичних, економічних і екологічних балансів, є використання імітаційних моделей, побудованих на базі лінійного і нелінійного програмування, достатньо поширених при побудові енергоекономічних моделей в енергетиці [95-104 та ін.], де відмінність пропонованого у роботі підходу буде полягати у координуванні взаємодії об'єктно-орієнтованих модулів, охоплених локальними і глобальними зворотними зв'язками.

Для оптимізації параметрів моделей лінійного програмування доцільно використовувати процедури симплекс-методу, а для нелінійного програмування – метод узагальненого приведенного градієнта, поєднані з алгоритмами методу штрафних або бар'єрних функцій (останнє є нетрадиційним). Такий симбіоз декількох алгоритмів працює наступним чином: (1) використовуючи існуючі (базові) значення вхідних змінних, знаходиться допустиме рішення, що задовольняє встановленим обмеженням; (2) з цієї початкової (базової) точки вираховується напрям, в якому найбільш швидко змінюється значення цільової функції; (3) у визначеному напрямі здійснюється зміна значень змінних доти, доки значення цільової функції не перстає змінюватися або не досягнуто межі обмежень; (4) з нової точки

вираховується новий напрям і таке далі до зупинку алгоритму. Включення до цього алгоритму штрафних (бар'єрних) функцій є обов'язковим в розрахунках складних енергетичних систем, де в процесі оптимізації змінюються не тільки параметри, а й структура системи, при цьому такі зміни відбуваються багаторазово протягом розрахункового періоду і, як правило, носять стрибкоподібний характер. Введення ж штрафних (бар'єрних) функцій дозволяє долати такі перешкоди, знаходячи «глобальний» екстремум цільової функції.

Розроблена за означеним підходом структурно-функціональна схема запропонованої моделі оцінки стану та напрямів підвищення 3-Е ефективності регіональної системи КТЕ в ринкових умовах функціонування, наведена на Рис. 2.1.7. Модель включає наступні об'єктно-орієнтовані модулі:

1. Модуль комплексної техніко-економічної оцінки базового стану 3-Е ефективності кожного з її господарюючих суб'єктів (підприємств КТЕ) та регіональної системи КТЕ у цілому з урахуванням режимів роботи обладнання, обсягів виробництва, цін, тарифів, енергетичної, фінансово-економічної та екологічної ефективності виробництва, транспортування і використання ПЕР, долі ринку, впливу конкурентів тощо;

2. Модуль та бази даних для середньострокового (на 3-5 років) та довгострокового (на 15-20 років) прогнозування платоспроможного попиту споживачів на продукцію і К-послуги підприємств та регіональної системи КТЕ з урахуванням можливостей появи нових енергоефективних і екологічно чистих технологій і обладнання, тенденцій зміни цін і тарифів на первинні паливно-енергетичні і природні ресурси, матеріали і технологічне обладнання, на продукцію і К-послуги конкурентів, зміни споживчих пріоритетів тощо, які відбуваються в умовах впливу системи адміністративно-командного регулювання цін і тарифів на К-послуги;

3. Модуль та бази даних по напрямам і тенденціям зміни попиту споживачів на різні типи К-послуг та форми їх надання з урахуванням даних прогнозування платоспроможного попиту споживачів;

4. Модуль та бази даних для визначення напрямів та оцінки масштабів оновлення генеруючих потужностей і транспортних мереж підприємств КТЕ, необхідних для забезпечення потреб споживачів з урахуванням режимів роботи наявного енерготехнологічного обладнання, застосування нових типів, нових механізмів і методів управління 3-Е ефективністю, використання різних видів ПЕР, включаючи НВДЕ, освоєння нових сфер діяльності (продуктів і К-послуг) тощо у відповідності до потреб споживача в централізованих та індивідуальних системах енерго- та теплопостачання;

5. Модуль та бази даних для техніко-економічного обґрунтування доцільності структурних та технологічних змін на підприємствах регіональної системи КТЕ, які охоплюють режими роботи, нові технології, матеріали і обладнання, нові засоби енергоменеджменту, тенденції зміни цін і тарифів на ПЕР та НВДЕ, на матеріали і обладнання, продукцію конкурентів тощо, споживчі пріоритети, появу нових ринків збуту;

6. Модуль структурно-параметричної оптимізації просторово-часових показників та параметрів завантаження наявного та нового енергетичного обладнання на кожному окремому підприємстві та по регіональній системі КТЕ в цілому, перерозподілення базових і пікових навантажень між власними генеруючими потужностями і транспортними мережами з урахуванням можливостей економічно доцільного перерозподілу ринків виробництва, транспортування і збуту продукції з конкурентами (кооперація, коопетиція тощо), спрямованих на виявлення резервів підвищення 3-Е ефективності використання ПЕР та обладнання (потенціалу енергозбереження тощо) з урахуванням загальносистемних синергетичних ефектів;

7. Модуль техніко-економічного обґрунтування витрат і втрат матеріально-технічних, паливно-енергетичних, трудових, фінансово-економічних ресурсів, розрахунку показників енергетичної, фінансово-економічної та екологічної ефективності виробництва, транспортування і

використання первинних ПЕР і НВДЕ, продуктів і К-послуг систем КТЕ за наявними (базовими) та за новими технологіями і обладнанням з урахуванням власних джерел фінансування підприємств (амортизація, прибуток тощо) та можливостей залучення державного і місцевого бюджетів, приватного інвестиційного капіталу за розрахунками чистої приведеної вартості (ЧПВ), внутрішньої норми прибутковості (ВНП), дисконтованого терміну окупності (ДТО) інвестицій тощо;

8. Модуль систематизації, узгодження та ранжирування сукупності запропонованих інвестиційних проєктів, розробки бізнес-пропозицій підприємств КТЕ для залучення інвесторів на основі державно-приватного партнерства;

9. Модуль системно узгодженої (ринкової) координації взаємодії суб'єктів господарювання на муніципальному ринку теплової енергії, визначення пріоритетного сценарію 3-Е розвитку підприємств з урахуванням перешкод і обмежень, обумовлених місцевою специфікою, узгодженої координації локальних цільових функцій підприємств КТЕ з глобальною (загальносистемною) цільовою функцією регіональної системи шляхом систематизації, узгодження параметрів та ранжирування у єдиному списку (таблиці даних) запропонованих підприємствами КТЕ та іншими учасниками ринку інвестиційних бізнес-пропозицій для подальшого економічно доцільного розподілення між учасниками ринку прибутку від реалізації виявлених синергетичних ефектів підвищення ефективності використання ПЕР на наявному та новому обладнанні.

Необхідно підкреслити, що проведення економічно обґрунтованого техніко-економічного аналізу за моделлю, представленою на Рис.2.1.7, потребує безумовного урахування можливостей використання у системі КТЕ всіх доступних видів ПЕР, для чого необхідно дослідити:

- структуру споживаних первинних ПЕР та динаміку зміни місцевого паливно-енергетичного балансу за декілька попередніх років;

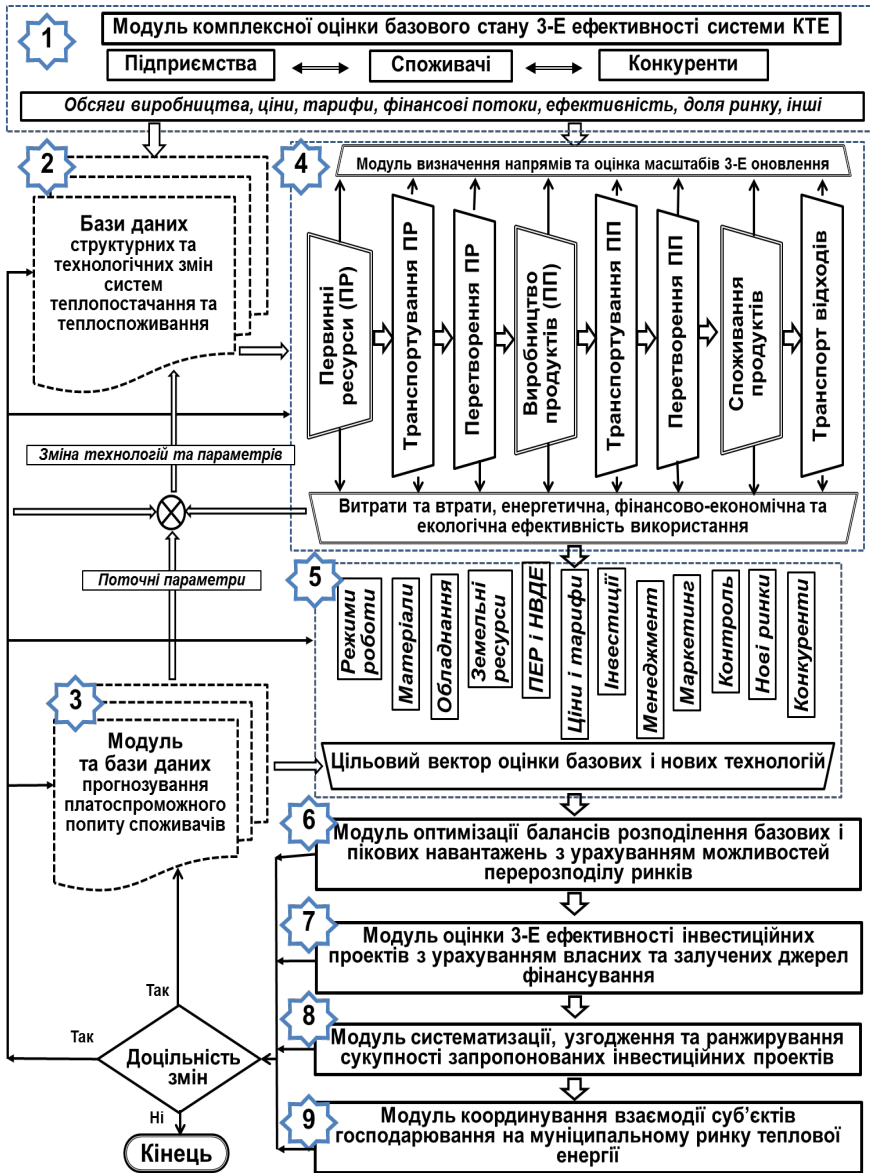


Рисунок 2.1.7 – Структурно-функціональна схема моделі оцінки стану та напрямів підвищення 3-Е ефективності регіональної системи КТЕ

- структуру і пріоритети споживачів щодо використання природного газу, вугілля, НВДЕ, електро-, та теплоенергії, структуру і технічний стан енергетичного обладнання та внутрішньо-будинкових мереж наявної системи КТЕ, структуру потужностей і динаміку їх зміни у часі;

- картографічну схему розташування джерел теплової енергії, енергетичного обладнання і транспортних мереж для кожного підприємства КТЕ, їх технічний стан, структуру потужностей і динаміку зміни, опалювальну площу та кількість споживачів, що обслуговуються кожним джерелом;

- зони дії енергоджерел, транспортні зв'язки між окремими мережами і зонами дії енергоджерел, ступінь покриття фактичних навантажень, температурний графік роботи, графіки подачі теплової енергії для потреб опалення та гарячого водопостачання (погодинні, щодобові, помісячні за декілька років), види палива, що використовуються;

- графіки споживання палива, електроенергії та води, динаміку їх зміни у часі;

- витрати теплової енергії на власні потреби, втрати теплової енергії в мережах, обсяги викидів забруднюючих речовин по кожному підприємству і системі КТЕ в цілому;

- техніко-економічні показники роботи енергоджерел і транспортних мереж, структуру собівартості вироблення, відпуску і транспортування енергії, фактичні і нормативні втрати при виробництві і транспортуванні;

- прогностичні показники зростання/зниження навантажень за різними видами енергоносіїв і типами енергоефективного обладнання, відповідні зміни (резерви і дефіцити) потужностей енергетичного і допоміжного обладнання.

Принципово новим елементом моделі на Рис.2.1.7 є модуль системно узгодженої координації взаємодії суб'єктів господарювання на місцевому ринку теплової енергії, яка (координація) на верхньому, в даному випадку регіональному рівні ієрархії здійснюється місцевою ЕСКО. На Рис.2.1.8 представлена деталізована структурно-функціональна схема такої координації на прикладі двох суб'єктів ринку. Повна схема координації взаємодії всіх суб'єктів ринку формується з представленої на Рис.2.1.8 шляхом додавання необхідної кількості нових суб'єктів координації, при цьому зв'язки між суб'єктами відображаються змінними у векторно-множинній формі, а системний оптимізатор стає багатомірним.

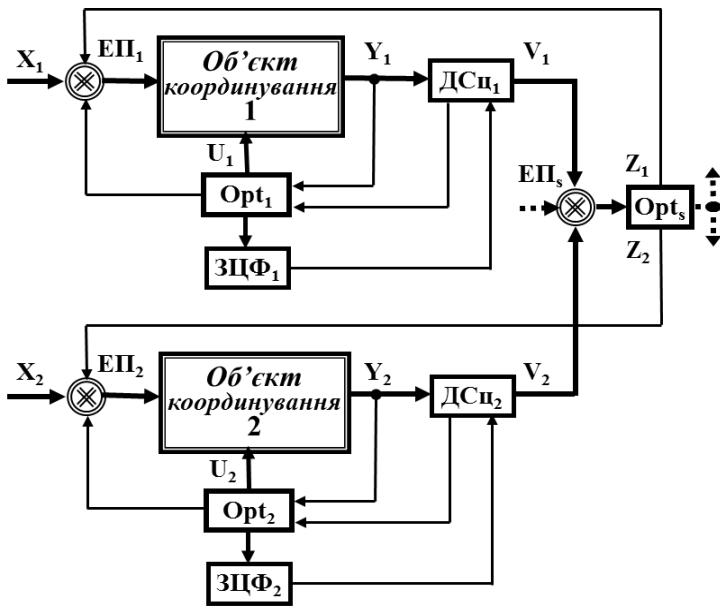


Рисунок 2.1.8 – Структурно-функціональна схема модуля координації взаємодії двох суб'єктів господарювання на ринку тепла

На рис.2.1.8 означено:  $X_i$  – кортежі вихідних параметрів пакетів початкових (базових) бізнес-пропозицій  $i$ -их суб'єктів господарювання;  $Y_i$  – кортежі цих параметрів, скореговані за власними цільовими функціями суб'єктів господарювання з урахуванням впливів параметрів координації  $Z_i$ ,



у свою чергу визначених за результатами їх взаємоузгодження в модулі системного оптимізатора;  $Opt_i$  – модулі оптимізаторів (екстремальних регуляторів)  $i$ -их суб'єктів господарювання;  $U_i$  – кортежі параметрів координуючого (регулюючого) впливу на Об'єкти координації – моделі техніко-економічної оцінки стану та напрямів підвищення 3-Е ефективності господарюючих суб'єктів регіональної системи КТЕ;  $ЗЦ\Phi_i$  – модулі розрахунку вихідних значень цільової функції координації  $i$ -их суб'єктів господарювання;  $ЕП_i$  – елементи порівняння даних  $i$ -их суб'єктів господарювання;  $ДСц_i$  – модулі диспетчерів сценаріїв, призначені для створення і зберігання результатів варіантних розрахунків вихідних параметрів бізнес-пропозицій та переключень між ними;  $V_i$  – кортежі відібраних для подальшого узгодження вихідних параметрів пакетів бізнес-пропозицій  $i$ -их суб'єктів господарювання;  $Z_i$  – відповідні кортежі параметрів координації базових параметрів бізнес-пропозицій декількох суб'єктів господарювання, визначені за результатами їх взаємоузгодження в модулі системного оптимізатора; індекси:  $i$  – порядковий номер об'єкта координації (суб'єкта господарювання);  $s$  – означення загальносистемного елемента. Пунктирними стрілками на схемі виділені можливі взаємозв'язки з іншими, крім означених, суб'єктами ринку.

Організацію процедур координації взаємодії суб'єктів господарювання в такого роду ієрархічно побудованих системах і моделях в залежності від їх характеру пропонується здійснювати: за методом корегуючого впливу, спрямованого з вище розташованих систем на нижче розташовані для приведення у відповідність їх локальних оптимумів до глобальної меті системи; за ітеративним методом розв'язання протиріч; за методом вибору нижче розташованими підсистемами одного з декількох пропонованих вище розташованою системою варіантів (алгоритмів тощо) усунення розбіжностей.

Функціонування оптимізаторів в модулі взаємоузгодженої координації пропонується здійснювати, наприклад, за одним з методів екстремального

управління [54], формалізуючи задачу пошуку оптимальних параметрів координації шляхом мінімізації середньоквадратичного відхилення вихідних параметрів початкових (базових) бізнес-пропозицій  $i$ -х суб'єктів господарювання, що координуються.

Узагальнена структурна схема централізованої (помірно-децентралізованої) системи тепlopостачання, за означеними елементами якої (блочно-орієнтованими модулями, побудованими за принципом вхід - вихід) пропонується здійснювати формалізацію моделі, представлена на Рис.2.1.9.

На цій схемі:

$ПБ_{\delta}^z$  –  $\delta$ -ий місцевий постачальник паливно-енергетичних ресурсів (вузол підключення до магістрального газопроводу або електричній мережі тощо),  $\delta = \overline{I, B}$ , до якого ПЕР надходять від зовнішнього (не означеного на схемі) виробника або постачальника  $ЗП_z$ ,  $z = \overline{I, \Gamma}$ ;

$ВН_{\delta}^{\delta}$  –  $\delta$ -ий виробник К-послуг з тепlopостачання (джерело теплової енергії, районна котельня тощо),  $\delta = \overline{I, B}$ ;

$ТМ_m^{\delta}$  –  $m$ -та тепла мережа, підключена до  $\delta$ -го джерела теплової енергії,  $m = \overline{I, M}$ ;

$СП_c^{m, \delta}$  –  $c$ -ий споживач теплової енергії (житловий будинок тощо),  $c = \overline{I, C}$ , підключений через  $m$ -ту мережу до  $\delta$ -го джерела теплової енергії.

Для подальшої деталізації схеми, наведеної на Рис.2.1.9, на рівні розглянутої концептуальної моделі, слід, насамперед, визначити поняття мінімального набору (повноти) структурних і функціональних елементів місцевої системи КТЕ, які у сукупності здатні забезпечити

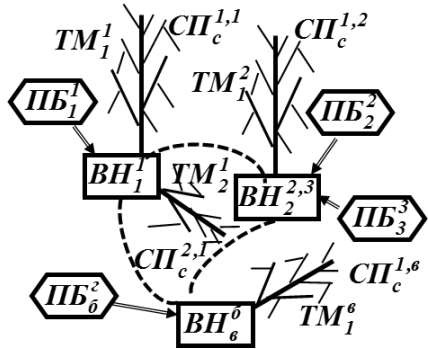


Рисунок 2.1.9 – Узагальнена структурна схема централізованої системи тепlopостачання

конкурентоспроможність К-послуг на ринку тепла, стисло кажучи, забезпечувати надання споживачеві якісних К-послуг за найменшими витратами та втратами.

За досвідом розвинутих країн [105], конкурентоздатна місцева система КТЕ має у своєму складі:

- *серед джерел теплової енергії:* 1) когенераційні установки; 2) котельні для безпосереднього спалювання ПЕР; 3) промислові та побутові джерела відпрацьованого тепла; 4) сміттєспалювальні заводи; 5) відновлювальні джерела для виробництва теплової енергії (теплові насоси, сонячні колектори, геотермальні станції тощо);

- *серед видів використовуваного первинного палива та енергії:* 1) природний газ; 2) нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії (сонячна, вітрова, геотермальна, сміття, відходи деревини, біогаз тощо); 2) вугілля; 3) торф; 4) електроенергію;

- *серед видів наданих послуг:* 1) опалення; 2) гаряче водопостачання; 3) постачання пару для промисловості; 4) кондиціонування повітря (тепло для процесів охолодження); 5) електропостачання.

З наведеного переліку визначальних факторів не складно побачити, що більшість регіональних систем КТЕ в Україні навіть наполовину не задовольняють вимогам конкурентоздатності системи.

## **Глава 2.2. формалізація задачі багаторівневого ВІОТ управління ефективністю функціонування систем КТЕ**

### **2.2.1. Базові принципи формалізації задачі ВІОТ-управління ефективністю функціонування систем КТЕ**

Застосування ринкових принципів і механізмів до управління складними енерготехнологічними системами базується на створенні конкурентного середовища, що, як правило, здійснюється шляхом проведення економічно доцільної децентралізації системи ВІОТ-управління шляхом створення локальних центрів відповідальності (координації), які забезпечують гарантоване отримання прибутку підпорядкованих підсистем [105-107]. Позначимо такий підхід до управління як координаційно-децентралізований.

Базові принципи децентралізації та координації взаємодії підсистем системи управління підвищенням 3-Е ефективності в КТЕ України вже закладено у побудованих структурно-функціональних схемах, представлених в попередньому розділі, де представлено функціонально визначені блоки (елементи системи) та їх взаємозв'язки на різних рівнях ієрархічної структури системи у цілому. Більш того, визначено стратифікаційні рівні (підсистеми), які розрізняють за характерними особливостями основні функції цих елементів та взаємозв'язків.

За наведених умов, проблему координованої децентралізації ВІОТ-управління можливо сформулювати як задачу вибору оптимального ступеню організаційно-функціональної самостійності технологічно зв'язаних (вертикально-інтегрованих) елементів (об'єктів, суб'єктів) системи КТЕ в межах внутрісистемних обмежень, які регулюються вище розташованими суб'єктами (об'єктами), а в якості критерію оптимальності слугують показники економічної, енергетичної, екологічної, соціальної тощо ефективності функціонування суб'єктів і об'єктів КТЕ (прибуток, рентабельність виробництва, рівень життя тощо). Принципово важливо, що в такий постановці

ринкова за своєю метою задача оптимальної децентралізації (стратифікації) системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю зводиться до задачі математичного програмування з варійованими обмеженнями [96, 108, 109].

При цьому, обумовлена децентралізацією задача координації взаємодії помірно-децентралізованих суб'єктів (локальних елементів) ієрархічної системи управління також може бути сформульована за принципами ринкової економіки (вільної, монополістичної тощо конкуренції), що припускає усередині системи обмін “товарів” між елементами за системно узгодженими “внутрішніми цінами” (об'єктивно обґрунтованими економічними оцінками).

Відмітимо, що, у першу чергу, це стосується актуального для України питання визначення на законодавчому рівні збережених, внаслідок підвищення ефективності, паливно-енергетичних ресурсів як товару, що продається та купується. За цих умов глобальна задача оптимальної децентралізації централізованих та координації взаємодії помірно-децентралізованих суб'єктів ієрархічної системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю зводиться до оптимального вибору “внутрішніх цін” (вагових коефіцієнтів), що визначаються відповідними ринковими механізмами цінового (тарифного) регулювання, та фізичними обсягами енергозбереження як “енергетичного товару”.

Формалізація даної задачі потребує введення ряду понять, які дозволять провести класифікацію і аналіз специфічних особливостей побудови багаторівневих ієрархічних систем ВІОТ-управління 3-Е ефективності в КТЕ України з урахуванням можливих неузгодженостей (векторним характером) цілей управління на різних рівнях ієрархії.

У відповідності до сформованого вище факторного поля системної координації діяльності суб'єктів регіонального ринку теплової енергії, до базових (системоутворюючих) принципів побудови та функціонування багаторівневих ієрархічних систем ВІОТ-управління підвищенням 3-Е ефективності систем КТЕ відносяться:

- послідовно вертикальне (деревоподібне) розташування елементів і підсистем, які утворюють дану систему (вертикальна декомпозиція системи);
- пріоритет дій (цілей) або право втручання елементів (підсистем) верхнього рівня у діяльність підсистем нижчих рівнів;
- залежність дій підсистем верхнього рівня від фактичного виконання підсистемами нижчих рівнів своїх функцій.

Вертикальна підпорядкованість (структурованість) системи ВІОТ-управління підвищенням 3-Е ефективності дозволяє реалізовувати процедуру рішення проблеми, за якою сукупність заходів з управління 3-Е ефективністю виконується на різних рівнях ієрархії в різний час і в різній послідовності, як правило, з інтервалами часу, що охоплюють місяці, квартали і, навіть, роки функціонування системи. Це, безумовно, відноситься до всіх підсистем системи, а не тільки до технологічних, де фізично виникає енергозберігаючий ефект. При цьому, на діяльність певної підсистеми управління 3-Е ефективністю безпосередні та явно визначені управляючі впливи здійснюють найближче розташовані підсистеми верхнього рівня ієрархії. Ці впливи навіть в ринкових умовах носять для нижче розташованих рівнів (підсистем) обов'язковий характер, пов'язаний не стільки з їх адміністративно-територіальною підпорядкованістю ( $U_A$ ), скільки з наявною системою економічних стимулів (премій ( $U_P$ ) і штрафів ( $U_{Ш}$ )), що впливають на кінцевий результат діяльності системи (продуктивність та прибутковість тощо).

Який би характер не носили ці управляючі впливи  $U$  ( $U_A$ ,  $U_P$ ,  $U_{Ш}$ ), їх дію потрібно розглядати як процес координації (узгодження) діяльності підсистем, що здійснюється з метою стимулювання до ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів та енергозбереження, оскільки пріоритет виконання рішень вище розташованих підсистем (у межах визначених повноважень) є необхідним для досягнення глобальної мети системи.

Хоча пріоритет управляючих дій (впливів) спрямований зверху вниз, ефективність функціонування системи у цілому та фактично кожного її

ієрархічного рівня залежить від поведінки (реакції) усіх елементів системи, яка спрямована знизу вверху. Тому ефективність функціонування системи у ринкових умовах, де забезпечується коректне урахування реакцій підсистем на управляючі впливи, суттєво підвищується.

Подібне урахування реакцій підсистем досягається шляхом прозорості (відкритої для всіх учасників ринку) формалізації процедур управління на основі стратифікаційних підсистем з відповідними управляючими і зворотними зв'язками (див. рис.1.5), за допомогою яких управління функціонуванням системи у цілому та кожної з її підсистем здійснюється ієрархічно структурованою системою стратифікаційних механізмів, на кожному з рівнів абстрагування яких допускається застосування різних видів і типів параметрів управління та змінних, що у найбільшій мірі ним пасують. У представленій на рис.1.5 схемі формалізація багаторівневої ієрархічної системи ВІОТ-управління підвищенням 3-Е ефективності забезпечується за рахунок введення п'яти стратифікаційних підсистем, а саме: адміністративно-організаційної підсистеми, означеної блоком ОАУ та відповідними зв'язками; економічної підсистеми (блоки з відповідними зв'язками, означені індексом  $P$ ); технологічної підсистеми (блоки з відповідними зв'язками, означені індексом  $Q$ ); екологічної підсистеми (блоки та змінні з індексом  $E$ ); та соціальної підсистеми (блоки та змінні з індексом  $C$ ).

Зрозуміло, що реалізація запропонованого підходу, який охоплює фізичні процеси енергозбереження, що розглядаються на технологічному рівні, враховує фінансово-економічні фактори та процеси, які розглядаються з точки зору їх економічної, екологічної та соціальної ефективності і доцільності тощо, потребує відповідного визначення параметрів управління та застосування специфічних методів і економічних механізмів на адміністративно-організаційному рівні, які поєднують стратифікаційні підсистеми управління у єдину ВІОТ-систему.

Принципова можливість застосування розглянутого підходу для управління 3-Е ефективністю в системі КТЕ України пояснюється тим, що: (1)

на всіх стратифікаційних рівнях системи КТЕ з різних точок зору розглядається один і той же фізичний предмет (ресурс, продукт, послуга) – це заощаджена енергія; (2) фізичний предмет за цим підходом визначається потоками двох стратифікаційних фундаментальних змінних – енергії ( $e$ ) та грошей ( $p$ ); (3) компоненти (складові) цих фундаментальних змінних підпорядковуються фізичним та економічним закономірностям збереження матерії, енергії, коштів тощо; (4) загальносистемні баланси ресурсів, продуктів, послуг у системі за таким підходом розраховуються як у фізичних, так і у грошових одиницях [3].

При цьому принципово важливо, що, незважаючи на нелінійний і динамічний характер технологічних процесів у складній системі КТЕ та в її  $n$  підсистемах, обидві фундаментальні змінні  $e = (e_1, e_2, \dots, e_n)$  та  $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ , які вводяться до розгляду, по-перше, завжди позитивні, а по-друге — є елементами лінійних (векторних) просторів, що суттєво спрощує подальший аналіз та оптимізацію параметрів системи управління 3-Е ефективністю на всіх ієрархічних рівнях її розгляду [51, 53, 102, 109, 110]. Як елементи лінійних просторів ці фундаментальні змінні задовольняють наступним умовам [108]:

(1) для будь-яких двох їх складових, наприклад,  $(e_1, e_2)$  або  $(p_1, p_2)$ , що належать до множини параметрів управління  $U$ , однозначно визначається їх сума  $e = e_1 + e_2$ ,  $e \in U$ , яка підпорядковується законам комутативності ( $e_1 + e_2 = e_2 + e_1$ ) та асоціативності ( $e_1 + (e_2 + e_3) = (e_1 + e_2) + e_3$ );

(2) для будь-яких чисел  $\alpha, \beta$  та будь-якого вектору  $e \in U$  визначається вектор  $\alpha e \in U$  (добуток вектору  $e$  на число  $\alpha$ ), причому  $\alpha(\beta e) = (\alpha\beta)e$ ,  $(\alpha + \beta)e = \alpha e + \beta e$ ,  $\alpha(e_1 + e_2) = \alpha e_1 + \alpha e_2$ ;

(3) будь-яке лінійне перетворення у цьому просторі може бути записано як множення вектору на лінійний оператор  $A$ , причому

$$A(e_1 + e_2) \equiv Ae_1 + Ae_2, A(\alpha e_1) \equiv \alpha(Ae_1).$$

Перше із співвідношень умови (3), є ключовим для подальшого аналізу, оскільки за фізичним змістом визначає принцип суперпозиції енергії. Дія цього



фундаментального принципу в даній роботі поширюється на економічну категорію грошей та грошових потоків, які за своїм головним призначенням слугують загальним еквівалентом (товаром), за допомогою якого виражається вартість всіх інших товарів та економіко-математичні операції з якими також підпорядковуються умовам (1)-(3). Це дозволяє поряд з поняттям енерготехнологічної ефективності, яка визначається як  $\eta_i = Q_{i\text{вих}}/Q_{i\text{вх}}$ , де  $Q_{i\text{вих}}$  – потік (обсяг) вихідного енергетичного ресурсу, продукту, послуги, а  $Q_{i\text{вх}}$  – потік (обсяг) вхідних енергетичних ресурсів, продуктів, послуг  $i$ -тої підсистеми, які вимірюються у фізичних одиницях, формально визначати енергоекономічну та еколого-економічну ефективність функціонування будь-якої підсистеми (системи у цілому) як  $\mu_i = P_{i\text{вих}}/P_{i\text{вх}}$ , де  $P_{i\text{вих}}$  – потік (обсяг) платежів за вихідний енергетичний (екологічний) ресурс, продукт, послугу, а  $P_{i\text{вх}}$  – потік (обсяг) платежів за вхідні енергетичні (екологічні) ресурси, продукти, послуги  $i$ -тої підсистеми (системи), що вимірюються у грошових одиницях. При цьому з'являється можливість формувати нові або використовувати відомі коефіцієнти і показники 3-Е ефективності та якості функціонування системи КТЕ, які формально утворюються за умовами (1)-(3) як функції параметрів енергетичних та фінансових потоків у системі, наприклад, – відомий показник енергоємності, який визначається відношенням спожитої системою енергії у фізичних одиницях до створеної системою валової додаткової вартості у грошових одиницях.

Систематизація коефіцієнтів та показників енергетичної, економічної та екологічної ефективності на основі запропонованого підходу дозволяє виявити ще один принципово важливий ефект, а саме — наявність вісі симетрії між фізичними та економічними змінними системи, що своєї черги, свідчить про можливість використання певної нової сукупності властивостей системи, які підпорядковуються узагальненому принципу енергоекономічної суперпозиції. Так, за цим принципом, обсяги (потоки) ресурсів, продуктів, послуг системи у

фізичних та у грошових одиницях будуть визначатися ідентичними за структурою виразами [111]:

$$Q_{вих} = \eta_1 \eta_2 \dots \eta_n Q_{вх}, \quad P_{вих} = \mu_1 \mu_2 \dots \mu_n P_{вх}.$$

Формування цілісної системи коефіцієнтів та показників енергоекономічної ефективності управління 3-Е ефективністю відбувається поступово при переході від одного ієрархічно підпорядкованого стратифікаційного рівня до іншого. У свою чергу, на кожному стратифікаційному рівні можливо й доцільно використовувати свої специфічні підходи та моделі. Так, на кожному адміністративно-організаційному стратифікаційному рівні, де основні труднощі пов'язані з процесами прийняття управлінських рішень, алгоритм пошуку і прийняття рішень має включати у явному або неявному вигляді етапи (відповідні блоки, елементи, зв'язки тощо) вибору стратегії управління 3-Е ефективністю, корегування неузгодженостей, що виникають на різних рівнях ієрархії, визначення доцільних способів та засобів досягнення запланованого результату в умовах існуючих обмежень та ризиків.

Потрібно також підкреслити, що досягнення стратегічних цілей управління 3-Е ефективністю, в якості яких зазвичай слугують максимізація прибутку, підвищення енергоекономічної ефективності, мінімізація собівартості виробництва та екологічних витрат тощо, здійснюється шляхом впровадження енергозберігаючих заходів в ринкових умовах функціонування КТЕ України, що потребує беззаперечного врахування вартості самого управління.

Специфіка визначення цієї вартості в ринкових умовах полягає в тому, що управляючі елементи (органи) нижчих рівнів ієрархії системи, хоча і діють в умовах цілеспрямованого впливу елементів верхнього рівня, але ж у цілому мають свободу вибору власних рішень, які можуть бути, але не обов'язково будуть співпадати з рішеннями, які приймаються на вище розташованому рівні. Така свобода вибору є необхідною для ефективного функціонування ієрархічних систем ВІОТ-управління, бо тільки за умов раціонального

розподілення адміністративно-командних (директивних) і ринкових (конкурентних) функцій управління між елементами різних рівнів ієрархії виникає синергетичний ефект, який робить доцільним сам факт існування ієрархічної структури ВІОТ-управління в ринкових умовах функціонування системи КТЕ.

Рішення означених проблем побудови системи управління 3-Е ефективністю в КТЕ України є достатньо складним і потребує залучення теоретико-ігрових методів, методів теорії множин і функціонального аналізу, оптимізації та прогнозування.

З метою формалізації відносин між рівнями ієрархії управління спочатку розглянемо дворівневу (локальну) систему прийняття рішень на прикладі місцевої системи управління 3-Е ефективністю, що охоплює місцевий рівень та рівень господарюючих суб'єктів системи КТЕ, означених на рис.1.4 індексами  $M$  та  $H$ , відповідно. Така локальна система, що має один вище розташований елемент ОАУ<sub>М</sub> (місцеву раду з її виконавчим комітетом) та  $n$  підпорядкованих йому нижче розташованих елементів ОАУ<sub>Н</sub> – регіональних підприємств КТЕ, є типовою для системи управління енергозбереженням у ЖКГ України, яка у цілому складається з означених муніципальних підсистем за модульним принципом [3, 59, 60].

Процес управління у такій дворівневій системі з теоретичної точки зору може розглядатися як сукупність  $n$  незалежних ігор двох осіб – місцевого виконавчого комітету та окремо взятого підприємства КТЕ, які діють в ринкових умовах, але ж обмежених умовами координації та підпорядкованості між ними, або – як більш складну гру  $n$  осіб, пов'язаних коаліційними угодами. Ідеальна організація цього процесу як на практиці управління енергозбереженням у ЖКГ України, так і з теоретичної точки зору, спирається на перший тип гри, який доповнюється елементами системно узгодженої координації зусиль всіх  $n$  підприємств ЖКГ, які при цьому визначаються відомими всім гравцям правилами функціонування локальних (в даному

випадку – місцевих) ринків житлово-комунальних послуг та закріплюються договірними зобов'язаннями всіх учасників ринку [3].

Слід враховувати, що процеси координації управлінських рішень в ієрархічно побудованих системах протікають як у структурно-параметричному, так і часовому просторах. При цьому, часову послідовність прийняття управлінських рішень доцільно розглядати на двох інтервалах за алгоритмом, де на першому інтервалі вище розташований управляючий елемент координує дії нижче розташованих елементів до моменту, коли вони приймуть власні рішення. Така координація має базуватися на прогнозуванні поведінки як системи у цілому, що складається з  $n$  незалежних гравців, так і оточуючого середовища. При такій постановці, до задач управляючого елемента входить визначення функцій 3-Е ефективності діяльності елементів нижче розташованого рівня та відповідного механізму (процедури) визначення частки участі кожного з них у діяльності з підвищення ефективності функціонування системи у цілому. На другому інтервалі, після того моменту, як елементи нижче розташованого рівня приймуть та реалізують свої рішення, вище розташований елемент корегує свої рішення з урахуванням досягнутих системою результатів, застосовуючи за необхідністю штрафні санкції або засоби заохочення.

Параметри інформації, що циркулює по системі зверху вниз і навпаки, також змінюються у часі і просторі. При цьому сигнали, що надходять з гори, призвані конкретизувати задачі, які підлягають рішенню на рівні нижче розташованих елементів, а сигнали, що йдуть у зворотному напрямі — нести інформацію про стан функціонування елементів системи. В загальному випадку, вище розташований елемент формує алгоритми і правила взаємодії (правила гри) елементів та впливу на них з метою спрямування на досягнення глобальної мети системи, що реалізується за допомогою відповідних структур (органів), алгоритмів та способів взаємодії й координації.

У цілому, розглянутий алгоритм координації управлінських рішень, що має розрізняти часові та параметричні інтервали до та після реалізації заходів з підвищення ефективності функціонування системи у цілому та для кожного з її

локальних елементів (підсистем) окремо, з математичної точки зору виявляється задачею оптимального розподілення ресурсів, в даному випадку – “ресурсів” підвищення 3-Е ефективності (потенціалів енергозбереження тощо).

Оптимальна послідовність та динаміка управління “ресурсами” у системі проявляються в такій постановці задачі на етапах стиковки початкових і кінцевих умов реалізації кожного із заходів з підвищення 3-Е ефективності, які впроваджуються на різних підприємствах КТЕ за різними часовими інтервалами та обсягами витрат. При цьому, оптимальне управління набуває властивостей “револьверного” механізму, якщо замикається у цикл, за яким отриманий внаслідок реалізації заходів з підвищення 3-Е ефективності прибуток вкладається у нові заходи [59, 60].

### **2.2.2. Формалізація задачі управління підвищенням 3-Е ефективності на рівні підприємства КТЕ – споживачі К-послуг**

Проведений вище в межах теорії оптимального управління та загальної теорії великих систем аналіз задачі управління 3-Е ефективністю у системі КТЕ показав, що на функціональному рівні стратифікаційна система управління 3-Е ефективністю (див. рис.2.1.4 і рис.2.1.5) визначається багаторівневою ієрархічною структурою, яка за кібернетичними ознаками відноситься до систем типу “дуже складний ящик”, структурно-функціональні моделі яких утворюються з системних модулів, побудованих за принципом “вхід-вихід” (“ресурси-продукти”, “витрати-випуск” тощо) із залученням понять теорії множин, функціонального аналізу та ієрархічних систем [34, 51, 53, 102, 109, 110].

У якості теоретичної бази побудови системоутворюючого модуля моделі ВІОТ-управління 3-Е ефективністю будемо застосовувати основоположне поняття розбивки повної (вихідної) множини  $\hat{S}$  структурно-функціональних елементів, блоків, зв'язків або змінних моделі на систему з  $(i, n)$  відповідних

підмножин (підсистем)  $\bar{S}^i = \{S_1^i, \dots, S_n^i\}$  за адміністративно-організаційними, технологічними, економічними, екологічними та соціальними стратифікаційними ознаками, де  $i = I^C, I^H, I^M, I^D$  — індекси рівнів ієрархії  $C, H, M, D$  системи управління 3-Е ефективністю в КТЕ України [34].

Схему базового системоутворюючого модуля, побудованого відповідно до структурно-функціональних схем та змінних моделі багаторівневої системи управління 3-Е ефективністю, наведених на Рис.2.1.4 і Рис.2.1.5, представлено на Рис.2.2.1.

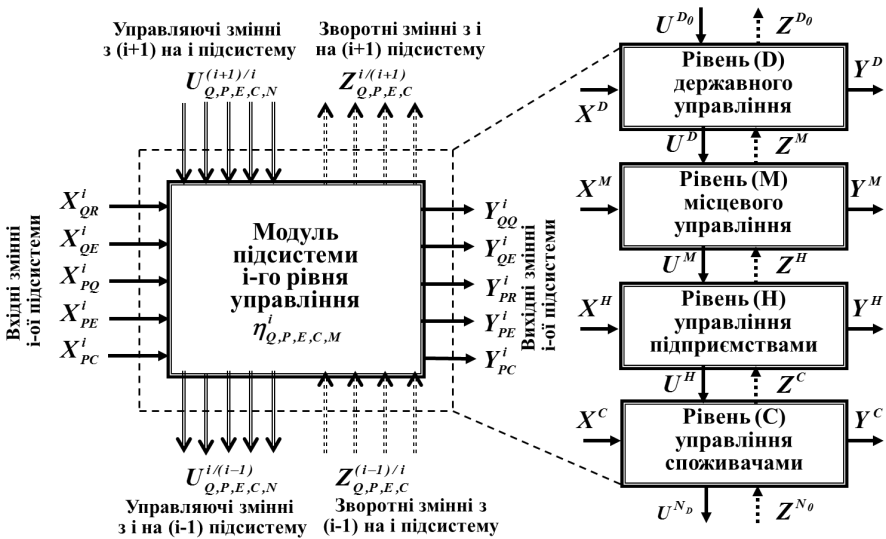


Рисунок 2.2.1 – Базовий структурно-функціональний модуль моделі багаторівневої системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю

До множини змінних вхідного впливу на підсистему  $i$ -го ієрархічного рівня (множини вхідних змінних підсистеми управління  $i$ -го рівня) системи управління 3-Е ефективністю, де  $i = I^C, I^H, I^M, I^D$ , будуть належати змінні

$$X^i = \{X_{QR}^i, X_{QE}^i, X_{PQ}^i, X_{PE}^i, X_{PC}^i\}, \quad (2.2.1)$$

які складають відповідні п'ятиелементні кортежі змінних, а до множини змінних вихідного впливу  $i$ -ої підсистеми на зовнішнє середовище (множини вихідних змінних підсистеми управління  $i$ -го рівня) – змінні

$$Y^i = \{Y_{QQ}^i, Y_{QE}^i, Y_{PR}^i, Y_{PE}^i, Y_{PC}^i\}, \quad (2.2.2)$$

які також складають відповідні п'ятиелементні кортежі.

У виразах (2.2.1)-(2.2.2):

$X_{QR}^i$  - множина кількісних характеристик  $Q_R$  матеріальних технологічних ресурсів  $R_Q$  (паливно-енергетичні та матеріально-технічні ресурси, обладнання, споруди тощо) підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня у натуральних (фізичних) одиницях;

$X_{QE}^i$  - множина кількісних характеристик  $Q_E$  екологічних ресурсів  $E_Q$  підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня у натуральних одиницях;

$X_{PQ}^i$  - множина вартостей  $P_Q$  технологічних продуктів  $Q_P$  підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня у грошових одиницях;

$X_{PE}^i$  - множина вартостей  $P_{ER}$  екологічних ресурсів  $E_R$  підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня у грошових одиницях;

$X_{PC}^i$  - множина вартостей  $P_{CR}$  вхідних соціальних дотацій (субсидій) та доплат  $C_R$  підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня у грошових одиницях;

$Y_{QQ}^i$  - множина кількісних характеристик  $Q_Q$  технологічних продуктів  $Q_P$  підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня у натуральних одиницях;

$Y_{QE}^i$  - множина обсягів  $Q_E$  викидів забруднюючих речовин  $E_Q$  підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня у натуральних одиницях;

$Y_{PR}^i$  - множина вартостей  $P_R$  фінансово-економічних та технологічних ресурсів  $R_P$  (трудовах, інвестиційних тощо) підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня у грошових одиницях;

$Y_{PE}^i$  - множина вартостей  $P_E$  виплат за забруднення оточуючого середовища  $E_P$  підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня у грошових одиницях;

$Y_{PC}^i$  - множина вартостей  $P_C$  вихідних соціальних дотацій та доплат  $C_Q$  підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня у грошових одиницях.

До множини змінних управляючого (регулюючого) впливу підсистеми  $(i+1)$ -го ієрархічного рівня на підсистему  $i$ -го рівня (множини управляючих змінних  $(i+1)$ -ої підсистеми) відносяться змінні  $U_{Q,P,E,C,N}^{(i+1)/i}$ , а до множини змінних управляючого (регулюючого) впливу підсистеми  $i$ -го ієрархічного рівня на підсистему  $(i-1)$ -го рівня (множини управляючих змінних  $i$ -ої підсистеми) – змінні  $U_{Q,P,E,C,N}^{i/(i-1)}$ . До множини змінних зворотного зв'язку з підсистеми  $(i-1)$ -го ієрархічного рівня на підсистему  $i$ -го рівня (множини зворотних змінних  $(i-1)$ -ої підсистеми) відносяться змінні  $Z_{Q,P,E,C}^{(i-1)/i}$ , а до множини змінних зворотного зв'язку з  $i$ -ої підсистеми на підсистему  $(i+1)$ -го ієрархічного рівня (множини зворотних змінних  $i$ -ої підсистеми) – змінні  $Z_{Q,P,E,C}^{i/(i+1)}$ . Тут нижні індекси  $Q, P, E, C, N$  відносяться до змінних, які визначаються відповідними технологічними, економічними, екологічними, соціальними та нормативно-правовими стратифікаційними підсистемами (рівнями), а верхніми індексами  $D_0, N_0$  та  $N_D$  означені зовнішні, для наведеного на Рис.2.2.1 структурно-функціонального модуля моделі системи управління 3-Е ефективністю, множини взаємозв'язків загальнодержавного управління  $U^{D_0}$  і  $Z^{D_0}$  (рівень економіки країни у цілому) та нормативно-правового регулювання показників споживання ПЕР і К-послуг  $U^{N_0}$  і  $Z^{N_0}$  у системі КТЕ України та впливу  $U^{N_D}$ , головним чином соціально-політичного спрямування, споживачів на таке управління і регулювання. Ефективність перетворення вхідних змінних у вихідні, яке здійснюється під впливом управляючих та зворотних змінних, за схемою “вхід-вихід” системоутворюючого модулю моделі визначається множиною показників  $\eta_{Q,P,E,C,N}^i \in \mathcal{H}^i$ , які залежать від цих змінних.

Як можна бачити, усі перелічені множини змінних є упорядкованими множинами, які відображаються п'ятиелементними кортежами, що у



сукупності визначають стан підсистем та системи управління 3-Е ефективністю в цілому, тобто вирізняють області визначення підсистем стратифікованої множини  $\bar{S}^i$  структурно-функціональних елементів, блоків, зв'язків та змінних системи управління на кожному її ієрархічному рівні окремо та для системи ВІОТ-управління у цілому.

На основі запропонованого модуля як типового (базового) елемента блочно-модульної структури управління 3-Е ефективністю в системі КТЕ України побудовано структурно-функціональну схему системи управління, деталізовану на рівні підприємств КТЕ та споживачів К-послуг, наведену на Рис.2.2.2 [3, 35], де позначено:  $BP_j$  – місцеві виробники К-послуг,  $j = \overline{1, n}$ ;  $PC_j$  – місцеві постачальники К-послуг,  $j = \overline{1, m}$ ;  $CP_j$  – місцеві споживачі К-послуг,  $j = \overline{1, k}$ . Взаємозв'язки підприємств КТЕ та споживачів К-послуг з місцевим рівнем  $M$  ієрархії системи управління у запропонованій схемі здійснюються на місцевих ринках виробництва ( $F$ ), постачання ( $B$ ) і споживання ( $C$ ) К-послуг та постачання ПЕР, енергозберігаючих матеріалів і енергоефективного обладнання ( $A$ ), які представлені на схемі укрупненими блоками (підсистемами) механізмів та організаційних структур економічного стимулювання учасників ринків до підвищення 3-Е ефективності використання ПЕР та енергозбереження. На Рис.2.2.2 також показано межу належності права власності на К-послугу, до якої права (і відповідальність за належне використання також) належать постачальнику, а за якої – споживачеві. Саме на цій межі здійснюється балансування попиту-пропозиції на К-послуги шляхом встановлення ринкової рівноваги між обсягами та цінами їх постачання і споживання:

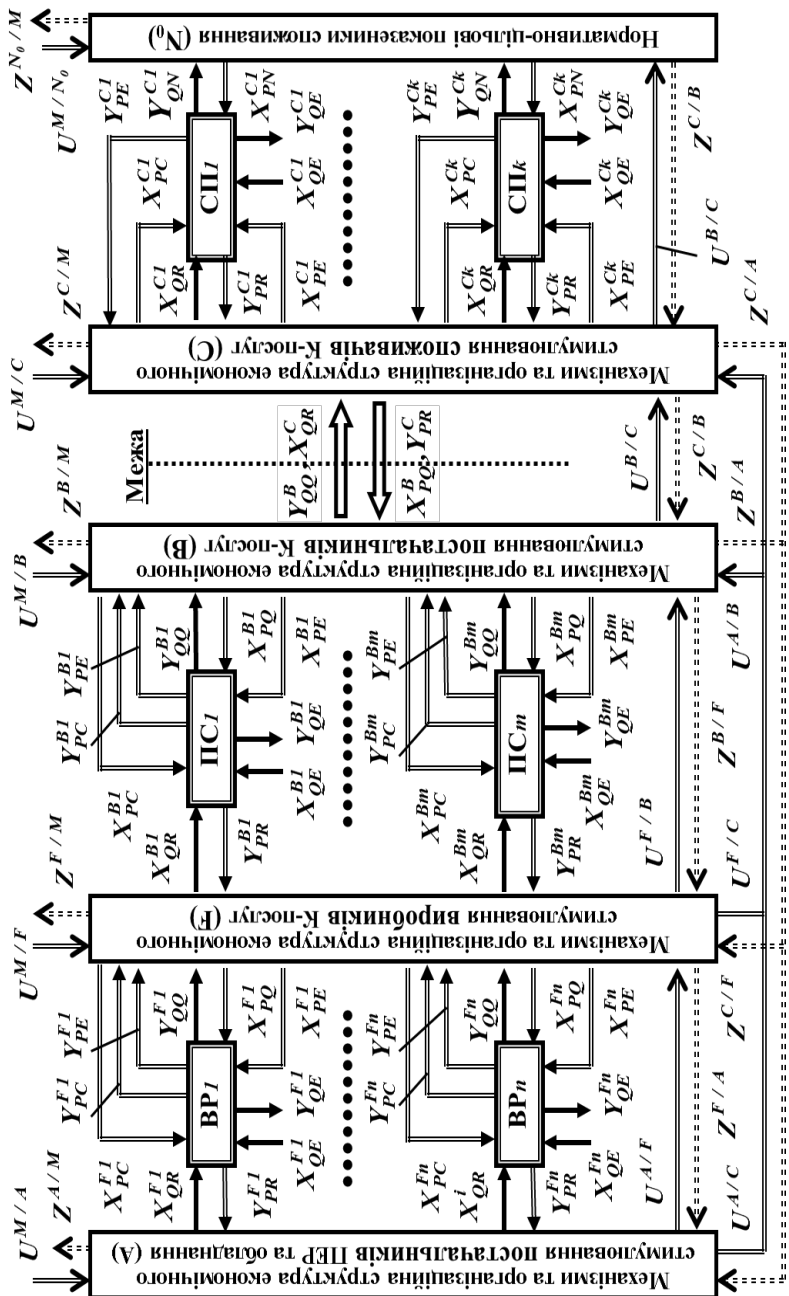


Рисунок 2.2.2 – Структурно-функціональна схема дворівневої системи управління підвищенням 3-Е ефективності на рівні: підприємства КТЕ – споживачі

$$Y_{QO}^B = X_{QR}^C \text{ та } Y_{PR}^C = X_{PO}^B. \quad (2.2.3)$$

Цільовими орієнтирами щодо вибору економічно доцільних обсягів і цін К-послуг слугують нормативно-цільові показники їх споживання, які визначаються за прогресивними нормами та показниками технічно досяжних у КТЕ України на даний період часу.

Узагальнюючі такий підхід до побудови багаторівневих систем ВІОТ-управління можна бачити, що управляючі та зворотні зв'язки між ієрархічно підпорядкованими рівнями системи доцільно здійснювати на внутрішніх місцевих (регіональних) ринках, організаційні структури та функціонування яких базується на принципах гармонійного поєднання адміністративно-командних та ринкових методів управління 3-Е ефективністю.

Враховуючі складність цієї задачі будемо здійснювати її формалізацію на основі теоретико-множинного підходу [34, 51, 53, 109], який дозволяє встановлювати взаємозв'язки між змінними стратифікованих підсистем на всіх ієрархічних рівнях управління у вигляді упорядкованих сукупностей відображень  $\mathcal{H}^i: X^i \rightarrow Y^i$  множин вхідних змінних  $x^i \in X^i$  в множини  $y^i \in Y^i$  вихідних змінних підсистем  $i$ -го рівня ієрархії управління з подальшим урахуванням (деталізацією) впливу на ці змінні управляючих  $u^i \in U^i$ ,  $u^{i-1} \in U^{i-1}$  та зворотних  $z^i \in Z^i$ ,  $z^{i+1} \in Z^{i+1}$  змінних.

Важливо, що формалізована таким чином сукупність  $\mathcal{H}^i$  буде мати чіткий фізичний взаємозв'язок з ефективністю перетворення множин вхідних змінних (енергетичних, технологічних, економічних, екологічних, соціальних тощо) в множини вихідних змінних для підсистем будь-якого рівня ієрархії, що має принципово значення для визначення ефективності ВІОТ-управління в КТЕ України у цілому. При цьому, трійка множин  $(X^i, Y^i, \mathcal{H}^i)$  буде задавати математично формалізовані відповідності, області визначення яких співпадають з  $X^i$ , і де для кожного  $x^i \in X^i$  будуть існувати  $y^i \in Y^i$ , такі що

$(x^i, y^i) \in \mathcal{H}^i \subseteq X^i \times Y^i$ , а у разі врахування залежності  $x^i$  і  $y^i$  множин  $X^i$  і  $Y^i$  від часу  $t$ , елементами множин  $\eta^i \in \mathcal{H}^i$  будуть пари  $(x^i(t), y^i(t))$ .

За цим підходом, для означених на Рис.2.2.1 чотирьох ієрархічних рівнів системи управління маємо наступну основну систему відображень  $\bar{\mathcal{H}}^i$  управління підвищенням 3-Е ефективності у КТЕ України [3, 34, 35]:

$$\begin{aligned} \mathcal{H}^D &: X^D \times U^{D_0} \times Z^M \rightarrow Y^D; \\ \mathcal{H}^M &: X^M \times U^D \times Z^H \rightarrow Y^M; \\ \mathcal{H}^H &: X^H \times U^M \times Z^C \rightarrow Y^H; \\ \mathcal{H}^C &: X^C \times U^H \times Z^{N_0} \rightarrow Y^C, \end{aligned} \quad (2.2.4)$$

та додаткову систему наступних двох підсистем відображень вихідних змінних в змінні управляючих і зворотних зв'язків між рівнями ієрархічної системи управління:

$$\begin{aligned} \chi^{D_0} &: Y^{D_0} \rightarrow U^{D_0}; & \xi^M &: Y^M \rightarrow Z^M; \\ \chi^D &: Y^D \rightarrow U^D; & \xi^H &: Y^H \rightarrow Z^H; \\ \chi^M &: Y^M \rightarrow U^M; & \xi^C &: Y^C \rightarrow Z^C; \\ \chi^H &: Y^H \rightarrow U^H; & \xi^{N_0} &: Y^{N_0} \rightarrow Z^{N_0}, \end{aligned} \quad (2.2.5)$$

яку визначено таким чином, що для кожного елемента  $x \in X^i$  та  $y = H^i(x)$ :

$$\begin{aligned} y^D &= \mathcal{H}^D(x^D, \chi^{D_0}(y^{D_0}), \xi^M(y^M)); \\ y^M &= \mathcal{H}^M(x^M, \chi^D(y^D), \xi^H(y^H)); \\ y^H &= \mathcal{H}^H(x^H, \chi^M(y^M), \xi^C(y^C)); \\ y^C &= \mathcal{H}^C(x^C, \chi^H(y^H), \xi^{N_0}(y^{N_0})), \end{aligned} \quad (2.2.6)$$

де  $y^{D_0} \in Y^{D_0}$  є елементами множини вихідних змінних системи управління 3-Е ефективністю на рівні економіки країни, яка складається з відповідних

п'ятиелементних кортежів змінних  $Y^{D_0} = \{Y_{QQ}^{D_0}, Y_{QE}^{D_0}, Y_{PR}^{D_0}, Y_{PE}^{D_0}, Y_{PC}^{D_0}\}$ ,

а  $y^{N_0} \in Y^{N_0}$  – елементами множини вихідних змінних, які визначаються за

прогресивними нормами та показниками, технічно досяжними у КТЕ України на даний період часу, та яка (множина) також складається з п'ятиелементних кортежів змінних  $Y^{N_0} = \{Y_{QQ}^{N_0}, Y_{QE}^{N_0}, Y_{PR}^{N_0}, Y_{PE}^{N_0}, Y_{PC}^{N_0}\}$ .

Як наслідок, повна стратифікована система відображень управління 3-Е ефективністю у КТЕ України буде визначатися перетвореннями  $H^i$ , що задають розбивку системи  $\bar{H}^i$  на ієрархічно підпорядковані підсистеми, та відображеннями  $\chi^i$  та  $\xi^i$ , які встановлюють зв'язки між цими підсистемами.

З урахуванням ринкових умов (2.2.3) балансування потоків продуктів, ресурсів і послуг у фізичних та грошових одиницях, структура та механізми функціонування внутрішніх (місцевих) ринків енергоефективного обладнання і енергосервісних послуг (див. Рис.2.2.2), головною метою створення яких є економічне стимулювання підприємств-виробників і споживачів К-послуг до підвищення ефективності використання ПЕР та енергозбереження, також можуть бути формалізовані аналогічною до системи рівнянь (2.2.4)-(2.2.6) основною та додатковими підсистемами відображень множин вхідних і управляючих змінних в множини вихідних та зворотних змінних.

При цьому задача управління 3-Е ефективністю в КТЕ України набуває специфічних властивостей ринкових задач прийняття рішень в умовах, коли стан об'єктів ВІОТ-управління до впровадження заходів з підвищення 3-Е ефективності (передісторія) може бути визначеним за наявною статистичною інформацією, а фізичний зміст функціональних залежностей  $\mathcal{H}^i$  (операторів, функціоналів, функцій тощо) – таким, що однозначно визначається механізмами і засобами управління, які плануються для впровадження або практично застосовуються для перетворення вхідних ресурсів, продуктів, послуг тощо у вихідні.

Нехай підсистема ( $i-1$ ) рівня ієрархії управління подає на розгляд підсистеми  $i$ -го рівня інформацію  $Z^{i-1}$  у вигляді сукупності (набору) прийнятних для себе з точки зору власних цільових функцій, завдань та пропозицій. На базі отриманої інформації та з урахуванням власних цільових функцій підсистема  $i$ -го рівня виробляє сукупність управляючих впливів  $U^i$ , за якими підсистема ( $i-1$ ) рівня має право вибору щодо реалізації узгодженої з верхнім рівнем пропозиції (проектів, механізмів, заходів тощо з підвищення 3-Е ефективності та енергозбереження), де процедура узгодження, як правило, носить ітеративний характер.

Припустимо, що ефективність механізмів (засобів) управління на певному рівні  $M$  ієрархії системи (рис.2.2.1) визначається функціональним відображенням  $\Pi^M$ . Тоді процедуру визначення множини результатів  $Y^M$  реалізації припустимих стратегій управління на цьому рівні можливо представити декартовим добутком двох непорожніх множин  $\mathcal{B}$  та  $\mathcal{A}$  у вигляді множини  $\mathcal{B}^M \times \mathcal{A}^M$ , що складається з усіх упорядкованих пар виду  $(\beta^M, \alpha^M)$ , перша компонента якого  $\beta^M \in \mathcal{B}^M$ , а друга компонента  $\alpha^M \in \mathcal{A}^M$ , де  $\mathcal{B}^M$  – множина альтернативних способів і засобів реалізації стратегії управління на рівні  $M$ ,  $\mathcal{A}^M$  – множина способів і засобів корегування можливих невідповідностей (неузгодженостей) між діями  $\beta^M$  та очікуваним результатом  $y^M \in Y^M$ , а саме:

$$\Pi^M : \mathcal{B}^M \times \mathcal{A}^M \rightarrow Y^M. \quad (2.2.7)$$

При цьому функція оцінки  $\Theta$  досягнутого результату за різними стратегіями управління на рівні  $M$  може бути представлена відображенням

$$\Theta^M : \mathcal{B}^M \times Y^M \rightarrow V^M, \quad (2.2.8)$$

де  $V^M$  – множина характеристик ефективності реалізації різних стратегій управління на рівні  $M$ , повністю або частково упорядкована відношенням  $\leq$ .

Нехай на іншому рівні  $D$  (Рис.2.2.1) ієрархії системи ефективність механізмів (засобів) управління визначається функціональним відображенням

$$\mathcal{T}^D : \mathcal{B}^D \times \mathcal{A}^D \rightarrow Y^D. \quad (2.2.9)$$

Тоді добуток  $\mathcal{T}^M \mathcal{T}^D$  відображень  $\mathcal{T}^M$  та  $\mathcal{T}^D$ , який за умови, що  $Y^M$  збігається з  $\mathcal{B}^D \times \mathcal{A}^D$ , буде відображенням  $\mathcal{B}^M \times \mathcal{A}^M$  в  $Y^D$  [83, 84, 86]:

$$\mathcal{T}^M \mathcal{T}^D : \mathcal{B}^M \times \mathcal{A}^M \rightarrow Y^D. \quad (2.2.10)$$

Коли застосуванням ітеративно-адаптивних процедур неузгодженості управління на певному рівні ієрархії буде усунене і відносно досягнутого результату за даним механізмом управління чи засобом дії не буде невизначеностей, то задача вибору оптимального впливу формалізується у вигляді: знайти такий елемент  $\bar{\beta} \in \mathcal{B}$ , для якого співвідношення

$$\Theta(\bar{\beta}, \mathcal{T}(\bar{\beta})) \leq \Theta(\beta, \mathcal{T}(\beta)) \quad (2.2.11)$$

виконується для будь-якої іншої дії  $\beta \in \mathcal{B}$ .

За необхідністю врахування множини управляючих змінних  $U^i$  цільова функція управління  $G^i$  на кожному рівні ієрархії буде задаватися трьома множинами у вигляді наступних вихідних функцій: (2.2.12) – функцій і величин оцінки ефективності функціонування системи, (2.2.13) – функцій і величин оцінки ефективності реалізації різних стратегій управління та (2.2.14) – їх взаємозв'язку з цільовими функціями управління:

$$\mathcal{T}^i : \mathcal{B}^i \times U^i \rightarrow Y^i \quad (2.2.12)$$

$$\Theta^i : \mathcal{B}^i \times U^i \times Y^i \rightarrow V^i; \quad (2.2.13)$$

$$G^i(x^i, u^i) = \Theta^i(x^i, u^i, \mathcal{T}^i(x^i, u^i)), \quad (2.2.14)$$

де у загальному випадку множина  $U^i$  управляючих змінних в залежності від рівня абстрагування (оператор, функціонал, функція) може відображати як структурні, так і параметричні фактори впливу на вихідний результат.

Як видно з рівнянь (2.2.6)-(2.2.14), на кінцевий результат розв'язання задачі оптимального вибору параметрів управління системою, окрім виду цільових функцій і характеристик ефективності (якості) функціонування підсистем, впливають механізми і способи реалізації стратегії ВІОТ-управління на кожному з рівнів ієрархії системи.

### **2.2.3. Координація взаємодії елементів багаторівневої системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю в КТЕ України**

Відкритим в побудованих вище дворівневих моделях управління 3-Е ефективністю в КТЕ України залишається питання координації взаємодії об'єктів (елементів) системи управління на всіх ієрархічних рівнях. Координованість як фундаментальна властивість складних систем виявляється у здатності елементів цих систем до узгодженої взаємодії задля досягнення загальносистемної (глобальної) мети.

Координація як системна задача є сферою відповідальності вище розташованих управляючих елементів (підсистем), у процесі якого вони намагаються стимулювати нижче розташовані управляючі елементи до реалізації глобальної мети навіть на збиток їх локальних інтересів. Це безумовно сприяє виникненню конфліктів, наслідки яких мають бути мінімізовані системно узгодженими діями, які мають базуватися на теоретично обґрунтованих та практично вивірених методах і засобах управління, у першу чергу економічного стимулювання підвищення 3-Е ефективності функціонування підприємств КТЕ.

Складність та різноманітність управління великим енерготехнологічним господарством підприємств КТЕ, що складається з  $(n+m+k)$  технологічних підсистем (об'єктів), які управляються окремими (локальними) управляючими підсистемами, є першопричиною необхідності координації їх взаємодії, де  $n$  – кількість місцевих виробників К-послуг,  $m$  – кількість



місцевих постачальників цих послуг, а  $k$  – кількість місцевих споживачів К-послуг (див. рис.2.2). В ринкових умовах ця процедура складається з двох взаємопов'язаних процесів, – вироблення власних рішень (пропозицій) локальними управляючими підсистемами (підприємствами КТЕ) та їх узгодження (корегування) за результатами взаємодії підприємств зі споживачами на ринках К-послуг (узгодження за попитом).

За теоретико-множинним підходом ця процедура потребує введення у розгляд (до моделі управління) двох типів координуючих сигналів зворотних зв'язків  $U^{\cap^s}$  та  $U^{\cap^d}$ , що функціонують за правилами взаємодії об'єктів (підприємств) на ринках К-послуг (за механізмами типу “невидимої руки” тощо) [3, 34, 51, 52].

Формалізація означених проблем координації починається з вирішення задачі поіменної індексації та упорядкування структурно-функціональних ознак елементів системи з визначенням місця і ролі кожного з учасників системи у кінцевих результатах підвищення 3-Е ефективності в КТЕ країни.

Система таких ознак [3, 34] має розрізняти поелементно велику кількість різнорідних та внутрішнє упорядкованих за специфічними правилами і закономірностями множин підприємств та органів управління (і змінних, що їх відображають тощо) багаторівневої системи ВІОТ-управління КТЕ України, у першу чергу елементи (підмножини, підприємства) множин  $H = H^F, H^B$  виробників  $F$  і постачальників  $B$  та споживачів  $C = C^D, C^P, C^S, C^U, C^G$  К-послуг, які, у свою чергу, розрізняються за індексами сфери належності житлово-комунальних послуг  $L = L^H, L^V, L^W, L^B, L^E, L^G, L^T, L^L, L^U$  та адміністративно-територіальної  $R = R^V, R^M, R^P, R^O, R^R$  належності, формою власності підприємств  $H^D, H^M, H^P$  тощо. Система має розрізняти взаємозв'язані з ними елементи множин відповідних ринків  $O = O^F, O^B, O^C, O^A$  виробництва, постачання і споживання К-послуг та енергосервісних послуг, елементи множин органів управління тощо за рівнями ієрархії  $I = I^C$ ,

$I^H$ ,  $I^M$ ,  $I^D$ , формами  $E = E^K, E^A, E^F$  адміністративно-командних і фінансово-комерційних форм і структур управління та економічного стимулювання 3-Е ефективності на державному  $D = D^M, D^S, D^C, D^R, D^G, D^F$  і місцевому  $M = M^D, M^P, M^M, M^F$  рівнях та на рівні окремих підприємств і споживачів.

Схематичне поле структурно-функціональних класифікаційних ознак системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю у КТЕ України наведено на Рис.2.2.3.

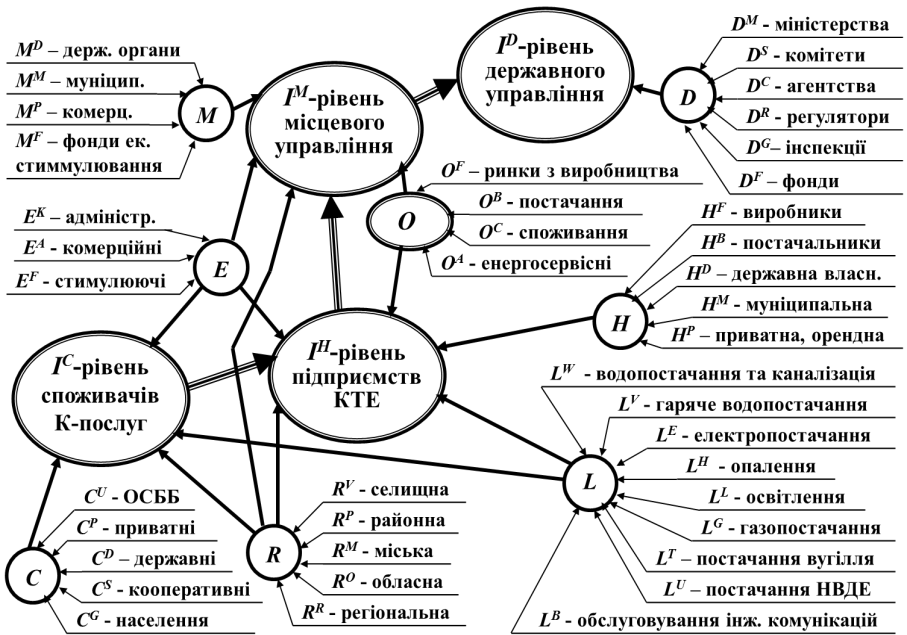


Рисунок 2.2.3 – Схематичне поле структурно-функціональних класифікаційних ознак системи управління 3-Е ефективністю в КТЕ України

Тут і далі:  $D^M, D^S, D^C, D^R, D^G, D^F$  – індекси міністерств, комітетів, агентств і регуляторних органів, інспекцій і фондів 3-Е ефективності та енергозбереження на рівні державного управління;  $R^V, R^P, R^M, R^O, R^R$  – індекси відповідних селищних, районних, міських, обласних та регіональних органів адміністративно-територіального управління;  $M^D, M^P, M^M, M^F$  – індекси місцевих державних органів, фінансово-комерційних і

муниципальних енергосервісних компаній і фондів з економічного стимулювання 3-Е ефективності та енергозбереження;  $L^H, L^V, L^W, L^B, L^E, L^G, L^T, L^L, L^U$  – індекси сфери належності житлово-комунальних послуг з опалення, гарячого водопостачання, постачання питної води і водовідведення (каналізації), обслуговування інженерних комунікацій, електропостачання, газопостачання, постачання вугілля і нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (НВДЕ), освітлення, тощо;  $H^D, H^M, H^P$  – індекси підприємств ( $F = F^D, F^M, F^P$  - виробників,  $B = B^D, B^M, B^P$  – постачальників) державної, муніципальної та приватної форм власності, акціонерних товариств, орендних підприємств тощо;  $C^D, C^P, C^S, C^U, C^G$  - індекси споживачів державної, приватної, кооперативної форм власності, об'єднань співвласників багатоквартирних будинків та окремих категорій населення, орендарів тощо.

Нагадаємо, що індекси, означені на схематичному полі структурно-функціональних класифікаційних ознак системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю в КТЕ України (Рис.2.2.3), є верхніми індексами вхідних і вихідних, управляючих і зворотних змінних у побудованих моделях управління, де нижні індекси  $C, E, N, P, Q$  та  $PC, PE, PQ, PR, QE, QQ, QR$  (Рис.2.2.1) визначаються упорядкованими за правилами (2.2.1)-(2.2.2) технологічними, економічними, екологічними, соціальними та нормативно-правовими структурно-функціональними класифікаційними ознаками.

При цьому, ієрархічність (багаторівневість тощо) структури моделі управління 3-Е ефективністю в КТЕ України призводить до необхідності побудови адекватної їй ієрархічної системи індексації об'єктів моделі ВІОТ-управління і множин, що їх відображають. Тому, на наступному за  $j$  ієрархічному рівні системи індексації має бути розташований індекс  $i$  рівня ієрархії системи управління.

Далі встановимо правило, за яким індекси всіх об'єктів і множин, означених на Рис.2.2.3 і за текстом великими (прописними) літерами, будуть

визначатися відповідними до них малими (рядковими). Тоді, третій рівень системи індексації буде представлений у вигляді кортежу  $(c, h, m, d, o)$  структурних індексів системи управління 3-Е ефективністю, деталізованих за формами власності та функціональної і адміністративної належності об'єктів системи, де:

$$\begin{aligned} c &= d, p, s, u, g; & m &= d, p, m, f; \\ f &= d, m, k; & d &= m, s, c, r, g, f; \\ b &= d, m, k; & o &= f, b, c, a, \end{aligned}$$

а четвертий – у вигляді кортежу індексів  $(r, l)$ , деталізованих за територіальною і видовою належністю цих об'єктів:

$$\begin{aligned} r &= v, m, p, o, r; \\ l &= h, v, w, b, e, g, t, l, u. \end{aligned} \tag{2.2.15}$$

І на завершальному, п'ятому рівні запропонованої системи розташовуються індекси, що визначають форми управління 3-Е ефективністю

$$e = k, a, f. \tag{2.2.16}$$

За правилами (2.2.15)-(2.2.16) побудови системи індексації легко формалізуються також індекси змінних управляючих і зворотних зв'язків між елементами системи за допомогою типового означення  $a/b$ , де  $a$  відноситься до об'єкту (елементу), з якого виходить, а  $b$  – до якого входить спрямований до нього зв'язок.

Нагадаємо, що для належного функціонування запропонованої системи індексації принципово важливим є той факт, що множини змінних побудованих моделей підсистем ВІОТ-управління 3-Е ефективністю підпорядковуються правилам розбивки, які встановлюють для кожного  $j$ -го об'єкту нижнього рівня ієрархії системі індексації (2.2.15)-(2.2.16) повноваження щодо вибору саме тих  $j$ -х компонентів класифікаційних ознак, які властиві саме цим об'єктам [34, 108, 109, 112].

Ще однією, не зазначеною у явному вигляді функціональною властивістю запропонованої системи індексації залишається можливість об'єднання  $\cup$  як однорідних, так і різнорідних за класифікаційними ознаками об'єктів системи управління 3-Е ефективністю (і відповідних змінних, що їх відображають) у структурно-функціональні групи (класи, множини), наприклад, за адміністративно-територіальними та/або видовими ознаками, тим самим визначаючи ступінь досягнутого за цими об'єднаннями покращення 3-Е ефективності.

Таким чином, застосування запропонованої системи наскрізної індексації взаємодіючих елементів багаторівневої системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю в КТЕ України дозволяє не тільки поіменно визначати об'єкти (учасників) системи та зв'язки між ними за сукупністю структурно-функціональних класифікаційних ознак, а і об'єднувати ці об'єкти (і учасників) у групи і класи за більш складними, ніж операція прямого підсумовування, функціональними перетвореннями, наприклад, за правилами регулювання природних монополістів на ринках К-послуг [113-115]. До того ж, систематизувати задачі координації планів, програм і конкретних проектів з підвищення 3-Е ефективності функціонування управляючих елементів і підсистем, розташованих на різних ієрархічних рівнях системи управління, з відповідними планами, програмами і проектами з підвищення 3-Е ефективності управління використанням енергетичних і природних ресурсів в КТЕ [116-118].

Наступною після вирішення задачі індексації постає задача формалізації процесів координації взаємодії визначених елементів у системі. Серед існуючих підходів до розв'язання цієї проблеми у багаторівневих системах, що функціонують за ринковими правилами прийняття нижче розташованими елементами своїх рішень, можуть бути застосовані наступні підходи [3, 51, 52, 103, 119-122]:

- прогнозування взаємодії, за яким управляючі сигнали  $u^j$  вище розташованих елементів формуються на базі інформації про прогнозні рішення  $x_{pr}^j(D^j)$  нижче розташованих локальних елементів;

- декомпозиції (розв'язання) взаємодії, за яким локальні елементи мають право варіювати параметри управляючих сигналів  $u^j$ , які розглядаються ними як частина наявної інформації для вироблення власних рішень;

- встановлення діапазону взаємодії, коли вище розташований управляючий елемент не указує параметри взаємодії, а задає лише допустимі області їх зміни, в межах яких нижче розташовані елементи мають свободу вибору власних рішень;

- об'єднання і створення коаліцій, наприклад, за видовими (тепло,- газо,- електропостачання тощо) або адміністративно-територіальними ознаками, які функціонують за визначеними в їх статутах умовами;

- встановлення правил гри, відомих нижче розташованим елементам, за якими реалізація рішень вище розташованого елемента є економічно доцільною для нижче розташованих елементів;

- надавання керуючими елементами дозволів або встановлення обмежень на обмін інформацією між нижче розташованими у системі елементами, співвідношення яких регулює ступінь конкуренції на ринках К-послуг.

В останньому випадку слід пам'ятати, що організація обміну інформацією між елементами одного рівня з загальносистемної точки зору не принесе додаткової вигоди, якщо застосовувати лінійні функції ефективності (якості) [52].

Координація взаємодії управляючих елементів за означеними підходами частіше за все здійснюється за допомогою процедур знаходження рішення  $x(D^s)$  глобальної (загальносистемної) задачі  $D^s$  оптимізації параметрів управління системи, що складається з сукупності рішень

$x^j(D^j)$  ієрархічно підпорядкованих локальних задач оптимізації  $D^j(u^j)$ ,  $u^j \in U$ , які розв'язують нижче розташовані управляючі елементи системи під впливами  $U$  вище розташованих управляючих елементів. Формалізація таких процедур полягає у наступному.

Нехай  $\bar{D}^s(u) = \{D^l(u^l), \dots, D^n(u^n)\}$  є сукупність локальних задач, яка потребує окремого від  $D^s$  рішення, а  $\bar{x}(D^s) = \{x^l(D^l), \dots, x^n(D^n)\}$  – рішення задачі  $\bar{D}^s(u)$ . Тоді, задача координації управляючих дій системи формалізується у вигляді

$$\Phi(x(D^s) - \bar{x}(D^s)) \rightarrow \min, \quad (2.2.17)$$

розв'язання якої у більшості випадків здійснюється за умов визначення у явній чи неявній формі відображення (функції, функціоналу тощо)

$$\varphi: \bar{x}(D^s) \rightarrow x(D^s), \quad (2.2.18)$$

а глобальна задача оптимізації  $D^s$ , яка реалізує загальносистемну мету управління, представляється за теоретико-множинним підходом парою  $(G^s, U^s)$ , де  $G^s$  – задана цільова функція.

При цьому слід пам'ятати, що задача координації за виразами (2.2.17)-(2.2.18) у більшості випадків є задачею багатокритеріальної оптимізації, розв'язання якої потребує окремого визначення критеріїв (принципів) оптимальності (ефективності) і стійкості (рівноваги) рішень, що приймаються у процесі координації [50, 52, 58? 119-122].

Так, за принципом оптимальності Парето рішення  $\{\hat{x}^l(D^l), \dots, \hat{x}^n(D^n)\}$  вважається ефективним, якщо не існує будь-якого іншого рішення  $\{\bar{x}^l(D^l), \dots, \bar{x}^n(D^n)\}$ , яке було б «кращим» хоча би для одного з локальних елементів системи, тобто:

$$G^j(\bar{x}^1, \dots, \bar{x}^n) \geq G^j(\hat{x}^1, \dots, \hat{x}^n), \forall j = \overline{1, n};$$

$$G^k(\bar{x}^1, \dots, \bar{x}^n) > G^k(\hat{x}^1, \dots, \hat{x}^n)$$
(2.2.19)

хоча б для одного  $k$ .

За принципом стійкості (наприклад, рівноваги по Нешу) рішення  $\{\hat{x}^1(D^1), \dots, \hat{x}^n(D^n)\}$  вважається рівноважним, якщо відступ від нього будь-якого з елементів невігідно передусім «відступнику», тобто

$$G^k(\hat{x}^1, \dots, \hat{x}^{k-1}, \hat{x}^k, \hat{x}^{k+1}, \dots, \hat{x}^n) =$$

$$= \max_{x_k} G^j(\hat{x}^1, \dots, \hat{x}^{k-1}, \hat{x}^k, \hat{x}^{k+1}, \dots, \hat{x}^n).$$
(2.2.20)

Як можна побачити, результати формалізації задачі координації управляючих дій багаторівневої системи за виразами (2.2.17)-(2.2.18) є подібними результатам формалізації задачі управління 3-Е ефективністю, сформульованими в межах теорії автоматичного управління, де задача пошуку оптимальних управляючих дій  $u^j$ , які мінімізують функцію міри відхилення досягнутого стану системи від мети, вирішується шляхом введення зворотних зв'язків [33].

За цією аналогією, в задачі координації “вихідний сигнал” системи  $\bar{x}(D^s)$  має порівнюватися з бажаним станом “об’єкту управління”  $x(D^s)$  і різниця (відхилення) після перетворення  $\Phi$  по ланцюгам зворотних зв'язків подаватися на органи управління для корегування управляючих впливів у потрібний бік. Така аналогія є продуктивною для розв’язання проблеми координації взаємодії підсистем багаторівневої системи, яка у даному випадку зводиться до більш формалізованих задач вибору типу та параметрів глобального та локальних екстремальних регуляторів.

Окрім узгодження рішень (планів, завдань, проєктів), що пропонуються об’єктами на різних ієрархічних рівнях системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю, координуванню підлягають цільові функції, за якими вони реалізуються (здійснюються).



Взаємозв'язки цільових функцій  $G^i$  для різних рівнів ієрархії системи управління 3-Е ефективністю з вихідними функціями  $Y^i$  реалізації кінцевих рішень, отриманими за різними сценаріями при різних характеристиках  $V^i$  ефективності їх реалізації, встановлені вище у вигляді системи відображень (2.11)-(2.13).

За цими виразами, рішенням глобальної задачі  $D^s$  будуть управляючі впливи  $\bar{u}^s$ , що забезпечують

$$G^s(x^s, \bar{u}^s) = \min \Theta^s(x^s, u^s, \Pi^s(x^s, u^s)), \quad (2.2.21)$$

де:

$$\Pi^s : U^s \rightarrow Y^s; \quad \Theta^s : U^s \times Y^s \rightarrow V^s.$$

При цьому, рішеннями локальних оптимізаційних задач  $D^j(u^j)$  на кожному рівні ієрархії системи будуть відповідні елементи множин допустимих рішень  $x^j(D^j)$ , що забезпечують

$$\bar{G}^j(\bar{x}^j, \bar{u}^j) = \min \bar{\Theta}^j(x^j, u^j, \bar{\Pi}^j(x^j, u^j)), \quad (2.2.22)$$

де:

$$\bar{\Pi}^j = \Pi^j; \quad \bar{\Theta}^j : B^j \times U^j \times Y^j \rightarrow V^j.$$

Як можна бачити з наведених виразів (2.2.21)-(2.2.22), за визначеними (заданими) величинами  $V$  на кожному рівні ієрархії можливі два способи вирішення задачі координації, – через зміни локальних функцій якості (ефективності)  $\Theta^{ij}$  та/або множин допустимих рішень (стратегій тощо)  $B^{ij}$ . При цьому, задачі координації полягають у знаходженні оптимальних параметрів управляючих впливів  $U^{ij}$ , за якими максимальний загальносистемний ефект досягається за мінімальними загальносистемними витратами.

Зрозуміло, що природне намагання локальних елементів максимізувати власні цільові функції, у загальному випадку не гарантує досягнення

глобального оптимуму, що призводить до конфліктів інтересів, розв'язання яких потребує застосування специфічних координуючих сигналів. У системах з ієрархічною структурою виникають два види такого роду конфліктів: міжрівневі, коли глобальна мета і локальні цілі не сумісні у тому сенсі, що досягнення мінімальних локальних витрат суперечить мінімізації загальносистемних витрат, та внутрішньорівневі, коли мінімізація витрат одним локальним елементом не дозволяє іншому елементу досягати власних мінімальних витрат.

З точки зору координації, розв'язання такого роду конфліктів потребує формалізації залежностей цільових функцій глобальних (2.2.23) та локальних (2.2.24) витрат від відповідних управляючих впливів та функцій якості (ефективності) функціонування системи, а також залежностей (2.2.25) між цими функціями якості на різних рівнях ієрархії системи управління:

$$G^{L_S} : U^{L_S} \rightarrow V^{L_S} ; \quad (2.2.23)$$

$$G^{L_j} : U^{L_j} \rightarrow V^{L_j} ; \quad (2.2.24)$$

$$g^{L_S} : U^{L_j} \rightarrow V^{L_S} . \quad (2.2.25)$$

В ринкових умовах управління системою до залежностей (2.2.23)-(2.2.25) додаються функції оцінки глобальних  $G^{L_S^e}$  витрат у системі та локальних  $G^{L_j^e}$  витрат конкурентів, якими ці витрати уявляються з точки зору самих локальних елементів, та на базі яких вони розробляють власні стратегії поведінки (пропозиції, рішення тощо).

#### **2.2.4. Ринкові моделі та механізми економічного стимулювання взаємодії елементів ієрархічної системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю**

Як показано у попередніх розділах, наявність ієрархічної структури побудови складних систем управління припускає існування відповідної ієрархічної структури локальних цілей елементів системи, які в ринкових

умовах, зазвичай, визначаються самими елементами за правилами і обмеженнями, що встановлюються вище розташованими управляючими елементами.

З іншого боку, наявна спеціалізація виробничих і цільових функцій локальних елементів, які функціонують з визначеними ступенями свободи, потребує створення спеціальних координуючих ланок (навіть, окремих елементів і регулюючих органів), діяльність яких спрямована на економічне стимулювання елементів системи (підприємств КТЕ) до підвищення ефективності функціонування як виробничих, так і управляючих ланок. Внаслідок цього, в ринкових умовах структура змінних системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю та її цільових і виробничих функцій, має складатися з двох компонентів  $f$  і  $w$ , перша з яких, що визначається елементами “самостійно”, не буде залежати від умов функціонування інших елементів системи, а друга, що пов’язана з умовами взаємодії елементів у системі, має відображати саме цю взаємодію.

Зрозуміло, що будь-яка спеціалізація, зазвичай, пов’язана з децентралізацією системи, у крайньому випадку її виробничих функцій, і навпаки. Тому, економічно обґрунтована стратегія децентралізації системи в ринкових умовах повинна базуватися на створенні помірно самостійних “центрів енерго-економіко-екологічної відповідальності” на кожному з рівнів ієрархії системи, які шляхом координації взаємодії підсистем (економічного стимулювання тощо як одного з методів координації), у першу чергу забезпечують отримання прибутку для елементів, що входять до зони відповідальності даних центрів.

У якості механізмів координації взаємодії помірно децентралізованих локальних елементів (підсистем), що входять до таких центрів, в умовах ринкової економіки у першу чергу слугують механізми цінового регулювання, за якими задача координації зводиться до задачі оптимального вибору “внутрішніх цін” на продукти і послуги, що виробляються

(надаються) локальними елементами, у тому числі на послуги з координації взаємодії елементів у системі [3, 60, 106, 107, 119, 123].

Під поняттям “механізм” у загальному значенні будемо розуміти сукупність елементів (об’єктів, засобів і заходів, алгоритмів тощо) поєднаних у систему (підсистему) з метою вирішення проблем та розв’язання задач задля якої він створений.

Формалізацію процесів координації взаємодії підсистем системи КТЕ, що функціонує в ринкових умовах, почнемо з рівня місцевої системи управління 3-Е ефективністю, структурно-функціональна схема якої представлена на Рис.2.2.4.

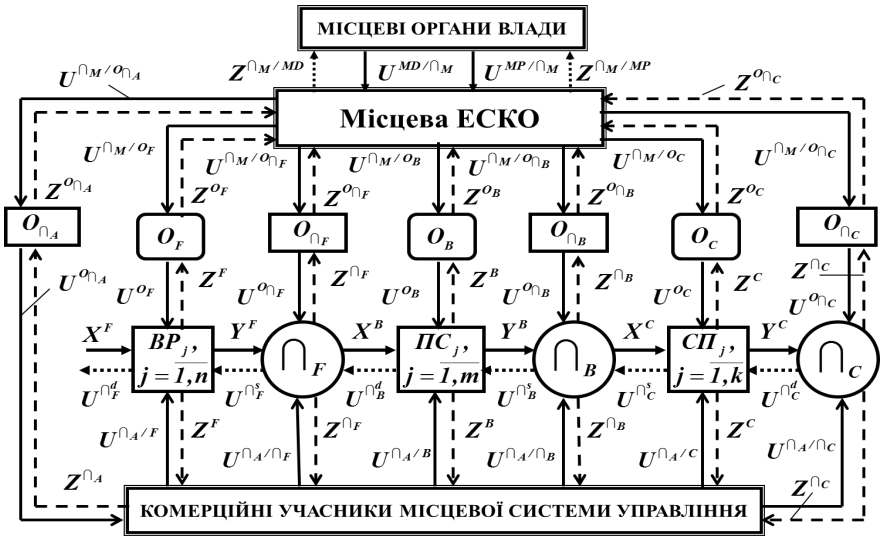


Рисунок 2.2.4 – Структурно-функціональна схема місцевої системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю

Як видно зі схеми, модель управління системоутворюючою енерготехнологічною підсистемою КТЕ складається з моделей трьох технологічних підсистем (виробництва  $BP$ , постачання  $ΠC$  і споживання  $СП$  К-послуг розмірами  $n$ ,  $m$ ,  $k$ , відповідно), які взаємодіють між собою на місцевих ринках  $Π_F$ ,  $Π_B$ ,  $Π_C$  К-послуг.

На Рис.2.2.4. також представлені органи (підсистеми) місцевого  $M$  рівня управління 3-Е ефективністю в КТЕ України, а саме – органи місцевої державної адміністрації  $MD$  і виконавчого комітету місцевої ради  $MP$ , структура (орган, департамент тощо)  $\mathcal{N}_M$  адміністративно-організаційного управління 3-Е ефективністю на місцевому рівні, у тому числі місцева (або залучена) енергосервісна компанія ( $ЕСКО$ ), інші комерційні учасники місцевої системи управління 3-Е ефективністю  $\mathcal{N}_A$  (постачальники ПЕР, виробники енергозберігаючого обладнання, інвестиційні компанії, банки тощо) та деталізовані поіменно зв'язки між всіма учасниками пропонуваної схеми, що охоплює три рівні ієрархічної системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю в КТЕ України –  $C, H, M$ .

Центральне місце у цієї схеми займає місцевий орган адміністративно-організаційного управління 3-Е ефективністю, який координує, а, як правило, і відповідає за виконання “під ключ” (яке здійснює місцева ЕСКО) всього комплексу робіт з підвищення 3-Е ефективності на місцевому рівні, починаючи з розробки бізнес-планів енергозберігаючих проектів на місцевих підприємствах і у споживачів та закінчуючи поверненням залучених інвестиційних ресурсів на фінансування проектів з підвищення 3-Е ефективності [74, 76]. Зв'язки місцевого органу управління  $\mathcal{N}_M$ , як і інших ринкових елементів системи управління на Рис.2.2.4. умовно означені математичним знаком перерізу множин  $\cap$ , оскільки саме ця математична операція виявляє спільний результат узгодженої взаємодії елементів системи.

Рівняння, що визначають ефективність управління 3-Е ефективністю за цією схемою, отримані раніше у вигляді систем відображень (2.4)-(2.6), формалізовані за допомогою означених на рис.2.4 вхідних  $X$  і вихідних  $Y$ , управляючих і координуючих  $U$  змінних та змінних  $Z$  зворотних зв'язків.

Аналізуючи представлену схему та системи відображень, не важко побачити, що з точки зору формалізації процесів координації взаємодії елементів системи, структура рівнянь та змінних моделей є однаковою для кожної технологічної підсистеми виробництва, постачання і споживання К-

послуг, об'єднаної з відповідним ринком К-послуг. Тобто, з формальної точки зору ці об'єднані моделі та змінні, що до них відносяться, відрізняються тільки індексами. Якщо ж згадати, що ці змінні підпорядковуються правилам розбивки [34, 108, 109, 112], то стає прозорою можливість проведення координації елементів системи, спираючись на два розв'язаних між собою цикли, де протягом першого виконується координація у кожній з об'єднаних підсистем окремо, а на другому – формалізуються процеси взаємодії цих об'єднаних підсистем, які будуть базуватися на формально однотипних для кожної з означених підсистем процедурах. А враховуючи той факт, що запропонована система управління 3-Е ефективністю в КТЕ України побудована на базі типового модуля підсистем, представленого на Рис.2.2.1, інші підсистеми, розташовані на більш високих рівнях ієрархії системи управління, за теоретико-множинним підходом будуть мати формально однотипні моделі координації.

Використовуючи структурно-функціональну схему, представлену на Рис.2.2.4, визначимо основні процедури формалізації процесів (циклів) координації в об'єднаній підсистемі виробництва К-послуг, що складається з  $n$  місцевих виробників  $BP_j, j = \overline{1, n}$  (елементів моделі підсистеми виробництва, підприємства КТЕ) та відповідного ринка товарів і послуг  $\cap_F$ , на якому ці виробники взаємодіють з  $m$  постачальниками  $PC_j, j = \overline{1, m}$  (елементами моделі підсистеми постачання, підприємствами КТЕ). Для збереження спільності означеного підходу до формалізації процесів координації будемо розглядати останніх як споживачів товарів і послуг виробників  $BP$ .

З метою врахування у моделі змінних двох видів  $f$  і  $w$ , представимо вихідні змінні підсистеми виробників у вигляді множини  $Y^F = (Y^{F_j^f}, Y^{F_j^w})$  стратифікованих за правилами розбивки підмножин змінних  $Y^{F_j^f}$  та  $Y^{F_j^w}$ ,

де  $Y^{F^j} = (y_1^{F^j}, \dots, y_n^{F^j})$ ,  $j = \overline{1, n}$  буде відображати ту частину продуктів і послуг, склад і обсяги яких визначаються кожним  $j$ -им виробником самостійно, а  $Y^{F^w} = (y_1^{F^w}, \dots, y_n^{F^w})$ ,  $j = \overline{1, n}$  – ту частину їх продуктів і послуг, що визначається процесами взаємодії виробників на ринку.

При цьому будемо вважати, що продукти і послуги, які визначаються кожним  $j$ -им виробником самостійно, характеризуються  $l_f$ , а процесами їх взаємодії –  $l_w$  стратифікованими компонентами:

$$y_i^{F^j} = (y_1^{F^j}, \dots, y_{l_f}^{F^j}), \quad i = \overline{1, l_f}; \quad y_i^{F^w} = (y_1^{F^w}, \dots, y_{l_w}^{F^w}), \quad i = \overline{1, l_w}.$$

Тоді, взаємодії  $U_i^{\cap F^s}$  між виробниками  $VP$  і споживачами  $ПС$ , що здійснюються на ринку  $\cap_F$  та корегують параметри пропозицій товарів і послуг, будуть описуватися системою  $(l_f + l_w)$  рівнянь, які залежать від сумарних обсягів пропозицій відповідних компонентів продуктів і послуг виробників, представлених на ринку  $\cap_F$ :

$$\begin{aligned} u_i^{\cap F^f} &= \mathcal{H}_i^{F^f} (y_i^{F^f}), \quad i = \overline{1, l_f}; \\ u_i^{\cap F^w} &= \mathcal{H}_i^{F^w} (y_i^{F^w}), \quad i = \overline{1, l_w}, \end{aligned} \tag{2.2.26}$$

або за умов лінійної апроксимації функції взаємодії виробників:

$$\begin{aligned} u_i^{\cap F^f} &= \sum_{j=1}^n \alpha_i^f y_i^{F^j}, \quad i = \overline{1, l_f}; \\ u_i^{\cap F^w} &= \sum_{j=1}^n \alpha_i^w y_i^{F^j}, \quad i = \overline{1, l_w}, \end{aligned} \tag{2.2.27}$$

де  $\mathcal{H}_i^{F^f}$ ,  $\mathcal{H}_i^{F^w}$  – функції ефективності взаємодії виробників за  $i$ -ми компонентами, а  $\alpha_i^f, \alpha_i^w$  – координуючі параметри.

З іншого боку, взаємодії  $U_i^{\cap_B^d}$  між виробниками  $BP$  і споживачами  $PC$ , які визначають сукупний попит підсистеми  $PC$  на продукти і послуги виробників  $BP$  на ринку  $\cap_F$ , також потрібно виразити через множину вхідних змінних  $X^B = (X^{B_j^f}, X^{B_j^w})$ , розподілену на стратифіковані системи рівнянь за компонентами  $f$  і  $w$  :

$$\begin{aligned} u_i^{\cap^{B^f}} &= \mathcal{H}_i^{B^f} (u_i^{B^f} (x_i^{B^f}), u_i^{\cap^{F^f}} (y_i^{F^f})), \quad i = \overline{1, l_f}; \\ u_i^{\cap^{B^w}} &= \mathcal{H}_i^{B^w} (u_i^{B^w} (x_i^{B^w}), u_i^{\cap^{F^w}} (y_i^{F^w})), \quad i = \overline{1, l_w}. \end{aligned} \quad (2.2.28)$$

Для проведення оцінки якості (ефективності) функціонування об'єднаної підсистеми виробництва К-послуг потрібно задати функцію якості  $\Theta$ , що, як це прийнято в класичній теорії ринкових відносин, у першу чергу має бути орієнтованою на споживача [106, 107, 113], в нашому випадку – підсистему  $PC$ . За цих умов, глобальна мета об'єднаної підсистеми виробництва К-послуг буде полягати у намаганні досягти максимальної якості (ефективності) функціонування цієї підсистеми за параметрами споживання

$$\Theta(x^{B^f}) \rightarrow \max, \quad (2.2.29)$$

шляхом варіювання множини її управляючих змінних  $(U^{O_F}, U^{\cap_{A^f}}, U^{O_{\cap_F}}, U^{\cap_{A^f} \cap_F})$ , що знаходяться під впливами  $U^{\cap_M}$  вище розташованої структури управління (Рис.2.2.4).

За наявністю органів управління елементами підсистем (підприємствами КТЕ) з виробництва  $O_F$  і постачання  $O_B$  та організаційної структури  $O_{\cap_F}$  економічного стимулювання учасників місцевого ринку  $\cap_F$ , кожен з яких має свободу вибору власних рішень, у тому числі щодо вибору параметрів функцій якості, вирішення задачі (2.2.29) не може бути здійснено



виключно класичними методами оптимізації і потребує залучення методів координації.

У разі застосування для координації можливостей варіювання параметрів цільових функцій, їх визначення може бути здійснено на основі результатів, отриманих у роботі [51], шляхом застосування лінійної апроксимації операторів управляючих впливів до функцій  $\Theta$  якості (ефективності) функціонування  $j$ -их елементів системи, у даному випадку  $n$  управляючих підсистем виробництва К-послуг

$$\Theta_{\beta}^{F_j}(u^{O_{F_j}}, u^{\cap_{A/F_j}}) = \sum_{i=1}^{l_f} \beta_i^f y_i^{F_j^f} + \sum_{i=1}^{l_w} \beta_i^w y_i^{F_j^w}, \quad (2.2.30)$$

де  $\beta_i^f, \beta_i^w$  — координуючі параметри. Внаслідок цього, функції якості, які визначають попит споживачів на ринку виробництва К-послуг, будуть скоординовані з (2.2.30), якщо

$$\Theta_{\beta}^{B_j}(u^{O_{\cap F}}, u^{\cap_{A/\cap F}}) = \Theta(x^{B_j^f}) - \sum_{i=1}^{l_f} \beta_i^f u_i^{\cap_{F^f}} - \sum_{i=1}^{l_w} \beta_i^w u_i^{\cap_{F^w}}. \quad (2.2.31)$$

За цих умов, управляючі елементи нижнього, в даному випадку виробничо-технологічного, рівня мають намагатися максимізувати свої функції якості (ефективності) як по локальних управліннях, так і по взаємодіям, тоді як управляючі елементи верхнього (в даному випадку місцевого) рівня мають вибирати параметри координації  $(\beta_i^f, \beta_i^w)$  таким чином, щоб збалансувати взаємодії:

$$\hat{u}^{\cap_{F_j^f}} = \sum_{i=1}^{l_f} \hat{y}_i^{F_j^f}; \quad \hat{u}^{\cap_{F_j^w}} = \sum_{i=1}^{l_w} \hat{y}_i^{F_j^w}, \quad (2.2.32)$$

де  $\hat{u}^{\cap_{F_j^f}}, \hat{u}^{\cap_{F_j^w}}$  — оптимальні значення, які встановлюються місцевими органами влади,  $\hat{y}_i^{F_j^f}, \hat{y}_i^{F_j^w}$  — оптимальні значення, які пропонуються місцевою ЕСКО.

Функції якості (2.2.30)-(2.2.31), отримані за таким підходом до координації, мають математично обґрунтовану економічну інтерпретацію [51] і можуть розглядатися як оцінки прибутку від виробничої діяльності, а введені координуючі параметри – як оцінки вартості продуктів і послуг (примітка: заради точності, функції якості у роботі [51] пропонується розглядати як прибуток, а координуючі параметри – як ціни, що, на жаль, не завжди відповідає дійсності). При цьому, функції якості місцевих органів влади (державних органів цінового (тарифного) регулювання у сфері К-послуг) являють собою різницю між суспільною вигодою місцевої громади і витратами на виробництво К-послуг, яку мають максимізувати органи влади з позицій суспільно збалансованої економіки, а обов'язком місцевої ЕСКО є вибір оптимальних координуючих параметрів, що балансують пропозиції з попитом на К-послуги.

Представлена в цілому у вигляді рівнянь, цільових функцій і критеріїв якості (2.2.26)-(2.2.32) процедура координації взаємодії підсистем у складних системах з ієрархічною структурою, для її застосування у моделі ВІОТ-управління 3-Е ефективністю потребує подальшої деталізації і формалізації, оскільки принципи координації, на яких вона базується [51, 52], визначені на рівні предикатів (пропозиційних функцій, логічних висловлювань тощо), які на відміну, наприклад, від принципів максимуму Л.С. Понтрягіна і оптимальності Р. Беллмана [53-55] не дозволяють безпосередньо визначати необхідні умови оптимальності систем та розробляти на їх основі механізми і алгоритми оптимального управління цими системами.

Покажемо можливості залучення для проведення подальшої деталізації і формалізації означених процедур координації взаємодії підсистем ієрархічно побудованої системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю в КТЕ України результатів, отриманих в галузі чисельних методів теорії оптимального управління ієрархічними системами [52]. Сутність цих результатів полягає: (1) у необхідності проведення апроксимації «нерефлекторних» ієрархічних систем, до яких відносяться системи

економіко-соціального спрямування (у тому числі системи КТЕ), рефлекторними системами, поведінка яких однозначно визначається закономірно-рефлекторними реакціями на зовнішні впливи та які описуються принципово визначеними моделями і методами їх аналізу і оптимізації; (2) розробки алгоритмів і процедур проведення такої апроксимації шляхом застосування гіпотез мотивованої поведінки для прийняття рішень у випадках виникнення невизначеностей (неоднозначностей тощо).

Повернемося до схеми об'єднаної підсистеми виробництва К-послуг, зображеної на Рис. 2.2.4, що складається з  $n$  місцевих виробників  $BP_j$ ,  $j = \overline{1, n}$  та ринка товарів і послуг  $\mathcal{N}_F$ , на якому ці виробники взаємодіють з  $m$  постачальниками  $PC_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ . Нехай цільова функція  $\Theta_{\mathcal{N}}^F$  (функція якості, ефективності тощо) функціонування цієї об'єднаної підсистеми виробництва товарів і послуг, як і у випадку (2.2.30), буде залежати від вихідних змінних підсистеми виробництва, де ці товари і послуги виробляють та надають

$$\Theta_{\mathcal{N}}^F = \Theta_{\mathcal{N}}^F(Y^{F_1}, Y^{F_2}, \dots, Y^{F_n}) \rightarrow \max, \quad (2.2.33)$$

а взаємозв'язки між факторами виробництва та величинами товарів і послуг для кожного  $j$ -го виробника визначатися виробничими функціями Кобба-Дугласа [106, 107, 123]

$$Y^{F_j} = q^{F_j} (K^{F_j})^{(k_{F_j})} (L^{F_j})^{(1-k_{F_j})}, \quad k \in [0, 1], \quad (2.2.34)$$

де  $q^{F_j}$  — коефіцієнт, що характеризує виробництво, а  $k^{F_j}$  та  $(1-k^{F_j})$  — показники ступеня, які характеризують ефективність віддачі основних факторів виробництва, у класичному випадку функцій Кобба-Дугласа — капіталу (фондів)  $K^{F_j}$  та праці  $L^{F_j}$ .

Нехай цільова функція  $\Theta_{\mathcal{N}}^F$   $j$ -го виробника визначається функцією доходу  $D^{F_j}$  виробництва у вигляді

$$D^{Fj} = c^{Fj} Y^{Fj} - w^{Fj} L^{Fj} \rightarrow \max, \quad (2.2.35)$$

де  $c^{Fj}$  — вартість одиниці товару (послуги), а  $w^{Fj}$  — ставка заробітної плати  $j$ -го виробника, а у якості фактору впливу, яким розпоряджається вище розташований (в даному випадку місцевий) орган управління, будемо розглядати інвестиційний ресурс

$$U \cap M = \sum_{j=1}^n U^{M_{Fj}}, \quad (2.2.36)$$

спрямований на підвищення ефективності використання означених факторів виробництва.

За умов отримання у своє розпорядження ресурсу  $U^{M_{Fj}}$  кожен  $j$ -ий виробник буде мати можливість поставити на ринок товари і послуги в обсязі

$$Y^{Fj} = q^{Fj} (K^{Fj} + U^{M_{Fj}})^{(k_{Fj})} (L^{Fj})^{(1-k_{Fj})}. \quad (2.2.37)$$

При цьому, кінцевий результат розподілення інвестиційного ресурсу (2.2.36) буде залежати не тільки від місцевого органу управління, але і від того, які значення параметрів  $L^{Fj}$  будуть вибрані виробниками. Саме розв'язання цієї задачі з апіорі невизначеними умовами і потребує залучення гіпотези поведінки виробників.

Слід відразу ж відмітити, що пряме застосування гіпотез поведінки є неприйнятним для енергетичних і енерготехнологічних систем, де на момент прийняття рішень стан та поведінка системи повинні бути повністю визначеними (для гарантування надійності функціонування цих систем) і де поведінка системи має здійснюватися за попередньо встановленими правилами, відомими всім без виключення учасникам системи. Тому поняття гіпотези поведінки в аналізі енергетичних і енерготехнологічних системах пропонується замінити правилами та попередньо визначеними функціями поведінки.

Проаналізуємо декілька відомих підходів [52], які можуть бути використані для визначення таких функцій. Нехай вище розташований (місцевий) орган управління інформований про цільові інтереси виробників (2.2.35). Тоді, відповідна гіпотеза цього органу про їх поведінку буде полягати в тому, що виробники виберуть управління фактором  $L^{F_j}$ , яке максимізує їх дохід. Рішення цієї задачі, що визначає функцію поведінки виробників, при заданих  $K^{F_j}$  і  $U^{M_{F_j}}$  можна отримати з умови  $\partial D^{F_j} / \partial L^{F_j} = 0$  у вигляді:

$$\hat{L}^{F_j} = (\hat{c}^{F_j})^{(1/k_{F_j})} (K^{F_j} + U^{M_{F_j}}), \quad (2.2.38)$$

де  $\hat{c}^{F_j} = (c^{F_j} q^{F_j} (1 - k_{F_j}) / w^{F_j})$ . Як результат, за процедурою (2.2.33)-(2.2.38) апіорі невизначена задача координації (2.2.30)-(2.2.33) зводиться до пошуку максимуму функції (2.2.33) при лінійному обмеженні (2.2.36) та за умови

$$Y^{F_j} = \alpha_m^{F_j} + \beta_m^{F_j} U^{M_{F_j}}, \quad (2.2.39)$$

що визначається за виразом (2.37),  $\alpha_m^{F_j} = q^{F_j} (\hat{c}^{F_j})^{(1-k_{F_j})} K^{F_j}$ , а  $\beta_m^{F_j} = q^{F_j} (\hat{c}^{F_j})^{(1-k_{F_j})}$ .

У деяких випадках, коефіцієнт  $q^{F_j}$  виробничої функції Кобба-Дугласа залежить від ставок заробітної плати для всіх або частки виробників  $q^{F_j} = q^{F_j} (w^{F_j})$ , загальний фонд якої  $Q^F = \sum_{j=1}^n Q^{F_j}$  розподіляється між виробниками за правилами, які встановлюються вище розташованими органами управління (місцевими і державними). За цієї умови процедура координації (2.2.33)-(2.2.39) потрібно буде доповнити обмеженням  $w^{F_j} L^{F_j} \leq Q^{F_j}$ .

Розглянемо інший підхід до визначення функцій поведінки, який дозволяє органу управління координувати взаємодію з виробниками шляхом застосування функцій штрафу (або винагороди). Прийнемо, що показники ступеня виробничих функцій (2.2.34):  $k^{F_j} = 1/2$ ,  $j = \overline{1, n}$ , тоді цільові функції виробників  $\Theta_{\rho}^{F_j}$  можуть бути представлені у вигляді

$$\Theta_{\rho}^{F_j} = c^{F_j} q^{F_j} (K^{F_j})^{(1/2)} (L^{F_j})^{(1/2)} - w^{F_j} L^{F_j} + \varphi^{F_j} \rightarrow \max, \quad (2.2.40)$$

де  $\Theta_{\rho}^{F_j} = \Theta_{\rho}^{F_j}(L^{F_j})$ , а  $\varphi^{F_j} = \varphi^{F_j}(Y^{F_j})$  – функція штрафу (або винагороди) виробників, що залежить від результатів їх діяльності.

Гіпотезу поведінки виробників будемо формувати на базі цільових функцій (2.2.40), де структуру штрафу (винагороди), яка встановлюється органом управління, будемо вважати відомою виробникам. За цих умов, чисельними методами принципово можливо розрахувати значення  $\hat{L}^{F_j} = \hat{L}^{F_j} \langle \varphi^{F_j}(Y^{F_j}) \rangle$ , яке доставляє максимум функціоналу (2.2.40). Зі свого боку, задачею (ціллю) органу управління є встановлення таких величин штрафів (винагород), які забезпечують екстремальне значення власного функціоналу

$$\Theta_{\rho}^F = \Theta_{\rho}^F \langle Y^{F_1}(\varphi^{F_1}), Y^{F_2}(\varphi^{F_2}), \dots, Y^{F_n}(\varphi^{F_n}) \rangle \rightarrow \max. \quad (2.2.41)$$

В такій постановці задача (2.2.40)-(2.2.41) стає більш складною задачею координації, оскільки функціонали  $Y^{F_j}(\varphi^{F_j})$  визначаються рішенням оптимізаційної задачі (2.2.40) зі складовими  $\varphi^{F_j}(Y^{F_j})$ . Тобто, вирішення сформульованої задачі координації зі штрафними функціями у загальному випадку потребує визначення виду функцій  $\varphi^{F_j}(Y^{F_j})$  з подальшою можливістю застосування алгоритмів покрокової оптимізації [54] для наборів значень функцій  $\varphi^{F_j}(Y^{F_j}) = \text{const}$ .

Припустимо, що  $(\hat{Y}^{F_1}, \hat{Y}^{F_2}, \dots, \hat{Y}^{F_n})$  – обсяги продукції (товарів і послуг) виробників, які доставляють максимальне значення функції цілі (2.2.41) органу управління. Якщо штрафні функції представити у вигляді [52]:

$$\varphi^{F_j}(Y^{F_j}) = \lambda^{F_j}(Y^{F_j} - \hat{Y}^{F_j})^{(2)} - c^{F_j} q^{F_j}(K^{F_j})^{(1/2)} + w^{F_j} L^{F_j}, \quad (2.2.42)$$

де  $\lambda^{F_j} > 0$  – довільні числа, то функції цілі виробників приймуть форму

$$\Theta_{\rho}^{F_j} = \lambda^{F_j}(Y^{F_j} - \hat{Y}^{F_j})^{(2)} \rightarrow \min, \quad (2.2.43)$$

за якою виробники будуть зацікавлені розпоряджатися своїми ресурсами так, щоб обсяги їх продукції дорівнювали  $\hat{Y}^{F_j}$ .

Якщо ж штрафні функції представити у вигляді

$$\varphi^{F_j}(Y^{F_j}) = -\lambda^{F_j}(Y^{F_j} - \hat{Y}^{F_j})^{(2)} + e^{F_j} Y^{F_j}, \quad (2.2.44)$$

то, відповідно (2.2.41), з урахуванням (2.34), цільові функції виробників приймуть вид

$$\Theta_{\rho}^{F_j} = \alpha^{F_j}(L^{F_j})^{(1/2)} - w^{F_j} L^{F_j} - \lambda^{F_j}(\beta^{F_j}(L^{F_j})^{(1/2)} - \hat{Y}^{F_j})^{(2)}, \quad (2.2.45)$$

де  $\alpha^{F_j} = (c^{F_j} + e^{F_j})\beta^{F_j}$ ,  $\beta^{F_j} = q^{F_j}(K^{F_j})^{(1/2)}$ . За умов (2.2.44)-(2.2.45) управління, що визначається функцією поведінки виробників, при заданих  $K^{F_j}$  та  $\hat{Y}^{F_j}$  можна отримати у явному вигляді з умови  $\partial \Theta_{\rho}^{F_j} / \partial L^{F_j} = 0$ :

$$\hat{L}^{F_j} = ((\alpha^{F_j} / 2 + \lambda^{F_j} \beta^{F_j} \hat{Y}^{F_j}) / (w^{F_j} - \lambda^{F_j}(\beta^{F_j})^{(2)}))^{(2)}. \quad (2.2.46)$$

Як наслідок, цільова функція вище розташованого органу управління буде функцією потрібних йому обсягів  $\hat{Y}^{F_j}$  товарів і послуг виробників та коефіцієнтів винагороди  $e^{F_j}$  і штрафу  $\lambda^{F_j}$ , величини яких він може корегувати щоб максимізувати власну цільову функцію.

Тут слід звернути увагу на те, що структурна побудова функцій якості (ефективності) функціонування виробників та місцевого органу управління,

сформованих за розглянутими принципами координації (див. формули (2.2.30)-(2.2.31)) та гіпотезами поведінки (формули (2.2.41)-(2.2.42)), є однотипною, що за умов непротилежності інтересів взаємодіючих сторін дозволяє розробляти узагальнені правила (алгоритми, математичні прийоми тощо) їх формування, залучаючи обидва підходи.

Наприкінці, стисло розглянемо можливості координації взаємодії підсистем в динамічних системах з ієрархічною структурою [51, 52].

Припустимо, що зміна у часі капіталу (основних фондів) виробників  $K^{Fj}$  відображаються диференціальними рівняннями

$$dK^{Fj} / dt = -A^{Fj} K^{Fj} + U^{Fj}(t) + V^{Fj}(t), \quad (2.2.47)$$

де  $U^{Fj}(t), V^{Fj}(t)$  – потоки зовнішніх і внутрішніх капіталовкладень (вкладення протягом періоду часу  $T$ ),  $A^{Fj}$  – коефіцієнт амортизації основних фондів. Будемо вважати, що зовнішніми інвестиціями (капіталовкладеннями) управляє місцевий орган управління, а внутрішніми – виробники. Процес виробництва за період часу представимо виробничою функцією

$$Y^{Fj}(t) = \Phi^{Fj}(K^{Fj}(t), L^{Fj}(t), w^{Fj}(t)), \quad (2.2.48)$$

де кількість робочої сили і ставки заробітної плати, які знаходяться у розпорядженні виробників, підпорядковуються обмеженням зверху:

$$L^{Fj} \geq \bar{L}^{Fj} \geq 0; w^{Fj} \geq \bar{w}^{Fj} \geq 0; w^{Fj} L^{Fj} \leq Q^{Fj}. \quad (2.2.49)$$

Чистий дохід виробників за період часу  $D^{Fj}(t)$  будемо визначати аналогічно (2.2.35) у вигляді

$$D^{Fj}(t) = c^{Fj}(t) Y^{Fj}(t) - Z^{Fj}(t), \quad (2.2.50)$$

де  $Z^{Fj}(t) = w^{Fj}(t) L^{Fj}(t) + \varphi^{Fj}(Y^{Fj}(t)) + V^{Fj}(t) + R^{Fj}(t)$  – загальні витрати виробників, а  $R^{Fj}(t)$  – інші неозначені витрати.



Якщо протягом визначеного періоду часу обсяги зовнішніх інвестицій  $U^{F_j}(t)$ , функції штрафу  $\varphi^{F_j}(t)$  та фонди заробітної плати  $Q^{F_j}(t)$  є відомими (заданими), то у розпорядженні виробників залишаються можливості управління змінними  $V^{F_j}(t)$ ,  $w^{F_j}(t)$ ,  $L^{F_j}(t)$ . Це дозволяє в якості цільових функціоналів виробників  $\Theta_{\Gamma}^{F_j}$  застосовувати класичні функціонали виду

$$\Theta_{\Gamma}^{F_j} = \int_0^T D^{F_j}(t) dt, \quad (2.2.51)$$

або мінімаксні форми виду

$$\Theta_{\Gamma}^{F_j} = \min_{t \in [0, T]} D^{F_j}(t) \rightarrow \max, \quad (2.2.52)$$

які забезпечують максимізацію мінімального розміру чистого доходу виробників. При цьому, цільову функцію органу управління доцільно визначати у формі (2.2.41), що враховує штрафні функції у вигляді

$$\varphi^{F_j}(Y^{F_j}, t) = a_1^{F_j}(t) Y^{F_j}(t) + a_2^{F_j}(t) (Y^{F_j} - \hat{Y}^{F_j})^2, \quad (2.2.53)$$

де перша складова – це винагорода за випуск продукції ( $a_1^{F_j} \geq 0$ ), а друга – покарання за зрив обумовлених завдань  $\hat{Y}^{F_j}$ .

### 2.2.5. Формалізація моделі програмно-цільової координації взаємодії елементів на рівні місцевої системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю

У попередньому параграфі ми розглянули моделі координації взаємодії технологічних та організаційних елементів ієрархічної системи ВІОТ-управління 3-Е ефективністю на місцевому (регіональному) рівні, де в якості органу управління верхнього рівня розглядався місцевий (регіональний) орган адміністративно-організаційного управління 3-Е ефективністю  $\mathcal{N}_M$  (див. Рис.2.2.4). При цьому, функції державних і місцевих органів влади

(місцевих державних адміністрацій і виконавчих комітетів місцевих рад) та комерційних учасників місцевої системи управління враховувалися у неявному вигляді як зовнішні впливи.

Розглянемо принципи побудови моделі координації взаємодії елементів системи управління 3-Е ефективністю на місцевому рівні більш детально.

Формалізацію моделі з ієрархічно побудованою структурою будемо проводити за логічно узгодженим ланцюгом «цілі – функції – правила поведінки – параметри координації – моделі елементів» в межах методології програмно-цільового підходу (task-motivated, task force approach). У главу цього підходу, орієнтованого на досягнення глобальних цілей програми взаємодії, ставиться не організаційна структура системи КТЕ, а алгоритми (процедури) управління елементами програми (програмними діями), що дозволяє в залежності від рівня місцевої програми (обласна, районна, міська тощо) послідовно розглядати всі рівні ієрархічної системи управління 3-Е ефективністю в КТЕ України.

Припустимо, що на даному місцевому рівні ієрархічної системи управління діє місцева програма підвищення 3-Е ефективності, що охоплює  $(n+m+k)$  технологічних учасників, у тому числі  $n$  виробників, які виробляють  $h \geq n$  продуктів,  $m$  постачальників і  $k$  споживачів К-послуг (продуктів, товарів тощо). Успішне виконання програми у цілому потребує від кожного її учасника безумовного виконання протягом планового часу завдань програми щодо обсягів та якості виробництва і споживання К-послуг  $\hat{Y}^e = \hat{Y}^1, \hat{Y}^2, \dots, \hat{Y}^h$  та програмних завдань щодо обсягів і якості досягнутого ефекту  $\hat{E}^e = \hat{E}^1, \hat{E}^2, \dots, \hat{E}^h$  – основних продуктів місцевої програми підвищення 3-Е ефективності. Припустимо також, що ефективність зусиль учасників з реалізації програми на кожному етапі (за кожний період часу  $t$ ) та по кожному продукту оцінюється системою нормованих показників  $r_{Y,E}^e(t) = (r_Y^e(t), r_E^e(t))$ , де:

$$r_Y^e(t) = Y^e(t) / \hat{Y}^e(t); r_E^e(t) = E^e(t) / \hat{E}^e(t); e = \overline{1, h},$$

наприклад, у вигляді їх наступної сукупності [108]:

$$\bar{r}_I^e = \min_{t \in (0, T)} r_{Y, E}^e(t); \bar{r}_{II}^e = \left( \sum_{e=1}^h r_{Y, E}^e(t) \right); \bar{r}_{III}^e = \sqrt{\sum_{e=1}^h (r_{Y, E}^e(t))^{(2)}}. \quad (2.2.54)$$

Врахуємо також, що програмно-цільове управління технологічними підсистемами виробництва *BP*, постачання *ПС* і споживання *СП* К-послуг, поєднаних з відповідними ринками  $\cap_F, \cap_B, \cap_C$  К-послуг (об'єднаних, вертикально-інтегрованих тощо підсистем), здійснюється на місцевому рівні, як правило, окремими структурними підрозділами  $\cap_M^l$  (департаментами, відділами тощо) місцевого органу управління  $\cap_M$ , формалізованими у моделі управління 3-Е ефективністю індексами  $r, l$  за територіальними  $r$  і видовими  $l$  ознаками К-послуг (див. Рис.2.2.3 та вирази (2.2.15)).

В ринкових умовах функціонування КТЕ одним з основним завдань цих структурних підрозділів за місцевою програмою підвищення 3-Е ефективності є координація зусиль інвесторів з розподілення капітальних інвестиційних ресурсів (у формі товарних кредитів тощо)

$$I_{\cap_M}^K = I_{\cap_M}^{K_D} + I_{\cap_M}^{K_M} + I_{\cap_M}^{K_A} + I_{\cap_M}^{K_E} + I_{\cap_M}^{K_P}, \quad (2.2.55)$$

залучених на її реалізацію на платний і безоплатний основі з державного  $I_{\cap_M}^{K_D}(t)$  і місцевих  $I_{\cap_M}^{K_M}(t)$  бюджетів, комерційних банків  $I_{\cap_M}^{K_A}(t)$ , власних фондів  $I_{\cap_M}^{K_E}(t)$  енергосервісних компаній та виробників 3-Е ефективного обладнання  $I_{\cap_M}^{K_P}(t)$  тощо, серед інших учасників програми, – об'єднань, окремих підприємств КТЕ, споживачів тощо за їх територіальними та видовими ознаками.

Крім того, на реалізацію програми з державного і місцевих бюджетів, інших джерел фінансування, спонсорських фондів тощо, означених далі індексом  $G$ , зазвичай залучаються фінансові ресурси

$$I_{\Gamma_M}^L = I_{\Gamma_M}^{LD} + I_{\Gamma_M}^{LM} + I_{\Gamma_M}^{LE} + I_{\Gamma_M}^{LP} + I_{\Gamma_M}^{LG} \quad (2.2.56)$$

на інші цілі, наприклад, на збільшення фондів заробітної плати, на компенсацію відсотків за кредити комерційних банків, на проведення енергоаудитів, науково-дослідних і конструкторських робіт, розробку бізнес-планів, навчання персоналу, соціальні заходи тощо.

Окрім згаданих надходжень, означених виразами (2.2.55)-(2.2.56), в ринкових умовах функціонування КТЕ загальний бюджет місцевого органу управління  $\Gamma_M$  має також наповнюватися за рахунок відрахувань  $B_{\Gamma_M}$  учасників програми, які вони сплачують з доходів, отриманих внаслідок реалізації включених до програми заходів з підвищення 3-Е ефективності. В якості таких відрахувань, що здійснюються за період виконання програми, у складі загального бюджету місцевого органу управління будемо розрізняти наступні відрахування учасників програми з фондів розвитку та підвищення 3-Е ефективності, створених ними за програмою

$$B_{\Gamma_M}^{\Sigma} = B_{\Gamma_M}^K + B_{\Gamma_M}^L + B_{\Gamma_M}^O, \text{ де:} \quad (2.2.57)$$

$B_{\Gamma_M}^K = \sum_r \lambda^{Kr} \sum_l \lambda^{Kl} \sum_j (\lambda^{Kj} V_{\Gamma_M}^{Krlj})$  – сума відрахувань з фондів капітальних

вкладень учасників, де  $V_{\Gamma_M}^{Krlj}$  – розмір отриманих  $rlj$ -м учасником програми капітальних інвестиційних ресурсів;

$B_{\Gamma_M}^L = \sum_r \lambda^{Lr} \sum_l \lambda^{Ll} \sum_j (\lambda^{Lj} V_{\Gamma_M}^{Lrlj})$  – сума відрахувань учасників за отримані

кредити на інші, крім капітальних вкладень, цілі, де  $V_{\Gamma_M}^{Lrlj}$  – обсяг кредиту, отриманого  $rlj$ -м учасником;

$B_{\cap M}^O = \sum_r \lambda^{O^r} \sum_l \lambda^{O^l} \sum_j (\lambda^{O^j} E_{\cap M}^{O^{rlj}})$  – сума відрахувань учасників від вартості

досягнутих ними за програмою обсягів енергозбереження  $E_{\cap M}^{O^{rlj}}$ , за покращення інших, обумовлених програмою, якісних та екологічних показників продукції, послуг тощо.

Нагадаємо, що всі процедури та операції за формулами (2.2.55)- (2.2.57), де  $\lambda$  з відповідними індексами визначає вагові (дольові, вартісні тощо) коефіцієнти, здійснюються за періоди часу, що розглядаються, зазвичай, за місяць, квартал, рік, а кортежі  $(r, l, j)$  індексів учасників формалізуються за правилами розбивки [3, 34]. Крім того, з точки зору формалізації структури моделі залучення і розподілення кредитних ресурсів слід враховувати, що їх обсяги є обмеженими і недостатніми для реалізації програмних заходів, що потребує безумовного вкладання власних коштів (часткової участі у фінансуванні проектів з підвищення 3-Е ефективності) учасників – підприємств КТЕ і споживачів К-послуг.

В результаті, приходна частина  $I_{\cap M}^{\Sigma}$  загального бюджету  $W_{\cap M}^{\Sigma}$  місцевого органу управління, призначеного для виконання програми, буде складатися з наступних внесків і відрахувань учасників програми

$$I_{\cap M}^{\Sigma} = I_{\cap M}^K + I_{\cap M}^L + B_{\cap M}^{\Sigma}, \quad (2.2.58)$$

а видаткова частина  $V_{\cap M}^{\Sigma}$  загального бюджету визначатися у вигляді

$$V_{\cap M}^{\Sigma} = V_{\cap M}^K + V_{\cap M}^L + V_{\cap M}^V + V_{\cap M}^{\varphi}, \quad (2.2.59)$$

де  $V_{\cap M}^K(t) = \sum_r \sum_l \sum_j V_{\cap M}^{K^{rlj}}(t)$ ;  $V_{\cap M}^L(t) = \sum_r \sum_l \sum_j V_{\cap M}^{L^{rlj}}(t)$ ;

$V_{\cap M}^V(t) = \sum_{rlj} V_{\cap M}^{V^{rlj}}(t) = \sum_r v^{O^r} \sum_l v^{O^l} \sum_j (v^{O^j} E_{\cap M}^{O^{rlj}}(t))$  – сума відрахувань

до фонду економічного стимулювання працівників місцевого органу

управління, що залежить від досягнутих за програмою результатів їх діяльності;

$$V_{\cap_M}^{\varphi}(t) = \sum_r \varphi^{Q^r} \sum_l \varphi^{Q^l} \sum_j (\varphi^{Q^j} E_{\cap_M}^{Q^{rjl}}(t)) - \text{сума витрат на економічне}$$

стимулювання інших учасників (або надходження від можливих штрафних санкцій), що залежать від результатів їх діяльності. Розмір загального фонду економічного стимулювання (винагород та штрафів) має бути обмеженим:

$$V_{\cap_M}^V + V_{\cap_M}^{\varphi} \leq \delta_{\cap_M}.$$

Як наслідок, зміни загального бюджету  $W_{\cap_M}^{\Sigma}$  у часі з урахуванням (2.2.55)-(2.2.59) відобразяться рівнянням

$$dW_{\cap_M}^{\Sigma} / dt = I_{\cap_M}^{\Sigma}(t) - V_{\cap_M}^{\Sigma}(t) - \Delta W_{\cap_M}^{\Sigma}(t), \quad (2.2.60)$$

де  $\Delta W_{\cap_M}^{\Sigma}(t)$  – визначає револьверний накопичувальний фонд (резерв) місцевого органу управління, який створюється за програмою для реалізації загальносистемних заходів, крупних інвестиційних проектів тощо,

$$\Delta W_{\cap_M}^{\Sigma}(t) = \sum_r \sum_l \sum_j \Delta W_{\cap_M}^{rjl}(t).$$

За цих умов, задача програмно-цільового управління бюджетом буде полягати у виборі чисельних значень параметрів і коефіцієнтів управляючих впливів  $I_{\cap_M}^{K^{rjl}}, I_{\cap_M}^{L^{rjl}}, E_{\cap_M}^{Q^{rjl}}, \lambda_{\cap_M}^{K^{rjl}}, \lambda_{\cap_M}^{L^{rjl}}, \lambda_{\cap_M}^{Q^{rjl}}, V_{\cap_M}^{V^{rjl}}, V_{\cap_M}^{K^{rjl}}, V_{\cap_M}^{L^{rjl}}, \Delta W_{\cap_M}^{\Sigma}$ , за якими досягається якнайкраще виконання програми, а структурні підрозділи місцевого органу управління  $\cap_M$ , як органи адміністративно-організаційного управління, які безпосередньо не виробляють продукцію, мають здійснювати таке управління за одним з цільових функціоналів (2.2.61), визначених на базі нормованих показників (2.2.54):

$$\begin{aligned} \Theta_{\cap_{M1}}^{rl} &= \min_e \min_t (\delta^e(t) r^e(t)) \rightarrow \max; \\ \Theta_{\cap_{M2}}^{rl} &= \left( \sum_{e=1}^h \delta^e(t) r^e(t) \right) \rightarrow \max; \\ \Theta_{\cap_{M3}}^{rl} &= \sqrt{\sum_{e=1}^h (\delta^e(t) r^e(t))^2} \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (2.2.61)$$

де  $\delta^e$  – вагові коефіцієнти, що встановлюються за умов нерівноцінності виробництва (споживання) окремих продуктів у різні періоди часу.

На технологічному рівні ієрархічної системи управління кожен з  $(n+m+k)$  учасників програми має вкладати власні ресурси  $W_H^{rlj}$  (капітал, труд, матеріали, технології тощо) у виробництво обумовлених програмою обсягів і номенклатури продуктів (К-послуг тощо)  $Y_H^{rlej}$  гарантованої якості та досягнення планових обсягів і якості підвищення 3-Е ефективності  $E_H^{rlej}$ .

Зміну бюджету кожного з технологічних учасників у часі опишемо диференціальним рівнянням

$$dW_H^{rlj} / dt = -\kappa^{rlj} W_H^{rlj} + I_H^{rlj} + V_{\cap M}^{Krlj} + V_{\cap M}^{Lrlj}, \quad (2.2.62)$$

за яким процес виробництва буде визначатися виробничими функціями типу (2.2.34) і де  $I_H^{rlj}$  – самостійно залучені технологічним учасником інвестиційні ресурси,  $\kappa^{rlj}$  – коефіцієнт пропорційності.

Відмітимо, що відображення процесів управління бюджетом у вигляді диференціальних рівнянь на відміну від поширеного їх представлення лінійними (кусково-лінійними) функціями або алгебраїчними рівняннями, хоча і є більш складною, але найбільш адекватною формою представлення процесів функціонування систем нерелекторного типу, до яких повною мірою відносяться енерготехнологічні системи [106, 107, 119, 123].

За означених умов, приходна частина  $I_H^{\sum rlj}$  загального бюджету  $W_H^{\sum rlj}$  технологічного учасника програми, яку він формує на період часу, що розглядається, буде складатися з наступних надходжень

$$I_H^{\sum rlj} = C_H^{rlj} + I_H^{rlj} + V_{\cap M}^{Krlj} + V_{\cap M}^{Lrlj}, \quad (2.2.63)$$

де  $C_H^{rlj} = \sum_e c_H^{rlej} Y_H^{rlej}$  – вартість реалізованої продукції, а  $c_H^{rlej}$  – ціна  $e$ -го продукту  $rlj$ -го учасника.

При цьому, видаткова частина  $V_H^{\sum rlj}$  загального бюджету  $rlj$ -го технологічного учасника програми визначається як

$$V_H^{\sum rlj} = V_H^{Krlj} + V_H^{\cap Mrlj} + V_H^{Vrlj} + V_H^{Lrlj} + V_H^{Drlj}, \text{ де} \quad (2.2.64)$$

$V_H^{Krlj}$  – сумарні витрати на матеріально-технічне забезпечення технологічного процесу (закупівлю енергозберігаючого обладнання, витратних матеріалів, запасних частин, паливно-енергетичних ресурсів тощо);  $V_H^{\cap Mrlj}$  – виплати місцевому органу управління за використання учасником централізованих кредитних ресурсів (з урахуванням суми винагород або штрафів);  $V_H^{Vrlj}$  – витрати на повернення самостійно залучених кредитних ресурсів;  $V_H^{Lrlj}$  – витрати на заробітну плату;  $V_H^{Drlj}$  – витрати на виплату податків.

Різниця  $\Delta_W = (I_H^{\sum rlj} - V_H^{\sum rlj})$  приходної і видаткової частин загального бюджету технологічного учасника програми визначає його чистий прибуток, який після проведення заходів з підвищення 3-Е ефективності  $\Delta_{Wrlj}^{**}$  має бути більшим, чим до їх реалізації  $\Delta_{Wrlj}^*$ , тобто  $\Delta_{Wrlj}^{**} - \Delta_{Wrlj}^* \geq 0$  за умов ефективного управління програмою. Найчастіше, що саме зростання чистого прибутку учасників після проведення заходів з підвищення 3-Е ефективності є основною метою їх участі у програмі:

$$\Theta_H^{rlj} = (\Delta_{Wrlj}^{**} - \Delta_{Wrlj}^*) \rightarrow \max. \quad (2.2.65)$$



На Рис.2.2.5 наведено розглянуту вище у формі рівнянь структурну схему моделі програмно-цільового розподілення інвестиційних ресурсів на рівні місцевої системи управління 3-Е ефективністю.

Належне функціонування розглянутої моделі програмно-цільової координації взаємодії учасників місцевої системи управління підвищенням 3-Е ефективності потребує, щоб кожному учаснику були відомі правила поведінки за програмою, які визначають ступінь їх інформованості щодо цільових функцій, прийнятих рішень та допустимих впливів з боку інших учасників програми, державних і місцевих органів влади тощо.

В умовах ринкових відносин ці правила повинні встановлювати порядок взаємодії учасників програми з урахуванням можливостей створення вертикально-інтегрованих компаній та використання монопольного становища окремими її учасниками.

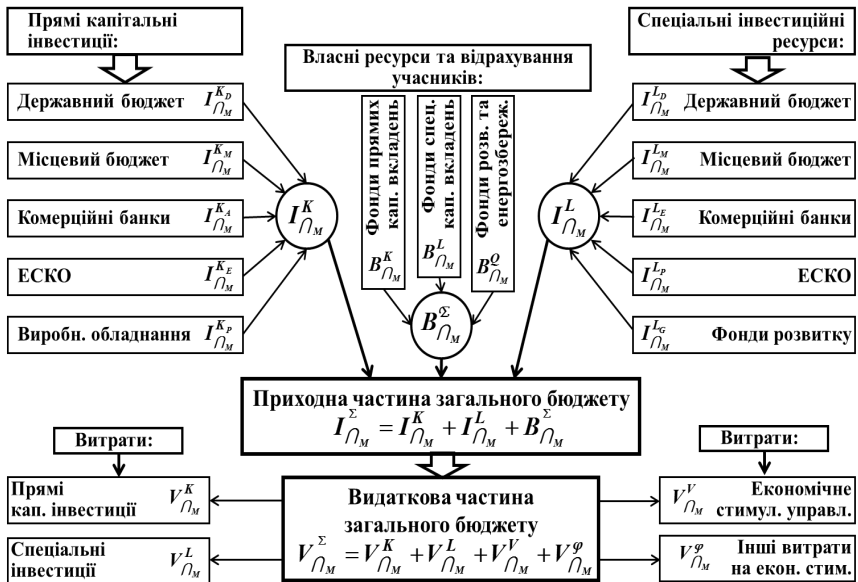


Рисунок 2.2.5 - Структурна схема програмно-цільового розподілення інвестиційних ресурсів на рівні місцевої системи

Нехай учасники програми є інформованими щодо намірів і виду цільової функції  $\Theta_{\Gamma_M} = \Theta_{\Gamma_M}(\dot{h}_{\Gamma_M}, \dot{h}_H)$  вище розташованого органу управління (у даному випадку місцевого), який розпоряджається розподіленням спрямованих на виконання програми ресурсів  $\dot{h}_{\Gamma_M} = (\dot{h}_{\Gamma_M}^1, \dots, \dot{h}_{\Gamma_M}^n)$ , та намірів і виду цільових функцій  $\Theta_H = \Theta_H^{r_{lj}}(\dot{h}_{\Gamma_M}, \dot{h}_H)$  технологічних учасників програми, які розпоряджаються розподіленням власно залучених на ці цілі ресурсів  $\dot{h}_H = (\dot{h}_H^1, \dots, \dot{h}_H^m)$ . Тоді, правила програмно-цільової координації взаємодії елементів багаторівневої системи управління за умов, що технологічні учасники виберуть управління, яке максимізує їх прибуток, а функції поведінки органу управління будуть визначатися за виразами (2.2.46)-(2.2.53), формалізуються наступними алгоритмами [52]:

I. Алгоритм прямого розподілення ресурсів:

Крок 1. Орган управління задає параметри вектору  $\dot{h}_{\Gamma_M}$ ;

Крок 2. На основі отриманої інформації учасник визначає параметри вектору  $\dot{h}_H$  як функцію від  $\dot{h}_{\Gamma_M}$  за умови, що

$$\Theta_H(\dot{h}_{\Gamma_M}, \dot{h}_H) \rightarrow \max;$$

Крок 3. Орган управління корегує значення  $\dot{h}_{\Gamma_M}$  за умови

$$\Theta_{\Gamma_M}(\dot{h}_{\Gamma_M}, \dot{h}_H) \xrightarrow{\dot{h}_{\Gamma_M}} \max. \quad (2.2.66)$$

II. Алгоритм управління розподіленням ресурсів із застосуванням функцій економічного стимулювання (штрафів і винагород):

Крок 1. Орган управління задає функцію  $\dot{h}_{\Gamma_M}(\dot{h}_H)$ ;

Крок 2. Учасник вибирає параметри функціоналу управління  $\dot{h}_H$   $\left[ \dot{h}_{\Gamma_M}(\dot{h}_H) \right]$  за умови  $\Theta_H(\dot{h}_{\Gamma_M}(\dot{h}_H), \dot{h}_H) \rightarrow \max$ ;

Крок 3. Орган управління корегує значення  $\dot{h}_{\Gamma_M}$  за умови

$$\Theta_{\Gamma_M} \left( \dot{h}_{\Gamma_M}(\dot{h}_H), \dot{h}_H \left[ \dot{h}_{\Gamma_M}(\dot{h}_H) \right] \right)_{\dot{h}_{\Gamma_M}(\dot{h}_H)} \rightarrow \max. \quad (2.2.67)$$

III. Алгоритм управління розподіленням ресурсів в залежності від способу їх використання:

Крок 1. Орган управління задає функціонал  $\dot{h}_{\Gamma_M} \left[ \dot{h}_H(\dot{h}_{\Gamma_M}) \right]$ ;

Крок 2. Учасник вибирає параметри функціоналу управління

$$\dot{h}_H \left[ \dot{h}_{\Gamma_M} \left[ \dot{h}_H(\dot{h}_{\Gamma_M}) \right] \right];$$

Крок 3. Орган управління корегує значення  $\dot{h}_{\Gamma_M}$  за умови

$$\Theta_{\Gamma_M} \left( \dot{h}_{\Gamma_M} \left[ \dot{h}_H(\dot{h}_{\Gamma_M}) \right], \dot{h}_H \left[ \dot{h}_{\Gamma_M} \left[ \dot{h}_H(\dot{h}_{\Gamma_M}) \right] \right] \right)_{\dot{h}_{\Gamma_M} \left[ \dot{h}_H(\dot{h}_{\Gamma_M}) \right]} \rightarrow \max. \quad (2.2.68)$$

Як можна бачити з розглянутих алгоритмів (2.2.66)-(2.2.68), в рамках загально програмних обмежень, обумовлених функціями поведінки, всі  $h = (n+m+k)$  технологічних учасників програми стають умовно рівноправними і умовно вільними з точки зору встановлення власних критеріїв  $\Theta_H^{rlj}$  якості та ефективності використання власних ресурсів  $\dot{h}_H^{rlj} = (\dot{h}_H^{rlj1}, \dots, \dot{h}_H^{rljm})$ , оскільки частину  $\dot{h}_{H_0}^{rlj} = (\dot{h}_{H_0}^{rlj1}, \dots, \dot{h}_{H_0}^{rljm})$  цих ресурсів кожен з них має виділяти на досягнення загально програмної мети, яка, у свою чергу, стає залежною від вибору технологічних учасників програми

$$\Theta_{\Gamma_M} = \Theta_{\Gamma_M}(\Delta \dot{h}_H^{rl1}, \dots, \Delta \dot{h}_H^{rlh}), \Delta \dot{h}_H^{rlj} = (\dot{h}_H^{rlj} - \dot{h}_{H_0}^{rlj}), j = \overline{1, h}. \quad (2.2.69)$$

За аналогією з процедурами корегування взаємодії виробників за виразами (2.2.26)-(2.2.27), досягнення загально системного компромісу між величинами  $\dot{h}_H^{rlj}$  і  $\dot{h}_{H_0}^{rlj}$ , потребує узгодження параметрів цільових функцій технологічних учасників програми, наприклад, за процедурою [52]

$$\Theta_H^{rlj} = \min \left\{ \Theta_H^{rlj} (\hbar_{H_0}^{rlj}); \alpha_H^{rlj} \Theta_{\Gamma_M} (\Delta \hbar_H^{rl1}, \dots, \Delta \hbar_H^{rlh}) \right\}, \quad j = \overline{1, h}, \quad (2.2.70)$$

яка забезпечує врахування інтересів органу управління шляхом переходу з «кривої» цільової функції  $\Theta_H^{rlj} (\hbar_{H_0}^{rlj})$  на «криву»  $\alpha_H^{rlj} \Theta_{\Gamma_M} (\hbar_{H_0}^{rlj})$  в «точці», розташування якої залежить від параметру  $\alpha_H^{rlj}$ , який характеризує ступень зацікавленості  $j$ -го технологічного учасника у досягненні загально-програмної мети.

Як вже відмічалось і раніше (див. вирази (2.2.19)-(2.2.20)), процедура координування параметрів цільових функцій (2.2.70) є задачею багатокритеріальної оптимізації, розв'язання якої потребує узгодженого застосування принципів ефективності і рівноваги. Теорему, яка дозволяє визначати розміри відрахувань технологічних учасників на реалізацію загально-програмних заходів, доказано у роботі [122], за якою для всіх технологічних учасників, ранжируваних за принципом

$$\alpha_H^{rl1} \Theta_H^{rl1} (\hbar_H^{rl1}) \geq \alpha_H^{rl2} \Theta_H^{rl2} (\hbar_H^{rl2}) \geq \dots \geq \alpha_H^{rlh} \Theta_H^{rlh} (\hbar_H^{rlh}),$$

встановлюється таке  $p \leq n$ , що для  $j \geq p$  усі  $\Delta \hbar_H^{rlj} = 0$ , а інші визначаються з рішення наступної системи рівнянь

$$\alpha_H^{rlj} \Theta_H^{rlj} (\hbar_H^{rlj} - \Delta \hbar_H^{rlj}) = \Theta_{\Gamma_M} (\Delta \hbar_H^{rl1}, \dots, \Delta \hbar_H^{rlp}, 0, \dots, 0). \quad (2.2.71)$$

Відзначимо, що частина технологічних учасників з  $j \geq p$ , яка не приймає участі у реалізації загальнопрограмних заходів, як правило, не володіють достатніми ресурсами (замалі  $\hbar_H^{rlj}$ ), чи застосовують неефективні технології (замалі  $\Theta_H^{rlj} (\hbar_{H_0}^{rlj})$ ), або слабо зацікавлені у реалізації програми (замалі  $\alpha_H^{rlj}$ ).

Таким чином, розглянуто підхід до розв'язання проблеми координації взаємодії у багаторівневих системах ВІОТ-управління у вигляді задачі вибору оптимального ступеню організаційно-функціональної самостійності

елементів (об'єктів, суб'єктів) системи в межах внутрісистемних обмежень, що дозволяє застосовувати до розв'язання цієї проблеми методи та алгоритми математичного програмування з варійованими обмеженнями, які мають класичні розв'язки.

## **Глава 2.3** **Методологічні аспекти побудови багаторівневого ВІОТ управління підвищенням 3-Е ефективності систем КТЕ на місцевому рівні**

### **2.3.1. Принципи та напрями управління ефективністю функціонування систем комунальної теплоенергетики**

Як було визначено у попередніх розділах, за обсягами споживання ПЕР, за кількістю і потужністю енергоємних об'єктів, розгалуженістю інфраструктури та соціальним значенням, система виробництва, постачання і споживання комунальних послуг з опалення та гарячого водопостачання в Україні відноситься до складних енерготехнологічних систем соціально-виробничого типу, ієрархічно структурована система управління якої складається з чотирьох рівнів: загальнодержавного (Д), місцевого (М – обласного, районного, міського, селищного тощо), господарюючих суб'єктів (Н – підприємств і організацій з виробництва і постачання паливно-енергетичних ресурсів і комунальних послуг) і споживчого (С).

З точки зору формалізації задачі управління, така система складається з керуючих і керованих елементів та підсистем, охоплених зв'язками субординації та координації, із загальносистемною (глобальною) метою та підпорядкованими, але ж достатньою мірою самостійно визначеними локальними цілями та завданнями елементів і підсистем, з наявними зворотними зв'язками та зовнішніми впливами і збуреннями, насамперед пов'язаними з регулюванням цін і тарифів на К-послуги.

Аналізуючи спроби держави спрямувати процес управління на підвищення ефективності використання ПЕР в системах КТЕ слід відзначити, що скільки-небудь значущі результати не були досягнуті за причин, серед яких відмітимо наступні:

1. Не було створено дієздатної системи управління, що функціонує за нерозривним ланцюгом: постачальник ПЕР – виробник К-послуг –

споживач, побудованої на всіх рівнях ієрархічної структури за принципами єдиної політики та системно узгоджених цілей і завдань.

2. Мотивація і стимулювання підвищення 3-Е ефективності в КТЕ України практично не розглядалися центральними органами влади в якості фінансово-економічних інструментів прямої дії, а логіка – ринок у всьому розбереться, не спрацювала. При цьому, заходи з підвищення 3-Е ефективності фактично розглядалися як витратні, а не такі, що стимулюють розвиток економіки країни і дозволяють одержувати додаткові вигоди і прибуток.

3. Не була розвинута інфраструктура ринків, спрямованих на підвищення 3-Е ефективності, що починається з діяльності спеціалізованих, у першу чергу, енергосервісних компаній, не визначені правила оцінки результатів реалізації енергозберігаючих заходів і вичленення економічного ефекту, не створено передумов для розвитку приватного бізнесу у сфері підвищення 3-Е ефективності і залучення інвестиції.

4. Фінансово-економічні умови діяльності об'єктів комунальної інфраструктури визначалися за принципами «виживання», які навіть не передбачали можливостей проведення модернізації об'єктів КТЕ з урахуванням енергозберігаючих технологій.

Оскільки технологічні об'єкти КТЕ розташовані на місцевому рівні, де і виникає 3-Е ефект економії від підвищення ефективності використання ПЕР, розглянемо наведену на Рис.2.3.1 структурно-функціональну схему взаємодії учасників конкурентних ринків К-послуг саме на місцевому рівні. Як можна бачити, представлена на Рис.2.3.1 схема з означеними основними ринковими елементами і взаємозв'язками між ними є чотирьохрівневою.

На цієї схемі на нижньому (споживчому) рівні розташовані споживачі енергоресурсів та К-послуг різних форм власності (державної  $C^D$ , приватної (комерційної)  $C^P$ , кооперативної  $C^S$ , співвласників багатоквартирних будинків  $C^U$  та окремих категорій населення  $C^G$ , орендарів тощо), які у

сукупності формують місцевий споживчий ринок енергоресурсів і К-послуг

$\mathcal{M}^C$ .

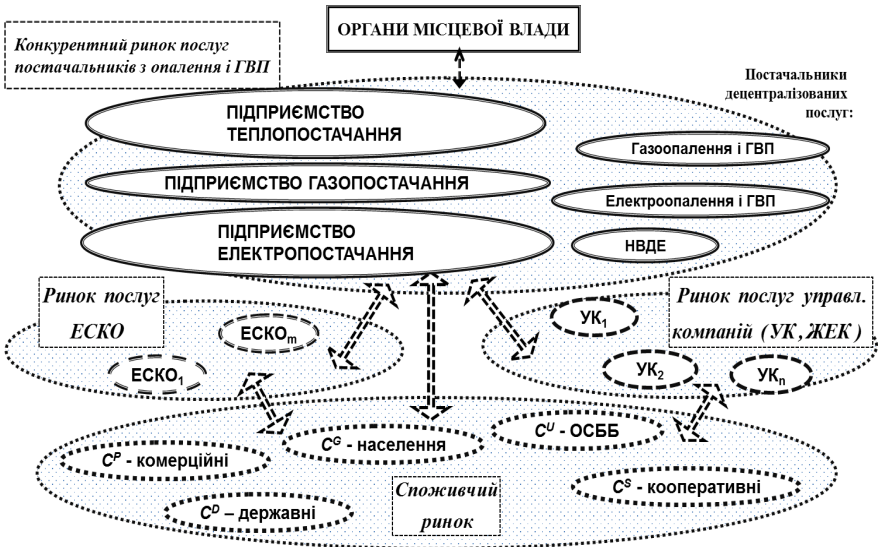


Рисунок 2.3.1 – Структурно-функціональна схема взаємодії учасників конкурентних ринків К-послуг

На другому низу (сервісному) рівні розташовані:

- Управляючі компанії у сфері надання К-послуг (у тому числі житлово-експлуатаційні контори), які у сукупності утворюють місцевий ринок управляючих компаній  $\mathcal{M}^K$ , що конкурує з іншими місцевими ринками у сфері К-послуг за право надання споживачам послуг з показниками якості та ефективності, що задовольняють потребам споживачів;
- Енергосервісні і енергоконсалтингові компанії (ЕСКО), які конкурують на місцевому ринку енергосервісних послуг  $\mathcal{M}^E$  за право надання іншим учасникам місцевої системи послуг з підвищення ефективності використання паливно-енергетичних та природних ресурсів, включаючи реалізацію заходів з підвищення 3-Е ефективності та енергозбереження «під ключ»;



- Фінансово-комерційні установи і організації  $\mathcal{N}_M^A$ , які здійснюють фінансування спільних проєктів з підвищення 3-Е ефективності та якості енергозабезпечення місцевих об'єктів КТЕ.

На третьому (технологічному) рівні розташовані підприємства і організації з постачання первинних ПЕР (газу, вугілля, торфу, нетрадиційних і відновлюваних енергоресурсів (НВДЕ) тощо) та вироблення і надання К-послуг з газо-, тепло-, холодо-, електропостачання, які діють на місцевих енергоринках з постачання газу  $\mathcal{N}_M^{gs}$ , вугілля  $\mathcal{N}_M^{co}$ , НВДЕ  $\mathcal{N}_M^{nr}$ , електроенергії  $\mathcal{N}_M^{el}$ , тепла і холоду  $\mathcal{N}_M^{tm}$ , та які у сукупності утворюють місцевий ринок постачання енергетичних ресурсів  $\mathcal{N}_M^R$ .

На верхньому (управлінському) рівні запропонованої системи управління 3-Е ефективністю будуть розташовані:

- Органи ( $\mathcal{N}_M^{MD}$ ,  $\mathcal{N}_M^{MP}$ ) та спеціалізовані підрозділи місцевої влади, які є відповідальними учасниками-координаторами місцевої системи управління 3-Е ефективністю;
- Спеціально створена на місцевому рівні Комісія (або компанія) з регулювання К-послуг  $\mathcal{N}_M^{RC}$  з відповідними повноваженнями і ресурсами, які дозволяють їй в межах цих повноважень здійснювати системну координацію і організацію взаємодії між учасниками місцевих конкурентних ринків К-послуг, узгоджувати плани окремих суб'єктів, здійснювати контроль і аналіз виконання ухвалених рішень на обох рівнях управління.

Зрозуміло, що взаємодія учасників місцевих конкурентних ринків К-послуг, зв'язаних один з одним за допомогою прямих і зворотних зв'язків буде більш ефективною, якщо локальні цілі і завдання кожного учасника будуть узгодженими з глобальною метою системи, спрямованою на мінімізацію загального споживання енергоресурсів у системі (в населеному пункті, поселенні) за умов забезпечення якості послуг. При цьому слід

враховувати, що енергопостачальні організації, як природні монополісти, в умовах відсутності конкуренції і без належного контролю за їх діяльністю з боку місцевої влади і споживачів не є зацікавленими у вирішенні питань підвищення 3-Е ефективності.

І дійсно, з виразів (2.2.63)-(2.2.65) видно, що забезпечити зростання свого прибутку учасники конкурентних ринків К-послуг можуть не тільки за рахунок реалізації заходів з підвищення 3-Е ефективності та енергозбереження, що потребує складних додаткових зусиль і витрат, а й шляхом застосування більш простих і менш витратних «тіньових» заходів, наприклад, необґрунтованим підвищенням цін і тарифів на свою продукцію або надмірним нарощуванням її обсягів, у тому числі, обсягів неефективно витрачених на виробництво енергоресурсів.

В останньому випадку «тіньова» діяльність  $j$ -го виробника (енергопостачальника) спрямовується на збільшення різниці  $\Delta W^j = (I_H^{\Sigma j} - V_H^{\Sigma j}) \geq 0$  приходної і видаткової частин власного бюджету (прибутку) за рахунок кількісних, а не якісних змін, і де «енергозбереження» слугує прикриттям, що простіше за все досягається шляхом зміни параметрів, які забезпечують більш високі темпи зростання приходної частини бюджету по відношенню до його видаткової частини:

$$(\Delta I_H^{\Sigma j} - \Delta V_H^{\Sigma j}) \rightarrow \max \text{ або } (\Delta I_H^{\Sigma j} / \Delta V_H^{\Sigma j}) \rightarrow \max. \quad (2.3.1)$$

Зрозуміло, що потрібно слідкувати за змінами факторів, які визначають залежність прибутку енергопостачальних організацій від об'ємів витрачання енергоресурсів, наприклад, шляхом диференціювання за складовими багатоставочних тарифів, які врегульовують залежність величини прибутку не тільки від об'єму реалізації товарної продукції, а й від якості і ефективності її виробництва, враховуючи дві і більше таких складових. Саме диференціювання можливо реалізовувати не тільки шляхом застосування лінійної апроксимації факторів впливу, як це прийнято у більшості

практичних випадків, а й у формі виробничих функцій Кобба-Дугласа (2.2.34) [106, 107, 123]

$$Y^{F_j} = q^{F_j} (K^{F_j})^{(k_{F_j})} (L^{F_j})^{(1-k_{F_j})}, k \in [0, 1], . \quad (2.3.2)$$

де  $q^{F_j}$  буде характеризувати якість товарної продукції, а  $k^{F_j}$  та  $(1-k^{F_j})$  – ефективність використання енергоресурсів в залежності від об'єму реалізації товарної продукції  $K^{F_j}$  та величини, наприклад, приєднаної потужності  $L^{F_j}$ . Відмітимо, що ці функції шляхом логарифмування не складно узгодити з відомими лінійними формами.

Ще одна можливість регулювання виду та форми функціональної залежності прибутку енергопостачальних організацій від параметрів ефективності витрачання енергоресурсів з'являється у разі застосування індексного методу, який дозволяє визначати розміри відносного (і абсолютного також) відхилення величини фактично досягнутого показника ефективності (якості) діяльності господарюючого суб'єкта, наприклад, величини прибутку, по відношенню до нормативного (базового або перспективно досяжного) його значення, яке визначається за умов представлення факторів впливу у вигляді добутків кількісного та якісного показників [98]. Так, у разі врахування трьох факторів впливу на прибуток: обсягів реалізації товарної продукції  $Y^P$ , ціни одиниці реалізованої продукції  $c^P$  та собівартості її виробництва  $p^P$  по відношенню до їх нормативних значень  $Y^0$ ,  $c^0$ ,  $p^0$ , результуючий індекс залежності прибутку від дії означених факторів може бути представлений у вигляді добутку індексів зміни цих факторів [124, 125]

$$i^W = i^Y \cdot i^C \cdot i^P, \quad (2.3.3)$$

де сам результуючий індекс залежності прибутку визначається як

$$i^W = (c^P Y^P - p^P Y^P) / (c^0 Y^0 - p^0 Y^0),$$

а відносні відхилення прибутку за рахунок зміни окремих факторів, а саме від:

обсягу реалізації – як  $i^Y = (c^0 Y^P - p^0 Y^P) / (c^0 Y^0 - p^0 Y^0)$ ;

ціни реалізації одиниці – як  $i^C = (c^P Y^P - p^0 Y^P) / (c^0 Y^P - p^0 Y^P)$ ;

собівартості одиниці – як  $i^P = (c^P Y^P - p^P Y^P) / (c^P Y^P - p^0 Y^P)$ .

Зі свого боку, місцева влада теж вимушена займатися підвищенням 3-Е ефективності та енергозбереженням. По-перше, під тиском споживачів – виборців, які не сприймають зростання вартості платежів за К-послуги та намагаються мінімізувати свої витрати

$$C_C^j = \sum_e c_H^{ej} Y_C^{ej} \rightarrow \min, \quad (2.3.4)$$

які в основному залежать від обсягів  $Y_C^{ej}$  споживання  $e$ -х послуг та цін і тарифів  $c_H^{ej}$  на них і незначною своєю складовою – від їх якості (головним чином – від офіційно зафіксованих переривів у наданні послуг, зазвичай пов'язаних з ліквідацією аварійних ситуацій).

Окрім системи політичних виборів, споживачі можуть впливати на місцеву владу і економічними засобами, наприклад, розмірами пайової участі у програмах 3-Е ефективності, пікетами і неплатежами, зокрема до організацій, підконтрольних місцевій владі, скаргами тощо. По-друге – влада теж є як прямим (бюджетні об'єкти і установи), так і непрямим (підвідомчі підприємства, субсидії і дотації) споживачем К-послуг та енергоресурсів, і зацікавлена в зниженні витрат на них, тим самим зменшуючи навантаження на місцевий бюджет. У сукупності, це змушує владу встановлювати такі правила поведінки учасників системи К-послуг, які б стимулювали впровадження заходів з підвищення 3-Е ефективності та енергозбереження, у першу чергу, встановленням економічно обґрунтованих тарифів, і робили

економічно не вигідними застосування «тіньових» схем досягнення результатів, подібних (2.3.1).

Що до категорії споживачів, то при всій їх різноманітності (бюджетні організації, управляючі компанії, промислові підприємства, населення тощо) (див. також Рис.2.2.3), всі вони зацікавлені в зниженні платежів, доступності підключення, забезпеченні якості і надійності енергопостачання, можливостях незалежного регулювання (зниження або збільшення) об'ємів споживання, вільному виборі постачальника і, навіть, у створенні автономних систем енергозабезпечення.

Як можна бачити навіть з проведеного стислого аналізу, існує велика кількість різноманітних факторів, які мають бути враховані при вирішенні проблем підвищення 3-Е ефективності та енергозбереження у системі КТЕ, серед яких такі загальносистемні, як зростаюча у всьому світі вартість первинних енергоресурсів, поширення ринкових відносин та збільшення частки приватних споживачів, технічна доступність сучасного енергозберігаючого обладнання і технологій, засобів автоматизації процесів енергоспоживання тощо, підвищення якості і збільшення кількості встановлених приладів обліку спожитих енергоресурсів і послуг у сферах енергозабезпечення та теплопостачання, і багато інших.

Слід відмітити, що практично у всіх публікаціях, присвячених питанням підвищення ефективності використання ПЕР та енергозбереження, у тому числі, з управління енергозабезпеченням та енерговикористанням, як правило, надається перелік факторів, які на думку авторів, мають відігравати вирішальну роль у розв'язанні цих проблемних питань, однак повноту цих переліків і, головне, критерії, за якими вони формулюванні, автори не визначають. Так що, задачу визначення переліку основоположних факторів ще не можна вважати вирішеною.

І дійсно, при спробі проведення класифікації і систематизації наявних сукупностей (множин) різноманітних факторів впливу з метою їх подальшої формалізації і ранжирування для визначення умов, що є необхідними і

достатніми для постановки і проведення оптимізаційних розрахунків з підвищення 3-Е енергоефективності та енергозбереження, виникають складні проблеми, які свідчать про неповноту класифікаційних властивостей, за якими ці сукупності факторів визначалися. Особливо це стосується категорій стратегічного розвитку систем КТЕ в ринкових умовах, координації їх взаємодії і конкурентної боротьби. Така ситуація пояснюється не тільки складністю задачі, її великими розмірами і різноманітністю типів і видів факторів впливу, скільки відсутністю методологічного підходу та інструментів для її розв'язання.

Серед робіт у цьому напрямі, насамперед, слід відмітити [125, 128], де для попередньої систематизації і ранжирування різноманітних факторів впливу пропонується залучати ідеологічно близькі до задачі управління 3-Е ефективністю у системах енергозабезпечення і тепlopостачання графоаналітичні методи та моделі, розроблені у теорії управління якістю. Перелік класичних варіантів цих моделей і методів можна знайти у багатьох публікаціях, наприклад [93, 129-137], де приводяться численні форми їх графічного відображення у вигляді діаграм Ісікава, Ганта, Парето, формі дому якості, кривої Лоренца тощо.

Проведений у роботі аналіз цих моделей і методів показує, що на етапі попередньої систематизації та ранжирування різноманітних факторів впливу в якості графічної моделі доцільно використовувати причинно-наслідкову форму діаграми Ісікава [92], яка дозволяє визначати сукупність різноманітних факторів впливу, проводити структурування ієрархічної системи їх побудови та формалізувати процедуру визначення стратифікаційних рівнів цих факторів [130, 131, 134].

Причинно-наслідкова діаграма Ісікава і, особливо, мнемонічне правило «М» її побудови, за яким розрізняють такі п'ять категорій факторів впливу на показник якості (ефективності тощо), як матеріал (material), обладнання (machine), вимірювання (measurement), метод (method) і людина (man), є потужними інструментами, які дозволяють систематизувати та

класифікувати множини ієрархічно підпорядкованих факторів впливу, представлених у вербальній формі, що є практично унікальною властивістю такого роду діаграм.

В задачі, що розглядається в даному розділі, за правилом «М» Ісікава пропонується розрізнити п'ять ієрархічно підпорядкованих класифікаційних рівнів розв'язання проблеми підвищення 3-Е ефективності використання ПЕР та енергозбереження у системах КТЕ, а саме рівні:

1.  $G = (G^j)$ ,  $j = \overline{1, g}$  – глобальних факторів (глобальних проблем, показників якості та ефективності тощо на рівні державного управління);
2.  $L^j = (L^{ji})$ ,  $i = \overline{1, l}$  – локальних факторів (проблемних питань, деталізованих на рівні місцевого управління) – складових глобальних проблем;
3.  $S^{ji} = (S_e^{ji})$ ,  $e = \overline{1, s}$  – структурних і  $F^{ji} = (F_h^{ji})$ ,  $h = \overline{1, f}$  – функціональних факторів впливу, деталізованих на місцевому структурно-функціональному рівні;

(2.3.5)

4.  $O_{S^e}^{ji} = (O_{S_p^e}^{ji})$ ,  $p = \overline{1, n}$  – об'єктно-структурних і

$O_{F^h}^{ji} = (O_{F_r^h}^{ji})$ ,  $r = \overline{1, k}$  – об'єктно-функціональних факторів впливу – складових структурно-функціональних факторів, деталізованих на рівні управління підприємствами;

5.  $T_{O_{S^e}^p}^{ji} = (T_{O_v^{S^e}^p}^{ji})$ ,  $v = \overline{1, b}$  – структурних і

$T_{O_{F^h}^r}^{ji} = (T_{O_q^{F^h}^r}^{ji})$ ,  $q = \overline{1, d}$  – функціональних факторів впливу,

деталізованих на рівні управління споживачами,

де:  $g$  – кількість глобальних факторів, що розглядається;  $l$  – кількість локальних факторів у  $j$ -му глобальному факторі;  $s$  – кількість структурних,  $af$  – кількість функціональних факторів у  $i$ -му локальному факторі;  $n$  – кількість об'єктних факторів у  $e$ -му структурному факторі;  $k$  – кількість об'єктних факторів у  $h$ -му функціональному факторі;  $b$  – кількість деталізованих факторів у  $p$ -му структурному факторі;  $d$  – кількість деталізованих факторів у  $r$ -му функціональному факторі.

Тут і далі у даному розділі, для поіменної формалізації та деталізації системи факторів впливу встановимо наступне правило індексації: перший верхній індекс буде вказувати на ранжируваний за важливістю номер глобального фактору (в даному випадку  $j$ -го), якому підпорядкований поіменно визначений фактор, а другий верхній індекс – ранжируваний за важливістю номер відповідного локального фактору, до якого належить визначений фактор; перший нижній індекс структурного чи функціонального фактору буде вказувати на ранжируваний за важливістю номер цього фактору. На рівні об'єктних факторів перший нижній індекс у вигляді великої літери буде визначати відповідну категорію структурних  $S$  чи функціональних  $F$  факторів, верхній індекс якої буде вказувати на номер цього фактору, а нижній індекс – на ранжируваний за важливістю номер відповідного об'єктного фактору і т. д. за необхідністю деталізації факторів на технологічному рівні.

Методи та засоби конкурентної взаємодії та боротьби займають особливе місце у системи факторів впливу за глибиною і широтою свого проникнення у всі сфери функціонування економіки, за що їх називають «рушійними силами» розвитку [106, 138-141]. Портер у своїй всесвітньо відомій моделі розрізняє п'ять сил конкуренції, які за пропонованою системою класифікації (2.3.5) будемо розглядати на структурно-технологічному рівні, враховуючи: суперництво між конкурентами усередині



галузі, в сфері надання послуг, вихідні бар'єри тощо; загрози появи нових конкурентів та вхідні бар'єри; загрози від конкурентів, які намагаються наповнити ринок товарами-субститутами; інтеграцію з постачальниками матеріалів, ПЕР, обладнання тощо (інтеграція по входу) та здатність постачальників диктувати свої умови; інтеграцію зі споживачами (інтеграція на виході) та право споживачів товарів і послуг визначати свої умови.

За правилами (2.2.4)-(2.2.6) теоретико-множинних перетворень структурно-функціональних елементів і зв'язків, система відображень ефективності (якості) міжрівневого взаємовпливу для ієрархічної системи факторів (2.3.5) формалізується у вигляді:

$$\begin{aligned}
 \mathcal{P}_{L^{ji}}^{G^j} &: L^{j1} \times L^{j2} \times \dots \times L^{jl} \rightarrow G^j, \quad j = \overline{1, g}, \quad i = \overline{1, l}; \\
 \mathcal{P}_{S_e^{ji}}^{L^{ji}} &: S_1^{ji} \times S_2^{ji} \times \dots \times S_s^{ji} \rightarrow L^{ji}, \quad e = \overline{1, s}; \\
 \mathcal{P}_{F_h^{ji}}^{L^{ji}} &: F_1^{ji} \times F_2^{ji} \times \dots \times F_f^{ji} \rightarrow L^{ji}, \quad h = \overline{1, f}; \\
 \mathcal{P}_{O_p^{S_e^{ji}}}^{S_e^{ji}} &: O_{S_1^e}^{ji} \times O_{S_2^e}^{ji} \times \dots \times O_{S_n^e}^{ji} \rightarrow S_e^{ji}, \quad p = \overline{1, n}; \\
 \mathcal{P}_{O_p^{F_h^{ji}}}^{F_h^{ji}} &: O_{F_1^h}^{ji} \times O_{F_2^h}^{ji} \times \dots \times O_{F_k^h}^{ji} \rightarrow F_h^{ji}, \quad r = \overline{1, k}; \\
 \mathcal{P}_{O_p^{S_e^{ji}}}^{O_p^{S_e^{ji}}} &: T_{O_1^{S_e^p}}^{ji} \times T_{O_2^{S_e^p}}^{ji} \times \dots \times T_{O_b^{S_e^p}}^{ji} \rightarrow O_{S_e^p}^{ji}, \quad v = \overline{1, b}; \\
 \mathcal{P}_{O_p^{F_h^{ji}}}^{O_p^{F_h^{ji}}} &: T_{O_1^{F_h^r}}^{ji} \times T_{O_2^{F_h^r}}^{ji} \times \dots \times T_{O_d^{F_h^r}}^{ji} \rightarrow O_{F_h^r}^{ji}, \quad q = \overline{1, d},
 \end{aligned} \tag{2.3.6}$$

де індекси визначаються за встановленим вище правилом індексації.

Повертаючись до виразу (2.3.5) слід додати, що на практиці кожен з глобальних факторів  $G^j$ , як правило, має складну внутрішню структуру з

підпорядкованими складовими (проблемними питаннями), які також потрібно визначати при подальшій деталізації локальних факторів  $L^{ji}$ .

На Рис.2.3.2 наведено комплексну діаграму, що узагальнює розглянуті вище методичні підходи до структуризації причинно-наслідкових факторів впливу у системи управління 3-Е ефективністю. На цій діаграмі нумерація латинськими цифрами від 1 до 7 поіменно визначає типи об'єктів системи, малими літерами  $a, b, c, d, e$  умовно показані п'ять сил конкуренції, а римськими цифрами від  $I$  до  $XII$  означено основні рушійні сили  $W^j$ , які формують поле впливу оточуючого середовища на вирішення  $j$ -ої глобальної проблеми, що розглядається.

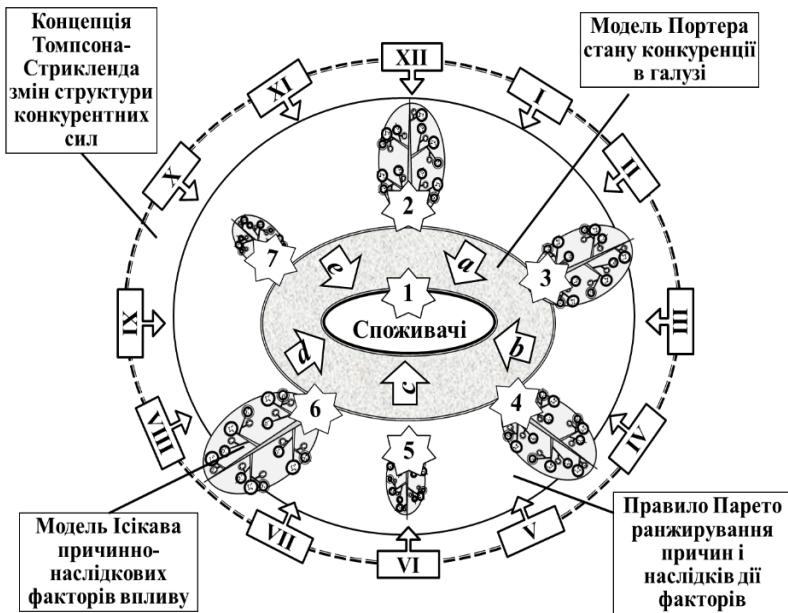


Рисунок 2.3.2 – Узагальнена діаграма структуризації причинно-наслідкових факторів впливу

Серед останніх, за концепцією Томпсона-Стрикленда розрізняють наступні причинно-наслідкові фактори змін структури конкурентних сил [139]:

- I.  $W^{j1}$  – зміни у довгострокових тенденціях економічного зростання галузі в ринкових умовах, що впливають на співвідношення попиту і пропозиції;
- II.  $W^{j2}$  – зміни у складі споживачів, споживчому попиті та у способах використання товару і послуг, що призводять до змін у номенклатурі та якості товарів і послуг;
- III.  $W^{j3}$  – організація виробництва нових інноваційних продуктів і послуг, їх диференціація та диверсифікація, що надає переваги перед конкурентами, які зволікають з впровадженням новинок;
- IV.  $W^{j4}$  – технологічні зміни, що забезпечують виробництво нових товарів і послуг та/або спрямованих на підвищення ефективності та якості виробництва існуючих;
- V.  $W^{j5}$  – зміни у системі маркетингу, що створюють умови для підвищення попиту на товари і послуги;
- VI.  $W^{j6}$  – входження на ринок або вихід з нього великих компаній, у тому числі, іноземних;
- VII.  $W^{j7}$  – розповсюдження ноу-хау та передача технологій;
- VIII.  $W^{j8}$  – глобалізація та економія на масштабах виробництва, створення кластерів та транснаціональних компаній;
- IX.  $W^{j9}$  – зміни у структурі витрат та продуктивності;
- X.  $W^{j10}$  – віддавання споживачами переваги стандартним (загальноприйнятим) або навпаки диференційованим за видами, типами і формою товарам і послугам;

XI.  $W^{j11}$  – вплив змін у законодавстві та в політиці і діях уряду;

XII.  $W^{j12}$  – зменшення впливу факторів невизначеності та ризику.

На цьому можливості формалізації (але не визначення та структуризації) системи факторів впливу за допомогою розглянутих методичних підходів вичерпуються і потрібно залучати більш формалізовані моделі і підходи.

Такі можливості з'являються у разі застосування теорії графів, де множина направлених дуг  $U$  (стрілок-гілок), які з'єднують елементи визначеної множини точок (вершин стрілок), розмішених на площині  $X$  діаграми, може бути представлена як відображення множини  $X$  у саму себе [108, 109].

За таким визначенням граф  $G$  вважається заданим, якщо дана множина його вершин  $X$  і спосіб відображення  $T: X \rightarrow X$  множини  $X$  в  $X$ . Інакше кажучи, граф  $G$  задається парою  $(X, T)$ , яка складається з множини  $X$  і відображення  $T$ , заданого на цій множині:  $G = (X, T)$ . Таке визначення графа повністю співпадає з визначенням відношення у теорії множин.

Як наслідок, на кожному графі  $G$  можливо виділяти сукупність підграфів  $G^j$ , до кожного з яких буде входити лише частина вершин графа  $G$  і дуг, що ці вершини зв'язує:  $G^j = (X^j, T^j)$ , тим самим ідентифікуючи глобальні, локальні, об'єктні та технологічні рівні ієрархічної системи факторів впливу, означених виразом (2.3.5).

Ще одним поняттям теорії графів, важливим для подальшої формалізації факторів впливу, є довжина  $l(\alpha)$  шляху  $\alpha = (u_1, \dots, u_k)$  на графі, яка вимірюється числом  $l(\alpha) = \sum_{u_i \in \alpha} l(u_i)$ , що визначається як сума довжин дуг, з яких складається даний шлях. При цьому, різноманіття шляхів на графі однозначно описується за допомогою матриць суміжності та інцидентцій.

Теорія графів також надає можливість геометричного представлення відношень на множинах, яке відображає усі властивості відношень порядку: рефлексивності, транзитивності та антисиметричності [108, 109]. За допомогою понять теорії графів також набагато простіше піддається формалізації, стає прозорою і менш трудомісткою задача проведення оптимізаційних розрахунків з підвищення 3-Е ефективності та енергозбереження у системах з ієрархічною структурою, яка формулюється у вигляді задачі знаходження найкоротшого шляху між двома вибраними вершинами графа. До такої задачі зводяться багато різноманітних задач вибору найбільш економного з точки зору відстані, часу або вартості маршруту на графі, переводу з мінімальними витратами (втратами) динамічної системи з одного стану в інший, оптимального управління складними системами тощо.

Для розв'язання таких задач можуть використовуватися методи лінійного, нелінійного і динамічного програмування, теорії ігор, теорії статистичних рішень, теорії розкладів і масового обслуговування, теорії нейронних мереж тощо. Однак для вирішення задач підвищення 3-Е ефективності найбільш доцільним представляється залучення балансово-оптимізаційних методів лінійного і нелінійного програмування, моделі яких найбільш адекватно відображають структурні та режимні особливості побудови і функціонування енергетичних систем, оперуючи з інформацією у вигляді фінансово-економічних і паливно-енергетичних балансових таблиць, найбільш поширених у практиці управління енергетичними системами та ведення обліку витрат і втрат.

І, головне, такий підхід надає можливість не тільки окремо виділяти кожен з енергетичних об'єктів системи і кожен фактор впливу на 3-Е ефективність та якість функціонування системи, але ж і можливість прозорого корегування кожного з параметрів, за яким здійснюється управління підвищенням 3-Е ефективності та енергозбереженням на таких об'єктах.

При цьому, системи рівнянь (2.2.4), (2.2.5) і (2.3.6), за якими задача багаторівневого управління підвищенням 3-Е ефективності вирішується на теоретико-множинному рівні шляхом застосування прямих (декартових) добутків множин, у моделях лінійного і нелінійного програмування відображуються відповідними множинами кортежів  $n$ -ої довжини з дійсних чисел ( $n$ -мірними арифметичними векторами), що є рішеннями лінійної (нелінійної) системи рівнянь з  $n$  невідомими. Аналогічний приклад використання впорядкованих послідовностей (кортежів) дає аналітична геометрія, де кортежі дійсних чисел  $n$ -ої довжини відображуються координатами точок у  $n$ -мірному просторі.

### **2.3.2. Формалізація багаторівневої імітаційної моделі оптимального управління системами КТЕ за критеріями 3-Е ефективності**

Розглянуті у попередніх розділах роботи принципи та концептуальні підходи до теоретико-множинної формалізації процесів управління енергоефективністю у системах КТЕ свідчать про необхідність дослідження управляючих властивостей енерготехнологічних підсистем системи КТЕ, як об'єктів багаторівневого ВІОТ-управління. Це потребує, насамперед, урахування взаємовпливу і взаємодії цих підсистем, різномірність та суперечливий характер поведінки яких за ринкових умов функціонування призводять до необхідності застосування системного підходу до визначення параметрів управління шляхом імітаційного моделювання режимів функціонування енерготехнологічних підсистем та системи КТЕ у цілому. Для цього потрібно мати ієрархічно структурований програмний комплекс, який складається з системи вертикально-інтегрованих модулів, об'єднаних прямими і зворотними зв'язками координації їх взаємодії, оптимізація параметрів яких здійснюється за глобальною та локальними цільовими функціями, спрямованими на підвищення 3-Е ефективності кожної з підсистем та системи КТЕ у цілому.

Блок-схему пропонуваної моделі багаторівневого управління, побудованої за аналогією зі структурно-функціональною схемою ВІОТ управління, представленою на Рис.2.1.4, наведено на Рис.2.3.3. Тут слід розуміти, що кожен рівень моделі багаторівневого управління буде

характеризуватися різною структурою об'єктів та органів управління, різними алгоритмами управління і цільовими функціями, різними методами управління на різних рівнях ієрархії. І це буде функціонувати за умов: узгодження локальних критеріїв з глобальним критерієм ефективності функціонування системи; наявності додаткових рівнянь для урахування процедур координації взаємодії між рівнями управління;

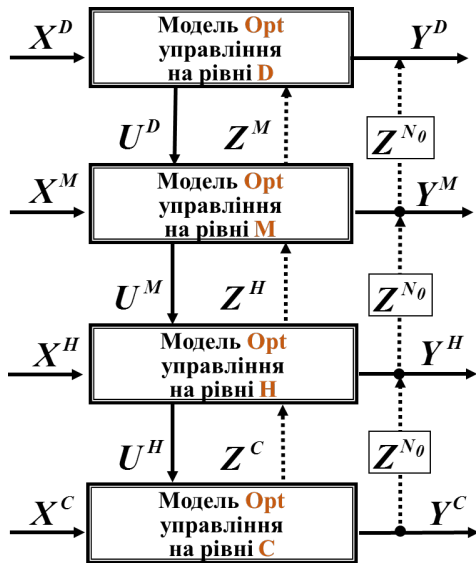


Рисунок 2.3.3 – Блок-схема моделі ВІОТ-управління системою КТЕ

побудови прямих і зворотних зв'язків, призначених для мінімізації відхилень поведінки системи за наявних неузгодженостей між глобальною і локальними цілями управління.

Відмінністю пропонуваної моделі ВІОТ-управління є наявність двох системно узгоджених вертикально-інтегрованих структур. Перша ВІОТ-структура призначена для управління ефективністю функціонування техніко-технологічних підсистем системи КТЕ, які охоплюють виробництво, транспортування і використання (споживання) теплової енергії (теплоти). А друга ВІОТ-структура – призначена для організаційно-адміністративних підсистем управління на державному і місцевому (регіональному) рівнях та на рівнях підприємств КТЕ і споживачів К-послуг. При цьому, на верхньому

(державному) рівні моделі із-за високої розмірності мають застосовуватися укрупнені моделі підсистем, параметри яких деталізуються та поглиблюються у міру зниження рівня.

Пропонована ієрархічна структура розміщення диспетчерських пунктів багаторівневого ВІОТ-управління системою КТЕ, що охоплює рівні споживачів (житлові і громадські будинки), підприємств КТЕ (котельні і теплові мережі) та місцевий (регіональний) і загальнодержавний рівні управління, представлена на Рис.2.3.4.

Результати огляду різних типів і видів побудови енергетичних моделей, що нараховують 252 посилання на першоджерела, включаючи моделі планування енергетичних ресурсів, балансування попиту і пропозиції, прогнозування у різних сферах застосування традиційних і відновлювальних видів енергії, оптимізації, зменшення викидів тощо, представлені у роботі [95].

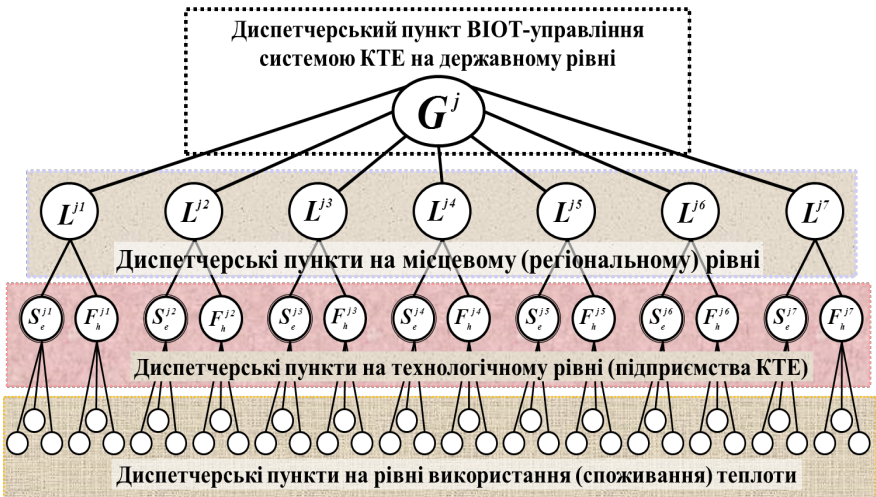


Рисунок 2.3.4 – Структура диспетчерських пунктів ВІОТ управління системою КТЕ



Аналіз енергетичних моделей показує, що великі розміри і складність систем КТЕ практично виключають можливість використання для їх аналізу і, особливо оптимального управління, аналітичних моделей оптимізації і потребують застосування інструментів прикладного системного аналізу, які базуються на принципах імітаційного моделювання, за яким математична (як правило, логіко-математична) модель системи КТЕ реалізується у вигляді програмного комплексу (сукупності програмних модулів підсистем), які дозволяють адекватно відтворювати (імітувати) процеси функціонування системи на комп'ютері за багатофакторних умов структурно-параметричних змін і впливів як внутрішніх, так і зовнішніх чинників.

Процедура визначення адекватності результатів імітаційного моделювання реальній системі КТЕ включає етапи верифікації (перевірки достовірності моделі), валідації (чи не перевищують результати розрахунків встановлених для конкретних цілей дослідження похибок) та встановлення довіри до моделі осіб, що приймають рішення:

- Імітаційна модель вважається адекватною, якщо її можна використовувати для прийняття управлінських рішень в умовах функціонування реальної системи КТЕ;
- Складність перевірки валідації моделі залежить від можливостей зіставлення розрахункових результатів з фактичними даними функціонування системи КТЕ. В задачі управління підвищенням ефективності системи КТЕ таких проблем не існує;
- Імітаційна модель застосовна тільки для обмеженої множини цілей, для яких вона розробляється.

Побудова означеної імітаційної моделі складається з наступних етапів координації і взаємозв'язку процесів верифікації, валідації та встановлення довіри до розробленої моделі [142]:

1. Збирання та аналізування вихідних даних, сукупність яких має бути достатньою для забезпечення достовірності моделі;
2. Розроблення концептуальної моделі, перевірка її валідації;

3. Програмування та реалізація моделі на комп'ютері; її верифікація;

4. Тестування і калібрування моделі, проведення багатоваріантних експериментів (прогонка імітаційної моделі), перевірка її валідації;

5. Обговорення результатів моделювання, встановлення довіри до моделі осіб, що приймають рішення, реалізація ітераційних процедур удосконалення характеристик моделі.

За структурно-функціональною схемою моделі багаторівневої системи управління підвищенням 3-Е ефективності, наведеною на Рис.2.3.3, ієрархічна структура прикладного програмного комплексу, що пропонується до подальшого розгляду і формалізації, на кожному рівні управління складається з наступних програмних модулів (підсистем) імітаційного моделювання: модуля урахування погодно-кліматичних умов; модуля підвищення ефективності енерготехнологічного, цінового та екологічного управління системами КТЕ на рівні місцевих ринків теплової енергії; модуля структурно-параметричної оптимізації систем виробництва теплової енергії і модуля структурно-параметричної оптимізації систем транспортування теплової енергії на рівні підприємств КТЕ; модуля мінімізації витрат і втрат теплової енергії на опалення і гаряче водопостачання житлових і громадських будинків; модуля техніко-економічної оцінки привабливості залучення інвестицій в проекти з підвищення 3-Е ефективності систем КТЕ.

Імітаційна модель багаторівневого ВІОТ-управління ефективністю функціонування системи КТЕ працює за наступним алгоритмом:

Крок 1: Суб'єкти господарювання підсистем управління нижчого рівня готують та подають на розгляд вище розташованої підсистеми управління систематизовану та попередньо узгоджену сторонами інформацію, що містить технічні, технологічні, фінансово-економічні та екологічні аспекти функціонування підсистем;

Крок 2: Вище розташована підсистема управління на базі відомої всім сторонам імітаційної моделі проводить укрупнені розрахунки щодо

визначення оптимальної за глобальними показниками ефективності (цільовими функціями) структури та параметрів функціонування системи, яка охоплює всі нижче розташовані підсистеми;

Крок 3: Вище розташована підсистема управління з урахуванням результатів проведених укрупнених розрахунків, визначає межі допустимої з точки зору досягнення глобальної мети зміни значень локальних показників 3-Е ефективності для кожної з нижче розташованих підсистем шляхом встановлення верхніх та нижніх границь обмежень та передає ці значення на їх попередній розгляд;

Крок 4: Кожна з нижче розташованих підсистем проводить оптимізаційні розрахунки за власними локальними показниками, намагаючись виконати вимоги вище розташованої підсистеми управління. У разі успішного виконання цього завдання процес узгодження закінчується і підсистема переходить до його виконання. Якщо ні, то:

Крок 5: Виявлені розбіжності (неузгодженості) обґрунтовуються і подаються на розгляд до вище розташованої підсистеми управління, де за ітераційною процедурою, починаючи з Кроку 2, за моделлю шляхом корегування позицій сторін знаходиться компромісне рішення.

Алгоритм координації міжрівневої взаємодії підсистем імітаційної моделі, що розглядається, працює наступним чином. Виходячи з попиту споживачів на теплову енергію, який визначається у модулі мінімізації витрат і втрат теплової енергії на опалення і гаряче водопостачання будинків, та враховуючи пропозиції теплопостачальних підприємств щодо цін і тарифів на ці послуги, приймаючи до уваги наявність та види доступних первинних ПЕР для кожної з підсистем, ціни і тарифи на ці ресурси, природно-кліматичні умови даного регіону та багато інших факторів і параметрів, які поступово деталізуються за подальшим розглядом відповідної підсистеми моделі, у модулі цінового та екологічного регулювання діяльності систем КТЕ на рівні державного (регіонального) управління визначаються ціни і тарифи на опалення і гаряче водопостачання для

кожного з регіонів, норми і тарифи на викиди забруднюючих речовин тощо та формується план-графік підвищення 3-Е ефективності виробництва на довгострокову перспективу з розбивкою по роках.

Відмітимо, що значення показників ефективності функціонування системи КТЕ визначаються на верхньому рівні запропонованої моделі шляхом розв'язання задачі лінійного програмування та у вигляді управляючих вказівок надходять до нижче розташованого модуля моделі. У свою чергу, і в кожному нижче розташованому модулі також вирішується оптимізаційна задача, при чому за власними критеріями оптимальності, де показники, встановлені на верхніх рівнях моделі, використовуються в якості обмежень. Зазвичай, оптимізаційні задачі на нижніх рівнях, як і задача оптимізації системи КТЕ у цілому, не розв'язується з першої спроби і потребує корегування як власних критеріїв оптимальності (цільових функцій), так і обмежень для кожної з підсистем, що здійснюється шляхом ітерацій і поступок з боку взаємодіючих сторін.

Реалізацію алгоритму координації міжрівневої взаємодії підсистем моделі у відповідності з розробленою у попередніх розділах концептуальною моделлю управління підвищенням ефективності функціонування системи КТЕ, з урахуванням складності її побудови та розмірів, у роботі здійснено в середовищі табличного процесора шляхом формування багаторівневої ієрархічно-структурованої системи логіко-математичних балансово-оптимізаційних рівнянь, лінеаризованих на  $j$ -их інтервалах ( $j = \overline{1, J}$ ) просторово-часової дискретизації енергоекономічних процесів функціонування складових елементів (підсистем) системи КТЕ на заданому періоді  $T$  часу, що розглядається (у більшості випадків – за опалювальний період).

Синхронізація подій (станів) на всіх рівнях багаторівневої моделі управління підвищенням 3-Е ефективності системи КТЕ здійснюється на площині табличного процесору за допомогою просторово-часової їх дискретизації, при чому можливості навіть класичних пакетів Microsoft Excel

далеко не обмежуються розмірами дискретизації у 1000 стовпчиків × 1000 рядків комірок параметричного простору і часу на площині тільки одного робочого листа, що з урахуванням можливостей організації вкладених циклів та створення на їх основі пакетів робочих листів і робочих книг, дозволяє моделювати процеси функціонування складних систем КТЕ погодинно за весь опаловальний період в цілому, з деталізацією до окремих енергетичних блоків (котлів) і, навіть, мережних насосів. При цьому, для просування модельного часу можуть застосовуватися як покроковий, так і по-становий алгоритми просування (прогону). А завдяки властивості автоматичного перерахунку формул при зміні значень вхідних операндів, організованих, наприклад за логічними функціями, табличні процесори надають широкі можливості для реалізації процедур чисельного експерименту: підбору параметрів, аналізу залежностей, оптимізації, прогнозу поведінки модельованої системи, планування, графічного представлення даних тощо.

При цьому потрібно розуміти, що за один прогін імітаційна модель видає результати, дійсні тільки для однієї точки багатовимірного простору зафіксованих чисельних значень змінних і параметрів, закладених в програму чисельного імітаційного експерименту. Зміна будь-якого (будь-яких) з цих параметрів та/або змінних призводить до необхідності наступного прогону моделі, а це означає, що алгоритмізація чисельного експерименту грає істотну роль в імітаційному моделюванні, особливо у разі проведення багатоваріантних розрахунків за для порівняння альтернативних варіантів і сценаріїв розвитку, прогнозування поведінки системи за різних умов і факторів впливу та наявних обмежень і цільових функцій, для аналізу чутливості та пошуку оптимального рішення тощо. Зрозуміло, що алгоритмізація складних експериментів такого роду потребує залучення спеціалізованих методів і прийомів регресійного аналізу, планування експерименту, ранжування результатів і т. д.

У цілому, багаторівневу імітаційну модель управління підвищенням 3-Е ефективності системи КТЕ, що пропонується для подальшого розгляду, можна класифікувати наступним чином:

- Це квазідинамічна, дискретно-подієва, логіко-математична модель з просуванням модельного часу з постійним кроком, тобто у визначені періодом дискретизації моменти часу, та/або за змінами стану (параметрів) від події до події в залежності від виду та складності логічної функції, що застосовується;
- Це детермінована модель, яка не має імовірнісних (випадкових) компонентів.

У процесі реалізації багаторівневої імітаційної моделі будемо спиратися на відомі балансово-оптимізаційні співвідношення і принципи побудови енергетичних ринків [50, 96, 98-102, 145-155] з урахуванням специфіки моделювання теплоенергетичних систем [97, 143, 144, 156-159] та застосування принципів і методів координації взаємодії у багаторівневих системах [3, 34, 51].

З точки зору реалізації алгоритмів лінійного програмування в середовищі табличного процесора означені моделі (модулі) формалізуються у вигляді сукупності економіко-математичних задач, які зводяться до оптимізації лінійних цільових функцій на множині параметрів, що описуються нелінійними логіко-математичними рівняннями та нерівностями, шляхом їх кусково-лінійної апроксимації на попередньо заданих інтервалах дискретизації двомірного температурно-часового простору та розміщення на площині табличного процесора. Покажемо це.

Для урахування просторово-часових факторів і погодно-кліматичних умов введемо до розгляду єдину для всіх модулів і на всіх рівнях моделі незалежну температурно-часову змінну, в якості якої будемо використовувати достатньо широко застосовану у практиці розрахунків ефективності теплоенергетичних систем умовну величину – градусо-годину  $Dh_z^j$  (Degree-hour), яку на  $j$ -му часовому інтервалі  $z$  визначатиме як

перевищення деякої базової температури  $\bar{t}_{баз}^o$  (усередненої на даному інтервалі фактичної або розрахункової середньої температури внутрішнього повітря опалюваної будівлі тощо), °С, над усередненим значенням температури зовнішнього повітря  $\bar{t}_{зовн}^o$ , °С, за формулою:

$$Dh_z^j = (\bar{t}_{баз}^{o,j} - \bar{t}_{зовн}^{o,j}) \cdot z, \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{год.} \quad (2.3.7)$$

Нагадаємо, що відповідну градусо-добу опалювального періоду  $Dh_{on}^j$  визначатимуть за формулою:  $Dh_{on}^j = (\bar{t}_{вн}^o - \bar{t}_{зовн}^o) \cdot Z_{on}$ , де  $\bar{t}_{вн}^o$  – розрахункова середня температура внутрішнього повітря об’єкту (будівлі), °С;  $\bar{t}_{зовн}^o$  – середня температура зовнішнього повітря, °С, і  $Z_{on}$  – тривалість опалювального періоду, діб.

Для оптимізації параметрів інтенсивності використання виробничих потужностей систем КТЕ на площині табличного процесору в якості основного варійованого параметру пропонується застосовувати коефіцієнт  $KB_{S_i}^j$  – коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП), який традиційно будемо визначати відношенням середньоарифметичного значення фактичної потужності устаткування за певний інтервал часу до встановленої потужності цього устаткування, або ж, що в нашому випадку є ідентичним, відношенням фактично виробленої цим устаткуванням енергії за певний період часу експлуатації до теоретично досяжного її значення при роботі устаткування на номінальній потужності, де  $i = \overline{I, I}$  перелічує задіяні види енергетичного устаткування.

В оптимізаційних розрахунках це призводить до необхідності побудови імітаційної моделі системи КТЕ на площині  $Dh_z^j \times KB_{S_i}^j$  табличного процесору, де перша складова розташовується по строках, а друга – по стовпцях на відповідних листах табличного процесору.

Кількість незалежно варійованих параметрів не обмежується КВВП. Так, до складу варійованих параметрів багаторівневої імітаційної моделі, які описують її економічний блок, входять ціни і тарифи на види ПЕР та обладнання і матеріали, які купуються на стороні, ціни і тарифи на товари і послуги, які виробляються і надаються споживачу, ставки основних податків, та ставки податків на викиди забруднюючих речовин, банківські ставки на кредити тощо. Переліки техніко-технологічних незалежно варійованих параметрів ще набагато ширші і будуть розглядатися у відповідних блоках моделі.

Оптимізаційні розрахунки по кожному з цих параметрів проводяться на окремих листах табличного процесору, де роль синхронізуючої функції на кожному листі виконує незалежна змінна  $Dh_z^j$ , яка розташовується по строках цих листів.

В якості залежних змінних імітаційної моделі, насамперед будемо розглядати теплові потужності окремих видів устаткування системи КТЕ або ж її підсистем, представлених у вигляді блочно-орієнтованих модулів, побудованих за принципом вхід-вихід, та визначатиме ці потужності кількістю теплової енергії, яка може бути вироблена, передана або використана елементами системи (підсистемами) на температуро-часовому інтервалі дискретизації.

Спочатку розглянемо побудову моделі структурно-функціонального регулювання місцевих ринків теплової енергії за критеріями 3-Е ефективності, оскільки саме на цьому рівні визначається склад задіяних у системі КТЕ теплогенеруючих потужностей.

Нехай система КТЕ  $S_0$  на рівні країни (регіону, міста тощо) визначається сукупністю  $N$  взаємодіючих чи окремих підсистем  $S_0 = \{S_0^I(S_i^I), S_0^{II}(S_i^{II}), \dots, S_0^N(S_i^N)\}$ , кожна з яких у свою чергу складається з  $i = \overline{1, I}$  підсистем нижнього рівня, наприклад, юридично самостійних місцевих підприємств теплопостачання.



Серед основних типів підсистем  $S_i$  (наприклад, підприємств теплопостачання) системи КТЕ, призначених для покриття графіка навантаження системи, будемо розрізняти, але ж не обмежуватися вугільними котельнями ( $i=1$ ), котельнями на природному газі ( $i=2$ ), електричними котельнями ( $i=3$ ) та теплоелектромодулями з когенераційними установками на природному газі ( $i=4$ ) і біодизельному пальному ( $i=5$ ).

Серед головних чинників (факторів), що визначають 3-Е ефективність функціонування теплоенергетичної системи, будемо враховувати наступні:

1. Базову ( $b$ ) потужність встановленого теплогенеруючого обладнання  $P_{S_i}^{b,j}$  кожної з підсистем  $S_i$  у цілому достатню для раціонального покриття фактичного ( $f$ ) навантаження системи КТЕ на кожному  $j$ -му часовому інтервалі тривалістю  $T^j$ ,  $P_{S_i}^{b,j} > P_{S_i}^{f,j}$  (для когенераційних установок окремо по тепловому ( $H$ ) і електричному ( $E$ ) навантаженню), МВт;

2. Обмеження на коефіцієнт фактичного використання встановленої потужності  $KB_{S_i}^j$  теплогенеруючого обладнання на інтервалі часу  $j$  для кожного типу підсистем  $S_i$ , який розглядається, що дозволяє враховувати як обов'язкові (нижні), так і фактично допустимі (верхні) границі використання обладнання системи КТЕ,  $KB_{S_i}^{h,j} \leq KB_{S_i}^j \leq KB_{S_i}^{e,j}$ ;

3. Енергетичну ефективність  $\eta_{S_i}^j$  функціонування теплогенеруючого обладнання та розподільних мереж  $i$ -х підсистем на інтервалі часу  $j$  будемо традиційно характеризувати відношенням величини енергії або роботи на виході об'єкту (підсистеми) до величини енергії або роботи на його вході (для когенераційної установки – відношенням суми

величин електричної і теплової енергії, які вироблені, до енергії витраченого палива) та визначатиме коефіцієнтом ефективності використання теплоти палива (КЕВП), який вираховується відношенням корисно використаної у системі теплоти до нижчої теплоти згорання первинного палива; позначимо теплоенергетичну ефективність функціонування підсистем як  $\eta_{S_i}^{H,j}$ , а електроенергетичну – як  $\eta_{S_i}^{E,j}$ ;

4. Обмеження  $R_{S_i^k}^{b,j} \geq R_{S_i^k}^{f,j}$  на обсяги  $R_{S_i^k}^{b,j}$  доступних на  $j$ -му часовому інтервалі  $k$ -их видів ПЕР: вугілля ( $k=1$ ), електричної енергії ( $k=2$ ), природного газу ( $k=3$ ), нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії тощо ( $k=4$ ), де  $R_{S_i^k}^{f,j}$  – обсяги фактично використаних на  $j$ -му часовому інтервалі  $k$ -их видів ПЕР,  $k = \overline{1, K}$ , ГВт-год.;

5. Умову  $W_{S_i^h}^{b,j} = W_{S_i^h}^{f,j}$  забезпечення потреб споживача на  $j$ -му часовому інтервалі фактично виробленими та наданими видами товарів і послуг, де  $W_{S_i^h}^{b,j}$ ,  $W_{S_i^h}^{f,j}$  – обсяги потреб і фактично вироблених та наданих видів товарів і послуг, ГВт-год., індекс  $h$  перелічує вироблені та надані види товарів і послуг,  $h = \overline{1, H}$ ;

6. Ціни (тарифи)  $pr_{S_i^k}^j$  на фактично використані підсистемою  $S_i$  на  $j$ -му часовому інтервалі  $k$ -ті види ПЕР, доларів США/МВт-год. (\$/МВт-год.);

7. Ціни (тарифи)  $pr_{S_i^h}^j$  на товари і послуги, які виробляються і надаються споживачу підсистемою  $S_i$  на  $j$ -му часовому інтервалі, \$/МВт-год.;

8. Ставки основних податків та податків на викиди забруднюючих речовин і парникових газів тощо  $tx_{S_i^q}^j$ , де індекс  $q_i$  перелічує типи і види податків,  $q = \overline{I, Q}$ , \$/т.

За наведеними змінними та обмеженнями у моделі системи КТЕ на рівні структурно-функціонального регулювання місцевих ринків теплової енергії за критеріями 3-Е ефективності розраховуються наступні показники:

9. Обсяги  $R_{S_i^k}^{f,j} = KB_{S_i^k}^j \cdot P_{S_i^k}^{f,j} \cdot T^j / \eta_{S_i}^j$  фактично використаних підсистемою  $S_i$  за визначений інтервал часу ПЕР, ГВт-год.;

10. Обсяги  $W_{S_i^{H,h}}^{f,j} = KB_{S_i^{H,h}}^j \cdot P_{S_i^{H,h}}^{f,j} \cdot T^j$  фактично наданої споживачам підсистемою  $S_i$  за визначений інтервал часу теплової енергії, ГВт-год.;

11. Обсяги  $W_{S_i^{E,h}}^{f,j} = KB_{S_i^{E,h}}^j \cdot P_{S_i^{E,h}}^{f,j} \cdot T^j$  фактично виробленої за визначений інтервал часу електричної енергії  $S_i$ -ою когенераційною установкою, ГВт-год.;

12. Обсяги  $W_{S_i^{E,k}}^{f,j} = \alpha_{S_i}^j \cdot W_{S_i^{H,h}}^{f,j}$  електричної енергії, витраченої підсистемою  $S_i$  на перекачування теплоносія за визначений інтервал часу, ГВт-год., де  $\alpha_{S_i}^j$  – питома витрата електричної енергії на перекачування теплоносія, ГВт-год./ГВт-год.;

13. Обсяги  $O_{S_i^{CO_2}}^j = \beta_{S_i^{CO_2}}^j \cdot R_{S_i^k}^{f,j}$  викидів CO<sub>2</sub> підсистемою  $S_i$ , тис. тонн за визначений інтервал часу, де  $\beta_{S_i}^j$  – питома викиди CO<sub>2</sub>, т/ГВт-год.;

14. Витрати  $F_{S_i^{H,k}}^{f,j} = pr_{S_i^{H,k}}^j \cdot R_{S_i^{H,k}}^{f,j}$  фінансових ресурсів

підсистемою  $S_i$  за фактично використані ПЕР на виробництво теплової енергії на визначеному інтервалі часу, млн. \$;

15. Витрати  $F_{S_i^{E,k}}^{f,j} = pr_{S_i^{E,k}}^j \cdot W_{S_i^{E,k}}^{f,j}$  фінансових ресурсів підсистемою

$S_i$  за фактично використану електричну енергію на перекачування теплоносія за визначений інтервал часу, млн. \$;

16. Витрати  $F_{S_i^{CO_2}}^{f,j} = tx_{S_i^{CO_2}}^j \cdot O_{S_i^{CO_2}}^{f,j}$  фінансових ресурсів

підсистемою  $S_i$  за фактичні викиди CO<sub>2</sub> на визначеному інтервалі часу, млн. \$;

17. Дохід  $Y_{S_i^{H,h}}^{f,j} = pr_{S_i^{H,h}}^j \cdot W_{S_i^{H,h}}^{f,j}$  від реалізації теплової енергії,

виробленої підсистемою  $S_i$  за визначений інтервал часу, млн. \$;

18. Дохід  $Y_{S_i^{E,h}}^{f,j} = pr_{S_i^{E,h}}^j \cdot W_{S_i^{E,h}}^{f,j}$  від реалізації електричної енергії,

виробленої підсистемою  $S_i$  за визначений інтервал часу, млн. \$;

19. Прибуток  $Pr_{S_i^h}^{f,j} = (Y_{S_i^{H,h}}^{f,j} - F_{S_i^{H,k}}^{f,j}) + (Y_{S_i^{E,h}}^{f,j} - F_{S_i^{E,k}}^{f,j})$  від

реалізації теплової та електричної енергії, виробленої підсистемою  $S_i$  за визначений інтервал часу, млн. \$;

20. Рентабельність (економічна ефективність)  $EC_{S_i^h}^{f,j} = Pr_{S_i^h}^{f,j} / F_{S_i^h}^{f,j}$

виробництва теплової та електричної енергії підсистемою  $S_i$  за визначений інтервал часу.

Загальносистемну цільову функцію  $\mathcal{CF}_{KTE}$  системи КТЕ на верхньому рівні побудови моделі формалізуємо у вигляді:

$$\mathcal{CF}_{KTE}^{U^c} = \mathcal{H}_{KTE}^c (X_{KTE}^c, Y_{KTE}^c, TX_{KTE}^c, U_{KTE}^c, Dh_z) \rightarrow opt, \quad (2.3.8)$$

де  $\mathcal{H}_{KTE}^c$  – множина функцій ефективності (якості) функціонування системи КТЕ;  $U_{KTE}^c$  – множина координуючих (регулюючих) впливів на підсистеми з боку системи;  $c = \overline{0, C}$  – варіант (номер) стратегії поведінки системи, де нуль відповідає базової (вихідної) стратегії.

У виразі (2.3.8) множина функцій 3-Е ефективності (якості) функціонування системи КТЕ та її складових підсистем залежатиме від упорядкованої сукупності наведених вище 20 факторів, у першу чергу, величини зростання доходів (прибутку від реалізації товарів і послуг тощо), зниження витрат ПЕР на виробництво і збут цих товарів і послуг та зниження викидів забруднювальних речовин в оточуюче середовище, складові яких формалізовано у вигляді упорядкованих множин вхідних  $X$ , вихідних  $Y$  і технологічних  $TX$  параметрів системи КТЕ.

З точки зору теорії оптимізації математична модель, сформована виразами (2.3.8) і обмеженнями на наведені вище фактори, є моделлю оптимального розподілення ресурсів у системі зі змінними у часі та за температурою параметрами оточуючого середовища, цільова функція якої у загальному випадку є багатокритеріальною. Окремо слід наголосити, що обсяги теплової енергії, необхідні для забезпечення потреб споживачів, є зовнішніми для даного рівня моделі параметрами, які визначаються розрахунками за спеціальними підпрограмами у моделі нижчого рівня.

Реалізація моделі багатокритеріальної оптимізації потребує, насамперед, введення відповідних окремим складовим цільової функції (2.3.8) вимірювальних шкал, конкретніше – шкал відношень, що мають дозволяти проведення кількісного аналізу (порівняння, еквівалентування, розподілення тощо) властивостей і характеристик різних видів ПЕР та

обладнання, які використовуються у технологічних процесах в системах КТЕ. Розглянемо основні елементи побудови декількох таких шкал.

В якості міри (одиниці) вимірювання енергетичних перетворень будемо використовувати позасистемні метрологічні поняття тонни умовного (вугільного) палива (т у.п., tonne of coal equivalent, tce) і тонни нафтового еквівалента (т н.е., tonne of oil equivalent, toe), а порівняння їх чисельних значень з іншими, в тому числі системними метрологічними одиницями вимірювання енергетичних величин, здійснювати на основі теплових еквівалентів. Тоді, з урахуванням найбільш поширених у світовій практиці рекомендацій міжнародної «Організації економічного співробітництва та розвитку» (ОЕСР) та «Міжнародного енергетичного агентства» (МЕА), маємо: 1 т у.п. = 7,0 Гкал = 29,31 ГДж = 8,14 МВт·год.; 1 т н.е. = 10,0 Гкал = 41,868 ГДж = 11,63 МВт·год., хоча в деяких зарубіжних публікаціях 1 т н.е. = 10,7 Гкал = 44,769 ГДж (за термохімічним еквівалентом).

Теплові співвідношення будемо традиційно для України розраховувати за нижчою теплоотою згоряння палива, тобто за вирахуванням теплоти пароутворення водяної пари, що утворюється при горінні, хоча немає і труднощів в урахуванні частки енергії, що утворюються за умов конденсації водяної пари в продуктах згоряння, як це робиться в США, Великобританії та Франції.

Визначення «вагових» коефіцієнтів для перерахунку різних видів натурального палива та енергії в умовне паливо (аналогічно і для нафтового еквівалента) будемо здійснювати з урахуванням теплотворної здатності (спроможності) палива (коефіцієнта перерахування, калорійного еквіваленту тощо), величина якої залежить від виду і марки палива, місця його видобутку і виробництва, погодних факторів, умов зберігання та багатьох інших факторів.

Співвідношення між умовним і натуральним паливом будемо визначати за наступними розрахунковими формулами:

$$B_y = E_y \cdot B_n, \quad E_y = Q_n^p / Q_y^p, \quad B_y^{np} = k_y \cdot B_y, \quad (2.3.9)$$

де:  $B_y$  – маса еквівалентної кількості умовного палива, кг;  $B_n$  – маса натурального палива, кг (тверде та рідке паливо) або м<sup>3</sup> (газоподібне);  $E_y$  – калорійний еквівалент умовного палива;  $Q_n^p$  – нижча теплота згоряння натурального палива, ккал/кг або ккал/м<sup>3</sup>;  $Q_y^p = 7000$  ккал/кг у.п. – теплота згоряння еталонного умовного палива;  $B_y^{np}$  – маса еквівалентної кількості приведенного умовного палива, кг;  $k_{np}$  – коефіцієнт приведення, чисельні значення якого для різних видів палива, відповідно до результатів розрахунків додаткових витрат енергії, необхідних для їх видобутку, транспортування та розподіл, складають: для енергетичного вугілля 1,065; для мазуту 1,107; для природного газу 1,167.

Представлені у (2.3.9) вирази застосовні і для переведення в умовне паливо і нафтовий еквівалент не тільки первинного палива, але й теплової та електричної енергії, одержуваної шляхом його енерготехнологічного перетворення. Так як 1 т у.п. має теплотворну здатність 7 Гкал, то 1 Гкал = 0,143 т у.п. Однак такий перекладний коефіцієнт справедливий для ККД енерготехнологічної установки, рівного одиниці, що практично нездійснено. Аналогічний, чисто теоретичний результат, отримуємо і для електроенергії: 1 МВт·год = 0,123 т у.п.

Якщо ж прийняти до уваги, що ККД електроенергетичних установок знаходиться в межах 0,35÷0,45, а теплоенергетичних – в межах 0,84÷0,96, то ближчими до дійсності будуть наступні перевідні коефіцієнти: 1 Гкал = (0,149÷0,170) т у.п., а 1 МВт·год. = 0,273÷0,351 т у.п. І це без урахування втрат у розподільних мережах. Що стосується електроенергії, яка виробляється на атомних станціях і гідроелектростанціях, то тут також застосовуються обидва описаних вище підходу. Відповідно до першого 1 МВт·год. = 0,123 т у.п., а за другим 1 МВт·год. = 0,273÷0,351 т у.п. У

комп'ютерній моделі, що розглядається, реалізовано обидва підходи, які застосовуються за вибором особи, що приймає рішення.

Аналогічно, для урахування обсягів викидів забруднювальних речовин, що виникають внаслідок використання різних видів натурального палива та енергії різними видами і типами енергетичних установок, визначення потребують «вагові» коефіцієнти, які змінюються в залежності від ККД енергетичних установок, рівня їх навантаження, виду і марки палива, місця його видобутку і виробництва, погодних факторів тощо. Якщо відсутні данні вимірювань цих коефіцієнтів для конкретних установок і режимів їх роботи, то використовуються усередненні значення питомих викидів забруднювальних речовин у атмосферу. Виміряні в тоннах викидів на т у.п., значення цих коефіцієнтів наведені у спеціалізованих дослідженнях, наприклад, у методиці ГКД 34.02.305-2002 Мінпаливенерго України «Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок». Для викидів CO<sub>2</sub> від спалювання енергетичного вугілля, топкового мазуту та природного газу в енергетичних установках питомі викиди за цією методикою складають відповідно 2,74, 2,25 та 1,72 тонни викидів на тонну спаленого умовного палива.

Аналогічно, задача побудови вимірювальних шкал вирішується при розрахунках доходів (прибутку) системи, де в якості «вагових» коефіцієнтів використовуються ціни і тарифи на ПЕР та енергетичне устаткування.

В результатах практичних розрахунків за моделлю, наведених у роботі, всі енергетичні одиниці відповідно до рекомендацій МЕА представлені у МВт-год. (ГВт-год.), розрахованих за тепловим еквівалентом. Прийнято: калорійність енергетичного вугілля – 5500 ккал/кг, природного газу – 8000 ккал/м<sup>3</sup>, а біодизельного пального – 9000 ккал/кг.

Відповідно до вище означеної системи змінних та рівнянь, наРис. 2.3.5 наведено структуровану за функціональними ознаками блок-схему розробленої імітаційної моделі управління функціонуванням системи КТЕ за критеріями 3-Е ефективності. Як можна бачити модель складається з трьох



основних модулів. Перший (центральний) модуль включає блоки варійованих параметрів, розрахунку коефіцієнтів ефективності та розрахунку прибутків (рентабельності). Лівий (енергетичний) модуль моделі на Рис. 2.3.5 призначений для проведення розрахунків енергетичних параметрів, а правий модуль – для економічних і екологічних параметрів.

Для прикладу, на Рис.2.3.6 представлено фрагмент реалізації двох центральних блоків моделі, наведених на Рис.2.3.5 (блоків варійованих параметрів та розрахунку коефіцієнтів ефективності), здійсненої на платформі табличного процесору Excel.

Рядки блоків встановленої потужності і розрахунку коефіцієнтів ефективності використання теплоти палива (КЕВП) у цієї моделі відповідають параметрам, які характеризують (1) вугільні котельні, (2) електричні котельні, (3) котельні на природному газі, теплоелектромодулі з когенераційними установками на (4) природному газі та (5) біодизельному пальному. Встановлені потужності та коефіцієнти ефективності КЕВП когенераційних установок на рис.3.6 деталізовано за тепловими та електричними складовими для одного з конкретних варіантів розрахунку базового стану системи КТЕ.

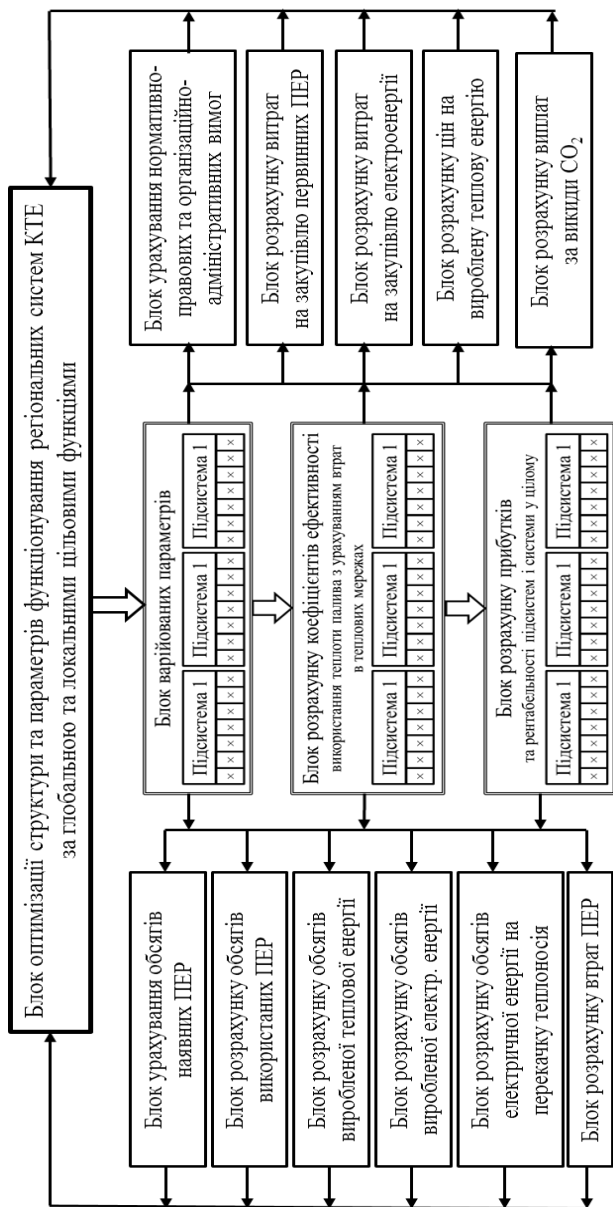


Рисунок 2.3.5 – Блок-схема імітаційної моделі управління системою КТЕ

Підсистема 1			Підсистема 2			Підсистема 3							
Коефіцієнт використання встановленої потужності, КВВП													
0,692	0,001	1,000	1,000	0,001	0,530	1,000	1,000	0,001	0,636	1,000	1,000	1,000	
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
0,032	вир. ел.ен. на перек. теплін, МВт.год/МВт.год		21%	втрати в теплових мережах, %		0,44	частка навант. гаряч. водопостачання						
Встановлена потужність генеруючого обладнання, МВт													
3,516			1,026					0,733					
	0,176			0,212					0,161				
	0,366			4,395					0,586				
		0,000	0,000		0,000	0,000				3,956	1,978		
			0,000	0,000				0,000	0,000			0,000	0,000
Коефіцієнт еф-сти використання теплоти палива, с. урахуванням витрат на власні потреби та втрат в тепловій мережі (КЕВП)													
0,623				0,631					0,638				
	0,722			0,722					0,730				
	0,669				0,676					0,684			
		0,410	0,350			0,418	0,340				0,418	0,330	
								0,403	0,320			0,410	0,320

Рисунок 2.3.6 – Фрагмент реалізації імітаційної моделі управління на рівні регіональною системою КТЕ

Визначення коефіцієнтів ефективності КЕВП для систем комбінованого виробництва теплової та електричної енергії (сполучених систем) є окремою науковою задачею, що розглядається у фундаментальних монографіях [135, 136]. В даній роботі для розрахунків 3-Е ефективності функціонування когенераційних установок у складних системах КТЕ за моделлю структурно-функціонального регулювання місцевих ринків теплової енергії (2.3.8) використано усереднені значення коефіцієнтів КЕВП, що наведені у технічних паспортах на ці установки. Такий підхід дозволяє проводити розподілення витрат первинного палива на виробництво теплової і електричної енергії, яке може бути названо «тепловим еквівалентуванням». За результатами розрахунків він наближується до відомого «фізичного» підходу [160, 161].

Слід однак додати, що у даній роботі розглядаються однопродуктові системи з когенераційними установками, тобто системи, які виробляють і надають (продають) послуги з теплопостачання, а власно вироблену або куповану ззовні електричну енергію використовують як таку, що супроводжує процес надання цих послуг. Внаслідок цього за «тепловим еквівалентуванням» однозначно вирішується і проблема визначення ціни на вироблену у системі КТЕ електричну енергію та отриманого економічного прибутку від її виробництва. У такому випадку немає необхідності в розподіленні витрат первинного палива на виробництво теплоти і електричної енергії в системі та зникає проблема визначення ціни (тарифу) на власно вироблену електричну енергію. Однак, у випадку постачання теплоти і електричної енергії поза межі системи це потребуватиме залучення методу об'єктивного розподілення витрат, як принципово важливого фактору управління енергетичною системою [161].

Формули розрахунку основних 3-Е показників функціонування системи КТЕ за моделлю, представленою виразами (2.3.8) і обмеженнями до нього, мають вигляд:

$$\begin{aligned}
R_{S_0}^f &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K R_{S_{i,n}^k}^{f,j}; \\
W_{S_0^H}^f &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K W_{S_{i,n}^{H,k}}^{f,j}; \\
W_{S_0^E}^f &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K W_{S_{i,n}^{E,k}}^{f,j}; \\
\Delta W_{S_0^K}^f &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \Delta W_{S_{i,n}^{K,k}}^{f,j}; \\
O_{S_0^{CO_2}}^f &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K O_{S_{i,n}^{CO_2,k}}^{f,j}; \\
Pr_{S_0}^f &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H Pr_{S_{i,n}^h}^{f,j},
\end{aligned} \tag{2.3.10}$$

де  $R_{S_0}^f$  – обсяги фактично використаних системою КТЕ видів ПЕР за період часу, що розглядається (за проведеними нижче розрахунками – за рік), ГВт·год./рік;  $W_{S_0^H}^f$  – обсяги теплової енергії фактично наданої споживачам системою КТЕ за рік, ГВт·год.;  $W_{S_0^E}^f$  – обсяги фактично виробленої електричної енергії системою КТЕ за рік, ГВт·год.;  $\Delta W_{S_0^K}^f$  – обсяги втрат ПЕР у системі КТЕ за рік, ГВт·год.;  $O_{S_0^{CO_2}}^f$  – обсяги викидів CO<sub>2</sub> системою КТЕ за рік, тис. тонн;  $Pr_{S_0}^f$  – прибуток від реалізації теплової та електричної енергії, виробленої системою КТЕ за рік, млн. \$.

Зрозуміло, що вид використаного ПЕР є одним з важливих факторів, що помітно впливає на показники 3-Е ефективності систем КТЕ. Сучасні світові тенденції у його виборі значною мірою визначаються енергетичною політикою розвинутих країн, цілеспрямованою на стримування попиту на природний газ, нафту і продукти її переробки та зменшення викидів

парникових газів шляхом застосування нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії.

Аналіз, проведений авторами даної роботи [162-163], показав, що насіння ріпаку може стати одним з основних видів рослинної сировини для виробництва біодизелю в Україні і подальшого його використання когенераційними установками. Однак остаточне вирішення цього питання не є простим і потребуватиме окремого наукового обґрунтування енергоекономічної ефективності вирощування ріпаку і виробництва біодизелю на його основі. При цьому сумнівів та розбіжностей щодо екологічних переваг біодизелю практично немає.

Детальний аналіз енергоємності виробництва біодизельного пального в умовах України з урахуванням витрат енергії на вирощування ріпаку, його збирання, транспортування, зберігання та переробку проведено у роботі [164], де повну енергоємність виробництва біодизельного палива з урахуванням енергетичного еквіваленту факторів, спричинених фізичною працею людей, амортизацією обладнання та споруд, податками і зборами на зарплату та іншими неврахованими вище витратами, автори роботи оцінюють в розмірі  $40 \div 50$  МДж/кг (коефіцієнтом енергетичної ефективності  $E_e = 0,8 \div 1,0$ ). За іншими методиками (див. огляди [165-166], значення коефіцієнту корисного виходу енергії біодизельного палива на досягнутому рівні розвитку технологій вирощування та переробки ріпаку знаходяться в діапазоні  $1,5 \div 4,0$ , що показує енергетичну доцільність виробництва біодизелю на його основі і його використання в системі КТЕ.

### **2.3.3. Метод та засіб оптимального управління системою КТЕ за критерієм максимізації прибутку**

Спираючись на результати формалізації моделі ВІОТ-управління шляхом визначення параметрів оптимального управління за рахунок

проведення структурно-параметричної оптимізації системи КТЕ, які отримані у попередньому розділі, виконаємо багатоваріантні чисельні розрахунки показників енергетичної, економічної та екологічної ефективності (складових 3-Е ефективності) функціонування системи КТЕ.

Послідовно розглянемо три наступні сценарії однокритеріальної структурно-параметричної оптимізації системи КТЕ: (1) сценарій максимізації прибутку системи; (2) сценарій мінімізації втрат ПЕР у системі; (3) сценарій мінімізації викидів CO<sub>2</sub>:

$$\begin{aligned} \text{ЦФ}_{\text{КТЕ}}^{(1)} &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H Pr_{S_{i,n}}^{f,j} \rightarrow \max; \\ \text{ЦФ}_{\text{КТЕ}}^{(2)} &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \Delta W_{S_{i,n}}^{f,j,k} \rightarrow \min; \\ \text{ЦФ}_{\text{КТЕ}}^{(3)} &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K O_{S_{i,n}}^{f,j,k} \rightarrow \min, \end{aligned} \quad (2.3.11)$$

де означення відповідають наведеним у виразі (2.3.8) та обмеженнях до нього, а нумерація цільових функцій – номерам сценаріїв, що розглядаються.

Почнемо з визначення показників 3-Е ефективності у базовому стані функціонування системи КТЕ, де під базовим станом будемо традиційно розуміти стан системи до реалізації техніко-економічних та організаційних заходів з підвищення енергетичної, економічної та екологічної ефективності.

До базових організаційних заходів будемо відносити методи адміністративно-командного управління, які традиційно застосовуються на практиці управління системами КТЕ в Україні, головним чином – методи цінового регулювання діяльності підприємств КТЕ, де в якості цільової функції при регулюванні зазвичай використовується критерій максимізації прибутку за нормою рентабельності, величина якої для збиткових підприємств системи КТЕ штучно підтримується на мінімальному позитивному рівні регуляторним органом. Покажемо механізми та проаналізуємо розраховані за моделлю результати такого регулювання,

насамперед обсяги компенсаційних виплат, які збиткові підприємства отримують від регулятора.

Нехай вихідна ціна на енергетичне вугілля складає 80,0 \$/т, на природний газ – 360,0 \$/м<sup>3</sup>, біодизельне паливе – 900,00 \$/т, електроенергію – 80,00 \$/МВт-год., а на вироблену теплову енергію – 48,50 \$/Гкал. Нехай до наведених на рис.3.5 значень інших параметрів, число годин опалювального періоду за календарний рік складає 3720 годин, а гаряче водопостачання здійснюється практично цілорічно (на два тижні систему відключають для проведення профілактичних робіт).

Тоді базовий стан системи КТЕ, що складається з трьох підсистем S1÷S3, які є юридично незалежними підприємствами теплопостачання, підпорядкованими єдиному регулятору, буде характеризуватися наступними показниками, наведеними на Рис.2.3.7 – Рис.2.3.18.

На Рис.2.3.7 – Рис.2.3.10 представлені розраховані за моделлю обсяги наданої споживачам теплової енергії кожною з підсистем у базовому режимі роботи системи КТЕ з розбивкою по типах генеруючого устаткування: вугільні котельні, котельні на природному газі, когенераційні установки на природному газі та електричні котельні.

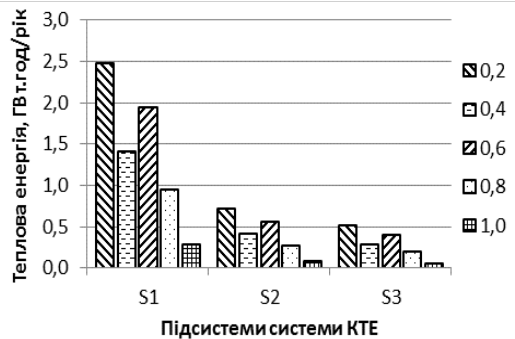


Рисунок 2.3.7 – Обсяги теплової енергії наданої споживачам за рік вугільними

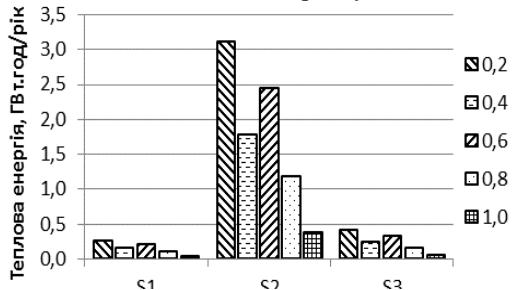


Рисунок 2.3.8 – Обсяги теплової енергії наданої споживачам за рік котельнями на природному газі



Розрахунки проведені для п'яти режимів навантаження системи за коефіцієнтами навантаження системи (КНС): 0,2 (210 діб), 0,4 (60 діб), 0,6 (55 діб), 0,8 (20 діб) і 1,0 (5 діб), тривалість яких, що наведена у дужках, визначена за допомогою побудованого графіка навантаження системи за тривалістю.

Відмітимо, що проведення цих розрахунків з прив'язкою до зміни градусо-годин і відповідних температурних графіків, які призводять до зміни обсягів виробленої теплової енергії, з 12-годинною деталізацією за рік здійснюється за моделлю структурно-параметричної оптимізації систем виробництва і розподілення теплової енергії. Когенераційні установки на природному газі в підсистемах S1 і S2 та на біодизельному пальному в підсистемах S1, S2 і S3 у базовому варіанті системи КТЕ відсутні. При цьому установками на

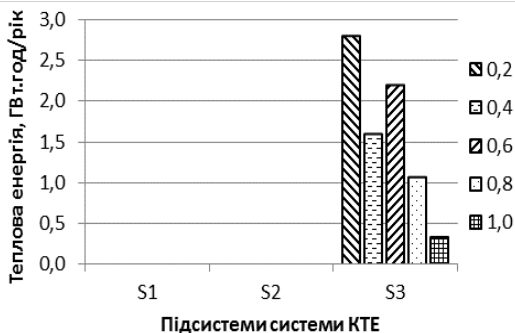


Рисунок 2.3.9 – Обсяги теплової енергії наданої споживачам за рік когенераційними установками на природному газі

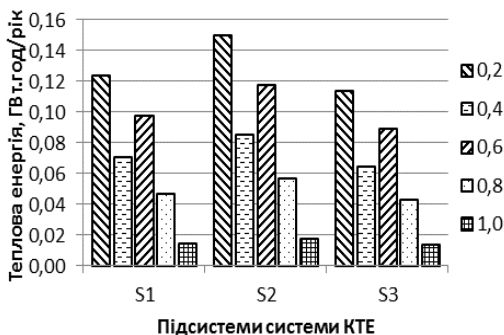


Рисунок 2.3.10 – Обсяги теплової енергії наданої споживачам за рік електричними котельнями



Рисунок 2.3.11 –

природному газу в підсистемі S3 були згенеровані 3,99 ГВт·год. електричної енергії за рік.

На Рис.2.3.11 – Рис.2.3.14 представлені розраховані за моделлю втрати ПЕР по кожній з підсистем у базовому режимі роботи системи КТЕ з розбивкою по типах генеруючого устаткування для п'яти значень КНС при обсягах наданих послуг з опалення та гарячого водопостачання по системі КТЕ у цілому в обсязі 43,6 ГВт·год./рік (за максимально можливих за встановленою потужністю енергетичних блоків обсягах 92,1 ГВт·год./рік).

При цьому розраховані коефіцієнти ефективності використання теплоти палива в підсистемах та системі КТЕ у базовому режимі роботи з урахуванням 3% витрат на власні потреби та 21% втрат теплової енергії в теплових мережах дорівнюють  $КЕВП_{S1} = 61,8\%$ ,  $КЕВП_{S2} = 65,5\%$ ,  $КЕВП_{S3} = 71,8\%$ .  $КЕВП_{S0} = 67,1\%$ .

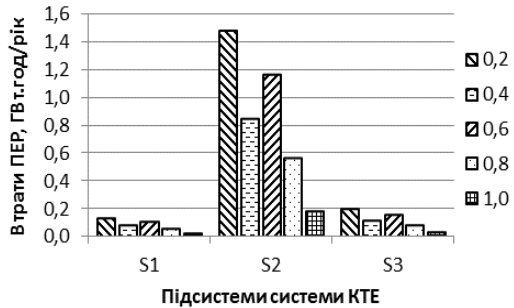


Рисунок 2.3.12 –

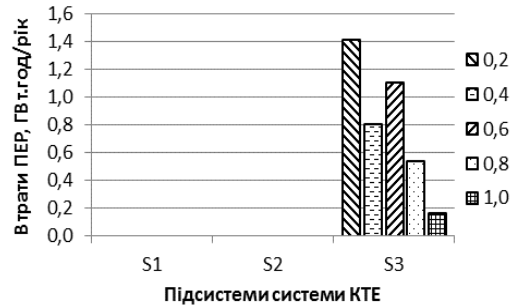


Рисунок 2.3.13 –

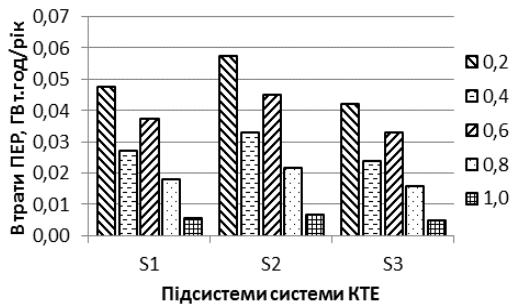


Рисунок 2.3.14 –

І це при питомих витратах первинного палива на надану споживачам теплову енергію вугільними котельнями у середньому 182,9, газовими котельнями – 170,5, а когенераційними установками на природному газі – 144,4 та електричними котельнями – 159,2 кг у.п./Гкал.

Що стосується обсягів викидів CO<sub>2</sub>, то за базовим сценарієм у підсистемах вони складають  $F_{S1}^{CO_2} = 4,06$  тис. т/рік,  $F_{S2}^{CO_2} = 3,87$  тис. т/рік,  $F_{S3}^{CO_2} = 3,21$  тис. т/рік, а відповідні виплати за податком на викиди  $O_{S1}^{CO_2} = 132$  \$/рік,  $O_{S2}^{CO_2} = 126$  \$/рік,  $O_{S3}^{CO_2} = 104$  \$/рік.

На Рис.2.3.15 – Рис.2.3.18 представлені розраховані величини прибутків (збитків) від діяльності з виробництва та надання послуг з опалення та гарячого водопостачання, яка здійснюється підсистемами та системою КТЕ за базовим сценарієм.

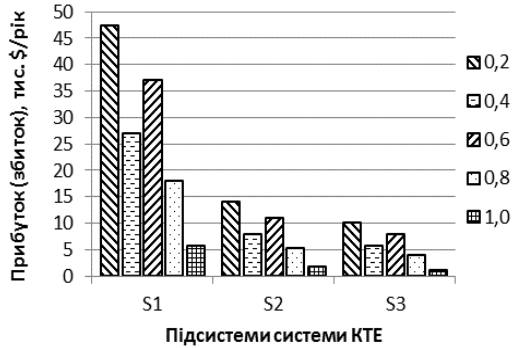


Рисунок 2.3.15 – Прибутки (збитки) від діяльності

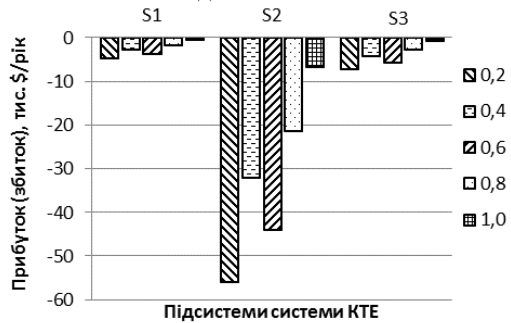


Рисунок 2.3.16 – Прибутки (збитки) від діяльності

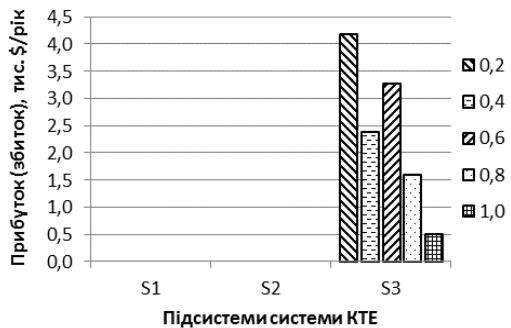


Рисунок 2.3.17 – Прибутки (збитки) від діяльності

Як можна бачити, при існуючому стані ефективності використання ПЕР та наявному співвідношенні між цінами на ПЕР та надані послуги, діяльність з виробництва та надання послуг з опалення та гарячого

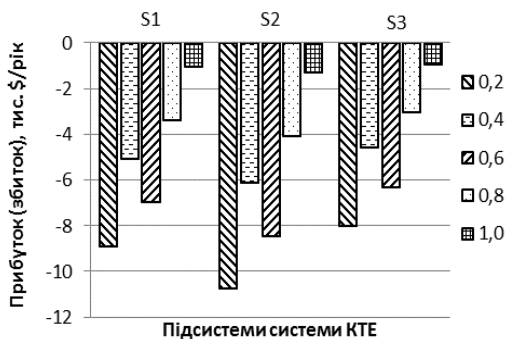


Рисунок 2.3.18 – Прибутки (збитки) від діяльності

водопостачання у системі КТЕ, що розглядається, є збитковою для електричних котелень і котелень на природному газі. Прибутки (збитки) за рік від діяльності з виробництва та надання послуг з опалення та гарячого водопостачання за базовим сценарієм у підсистемах складають  $Pr_{S1}^{pik} = 95,85$  тис.\$,  $Pr_{S2}^{pik} = -150,92$  тис.\$,  $Pr_{S3}^{pik} = -2,74$  тис.\$ та по системі КТЕ у цілому  $Pr_{S0}^{pik} = -57,80$  тис.\$, з рентабельністю  $Ec_{S0}^{pik} = -3,68$ .

Для виправлення такого негативного становища за адміністративно-командним підходом до регулювання системи КТЕ застосовуються економічні методи регулювання шляхом впровадження зонних і багатоставкових тарифів та компенсаційні виплати збитковим підприємствам КТЕ, при цьому останнє робиться, як правило, без прив'язки до конкретних зобов'язань з підвищення ефективності їх функціонування. Параметри тарифів та розміри компенсаційних виплат визначаються умовами забезпечення рентабельності збиткового підприємства на рівні, зазвичай не вище 2%.

Порівнюючи данні, наведені на Рис.2.3.15 – Рис.2.3.18, не складно підрахувати, що за методом компенсаційних виплат їх величина для котелень на природному газі складає 206,9 тис.\$/рік, яку має сплачувати регулятор. Зазвичай, це робиться зниженням цін на первинні ПЕР для збиткових підприємств. Розрахунки показують, що в даному випадку це потребує зниження ціни на природний газ для котелень на природному газі з 360 \$/тис.м<sup>3</sup> до 239 \$/тис.м<sup>3</sup>.

Компенсаційні виплати не є єдиним способом, який застосовується в практиці адміністративно-командного регулювання систем КТЕ. Ще одним таким способом досягти аналогічного попередньому результату є підвищення тарифів на послуги з опалення та гарячого водопостачання для котелень на природному газі у нашому випадку з 48,50 \$/Гкал до 70,85 \$/ Гкал. Різниця між цими способами буде полягати у тому, що в першому випадку виплати будуть йти з державного або місцевого бюджету, а в другому – безпосередньо з кишені споживача на задоволення інтересів виробника.

На сьогодні, серед теплопостачальних підприємств в Україні близько 70% складають котельні, а інші – це електростанції різних типів, у тому числі ТЕЦ на природному газі. Котельні на природному газі займають 52÷58% ринку, на рідкому паливі – 12÷15% і на вугіллі – 27÷36%, частка котелень на альтернативному паливі усіх видів не перевищує 10%. За таким складом, регульована державою норма рентабельності не перевищує 1÷2%.

В нашому розрахунку, де збиткові котельні на природному газі займають 35,3% ринку, прибуткові котельні на вугіллі – 34,8%, когенераційні установки – 26,2%, а електричні котельні – 3,6%, розрахована за моделлю середня по системі КТЕ фактична (не регульована) рентабельність послуг з опалення та гарячого водопостачання сягає -3,7% (збитковість). При цьому беззбитковість системи КТЕ у базовому стані системи, що розглядається, за зміною тарифу на теплову енергію досягається у точці 50,70 \$/Гкал.

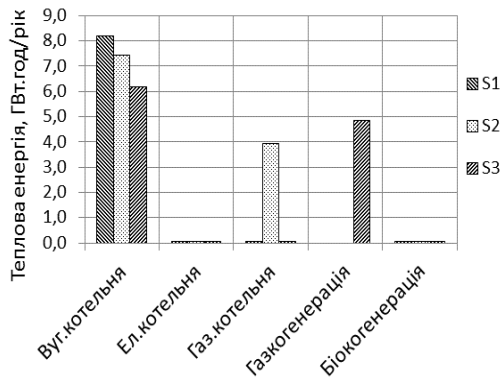
Тепер дослідимо можливості підвищення 3-Е ефективності системи КТЕ шляхом проведення оптимізаційних розрахунків з удосконалення структури і параметрів базового стану системи КТЕ за критерієм максимізації прибутку.

Нехай, як і у базовому стані, вихідна ціна на енергетичне вугілля складає 80,0 \$/т, на природний газ – 360,0 \$/м<sup>3</sup>, біодизельне пальне – 900,00 \$/т, електроенергію – 80,00 \$/МВт-год., а на вироблену теплову енергію – 48,50 \$/Гкал. Нехай до системи наведених на Рис.2.3.5 значень енерготехнологічних параметрів у кожному з підсистем системи КТЕ введено

когенераційні установки на біодизельному пальному із наступною базовою встановленою потужністю:  $P_{S1}^b = 0,22$  МВт,  $P_{S2}^b = 0,44$  МВт,  $P_{S3}^b = 0,22$  МВт. З метою коректного порівняння різних сценаріїв функціонування системи КТЕ, обсяг наданої споживачам теплоенергії за всіма сценаріями, що будуть далі розглядатися, встановимо рівним:  $W_{S1}^b = 8,18$  ГВт-год./рік,  $W_{S2}^b = 11,36$  ГВт-год./рік,  $W_{S3}^b = 10,99$  ГВт-год./рік.

Тоді за сценарієм максимізації прибутку системи КТЕ відповідно до (2.3.13), отримуємо наступні результати, наведені на Рис.2.3.19 – Рис.2.3.21.

На Рис.2.3.19 представлені розраховані за моделлю обсяги наданої споживачам теплової енергії кожною з підсистем з розбивкою за типами генеруючого устаткування:



котельні, котельні на природному газі та

Рисунок 2.3.19 – Обсяги теплової енергії наданої споживачам за рік

когенераційні установки на природному газі і біодизельному пальному. Оптимізаційні розрахунки проведені для п'яти коефіцієнтів навантаження системи (КНС): 0,2 (210 діб), 0,4 (60 діб), 0,6 (55 діб), 0,8 (20 діб) і 1,0 (5 діб), визначених за допомогою графіка навантаження системи КТЕ за тривалістю.

Як можна бачити з наведених на Рис.2.3.19 результатів, повністю завантаженими у всіх трьох підсистемах, тобто самими прибутковими серед встановленого теплогенеруючого устаткування, виявилися вугільні котельні. Когенераційні установки на природному газі були підключені до теплозабезпечення тільки в підсистемі S3 (в підсистемах S1 і S2 вони відсутні). При цьому цими установками були згенеровані 2,408 ГВт-год. електричної енергії за рік. Котельні на природному газі виявилися

завантаженими частково і тільки у підсистемі S2, де є нестача потужності вугільних котелень для покриття навантаження підсистеми.

На жаль, за означених вище техніко-економічних умов наявні у всіх трьох підсистемах системи КТЕ когенераційні установки на біодизельному пальному та електричні котельні виявилися не конкурентоздатними і залишилися не підключеними до теплозабезпечення.

Розраховані за сценарієм максимізації прибутку системи величини втрат за рік паливно-енергетичних ресурсів у підсистемах КТЕ представлені на Рис.2.3.20. Їх порівняння з втратами ПЕР у базовому стані системи КТЕ,

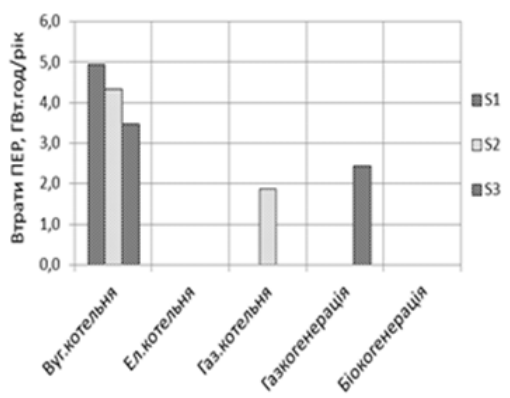


Рисунок 2.3.20 – Втрати ПЕР у підсистемах КТЕ за рік

Рис.2.3.14 свідчить, що втрати

у підсистемі S1 збільшуються на 159 МВт-год./рік (на 1,0%), у підсистемі S2 – на 612 МВт-год./рік (на 3,8%), а у підсистемі S3 – на 383 МВт-год./рік (на 2,4%). Це вказує на той факт, що намагання отримати максимальний прибуток не завжди приводить до підвищення ефективності використання ПЕР, а, як правило навпаки – до зниження енергетичної ефективності системи.

Що стосується обсягів викидів CO<sub>2</sub>, то за сценарієм максимізації прибутку системи у підсистемах вони також зростають по відношенню до базового сценарію і складають  $F_{S1}^{CO_2} = 4,41$  тис. т/рік,  $F_{S2}^{CO_2} = 5,18$  тис. т/рік,  $F_{S3}^{CO_2} = 4,49$  тис. т/рік, тобто збільшуються по системі у цілому на 2,95 тис. т/рік (на 26,5%), а відповідні виплати за податком на викиди дорівнюють  $O_{S1}^{CO_2} = 143$  \$/рік,  $O_{S2}^{CO_2} = 168$  \$/рік,  $O_{S3}^{CO_2} = 146$  \$/рік.

На Рис.2.3.21 наведені економічні результати функціонування системи КТЕ за сценарієм максимізації прибутку системи. При цьому, прибуток підсистеми S1 складає 155,86 тис.\$/рік, підсистеми S2 – 71,85 тис.\$/рік, а підсистеми S3 – 127,36 тис.\$/рік. Тобто система КТЕ із збиткової (збиток у базовому режимі функціонування складав -57,80 тис.\$/рік) за сценарієм максимізації прибутку системи стає прибутковою (прибуток 355,17 тис.\$/рік). Це означає, що за даним сценарієм частину досягнутої економії система КТЕ в змозі вкласти у реалізацію інвестиційних проєктів з підвищення енергоефективності і енергозбереження.

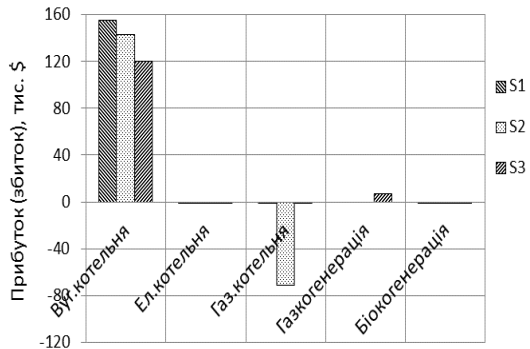


Рисунок 2.3.21 – Прибутки (збитки) від діяльності з виробництва та надання послуг з опалення та гарячого водопостачання у системі КТЕ

Результати розрахунків величин питомого прибутку (ПР) на одиницю наданої теплової енергії, \$/Гкал, для кожної з підсистем наведені на Рис.2.3.22 (права вертикальна вісь координат) в залежності від зміни коефіцієнтів навантаження системи (КНС). Ці залежності носять нелінійний характер, який визначається змінами ефективності використання теплоти палива при змінах структури теплогенеруючих потужностей підсистем, які у свою чергу залежатимуть від ступеня навантаження системи, виду палива і типу задіяного обладнання.

За допомогою лівої вертикальної вісі

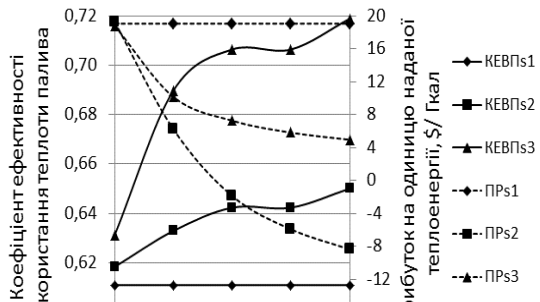


Рисунок 2.3.22 – Залежності КЕВП та отриманого прибутку підсистемами КТЕ від зміни навантаження системи

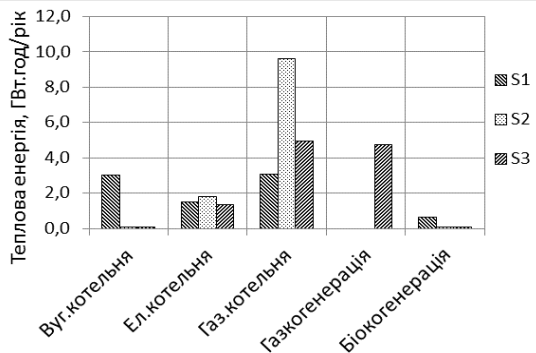


координат на Рис.2.3.22 відображені результати розрахунків досягнутих кожною з підсистем за сценарієм максимізації прибутку системи коефіцієнтів ефективності використання теплоти палива (КЕВП) в залежності від зміни КНС. Нагадаємо, що ці результати отримані з урахуванням 3% витрат на власні потреби та 21% втрат теплової енергії в теплових мережах підсистем. При цьому, порівняння з базовим сценарієм функціонування системи КТЕ дає наступні усереднені за період, що розглядається, результати:  $КЕВП_{S1} = 61,1\%$ ,  $КЕВП_{S2} = 63,7\%$ ,  $КЕВП_{S3} = 69,1\%$ .  $КЕВП_{S0} = 65,2\%$  (за базовим сценарієм  $КЕВП_{S0} = 67,1\%$ ) при питомих витратах первинного палива на надану споживачам теплову енергію вугільними котельнями у середньому 182,9, газовими котельнями – 170,5, а когенераційними установками на природному газі – 144,4 кг у.п./Гкал (показники зберігаються на базовому рівні, оскільки використовується теж саме теплоенергетичне обладнання).

Як ми бачимо з наведених даних порівняння базового сценарію зі сценарієм максимізації прибутку системи, застосування на практиці результатів оптимізації, спираючись виключно на економічні критерії, може призвести до погіршення енергетичних та екологічних показників функціонування системи КТЕ і у кінцевому результаті – до прийняття неоптимального управлінського рішення з точки зору залучення інвестицій у підвищення 3-Е ефективності системи.

### 2.3.4. Метод та засіб оптимального управління системою КТЕ за критеріями мінімізації втрат ПЕР та викидів CO<sub>2</sub>

З метою знаходження узгодженого 3-Е рішення задачі оптимального управління системою КТЕ шляхом проведення структурно-



параметричної оптимізації, рішення якої за критерієм максимізації прибутку представлено у попередньому розділі, розглянемо другий крайній варіант розв’язання цієї задачі – варіант за сценарієм мінімізації втрат ПЕР у системі. Отримуємо наступні результати, наведені на Рис.2.3.23 – Рис.2.3.26.

Як можна бачити, картина розподілення навантажень між котельнями, рівно як і картина розподілення втрат ПЕР, наведені на Рис.2.3.23 – Рис.2.3.24, суттєво відрізняються від аналогічних картин, представлених на Рис.2.3.19 – Рис.2.3.20. Так, за сценарієм мінімізації втрат ПЕР у системі КТЕ, найбільш завантаженим у всіх трьох підсистемах виявилось теплогенеруюче

Рисунок 2.3.23 – Обсяги теплової енергії наданої споживачам за рік

устаткування з більш високими коефіцієнтами ефективності використання теплоти палива (КЕВП), включаючи електричні котельні та когенераційні установки на природному газі й біодизельному паливі (див. Рис.2.3.23). При цьому останніми були згенеровані 2,70 ГВт·год. електричної енергії за рік. У той же час найбільш економічно ефективні вугільні котельні за цим сценарієм задіяні частково і тільки у підсистемі S1, де є нестача потужності іншого теплогенеруючого устаткування для покриття навантаження цієї підсистеми.

### Результати

розрахунків за цим сценарієм втрат ПЕР у системі КТЕ представлені на Рис.2.3.24. Їх порівняння з втратами ПЕР у базовому стані системи КТЕ, наведеними на Рис.2.11 – Рис.2.3.14, свідчить, що втрати у підсистемі S1

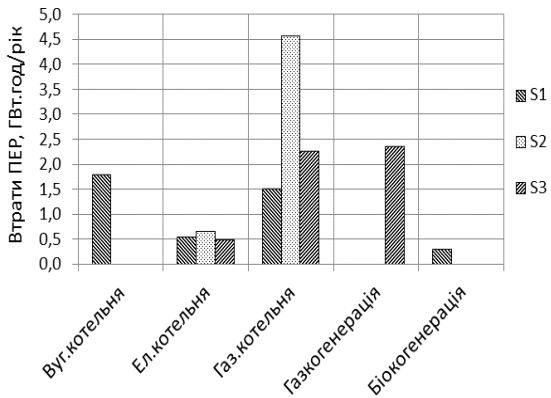


Рисунок 2.3.24 – Втрати ПЕР у підсистемах КТЕ за рік

зменшуються на 551 МВт-год./рік (на 3,5%), у підсистемі S2 – на 347 МВт-год./рік (на 2,2%), а у підсистемі S3 – на 389 МВт-год./рік (на 2,4%).

Що стосується обсягів викидів CO<sub>2</sub>, то за сценарієм мінімізації величини втрат ПЕР у системі КТЕ вони також зменшуються по відношенню до базового сценарію і складають  $F_{S1}^{CO_2} = 2,61$  тис. т/рік,  $F_{S2}^{CO_2} = 2,99$  тис. т/рік,  $F_{S3}^{CO_2} = 2,74$  тис. т/рік, а відповідні виплати за податком на викиди  $O_{S1}^{CO_2} = 85$  \$/рік,  $O_{S2}^{CO_2} = 97$  \$/рік,  $O_{S3}^{CO_2} = 89$  \$/рік.

На Рис.2.3.25 наведені економічні результати функціонування системи КТЕ за сценарієм мінімізації величини втрат ПЕР. При цьому, збиток підсистеми S1 складає

Рис.2.3.25

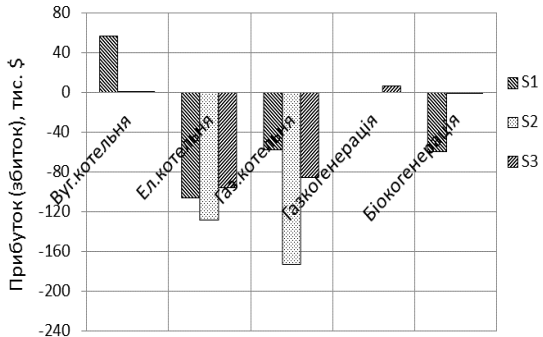


Рисунок 2.3.25 – Прибутки (збитки) від діяльності з виробництва та надання послуг з опалення та гарячого водопостачання

165,26 тис.\$/рік, підсистеми S2 – 300,84 тис.\$/рік, а підсистеми S3 – 174,26 тис.\$/рік. Тобто система КТЕ за цим сценарієм стає набагато більш збитковою ніж у базовому режимі функціонування, де збиток по системі КТЕ у цілому складав 57,80 тис.\$/рік. Це означає, що підвищення ефективності використання ПЕР, пов'язане зі структурно-параметричними змінами, не завжди приводить до підвищення економічної ефективності функціонування системи КТЕ.

Результати розрахунків величин питомого прибутку (ПР) на одиницю наданої теплової енергії (\$/Гкал)

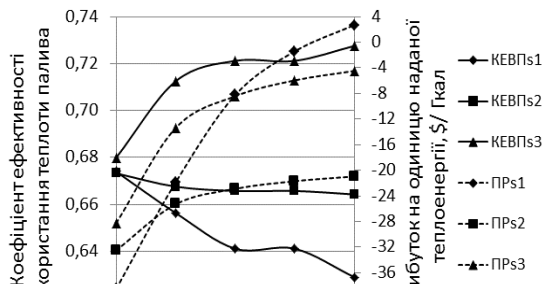


Рисунок 2.3.26 – Залежності КЕВП та отриманого прибутку підсистемами КТЕ від зміни навантаження системи

за сценарієм мінімізації величини втрат ПЕР для кожної з підсистем наведені на Рис.2.3.26 (права вертикальна вісь координат) в залежності від зміни КНС. Зрозуміло, що ці показники, як і прибутки підсистем, погіршуються (стають від'ємними).

За допомогою лівої вертикальної вісі координат на Рис.2.3.26 відображені результати розрахунків досягнутих кожною з підсистем за сценарієм мінімізації величини втрат ПЕР коефіцієнтів ефективності використання теплоти палива (КЕВП) в залежності від зміни КНС. При цьому їх усереднені значення складають:  $КЕВП_{S1} = 64,8\%$ ,  $КЕВП_{S2} = 66,7\%$ ,  $КЕВП_{S3} = 71,2\%$ .  $КЕВП_{S0} = 68,0\%$  (за базовим сценарієм  $КЕВП_{S0} = 67,1\%$ ) при питомих витратах первинного палива на надану споживачам теплову енергію вугільними котельнями у середньому 182,9, газовими котельнями – 170,5, а когенераційними установками на природному газі – 144,4 кг у.п./Гкал (використовується теплоенергетичне обладнання як і за базовим сценарієм).

Аналогічно попередньому, розглянемо інший крайній варіант знаходження

взаємоузгодженого 3-Е рішення задачі структурно-параметричної оптимізації системи КТЕ, у даному випадку за сценарієм мінімізації викидів  $CO_2$  у системі. Отримуємо наступні результати, наведені на Рис.2.3.27 – Рис.2.3.30.

Як можна бачити, картина розподілення навантажень між

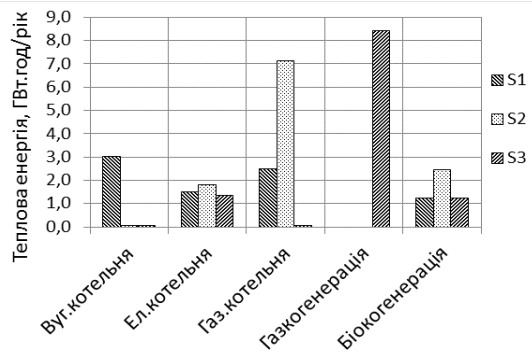


Рисунок 2.3.27 – Обсяги теплової енергії наданої споживачам за рік

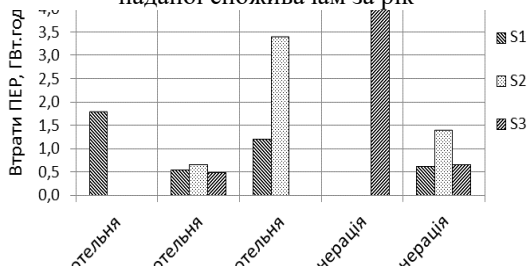


Рисунок 2.3.28 – Втрати ПЕР у підсистемах КТЕ за рік

котельнями, рівно як і картина розподілення втрат ПЕР, наведені на Рис.2.3.27 – Рис.2.3.28, суттєво відрізняються від аналогічних картин, представлених на Рис.2.3.23 – Рис.2.3.24. Так, за сценарієм мінімізації викидів CO<sub>2</sub> у системі КТЕ, найбільш завантаженим у всіх трьох підсистемах виявилось теплогенеруюче устаткування з найменшими коефіцієнтами питомих викидів забруднювальних речовин, включаючи електричні котельні та когенераційні установки на природному газі й біодизельному паливі (див. Рис.2.3.15). При цьому, останніми за рік були згенеровані вже 5,21 ГВт-год. електричної енергії. У той же час найбільш економічно ефективні вугільні котельні за цим сценарієм задіяні частково.

Результати розрахунків за цим сценарієм втрат ПЕР у системі КТЕ представлені на Рис.2.3.28. Їх порівняння з втратами ПЕР у базовому стані системи КТЕ, наведеними на Рис.2.3.11 – Рис.2.3.14 свідчить, що втрати у підсистемі S1 зменшуються на 532 МВт-год./рік (на 3,3%), у підсистемі S2 – на 109 МВт-год./рік (на 0,7%), а у підсистемі S3 – на 118 МВт-год./рік (на 0,7%).

Що стосується обсягів викидів CO<sub>2</sub>, то за сценарієм мінімізації викидів CO<sub>2</sub> у системі КТЕ вони також зменшуються по відношенню до базового сценарію і складають  $F_{S1}^{CO_2} = 2,43$  тис. т/рік,  $F_{S2}^{CO_2} = 2,28$  тис. т/рік,  $F_{S3}^{CO_2} = 2,20$  тис. т/рік, а відповідні виплати за податком на викиди  $O_{S1}^{CO_2} = 79$  \$/рік,  $O_{S2}^{CO_2} = 74$  \$/рік,  $O_{S3}^{CO_2} = 71$  \$/рік.

На Рис.2.3.29 наведені економічні результати функціонування системи КТЕ за сценарієм мінімізації викидів CO<sub>2</sub>. При цьому, збиток підсистеми S1 складає

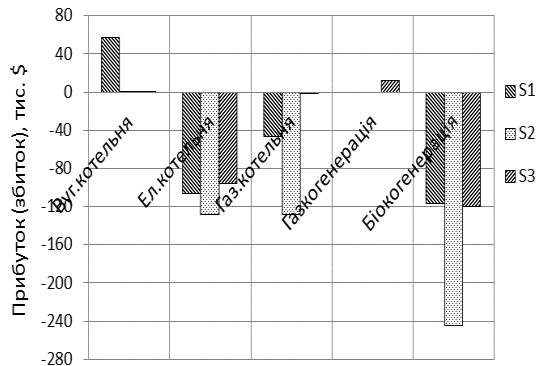


Рисунок 2.3.29 – Прибутки (збитки) від діяльності з виробництва та надання послуг з опалення та гарячого водопостачання

211,72 тис.\$/рік, підсистеми S2 – 500,73 тис.\$/рік, а підсистеми S3 – 202,84 тис.\$/рік. Тобто система КТЕ за цим сценарієм стає ще більш збитковою ніж за сценарієм втрат ПЕР. Це означає, що мінімізація викидів CO<sub>2</sub>, пов’язана зі структурно-параметричними змінами, не завжди приводить до підвищення економічної ефективності функціонування системи КТЕ.

Результати розрахунків величин питомого прибутку (ПР) на одиницю наданої теплової енергії (\$/Гкал) за сценарієм мінімізації викидів CO<sub>2</sub> для кожної з підсистем наведені на Рис.2.3.30 (права вертикальна вісь координат) в залежності від зміни КНС. Зрозуміло, що ці показники, як і прибутки підсистем, стають від’ємними.

За допомогою лівої вертикальної вісі координат на Рис.2.3.30 відображені результати розрахунків досягнутих кожною з підсистем за сценарієм мінімізації викидів CO<sub>2</sub> коефіцієнтів ефективності використання теплоти палива (КЕВП) в залежності від зміни КНС. При цьому їх усереднені значення складають: КЕВП<sub>S1</sub> = 65,2%, КЕВП<sub>S2</sub> = 67,8%, КЕВП<sub>S3</sub> = 73,3%. КЕВП<sub>S0</sub> = 69,4% (за базовим сценарієм КЕВП<sub>S0</sub> = 67,1%) при питомих витратах первинного палива на надану споживачам теплову енергію вугільними котельнями у середньому 182,9, газовими котельнями – 170,5, а когенераційними установками на природному газі – 144,4 кг у.п./Гкал

(використовується теплоенергетичне обладнання за базовим сценарієм).

Таким чином, проведений багатоваріантний структурно-параметричних змін системи КТЕ за сценаріями мінімізації

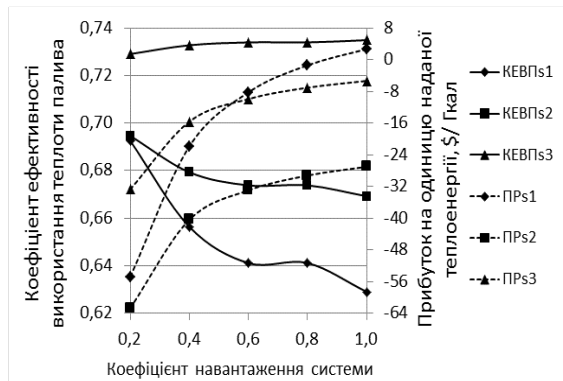


Рисунок 2.3.30 – Залежності КЕВП та отриманого прибутку підсистемами КТЕ від зміни навантаження системи

втрата ПЕР і мінімізації викидів CO<sub>2</sub> та їх порівняльний аналіз зі сценарієм максимізації прибутку показує, що в перших двох випадках функціонування системи КТЕ стає збитковим, хоча втрати ПЕР і викиди забруднювальних речовин суттєво знижуються. Це свідчить про необхідність пошуку компромісного рішення в задачі підвищення 3-Е ефективності функціонування системи КТЕ.

З цієї метою проведемо системний аналіз трьох розглянутих у попередніх розділах сценаріїв оптимального управління системою КТЕ.

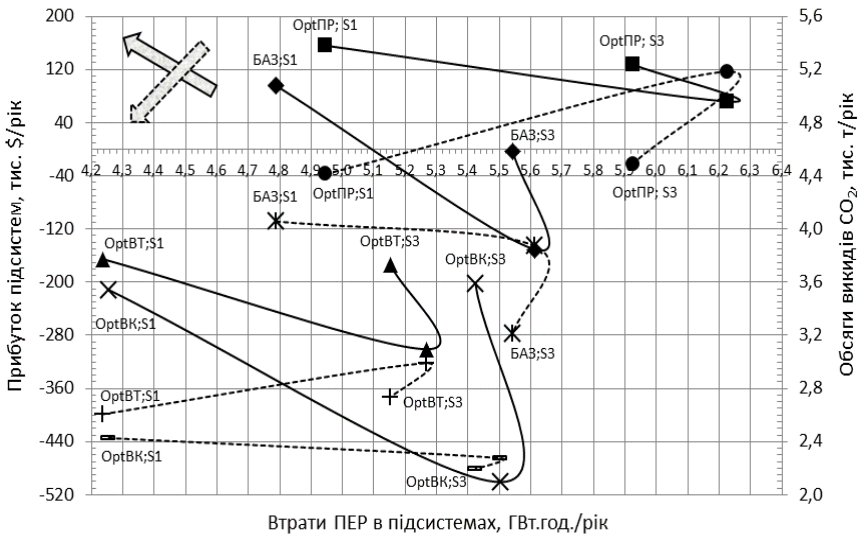


Рисунок 2.3.31 – Результати системного аналізу сценаріїв функціонування підсистем системи КТЕ в координатах прибуток-втрата ПЕР-викиди CO<sub>2</sub>

Результати цього аналізу з деталізацією на рівні підсистем S1, S2, S3 системи КТЕ, включаючи сценарій функціонування за базовим станом системи, представлені на Рис.2.3.31 в координатах: втрати ПЕР (вісь абсцис); прибуток (ліва вісь ординат) та втрати ПЕР (та сама вісь абсцис); обсяги викидів CO<sub>2</sub> (права вісь ординат). На рисунку означено: БАЗ – базовий сценарій; OptPP – сценарій за максимізацією прибутку системи; OptBT – сценарій за мінімізацією втрат ПЕР в системі; OptBK – сценарій за мінімізацією викидів CO<sub>2</sub> у системі КТЕ.

Вузловими точками наведених на Рис.2.3.31 кривих виділені значення відповідних показників функціонування підсистем S1, S2, або S3 системи КТЕ. При цьому безперервними лініями поєднані показники, що вимірюються лівою вертикальною віссю системи координат (прибуток підсистем), а штрих-пунктирною – правою віссю (обсяги викидів). Горизонтальна вісь (втрати ПЕР) є спільною, такою, що дозволяє одночасно розглядати тривимірну систему показників функціонування системи КТЕ на площині Рис.2.3.31. Фігурними стрілками у верхньому лівому куті на цьому рисунку вказані напрями підвищення ефективності функціонування системи КТЕ за відповідними показниками. Видно, що напрям підвищення прибутку системи за одночасним зниженням втрат ПЕР у системі (означено стрілкою з безперервним окантуванням) не співпадає з напрямом зниження обсягів викидів CO<sub>2</sub>, означеним штрих-пунктирною стрілкою.

В якості показника енергетичної ефективності у моделі використовується коефіцієнт ефективності використання теплоти палива (КЕВП), в якості показника економічної ефективності – рентабельність, а показника екологічної ефективності – запропонований у роботі показник

$KEF_{S_i^{CO_2}}^j$ , який розраховується за формулою:

$$KEF_{S_i^{CO_2}}^j = (O_{S_i^{CO_2}}^{nor,j} - O_{S_i^{CO_2}}^{f,j}) / O_{S_i^{CO_2}}^{nor,j}, \quad (2.3.12)$$



де:  $O_{S_i^{CO_2}}^{nor,j}$ ,  $O_{S_i^{CO_2}}^{f,j}$  – відповідно, нормалізоване і фактичне значення обсягів викидів CO<sub>2</sub> від діяльності  $i$ -ої підсистеми (елемента системи тощо) на  $j$ -му інтервалі часу (інші позначення відповідають наведеним у поясненнях до виразу (3.8) та обмеженням до нього).

На Рис.2.3.32 представлені результати системного аналізу показників 3-Е ефективності в координатах, що вимірюють економічну ефективність (ліва вісь ординат), екологічну ефективність (права вісь ординат) та енергетичну ефективність (спільна вісь абсцис).

Нормалізоване значення обсягів викидів CO<sub>2</sub> у формулі (2.3.12) пропонується визначати за сталим коефіцієнтом питомих викидів  $\beta_{S_i^{CO_2}}^{nor,j} = 100 \text{ кг/ГДж} = 360 \text{ кг/МВт.год}$ . Це значення обсягів викидів CO<sub>2</sub> буде визначатиме нульову відмітку на шкалі вимірювання екологічної ефективності [0,1]. Таке значення вибрано як достатньо близьке до середньостатистичної величини питомих викидів у 336 кг/МВт.год. від енергетичних установок в Україні, які працюють на енергетичному вугіллі, та є одними з най не ефективніших у світі.

Зрозуміло, що економічна ефективність функціонування підсистем і системи КТЕ у цілому, як це можна бачити на Рис.2.3.32, досягає свого

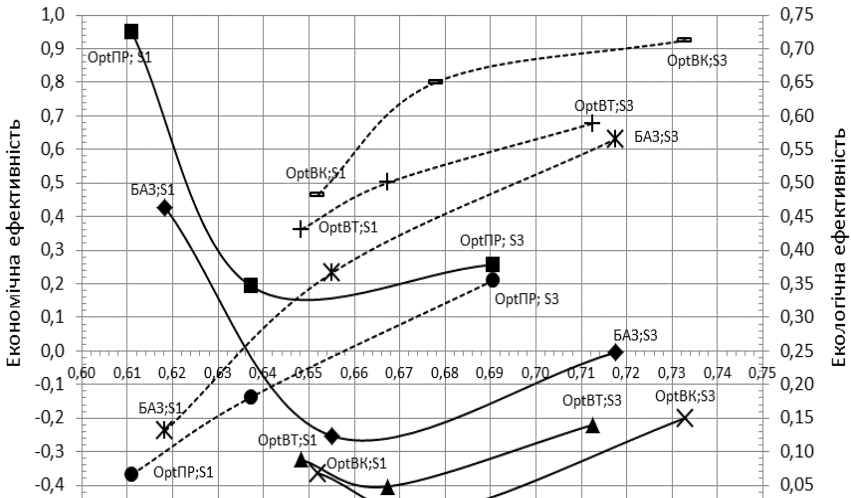


Рисунок 2.3.32 – Результати системного аналізу сценаріїв функціонування підсистем системи КТЕ в координатах показників 3-Е ефективності

максимально можливого за прийнятими вище техніко-економічними умовами значення за сценарієм максимізації прибутку системи.

Далі йдуть базовий сценарій; сценарій мінімізації втрат ПЕР в системі та сценарій мінімізації викидів CO<sub>2</sub>. За екологічною ефективністю картина на Рис.2.3.32 змінюється на протилежну. Енергетична ефективність за сценаріями покращується з такою ж закономірністю.

Проведений вище аналіз результатів застосування 3-Е сценаріїв структурно-параметричної оптимізації системи КТЕ далеко не вичерпує доцільних напрямів використання такого підходу. Так, на його основі стає можливим розв'язання у загальносистемній постановці задачі оптимального управління використанням встановлених потужностей підсистем шляхом переведення частини їх теплогенеруючого обладнання в піковий або полупіковий режими роботи та покриття дефіциту потужності, що виникає в підсистемах, за рахунок максимально повного завантаження найбільш ефективного обладнання інших підсистем.

Зрозуміло, що підвищення ефективності функціонування системи КТЕ, яке при цьому виявляється, потребуватиме створення додаткових чи модернізації існуючих міжсистемних зв'язків, витрати на які мають покриватися за рахунок отриманих при цьому переваг, та здійснення загальносистемної координації взаємодії підсистем.

Реалізації виявлених можливостей загальносистемного підвищення 3-Е ефективності системи КТЕ на практиці буде сприяти і той факт, що за ринкових умов кожне юридично незалежне підприємство намагається максимізувати власний прибуток ще й шляхом розширення частки свого ринку послуг з опалення і гарячого водопостачання за рахунок поглинання сусіда (ринкова конкуренція).

Налаштуємо сукупність цільових функцій (2.3.11) на досягнення саме цієї мети, – максимального економічно доцільного завантаження власного теплоенергетичного обладнання послідовно для кожної з підсистем для

покриття ними потрібного за даних внутрішніх і зовнішніх умов навантаження системи у цілому.

На Рис.2.3.33 представлені результати системного аналізу трьох розглянутих у попередніх розділах сценаріїв управління за умов забезпечення необхідних перетоків теплової енергії між підсистемами (створення чи модернізації необхідних міжсистемних зв'язків) та здійснення координації взаємодії підсистем.

Порівнюючи представлені на Рис.2.3.33 результати з аналогічними результатами на Рис.2.3.31 можна підрахувати, що за сценарієм максимізації прибутку прибуток підсистеми S1 зростає на 75,46 тис.\$/рік (на 48,4%), підсистеми S2 – на 92,52 тис.\$/рік (на 128,6%), а підсистеми S3 зменшується

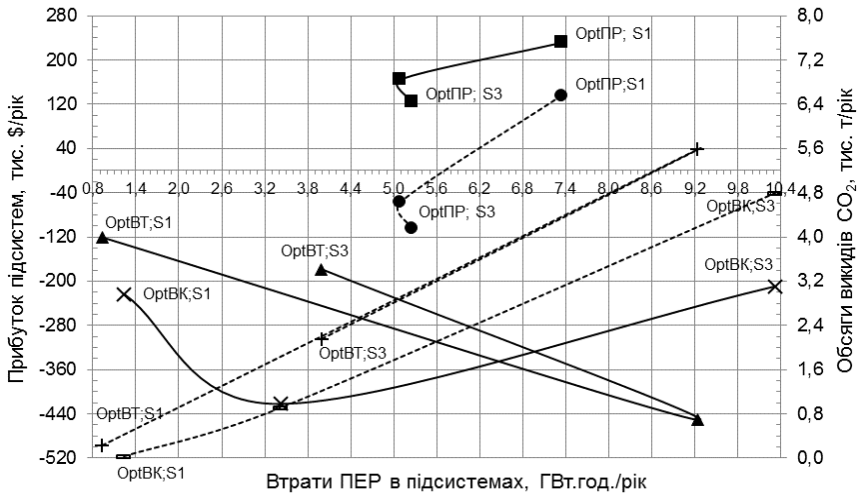


Рисунок 2.3.33 – Результати системного аналізу сценаріїв взаємодії підсистем системи КТЕ в координатах прибуток-втрати ПЕР-викиди CO<sub>2</sub>

на 3,29 тис.\$/рік (на 2,6%). Тобто загальний прибуток, який може бути використаний на створення чи модернізацію міжсистемних зв'язків та забезпечення координування взаємодії підсистем складає 164,69 тис.\$/рік.

Задля прояснення фізичного змісту змін за системним управлінням на Рис.2.3.34 у вигляді стовпчикової діаграми наведений розподіл обсягів виробництва теплової енергії різними видами теплогенеруючого обладнання підсистем S1, S2, S3 системи КТЕ. (див. для порівняння відповідні обсяги на Рис.2.3.19).

Як можна бачити на Рис.2.3.34, більш завантаженими у всіх трьох підсистемах виявилися економічно ефективні вугільні котельні та когенераційні установки на природному газі, у той час як газові котельні були переведені у піковий режим роботи.

У цілому, з результатів аналізу всіх розглянутих вище сценаріїв однокритеріальної оптимізації складної системи КТЕ (максимізації прибутку, мінімізації втрат ПЕР і мінімізації викидів CO<sub>2</sub>) видно, що особливістю цієї системи, як і багатьох інших складних систем, є суперечливість локальних цілей окремих структурних елементів (підсистем), які далеко не завжди збігаються

загальносистемними цілями та функціями. Цю властивість, як було відмічено раніше, потрібно обов'язково враховувати при управлінні, координуючи діяльність структурних елементів системи таким чином, щоб направленість їх

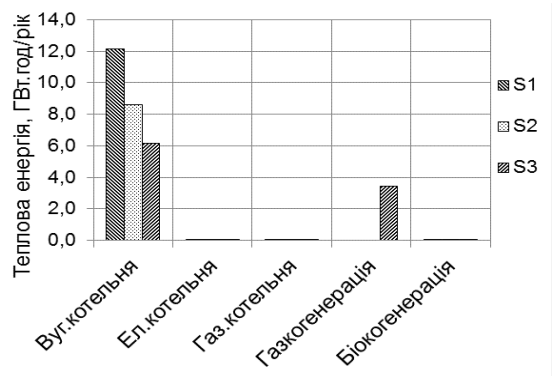


Рисунок 2.3.34 – Обсяги теплової енергії наданої споживачам за рік

функціонування сприяла досягненню головної мети системи – підвищенню 3-Е ефективності її функціонування.

Зрозуміло, що прийняття управлінських (регуляторних тощо) рішень в таких випадках зазвичай характеризується невизначеністю, яка в умовах діяльності складних систем КТЕ головним чином визначається суперечливим

характером показників їх ефективності та відсутністю єдиної шкали оцінки корисності для сторін (підсистем), які в ринкових умовах намагаються отримати якомога більший прибуток.

Це змушує проводити багаточисленні розрахунки множини варіантів економічно, технічно і екологічно доцільних рішень та наслідків їх реалізації з залученням алгоритмів, що дозволяють зменшувати свавілля у виборі стратегії поведінки взаємодіючих підсистем системи КТЕ та пом'якшувати ризики непорозуміння між ними.

Як слід з виразів (2.2.21) – (2.2.22), на кожному рівні управління складними системами з ієрархічною структурою можливі два способи вирішення задачі координації їх суперечливих цільових функцій – через зміни глобальної і локальних цільових функцій та/або зміни множини допустимих рішень (стратегій поведінки тощо). При цьому, в обох випадках задача координації полягає у знаходженні оптимальних параметрів управляючих впливів, за якими прийнятний загальносистемний ефект досягається за мінімально можливими загальносистемними витратами.

Зрозуміло також, що складний характер наведених на Рис.2.3.31 – Рис.2.3.33 кривих, не кажучи вже про аналіз їх взаємодії та визначення стратегії загальносистемного покращення ефективності функціонування системи КТЕ, потребує розробки формалізованої процедури пошуку прийнятного рішення в умовах суперечливого характеру показників 3-Е ефективності.

При цьому домінуючою має стати стратегія управління, за якою функціонування системи має бути гарантовано прибутковим, бо вирішувати задачу підвищення 3-Е ефективності системи за напрямками погіршення її економічного стану не має ніякого сенсу. Розв'язання цієї задачі будемо здійснювати методом послідовних поступок, на кожній з яких в нашому випадку потрібно буде враховувати зміни не тільки параметрів, але й структури системи КТЕ.

Оскільки верхні границі можливих змін параметрів і структури системи КТЕ вже визначено шляхом проведення оптимізаційних розрахунків системи за критеріями максимізації прибутку, мінімізації втрат ПЕР та мінімізації обсягів викидів, визначення потребують нижні границі зміни цих параметрів і структури, а саме – границі беззбитковості системи, тобто границі на яких прибуток підсистем стає нульовим або ж максимально наближується до цих границь за наявними технологічними обмеженнями, необхідними для забезпечення належного функціонування кожної з підсистем.

Зробимо це шляхом послідовного розв'язання задач оптимізації системи КТЕ за критеріями мінімізації втрат ПЕР і мінімізації обсягів викидів на основі визначених у попередньо проведених розрахунках функціонально досяжних обмежень на прибуток кожної з підсистем. Результати розрахунків представлено на Рис.2.3.35.

Як можна бачити, показники 3-Е ефективності підсистем КТЕ, визначені на границях беззбитковості системи за умов мінімізації втрат ПЕР і мінімізації обсягів викидів, практично співпадають (різниця не перевищує 0,1%), що дозволяє в цій області розглядати оптимізаційну задачу як двокритеріальну. Крім того видно, що показники економічної ефективності підсистеми S2 не вдається вивести з від'ємної зони, що свідчить про збитковість функціонування цієї підсистеми за прийнятих умов мінімізації

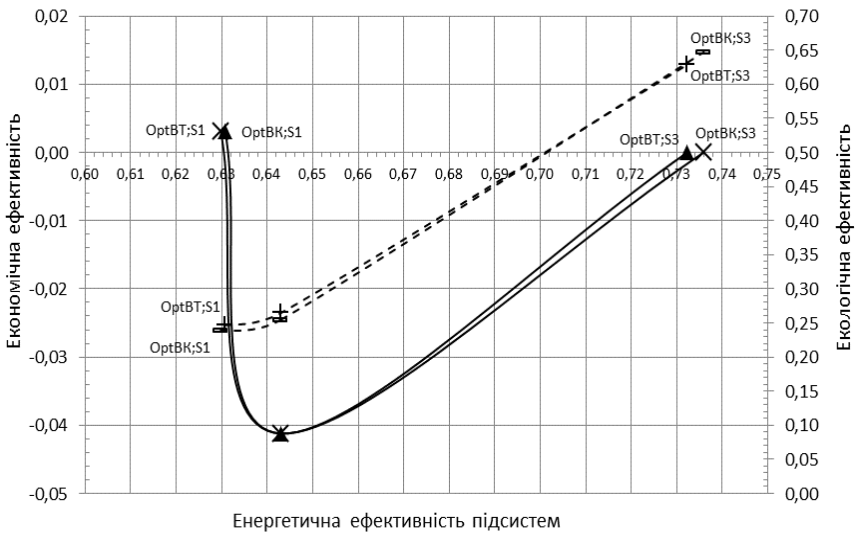


Рисунок 2.3.35 – Показники 3-Е ефективності підсистем КТЕ, що досягаються на границі беззбитковості системи

втрат ПЕР і мінімізації обсягів викидів, а також про необхідність пошуку інших шляхів забезпечення прибутковості цієї підсистеми.

На цьому можливості формалізованого пошуку оптимального 3-Е управління практично вичерпуються і настає етап залучення особи, що приймає рішення (ОПР), бо добре відомо, що задача багатокритеріальної оптимізації не має загального (єдиного) рішення, яке у тій, чи іншій мірі може бути признано остаточним. При цьому встановлені вище нижні та верхні границі оптимальних рішень значною мірою полегшують процедуру прийняття ОПР обґрунтованого рішення.

Не складно вирахувати, використовуючи, наприклад, відоме з теорії багатокритеріальної оптимізації правило «кута», що представлені на Рис.2.3.31 – Рис.2.3.33 та на Рис.2.3.35 для кожної з підсистем S1, S2, S3 у вигляді точок множини рішень утворюють множину компромісних точок в критеріальному просторі ефективних точок Парето, саме серед яких ОПР має вибирати той варіант функціонування системи КТЕ, який відповідає інтересам підприємства. При цьому, використання багаторівневої 3-Е імітаційної моделі управління, реалізованої у класі математичних моделей оптимального розподілення ресурсів, дозволяє проводити багатоваріантні чисельні розрахунки та визначати показники 3-Е ефективності функціонування складної системи КТЕ з урахуванням структури та параметрів її підсистем, у тому числі проводити оптимізаційні розрахунки з визначення точок беззбитковості та рівноваги в умовах регулювання цін і тарифів на первинні ПЕР і теплову енергію, що виробляється.



## **Глава 2.4. Методи та програмні засоби багаторівневого управління підвищенням 3-Е ефективності систем централізованого теплозабезпечення споживачів**

### **2.4.1. Загальні питання управління підвищенням 3-Е ефективності систем помірно-центрального теплопостачання**

Визнання пріоритету споживача у вирішенні питань теплопостачання має бути правилом ведення підприємницької діяльності у системах КТЕ в Україні. Керуючись цим правилом, в якості стартового модуля (блока) багаторівневої моделі управління підвищенням 3-Е ефективності систем КТЕ, який має послідовно визначати принципи побудови і параметри функціонування модулів моделі на всіх її інших рівнях, розглянемо модуль мінімізації витрат і втрат теплової енергії на опалення і гаряче водопостачання житлових і громадських будинків.

При цьому, як відмічалось раніше, реалізація багаторівневої імітаційної моделі потребуватиме координації та взаємозв'язку процесів верифікації і валідації структури і параметрів імітаційної моделі на всіх рівнях її побудови, охоплюючи етапи збирання та аналізування вихідних (базових) даних, розроблення концептуальної моделі, програмування, тестування та калібрування, проведення багатоваріантних чисельних експериментів тощо.

Таку координацію, як і в модулі верхнього рівня, будемо здійснювати на основі системного підходу, у вигляді ітераційного процесу балансування інтересів трьох вертикально-інтегрованих ієрархічно розташованих підсистем (модулів) з власними цільовими функціями, спрямованими на: 1) підвищення теплоенергетичної ефективності огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків з метою зниження теплового навантаження на систему теплопостачання; 2) підвищення ефективності та зменшення втрат і витрат теплової енергії при її транспортуванні і розподіленні; 3) підвищення ефективності генеруючих об'єктів системи КТЕ з метою зменшення втрат і витрат теплової енергії при її виробництві [167, 168].

За класифікацією, така постановка системної задачі значною мірою відноситься до специфічного класу «оптимізаційних ігор» багатьох учасників з неантагоністично суперечливими інтересами (цільовими функціями) [52, 122], яку будемо розв'язувати шляхом залучення процедур і прийомів імітаційного моделювання на базі моделей лінійного програмування у середовищі табличного процесору з використанням як стандартних, так і власно створених функцій.

При побудові імітаційної моделі управління підвищенням 3-Е ефективності теплозабезпечення житлових і громадських будинків серед основних факторів, які потребуватимуть урахування, насамперед визначимо наступні:

1. Зміна структури і режимів споживання в багатопверхових будинках внаслідок переходу частки споживачів системи централізованого опалення на автономне опалення;
2. Зміна структури системи централізованого тепlopостачання (СЦТ) внаслідок відключення будинків і цілих районів у зв'язку з децентралізацією системи тепlopостачання;
3. Оптимізація режимів опалення будинків шляхом переходу з одного температурного графіка на інший;
4. Оптимізація структури теплових мереж і розміщення районних котельень;
5. Впровадження інвестиційних проектів з енергозбереження і підвищення ефективності використання теплової енергії на опалення і гаряче водopостачання житлових і громадських будинків.

Слід особливо відмітити, що в умовах ринкової економіки зменшення теплового навантаження СЦТ відбувається не тільки шляхом підвищення 3-Е ефективності використання теплової енергії у споживачів. За різних об'єктивних і суб'єктивних причин, головним чином внаслідок дискримінаційної цінової і тарифної політики держави по відношенню до деяких категорій виробників і споживачів, виникають й інші фактори, що

призводять до зменшення навантаження системи, у першу чергу, – відмова споживачів від послуг централізованого теплопостачання. Ця тенденція, на жаль, є типовою і сталою для більшості міст в Україні за останні два десятиріччя.

Так, на Рис.2.4.1 для одного з районів обласного центра в Україні наведений графік фактичного зниження теплового навантаження системи теплопостачання, внаслідок відключення від системи централізованого опалення частини споживачів багатоквартирних житлових будинків. Таке рішення є економічно привабливим для означеної частини споживачів, але ж не для системи, оскільки перші значно менше витрачають грошей на опалення власних приміщень за тою визначальною причиною, що ціни на природний газ для населення у декілька разів менші ніж для підприємств КТЕ, які надають населенню аналогічні послуги централізованого теплопостачання.

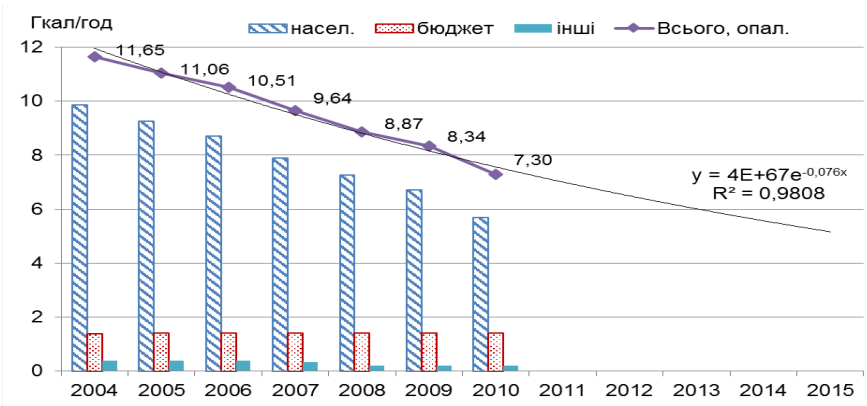


Рисунок 2.4.1 – Зміни теплового навантаження споживачів на опалення по роках

У той же час ці споживачі перестають оплачувати послуги системи за опалення місць загального користування у цих будинках, а їх безсистемне відключення порушує гідравлічний режим СЦТ і зменшує коефіцієнт використання встановленого обладнання, не кажучи вже про різке погіршення екологічних і санітарних норм, а також норм безпеки, пов'язаних

зі спаленням великих обсягів природного газу безпосередньо в жилих приміщеннях багатоквартирного будинку.

Урахування змін навантаження будемо проводити, розглядаючи СЦТ окремого району великого міста в Україні, що охоплює розташовані в цьому районі будинки. За загальною класифікацією по потужності, районна СЦТ, що складається з сукупності джерел теплової енергії потужністю не менше 3 МВт і не більше 20 МВт, магістральних та/або розподільних теплових мереж і мереж гарячого водопостачання, належить до систем помірно-централізованого теплопостачання (СП-ЦТ) [169].

З точки зору прийнятого вище підходу до моделювання така районна СП-ЦТ є багаторівневою енергетичною системою, в якості елементів якої розглядаються не менш складні теплоенергетичні об'єкти: 1) джерела теплової енергії, – теплогенеруючі установки, котельні, когенераційні установки, теплові насоси тощо, які використовують для виробництва теплоти різні види енергоносіїв (органічне паливо, електроенергію, нетрадиційні та відновлювані види енергії, вторинні енергетичні ресурси тощо); 2) магістральні і місцеві (розподільні) теплові мережі, сукупність електроенергетичних установок, теплоенергетичного обладнання та трубопроводів яких забезпечують транспортування теплоносія від джерел теплової енергії до теплових ввідів споживача; 3) інженерні споруди, інше основне і допоміжне обладнання, яке використовується для забезпечення безпечної та надійної експлуатації СЦТ. В ринкових умовах, СП-ЦТ в обов'язковому порядку має включати в якості підсистем: 4) системи автономного теплопостачання і 5) системи теплоспоживання, – індивідуальні теплогенеруючі і регулюючі установки і теплові пункти, внутрішньобудинкові мережі, радіатори систем опалювання та огорожувальні конструкції будинків тощо, які визначальним чином впливають на ефективність і режими функціонування СП-ЦТ і СЦТ у цілому.

Економіко-організаційні засади регулювання діяльності на теплоенергетичних об'єктах систем теплопостачання, спрямовані на

підвищення 3-Е ефективності їх функціонування, визначаються Законом України про теплопостачання [29]. Ці особливості обумовлюються об'єктивними факторами, що потребують їх обов'язкового урахування при розробці як оперативних планів діяльності, так і заходів стратегічного розвитку СЦТ, у першу чергу, такими як:

- великі розміри і складний характер систем теплозабезпечення міст і населених пунктів, які охоплюють підсистеми централізованого, помірно-централізованого, децентралізованого і автономного теплопостачання;
- взаємозалежність енергетичних, технологічних, економічних, екологічних, соціальних тощо параметрів і характеристик процесів виробництва, транспортування, постачання та використання теплової енергії;
- існування різних технологій централізованого та автономного теплозабезпечення споживачів, у першу чергу, комбінованого виробництва електричної і теплової енергії, технологій з використанням нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, теплонасосних технологій тощо, наявність яких на ринку теплової енергії обумовлює конкурентну боротьбу за споживача;
- суттєва сезонна відмінність режимів виробництва і споживання теплової енергії протягом року, що за відсутності ефективних міжсезонних (і добових тощо) накопичувачів тепла потребує значних додатково встановлених потужностей теплоенергетичного обладнання, яке має ефективно працювати в широких діапазонах зміни внутрішніх і зовнішніх факторів, насамперед, зміни температури зовнішнього повітря;
- особливий статус теплоелектроцентралей і деяких крупних котелень, які входять до об'єднаної електроенергетичної системи України;
- складний характер та необхідність об'єктно-узгодженої поведінки окремих груп споживачів, у першу чергу споживачів багатоквартирних будинків, щодо використання різних технологій і режимів теплопостачання та теплоспоживання.

Відокремлену для одного з районів міста обласного підпорядкування в Україні частину узагальненої структурної схеми системи централізованого теплопостачання, що складається з трьох районних котельень, трьох тупикових розподільних мереж та 26-ти багатоповерхових будинків з загальним тепловим навантаженням 11,2 Гкал/год. (13 МВт), наведено на Рис.2.4.2.

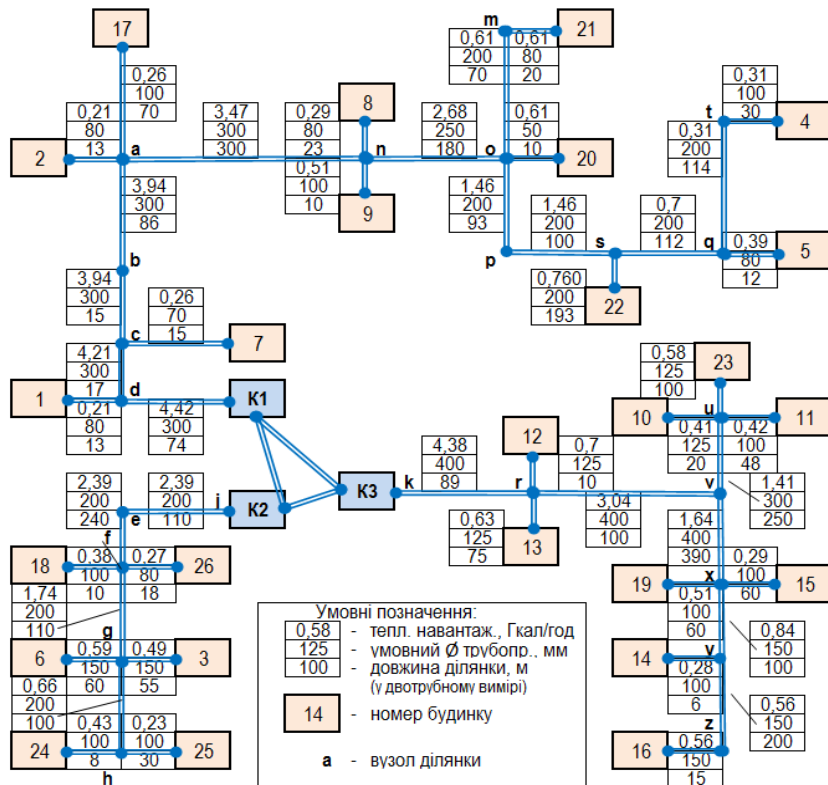


Рисунок 2.4.2 – Відокремлена частина структурної схеми системи централізованого теплопостачання

Проведення багатоваріантних розрахунків показників ефективності управління використанням теплової енергії на опалення і гаряче водопостачання житлових і громадських будинків однозначно пов'язане з реалізацією оптимізаційних процедур, які потребують урахування впливу на

ці показники зовнішніх факторів, насамперед зміни температури і вологості зовнішнього повітря, інтенсивності сонячної радіації і швидкості вітру протягом всього опалювального періоду.

При цьому, для техніко-економічної оцінки ефективності використання теплової енергії споживачами достатнім виявляється застосування середньодобових значень параметрів зовнішнього впливу, а для оцінки енергетичних і технологічних параметрів виробництва, транспортування і постачання теплової енергії – більш глибока їх часова диференціація.



Рисунок 2.4.3 – Зміни фактичної температури зовнішнього повітря та її середньодобового значення протягом опалювального періоду

Наприклад, проведені у роботі та узагальнені за п'ять опалювальних періодів 2006-2014 років розрахунки усереднених значень температури зовнішнього повітря  $T_{зовн}$  окремо за денні і нічні інтервали 168-добового опалювального періоду показують, що вони на 30-40% відрізняються від відповідної середньодобової температури (див. Рис.2.4.3), що помітно впливає на результати розрахунків втрат і витрат теплової енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні і споживанні. При цьому, більш глибока, наприклад, почасова диференціація практично не змінює результати подальших техніко-економічних розрахунків.

Означимо, що такий висновок не стосується розрахунків максимальних (пікових тощо) значень параметрів впливу, необхідних для визначення задіяної потужності теплоенергетичного обладнання, а також показників

розрахункових навантажень на системи опалення, які мають відповідати нормованим рівням параметрів зовнішнього впливу протягом всього опалювального періоду.

Тривалість і дати початку і закінчення опалювального періоду визначаються переходом середньодобової

температури зовнішнього повітря  $T_{зовн}$  через  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (або  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  для окремих типів споживачів) восени та навесні [ДСТУ-Н Б В.1.1-27], точніше – тридобовим стоянням із середньодобовою температурою зовнішнього

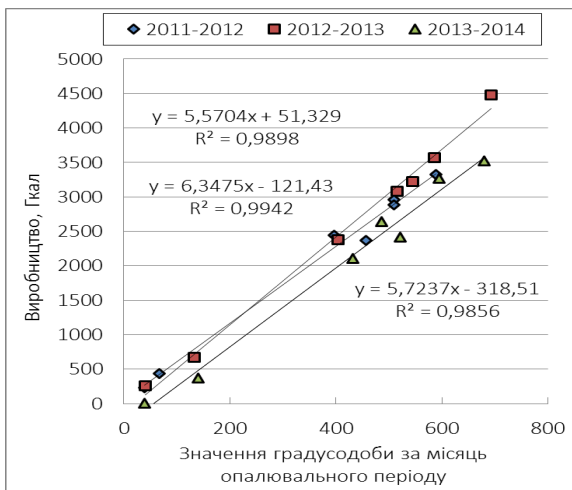


Рисунок 2.4.4 – Залежність обсягів виробництва теплоенергії від значення градусодоби

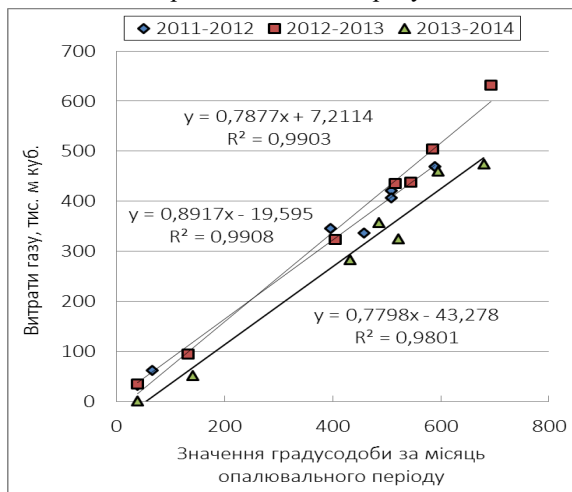


Рисунок 2.4.5 – Залежність витрат газу від значення градусодоби



повітря 8 °C (або 10 °C) за температурою повітря в приміщеннях, що опалюються, не нижче  $T_{вн} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$  (або 20 °C).

Представницька  
вибірка оброблених  
статистичних даних,  
отриманих на етапі  
збирання та аналізування  
вихідних даних, у  
графічній формі  
представлена на Рис.2.4.4  
– Рис.2.4.7.

Наведені на  
Рис.2.4.4 – Рис.2.4.7 данні  
у вигляді точок у  
двовимірному просторі,  
рівнянь апроксимуючих  
їх кривих та величин  
достовірності цієї  
апроксимації відносяться  
до реально  
функціонуючої СП-ЦТ,  
структурна схема та  
параметри якої  
представлені на Рис.2.4.2.

Ці данні отримані за  
результатами натурних  
вимірювань відповідних  
параметрів за три

опалювальних періоди 2011-2014 років і використовуються для проведення  
тестування і калібрування параметрів багаторівневої імітаційної моделі за

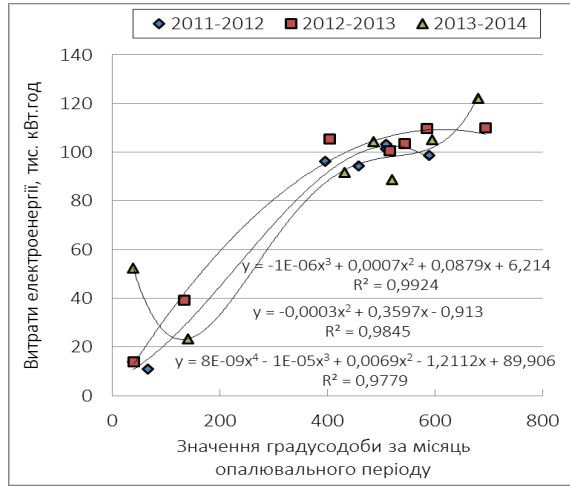


Рисунок 2.4.6 – Залежність витрат електроенергії на виробництво теплоенергії від значення градусо-добы

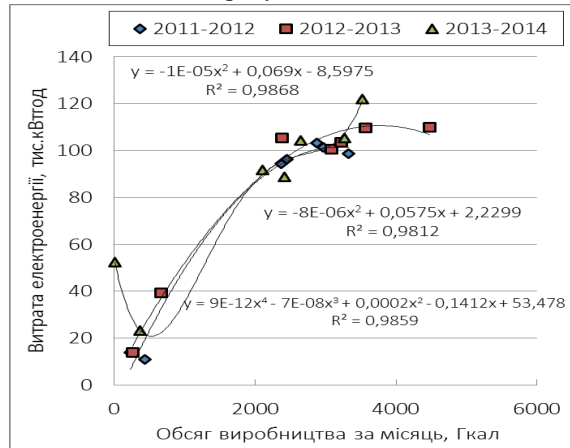


Рисунок 2.4.7 - Залежність витрат електроенергії на виробництво від обсягів виробництва теплоенергії

умов (в діапазонах) зміни параметрів оточуючого середовища і управляючих впливів.

Наведеному на площині Рис.2.4.4 – Рис.2.4.7 у горизонтальній послідовності порядку відображення періодів часу (рокам) відповідає вертикальний порядок розташування рівнянь.

У сукупності наведені данні відображають робочу поверхню у багатовимірному просторі функціонування реальної системи КТЕ, відносно якої мають бути протестовані і відкалібровані результати багатоваріантних розрахунків, проведених за модулями багаторівневої імітаційної моделі, перед їх використанням у процедурі прийняття управлінських рішень.

#### **2.4.2. Метод та засіб мінімізації витрат і втрат теплової енергії на опалення і гаряче водопостачання житлових и громадських будинків**

Багатоповерховий будинок являє собою складну інженерно-будівельну систему з багатьма внутрішніми і зовнішніми конструктивними елементами, технологічним обладнанням і комунікаціями, в якій протікають різномірні за фізичною сутністю процеси переносу, перетворення і поглинання теплоти.

Теорію теплового режиму будинку у сучасній системній постановці створено науковими працями багатьох вчених, у першу чергу О.Є. Власова, В.І. Дешко, Ю.О. Матросова, В.Д. Мачинського, С.І. Муромова, Г.О. Селіверстова, Ю.О. Табунцікова, О.М. Шкловера, С. Ayers, С. Balaras, К. Droutsas, А. Ignotas, Н. Kim, J. Kittle, Н. Park, та ін.

З теплоенергетичної точки зору, уявлення будинку як єдиної системи пов'язане з урахуванням декількох основних чинників: 1) впливу зовнішнього клімату на оболонку будівлі; 2) теплоінерційною властивістю внутрішніх і зовнішніх конструктивних елементів, енергією внутрішнього повітря тощо; 3) теплонадходженнями від технологічного обладнання і комунікацій, побутових тепловиділень тощо; 4) впливу внутрішнього клімату. Як наслідок, теплоенергетичний баланс будинку складається з 1) надходжень і втрат теплової енергії через огорожувальні конструкції (стіни,

перекриття); 2) тепловиділень від опалювальних приладів (радіаторів) та іншого технологічного обладнання і комунікацій, побутових тепловиділень; 3) надходжень і втрат теплової енергії через світлові пройми і двері; 4) тепловтрати за рахунок інфільтрації і повітрообміну.

Так, у роботі [97] розглядається методичний підхід до побудови математичної моделі будинку оснований на її декомпозиції трьома теплоенергетично взаємозв'язаними підсистемами (енергетичного впливу зовнішнього клімату на оболонку будинку, енергії його оболонки і внутрішньої енергії об'єму будинку), а математична модель будівлі як єдиної енергетичної системи представляється у вигляді системи трьох підмоделей, – зовнішнього клімату, теплопередачі через оболонку будівлі і променевого та конвективного теплообміну в приміщеннях будинку. Процеси формування теплового режиму приміщень і будинку описують за допомогою як ймовірнісних, так і детермінованих математичних моделей.

У нашому випадку моделювання складної енергетичної системи тепlopостачання, що охоплює велику кількість будинків різних архітектурно-будівельних конструкцій, доцільно застосовувати:

- квазідинамічні, детерміновані на інтервалах дискретизації температуро-часового простору, моделі розрахунків теплового балансу будинків, що оперують з середньостатистичними нормованими даними, адаптованими на кожному інтервалі дискретизації до умов функціонування системи теплозабезпечення будинків, без розподілення на променеву та конвективну складові;
- уніфіковані (типологізовані) архітектурно-будівельні форми будинків і відповідні моделі розрахунку їх теплових режимів;
- фактичні або прогнозовані метеорологічною службою на декілька діб наперед показники зовнішнього клімату для кожного географічного розташування системи тепlopостачання.

Типологія житлових і громадських будинків та типові заходи з енергозбереження у житловому фонді України у порівнянні з міжнародним

досвідом достатньо повно розглянуті в багатьох наукових працях і нормативних документах [97, 170-173].

За наведеними вихідними даними, для кожного регіону і навіть міста не є складним проведення додаткових уточнюючих досліджень для виявлення конкретних класів і загальних характеристик місцевих типових представників будинків, які мають охоплювати наявні будівельні технології та періоди забудови. У систематизованому вигляді такий підхід дозволяє розробляти універсальні методики і моделі підвищення ефективності використання теплової енергії в різних типах будинків та розраховувати потенціал економії енергоресурсів для житлового фонду міста, регіону та країни загалом. Наприклад, прийнята у Німеччині класифікація будинків розрізняє 38 уніфікованих типів будинків, а міста Ужгорода – 11 типів [170]. Останнє пояснюється жорсткою уніфікацією форм і практично однаковими параметрами конструктивних елементів і матеріалів, використовуваних у будівництві за радянські часи. Для України це: 1) одно-двох поверхові будинки 1886-1940 років забудови з кладкою з повнотілої цегли 30-38 см; 2) двоповерхові будинки 1932-1940 років забудови з кладкою з повнотілої цегли 45 см; 3) трьохповерхові будинки 1918-1938 років забудови з кладкою з повнотілої цегли 45 см; 4) трьохповерхові будинки 60-х років забудови з кладкою з повнотілої цегли 45 см; 5) п'ятиповерхові будинки 1958-1978 років забудови з кладкою з повнотілої цегли 45 см; 6) п'ятиповерхові будинки 1972-1990 років забудови з кладкою з повнотілої цегли 51 см; 7) дев'ятиповерхові будинки 1972-1990 років забудови з кладкою з повнотілої цегли 64 см; 8) восьмиповерхові будинки 1972-1990 років забудови з одношаровими керамзито-бетонними панелями 35 см; 9) дев'ятиповерхові будинки 1984-1992 років забудови з одношаровими керамзито-бетонними панелями 35 см; 10) десятиповерхові будинки 1972-1990 років забудови з одношаровими керамзито-бетонними панелями 35 см; 11) шістнадцятиповерхові будинки 1988-2004 років забудови з трьохшаровими керамзито-бетонними панелями 30 см і ізоляцією з пінополістиролу.

Як приклад використання наведеної типології, розглянемо представлену на Рис.2.4.2 структурну схему СП-ЦТ одного з районів міста обласного підпорядкування в Україні, що надає послуги з опалення для мешканців 26-ти житлових будинків. Як можна бачити з даних, відображених на цієї схемі та загальних паспортних характеристик будинків, представлених у Табл.2.4.1, їх типологія охоплюється п'яти і дев'ятиповерховими будинками 5÷9 класів.

Надалі, ці та інші характеристики огороджувальних конструкцій будинків, що визначають ефективність використання теплової енергії на опалення житлових і громадських

Таблиця 2.4.1. -

Загальна характеристика споживачів

№ будинку п/п	Характеристика опалюваного будинку (за проектом)					Питоме теплове навантаження
	Зовнішній об'єм м <sup>3</sup>	Рік забудови	Кільк. поверхів	Опал. площа м <sup>2</sup>	Теплове навантаження Гкал/год	ккал/год*м <sup>2</sup>
			шт	м <sup>2</sup>	Гкал/год	
1	12830	67	5	3776	0,213	56,4
2	12766	67	5	3820	0,212	55,5
3	33027	84	5	6806	0,490	72,0
4	21077	90	5	4382	0,312	71,2
5	27548	88	9	5874	0,386	65,7
6	39939	88	9	7731	0,591	76,4
7	17829	82	5	4247	0,264	62,2
8	19480	92	9	4025	0,289	71,8
9	34332	82	9	7323	0,509	69,5
10	27593	94	9	7758	0,409	52,7
11	28039	91	9	5748	0,416	72,4
12	47337	80	9	8784	0,702	79,9
13	42425	83	9	10864	0,629	57,9
14	18838	87	9	3810	0,279	73,2
15	19364	90	9	3774	0,287	76,1
16	37534	90	9	7851	0,556	70,8
17	15546	67	5	2532	0,258	101,9
18	31166	85	9	5070	0,383	75,5
19	34619	93	9	5609	0,513	91,5
20	41112	81	9	6114	0,609	99,6
21	41111	81	9	6345	0,609	96,0
22	51349	81	9	11379	0,760	66,8
23	39403	88	9	7976	0,584	73,2
24	29059	82	5	5129	0,431	84,0
25	14825	82	9	3091	0,226	73,1
26	18162	72	5	5126	0,266	51,9

будинків, будемо відображати саме на прикладі цих класів споживачів СЦТ, що ніяким чином не обмежуватиме можливості застосування пропонованої комп'ютерної моделі їх розрахунку на інші типи і класи споживачів, а за необхідності – і поширення на оригінальні архітектурно-будівельні

конструкції шляхом залучення спеціалізованих комп'ютерних програм моделювання енергоефективності будинків, наприклад, програми ВЕЕР.

Так, у Табл.2.4.2 наведений узагальнений перелік вихідних параметрів моделі розрахунку показників теплоенергетичної ефективності огорожувальних конструкцій багатопверхового будинку, їх позначення, одиниці виміру та розраховані за моделлю значення для дев'ятиповерхового будинку №5 (Табл.2.4.1), необхідні для подальших розрахунків витрат тепла на опалення цього будинку. Перелік вихідних даних включає: блок (модуль) коефіцієнтів теплопередачі будівельних конструкцій  $k$ -го будинку, які розраховуються або знаходяться за даними, наведеними у нормативної документації [97, 170-173]; блок об'ємно-планувальних показників будівлі, які визначаються за даними проведених енергетичних аудитів або за паспортними даними будинків; блок погодо-температурних факторів, де множина розрахункових і середніх температур  $T_{зовн} = \{T_{р.зовн}, T_{с.зовн}\}$  зовнішнього повітря та тривалість нормативного опалювального періоду  $Z_{норм}$  визначаються за даними нормативної документації [174, 175], а множина розрахункових і середніх величин градусо-днів опалювального періоду  $D_{опал} = \{D_{р.опал}, D_{с.опал}\}$  для  $k$ -го будинку розраховуються програмним інструментом, сформованим на базі табличного процесора, за узагальненою формулою:

$$D_{опал}^k = ЕСЛИ((T_{внут}^k - T_{зовн}^k) \leq 10; 0; (T_{внут}^k - T_{зовн}^k) \times Z_{опал}^k).$$

Під теплоенергетичною ефективністю огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків тут і далі будемо розуміти властивість теплоізоляційної оболонки будинків та їх інженерного обладнання забезпечувати оптимальні кліматичні умови приміщень при фактичних та/або розрахункових витратах теплової енергії на опалення будинків [173].

Таблиця 2.4.2. - Блок вихідних даних моделі розрахунку витрат тепла на опалення будинку

№	Найменування	Познач.	Одиниця виміру	Значення
<b>Коефіцієнти теплопередачі будівельних конструкцій</b>				
1	Опір теплопередачі зовнішніх стін	$R_{стін}$	( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт	1,61
2	Опір теплопередачі вікон	$R_{вікон}$	( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт	0,37
3	Опір теплопередачі дверей	$R_{двер}$	( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт	0,44
4	Опір теплопередачі склоблоків	$R_{склбл}$	( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт	0,62
5	Опір теплопередачі підвалу	$R_{підв}$	( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт	0,82
6	Опір теплопередачі даху	$R_{дах}$	( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт	0,82
7	Опір повітропроникнення вікон і дверей	$R_{пов}$	( $m^2 \cdot год \cdot Па$ )/кг	0,47
8	Різниця тисків внутр. і зовн. повітря для вікон і дверей	$\Delta_{пов}$	Па	41,50
<b>Об'ємно-планувальні показники будівлі</b>				
9	Кількість поверхів	$n$	шт.	9
10	Периметр внутрішньої поверхні зовнішніх стін	$P_{буд}$	м	133
11	Висота опалюваного об'єму будівлі	$h_{буд}$	м	30
12	Загальна площа стінових огорожень	$F_{стін}$	$m^2$	3585
13	Площа вікон	$F_{вікон}$	$m^2$	788
14	Площа зовнішніх дверей	$F_{двер}$	$m^2$	14
15	Площа склоблоків	$F_{склбл}$	$m^2$	0
16	Площа зовнішніх стін	$F_{стін}$	$m^2$	2797
17	Площа підвалу = площі поверху	$F_{підв}$	$m^2$	979
18	Площа даху	$F_{дах}$	$m^2$	1028
19	Загальна площа огорожувальної оболонки	$F_{буд}$	$m^2$	4613
20	Площа опалюваних приміщень	$F_{опал}$	$m^2$	5874
21	Площа житлових приміщень	$F_{житл}$	$m^2$	4921
22	Опалюваний об'єм будівлі	$V_{опал}$	$m^3$	17622
<b>Погодно-температурні фактори</b>				
23	Розрахункова температура внутрішнього повітря	$T_{р.вн}$	$^\circ C$	18,0
24	Розрахункова температура зовнішнього повітря	$T_{р.зовн}$	$^\circ C$	-22,0
25	Середня розрахункова температура зовнішнього повітря	$T_{с.зовн}$	$^\circ C$	-1,0
26	Розрахункова температура повітря підвалу	$T_{підв}$	$^\circ C$	5,0
27	Тривалість нормативного опалювального періоду	$Z_{опал}$	дб	180
28	Нормативна величина градусо-дб опалювального періоду	$D_{норм}$	$^\circ C \cdot доба$	3 750
29	Середня величина градусо-дб опалювального періоду	$D_{сер}$	$^\circ C \cdot доба$	3 420
30	Розрахункова величина градусо-дб опалювального періоду	$D_{розр}$	$^\circ C \cdot доба$	7 200

Враховуючи той факт, що огорожувальні конструкції будинків мають теплову інерцію [176], в якості розрахункової температури зовнішнього повітря  $T_{p.зовн}$  приймають середню температуру найбільш холодної п'ятиднівки з забезпеченістю 0,92 [173-175]. Такий вибір базується на тому експериментальному факті, встановленому К.Ф. Фокіним, що стіна з повнотілої цегли товщиною 64 см за умов постійної температури зовнішнього повітря має такі ж теплові втрати, як і за умов змінної температури, середнє значення якої за 5-ти добовий інтервал дорівнює вихідної постійної температури.

Перелік вихідних даних та розраховані за моделлю показники теплоенергетичної ефективності огорожувальних конструкцій багатопверхового будинку №5 наведені у Табл.2.4.2 та подовженні до неї. Перелік вихідних даних включає блок (модуль) коефіцієнтів формування теплового режиму приміщень і будинку у цілому та блок показників надходжень теплової енергії через вікна від сонячної радіації, які розраховуються окремо або знаходяться за рекомендаціями та даними, наведеними у нормативній і методичній документації [97, 170-173].

Використання ефекту К.Ф. Фокіна у моделі розрахунку показників теплоенергетичної ефективності огорожувальних конструкцій будинків дозволяє проводити коректні розрахунки цих показників не за опалювальний період у цілому, як це рекомендується у відомих методичних та нормативних матеріалах [173, 175], а за значно менший, 5-ти добовий інтервал часу, при цьому, як за розрахунковими, так і середніми нормативними і фактичними ( $T_{с.факт}$ ) за цей інтервал часу температурами зовнішнього повітря. Формалізуємо за таким підходом на площині табличного процесору процедуру автоматизованих розрахунків питомих витрат теплової енергії на опалення будинків, базуючись на даних, представлених у [173] в формульному, табличному і графічному вигляді.



Подовження Таблиці 2.4.2

№	Найменування	Познач.	Одиниця виміру	Значення
Коефіцієнти формування теплового режиму приміщень і будинку				
31	Коефіцієнт урахування температури повітря підвалу	$K_{підв}$	-	0,325
32	Коефіцієнт теплопередачі зовнішньої оболонки	$K_{нар}$	Вт/(м <sup>2</sup> •°С)	1,477
33	Кратність повітрообміну житлових приміщень	$n_{житл}$	1/год	0,986
34	Середня густина повітря за інфільтрацією	$h_{с.інф}$	кг/м <sup>3</sup>	1,254
35	Розрахункова густина повітря за інфільтр	$h_{р.інф}$	кг/м <sup>3</sup>	1,303
36	Кількість інфільтрованого повітря сходової клітини	$G_{інф}$	кг/год	74,712
37	Кратність повітрообміну сходової клітини	$n_{сход}$	1/год	0,004
38	Загальна кратність повітрообміну	$n_{заг}$	1/год	0,989
39	Коефіцієнт впливу зустрічного теплового потоку	$K_{зустр}$	-	0,700
40	Питома теплоємність повітря	$c_{пов}$	кДж/(кг•°С)	1,000
41	Коефіцієнт зниження об'єму повітря	$K_{пов}$	-	0,850
42	Розмірний коефіцієнт	$\alpha_1$	-	0,024
43	Середній умовний коефіцієнт теплопередачі будівлі	$K_{с.пер}$	Вт/(м <sup>2</sup> •°С)	0,784
44	Розрахунковий умовний коефіцієнт теплопередачі будівлі	$K_{р.пер}$	Вт/(м <sup>2</sup> •°С)	0,814
45	Середній загальний коефіцієнт теплопередачі будівлі	$K_{с.заг}$	Вт/(м <sup>2</sup> •°С)	2,261
46	Розрахунковий загальний коефіцієнт теплопередачі будівлі	$K_{р.заг}$	Вт/(м <sup>2</sup> •°С)	2,291
47	Питома побутові тепловиділення	$q_{поб}$	Вт/м <sup>2</sup>	10,000
Показники надходжень через вікна від сонячної радіації				
48	Коефіцієнт затінення вікон	$K_{зат}$	-	0,80
49	Коефіцієнт проникнення сонячної радіації вікон	$K_{прон}$	-	0,48
50	Площа світлових прорізів на північ	$F_{півн}$	м <sup>2</sup>	306,12
51	Площа світлових прорізів на схід	$F_{схід}$	м <sup>2</sup>	48,60
52	Площа світлових прорізів на захід	$F_{зах}$	м <sup>2</sup>	48,60
53	Площа світлових прорізів на південь	$F_{півд}$	м <sup>2</sup>	306,12
54	Середня величина сонячної радіації на північ	$I_{с.півн}$	кВт•год/м <sup>2</sup>	136,00
55	Середня величина сонячної радіації на схід	$I_{с.схід}$	кВт•год/м <sup>2</sup>	201,00
56	Середня величина сонячної радіації на захід	$I_{с.зах}$	кВт•год/м <sup>2</sup>	207,00
57	Середня величина сонячної радіації на південь	$I_{с.півд}$	кВт•год/м <sup>2</sup>	329,00
58	Коефіцієнт накопичення огорожувальних конструкцій	$\alpha_2$	-	0,80
59	Коефіцієнт авторегулювання	$\alpha_3$	-	0,50
60	Коефіцієнт дискретності	$\alpha_4$	-	1,13

Перелік показників, їх позначення, одиниці виміру та результати розрахунків за запропонованою моделлю значень теплоенергетичних показників типового будинку наведені у Табл. 2.4.3.

Таблиця 2.4.3. - Блок розрахунку витрат тепла на опалення будинку

№5

№	Найменування	Познач.	Одиниця виміру	Значення
<b>Розрахункові значення теплоенергетичних показників за опалювальний період</b>				
1	Загальні тепловтрати через огорожувальну оболонку	$Q_{p,a}$	МВт•год	1 827
2	Побутові теплонадходження в будівлю	$Q_{p,b}$	МВт•год	212,59
3	Теплонадходження від сонячної радіації	$Q_{p,c}$	МВт•год	62,27
4	Загальні витрати теплової енергії на опалення будинку	$Q_{p,заг}$	МВт•год	1 940
			Гкал	1 668
5	Питома витрата теплової енергії на опалення будівлі	$Q_{p,питг}$	МВт•год/м <sup>2</sup>	0,33
			Гкал/м <sup>2</sup>	0,28
6	Розрахункове теплове навантаження будівлі	$q_{p,нав}$	Гкал/год	0,39
			МВт	0,45
7	Питома витрата теплової потужності на опалення будівлі	$q_{p,питг}$	ккал/(год•м <sup>2</sup> )	65,73
			Вт/м <sup>2</sup>	76,44
<b>Середньорозрахункові значення теплоен. показників за опалювальний період</b>				
8	Загальні тепловтрати через огорожувальну оболонку	$Q_{с,a}$	МВт•год	856
9	Побутові теплонадходження в будівлю	$Q_{с,b}$	МВт•год	212,59
10	Теплонадходження від сонячної радіації	$Q_{с,c}$	МВт•год	62,27
11	Загальні витрати теплової енергії на опалення будинку	$Q_{с,заг}$	МВт•год	843,16
			Гкал	724,98
12	Питома витрата теплової енергії на опалення будівлі	$Q_{с,питг}$	МВт•год/м <sup>2</sup>	0,14
			Гкал/м <sup>2</sup>	0,12
13	Середнє розрахункове теплове навантаження будівлі	$q_{с,нав}$	Гкал/год	0,17
			МВт	0,20
14	Питома витрата теплової потужності на опалення будівлі	$q_{с,питг}$	ккал/(год•м <sup>2</sup> )	28,57
			Вт/м <sup>2</sup>	33,23

Як можна бачити, застосування запропонованої моделі показує, що розраховане теплове навантаження дев'ятиповерхового будинку №5, яке співпадає з фактичним, за означених у Табл.2.4.2 умов перевищує його середньорозрахункове теплове навантаження, визначене за методикою [173], у 2,29 рази. І це є об'єктивний факт (див. далі Рис.2.4.8).

Більш складним шляхом розраховуються ці показники на інтервалах дискретизації температуро-часового простору з урахуванням розташування

декількох джерел теплової енергії. Основна проблема, яку при цьому потрібно вирішувати, полягає у необхідності визначення в явному вигляді залежностей відповідних показників і ряду коефіцієнтів, наведених у Табл.2.4.2 і Табл.2.4.3, від температури зовнішнього повітря. Положення ускладнюється тим, що більшість залежностей тих показників і коефіцієнтів від температури визначено у неявному вигляді в формульній або ж у табличній і графічній формах.

Розв'язання цієї проблеми здійснюється за запропонованою моделлю на площині табличного процесору шляхом системного використання логічних предикатів і апроксимуючих функцій, в основному лінійних, на інтервалах дискретизації з автоматичною оцінкою величини достовірності апроксимації. Покажемо це.

За наявності у системі тепlopостачання міста (населеного пункту) декількох джерел теплової енергії  $BH = \{BH_1, BH_2, \dots, BH_n\}$ , де  $n$  – кількість джерел, для  $k$ -го будинку,  $k = \overline{1, m}$ , підключеного до  $i$ -го джерела,  $i = \overline{1, n}$ , на  $j$ -му часовому інтервалі,  $j = \overline{1, l}$ , до позначень, наведених у Табл.2.4.2-Табл.2.4.3, в якості верхнього індексу будемо додавати означення номерів джерел, будинків і часового інтервалу. Тобто, наприклад, розрахункову температуру зовнішнього повітря (поз.24 Табл.2.4.2) далі у загальному вигляді будемо позначати як  $T_{p.зовн}^{BH_{i,j}^k}$ .

Тоді, розрахункові значення теплоенергетичних показників будинків за опалювальний період будуть визначатися за наступними формулами:

- загальна витрата теплової енергії на опалення  $k$ -го будинку, МВт·год:

$$Q_{p.заг}^{BH_{i,j}^k} = \begin{cases} \text{ЕСЛИ}(Q_{p.a}^{BH_{i,j}^k} > (Q_{p.б}^{BH_{i,j}^k} + Q_{p.c}^{BH_{i,j}^k}) \cdot a_2^{BH_{i,j}^k} \cdot a_3^{BH_{i,j}^k}; 0; \\ (Q_{p.a}^{BH_{i,j}^k} - (Q_{p.б}^{BH_{i,j}^k} + Q_{p.c}^{BH_{i,j}^k}) \cdot a_2^{BH_{i,j}^k} \cdot a_3^{BH_{i,j}^k}) \cdot a_4^{BH_{i,j}^k}; \end{cases} \quad (2.4.1)$$

- загальні втрати теплової енергії будинку через огорожувальну оболонку  $k$ -го будинку

$$Q_{p.a}^{BH^k} = a_1^{BH^k} \cdot K_{p.zaг}^{BH^k} \cdot D_{розр}^{BH^k} \cdot F_{буд}^{BH^k} \cdot 10^{-3}; \quad (2.4.2)$$

$$K_{p.zaг}^{BH^k} = K_{нар}^{BH^k} + K_{p.пер}^{BH^k};$$

$$K_{нар}^{BH^k} = a_4^{BH^k} \cdot (F_{стін}^{BH^k} / R_{стін}^{BH^k} + F_{вікон}^{BH^k} / R_{вікон}^{BH^k} + F_{двер}^{BH^k} / R_{двер}^{BH^k} + F_{зор}^{BH^k} / R_{зор}^{BH^k} + K_{нідв}^{BH^k} \cdot F_{нідв}^{BH^k} / R_{нідв}^{BH^k}) / F_{буд}^{BH^k};$$

$$K_{p.пер}^{BH^k} = a_5^{BH^k} \cdot c_{нов}^{BH^k} \cdot K_{нов}^{BH^k} \cdot n_{заг}^{BH^k} \cdot h_{p.нар}^{BH^k} \cdot K_{зуст}^{BH^k} \cdot V_{опал}^{BH^k} / F_{буд}^{BH^k};$$

$$a_5^{BH^k} = 0,278 \text{ – розмірний коефіцієнт;}$$

- побутові теплонадходження в  $k$ -ту будівлю

$$Q_{p.б}^{BH^k} = a_1^{BH^k} \cdot q_{ноб}^{BH^k} \cdot Z_{опал}^{BH^k} \cdot F_{житл}^{BH^k} \cdot 10^{-3}; \quad (2.4.3)$$

- теплові надходження через вікна від сонячної радіації для чотирьох, орієнтованих за сторонами світу, фасадів  $k$ -го будинку,

$$Q_{p.c}^{BH^k} = K_{зат}^{BH^k} \cdot K_{прон}^{BH^k} (F_{півн}^{BH^k} \cdot I_{c.півн}^{BH^k} + F_{схід}^{BH^k} \cdot I_{c.схід}^{BH^k} + F_{зах}^{BH^k} \cdot I_{c.зах}^{BH^k} + F_{півд}^{BH^k} \cdot I_{c.півд}^{BH^k}) \cdot 10^{-3}; \quad (2.4.4)$$

- розрахункове значення питомої витрати теплової енергії на опалення  $k$ -го будинку

$$Q_{p.нит}^{BH^k} = Q_{p.zaг}^{BH^k} / F_{опал}^{BH^k}; \quad (2.4.5)$$

- розрахункове теплове навантаження на опалення  $k$ -го будинку

$$q_{p.нав}^{BH^k} = Q_{p.zaг}^{BH^k} / Z_{опал}^{BH^k} / 24; \quad (2.4.6)$$

- розрахункове значення питомої витрати теплової потужності на опалення  $k$ -го будинку

$$q_{p.лит}^{BH_{i,j}^k} = q_{p.нав}^{BH_{i,j}^k} / F_{опал}^{BH_{i,j}^k} . \quad (2.4.7)$$

За аналогічними (2.4.1)-(2.4.7) формулами визначаються і середньо розрахункові значення розглянутих теплоенергетичних показників, чисельні значення яких, розраховані для будинку №5 (поз.5 Табл.2.4.1), також наведені у Табл.2.4.2 і Табл.2.4.3.

Як можна бачити, формули (2.4.1)-(2.4.7) відрізняються від формул, наведених у [173], логічними предикатами *ЕСЛИ* табличного процесора. Застосування в автоматизованих розрахунках цього предикату, який перевіряє задані його аргументами умови і в залежності від результату перевірки повертає одне з розрахованих значень цих аргументів, дозволяє значно розширити можливості логічного аналізу даних і прийняття управлінських рішень на їх основі.

Так, функція (предикат) *ЕСЛИ* табличного процесора Microsoft Excel має наступний синтаксис: *ЕСЛИ(логічний вираз; значення якщо істина; значення якщо хибність)*, де в аргументі «логічний вираз» можна застосовувати будь-який оператор порівняння, а аргументи «значення» можуть бути константами, формулами та/або посиланнями на функціональні комірки процесора. Допускається використання декількох (до 64) вкладених в одну формулу функцій *ЕСЛИ* [178]. Наприклад, формула

$$ЕСЛИ(T_{зовн} < 10; A1; (ЕСЛИ(T_{зовн} > 10; A2; A3)))$$

повертає значення однієї з трьох комірок (*A1*, *A2*, *A3*) в залежності від значення температури зовнішнього повітря.

Побудований на основі вкладених функцій *ЕСЛИ* оригінальний програмний інструмент  $\overline{BUILD}$ , призначений для розрахунків фактичного теплового навантаження будинку  $q_{ф.нав}^{BH_{i,j}^k}$  в залежності від змін фактичної температури зовнішнього повітря, формалізовано у вигляді:

$$\begin{aligned}
& \overline{BUILD} \left\{ q_{\text{ф.нав}}^{BH_{i,j}^k} \right\} \Leftrightarrow \\
& \left\{ = \text{ЕСЛИ} \left( \left\{ \hat{Q}_{p.a}^{BH_{i,j}^k} \right\} \times \text{ЕСЛИ} \left( \left( \left\{ T_{p.вн}^{BH_{i,j}^k} \right\} - \left\{ T_{c.факт}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right) \leq 8; 0; \right. \right. \\
& \left. \left. \left( \left\{ T_{p.вн}^{BH_{i,j}^k} \right\} - \left\{ T_{c.факт}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right) \right) \geq \left( \left\{ \hat{Q}_{p.б}^{BH_{i,j}^k} \right\} + \left\{ \hat{Q}_{p.с}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right); \right. \\
& \left. \left. \left( \left\{ \hat{Q}_{p.a}^{BH_{i,j}^k} \right\} \times \left( \left\{ T_{p.вн}^{BH_{i,j}^k} \right\} - \left\{ T_{c.факт}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right) \right) - \left( \left\{ \hat{Q}_{p.б}^{BH_{i,j}^k} \right\} + \left\{ \hat{Q}_{p.с}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right); 0 \right) \right\}.
\end{aligned} \tag{2.4.8}$$

У формулі (2.4.8) знак алгебри логіки  $\Leftrightarrow$  указує на те, що вираз зліва є означенням виразу справа. При цьому, у круглих дужках програмних інструментів розміщуються множини, означені фігурними дужками, чисельні значення елементів яких упорядковуються за індексами  $i, j, k$  в залежності від зміни усереднених за визначений інтервал часу фактичних температур зовнішнього повітря  $T_{c.факт}^{BH_{i,j}^k}$  у встановленому обмеженнями діапазоні. Знак «^» над позначеннями змінних витрат і витрат теплової енергії означає, що їх значення розраховуються за формулою, аналогічною (2.4.6), на одну одиницю тривалості опалювального періоду та за фактичними температурами внутрішнього і зовнішнього повітря.

Розраховані програмним інструментом  $\overline{BUILD}$  залежності розрахункової та фактичних величин теплового навантаження для будинку №5 за опалювальний період тривалістю 166 діб з середньою за цей період температурою зовнішнього повітря  $-1,7^{\circ}\text{C}$  показані на Рис.2.4.8.

Зрозуміло, що розрахунок параметрів форми цього графіка протягом кожної доби опалювального періоду надає у подальшому можливості оптимального управління витратами первинного палива на виробництво теплоти та оптимального вибору режимів використання встановленої потужності енергетичного обладнання джерел теплової енергії.

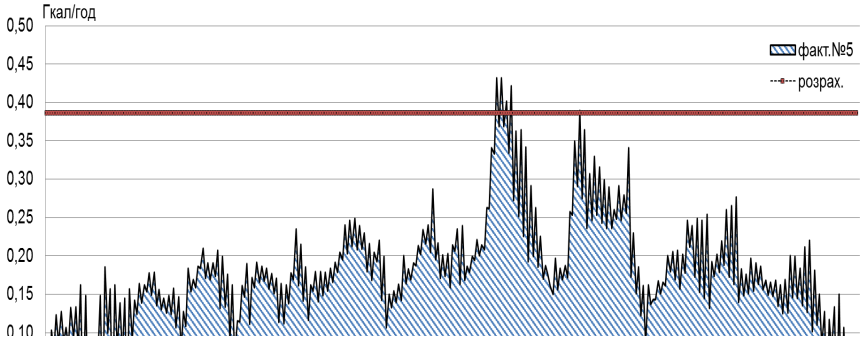
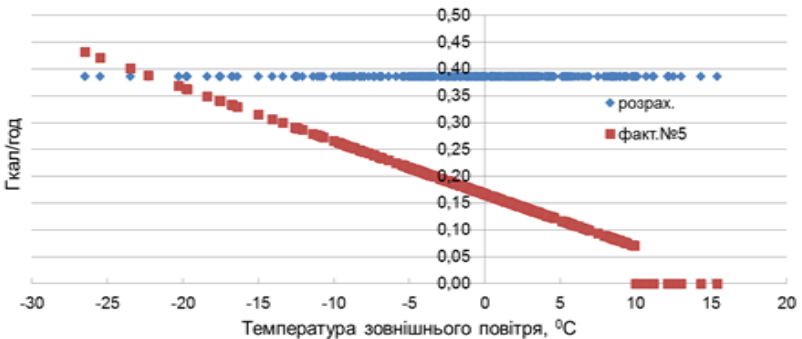


Рисунок 2.4.8 – Зміни розрахованої та розрахованої фактичної величини теплового навантаження будинку протягом опалювального періоду



330

Рисунок 2.4.9 – Залежності розрахованої та розрахованої фактичної величини теплового навантаження будинку від температури зовнішнього повітря

Слід зазначити, що використання моделі (2.4.8), побудованої шляхом лінійної інтерполяції температурних залежностей, наведених у формульній, табличній і графічній формах в методичних та нормативних матеріалах [173, 177], значно спрощує проведення розрахунків. При цьому, відносна похибка розрахунків за моделлю не перевищує 0,9% у всьому діапазоні зміни

температур зовнішнього і внутрішнього повітря, а також розрахункової і середньорозрахункової температур.

На Рис.2.4.9 наведено розраховані за моделлю залежності фактичної та розрахункової величин теплового навантаження будинку №5 з середньою за опалювальний період температурою зовнішнього повітря  $-1,7^{\circ}\text{C}$ .

Для подальших багатоваріантних розрахунків оптимальних значень теплоенергетичних показників будинків (2.4.1)-(2.4.7) при змінах температури зовнішнього повітря доцільно використовувати програмні інструменти *НАКЛОН* і *ОТРЕЗОК* табличного процесора, які розраховують коефіцієнти  $\alpha$  і  $\beta$  рівнянь лінійної парної регресії, та *КВПИРСОН* (для знаходження квадрата коефіцієнта кореляції Пірсона  $R^2$ ) [178].

Для цього формалізуємо власну Excel-функцію користувача *BUILD*, призначену для розрахунку не залежних від часу коефіцієнтів  $\alpha$  і  $\beta$  лінеаризованої залежності величини теплового навантаження будинку

$q_{\text{ф.нав}}^{BH^k}$  від величини градусо-доби  $D_{\text{ф.нав}}^{BH^k}$ , яку будемо визначатиме як різницю внутрішньої розрахункової (або фактичної) температури приміщень  $T_{\text{р.вн}}^{BH^k}$  і фактичної температури зовнішнього повітря  $T_{\text{с.факт}}^{BH^k}$  для кожного інтервалу дискретизації часу, що розглядається (див. також формулу (2.4.8)).

Формули для розрахунків мають вигляд:

$$\begin{cases} q_{\text{ф.нав}}^{BH^k} = 0, \text{ якщо } D_{\text{ф.нав}}^{BH^k} < 8; \\ q_{\text{ф.нав}}^{BH^k} = \alpha_{\text{ф.нав}}^{BH^k} \times D_{\text{ф.нав}}^{BH^k} + \beta_{\text{ф.нав}}^{BH^k}, \text{ якщо } D_{\text{ф.нав}}^{BH^k} \geq 8. \end{cases} \quad (2.4.9)$$



$$\begin{aligned}
 & BUILD \left\{ q_{\text{ф.нав}}^{BH_{i,j}^k} \right\} \Leftrightarrow \\
 & \left\{ = BUILD \left( \left\{ D_{\text{ф.нав}}^{BH_{i,j}^k} \right\}; \left\{ \alpha_{\text{ф.нав}}^{BH_{i,j}^k} \times D_{\text{ф.нав}}^{BH_{i,j}^k} \right\}; \left\{ \beta_{\text{ф.нав}}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right) \right\}; \\
 & \alpha_{\text{ф.нав}}^{BH_{i,j}^k} = \text{НАКЛОН}(\{ \overline{BUILD} \}; \{ D_{\text{ф.нав}}^{BH_{i,j}^k} \}); \quad (2.4.10) \\
 & \beta_{\text{ф.нав}}^{BH_{i,j}^k} = \text{ОТРЕЗОК}(\{ \overline{BUILD} \}; \{ D_{\text{ф.нав}}^{BH_{i,j}^k} \}); \\
 & R_{\text{ф.нав}}^2 = \text{КВПИРСОН}(\{ \overline{BUILD} \}; \{ D_{\text{ф.нав}}^{BH_{i,j}^k} \}).
 \end{aligned}$$

Наприклад, розрахунки коефіцієнтів  $\alpha$  і  $\beta$  рівнянь лінійної парної регресії за Excel-функціями (2.4.8) та (2.4.10) для означених вище параметрів будинку №5 визначають:

$$\alpha_{\text{ф.нав}} = 1,002 * 10^{-2}; \quad \beta_{\text{ф.нав}} = -1,732 * 10^{-2}; \quad R^2 = 1,000. \quad (2.4.11)$$

Результати розрахунків величин теплового навантаження будинку №5 з середньою за опалювальний період температурою зовнішнього повітря  $-1,7$  °С, виконаних для будинків №5, №6 та №8 (див. Табл.2.4.1), в залежності від значення градусо-добы означеного опалювального періоду, наведені на Рис.2.4.10.

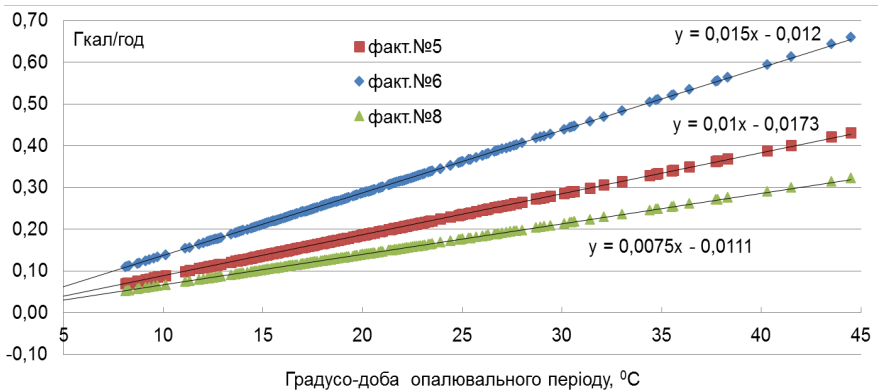


Рисунок 2.4.10 – Залежність розрахованої фактичної величини теплового навантаження для трьох різних будинків від питомого значення градусо-добы

Для порівняння, на Рис.2.4.11 наведено результати ранжирування всіх 26 будинків, підключених до джерела теплової енергії (Рис.2.4.2), за питомою витратою теплової потужності на 1 градусо-добу. Можна бачити, що заходи з підвищення ефективності використання теплової енергії доцільно, у першу чергу, застосовувати до будинків з порядковими номерами 17, 20, 21, 19 та 24 (див. Табл.2.4.1), питомі витрати яких перевищують середнє розрахункове значення.

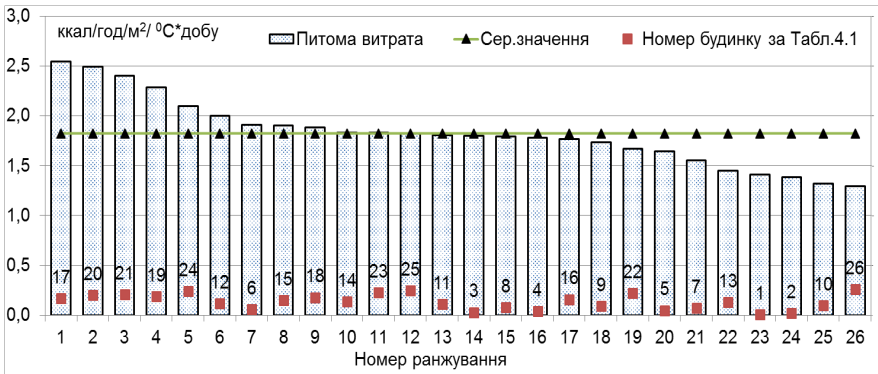


Рисунок 2.4.11 – Ранжування будинків за порядком зниження величини питомої витрати розрахункової теплової потужності

На Рис.2.4.12 представлені результати розрахунків обсягів споживання теплової енергії будинком №17 за інтервалами день/ніч опалювального періоду. Нахиленим штрихуванням виділено область зменшення обсягів споживання за рахунок впровадження енергозберігаючих проектів (ЕЗП), спрямованих на покращення коефіцієнтів теплопередачі будівельних конструкцій будинка: стін з 0,71 на 2,51; підвалу з 0,59 на 0,81; і орища з 0,59 на 0,81.

При цьому, зі спожитих будинком №17 за опалювальний період 497,2 Гкал теплової енергії, обсяг потенціального енергозбереження складе 179,8 Гкал (тобто більше 30% від загального обсягу споживання), а за всіма 26-ю будинками системи – 4803,2 Гкал збереженої теплової енергії, тобто більше 20% наявного теплоспоживання 20767,5 Гкал. За цих умов, зменшення

обсягів викидів CO<sub>2</sub> 26-ю будинками системи складе 1,87 тис. т/рік, а зменшення відповідних виплат за податком на викиди – 61,9 \$/рік.

В якості параметрів управління підвищенням 3-Е ефективності теплозабезпечення будинків за пропонованою моделлю насамперед використовуються обсяги енергозбереження і викидів CO<sub>2</sub>, а також ціни на первинні паливно-енергетичні ресурси і тарифи на опалення та гаряче водопостачання. Оптимізація цих параметрів здійснюється у процесі проведення аналізу показників 3-Е ефективності реалізації ЕЗП за життєвий цикл застосованої продукції, обладнання, матеріалів тощо (Life Cycle Cost Analysis) шляхом мінімізації сумарних витрат теплової енергії будинком (групою будинків, системою тощо) за умов забезпечення потреб споживачів.

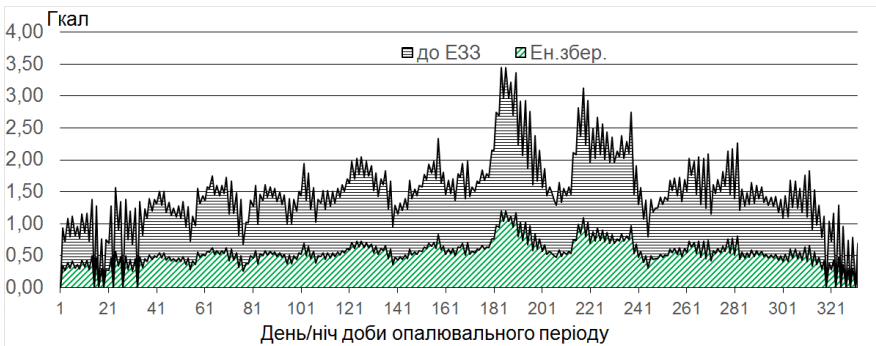


Рисунок 2.4.12 – Обсяги споживання теплової енергії будинком №17 за інтервалами день/ніч опалювального періоду

У цілому можна констатувати, що за формулами (2.4.1)-(2.4.11) і результатами проведених техніко-економічних розрахунків, відображеними на Рис.2.4.8 – Рис.2.4.12, формалізовано і експериментально апробовано оригінальну модель розрахунку показників 3-Е ефективності використання теплової енергії на опалення житлових и громадських будинків, побудовану на системно узгоджених стандартних і власно сформованих Excel-функціях і підпрограмах лінійної інтерполяції та екстраполяції вихідних даних, диференційованих у табличному процесорі Excel (і паралельних листах процесора тощо) за 12-годинними змінами екзогенних та ендегенних

параметрів системи протягом всього опалювального періоду, синхронізованих зі змінами температури зовнішнього повітря.

Головною перевагою запропонованої моделі є можливість одночасного визначення прямих залежностей часових змін системи показників ефективності використання теплової енергії в умовах впливу сукупності факторів, відображених у моделі коефіцієнтами теплопередачі будівельних конструкцій, об'ємно-планувальними показниками будівель, погоднотемпературними факторами, коефіцієнтами формування теплового режиму приміщень і будинків, показниками надходжень через вікна від сонячної радіації тощо. На цій основі за моделлю розраховуються величини тепловтрат через огорожувальну оболонку, побутових теплонадходжень і надходжень тепла від сонячної радіації та визначаються загальні і питомі витрати теплової енергії на опалення будинку, у тому числі розрахункове теплове навантаження будівлі з 12-годинним шагом дискретизації за весь опалювальний період.

#### **2.4.3. Метод та засіб реалізації потенціалу енергозбереження в розподільних теплових мережах системи централізованого теплопостачання**

Розподільна тепла мережа за своїм призначенням є розгалуженою системою, яка складається з множини енергетичних установок, регулюючого обладнання і трубопроводів, які забезпечують транспортування теплоносія від джерела теплової енергії (котельні чи теплоелектроцентралі), центрального теплового пункту або магістральної теплової мережі до теплових ввідів споживача, – групи житлових и громадських будинків, компактно розташованих у районах міста (населеного пункту тощо) [179-181].

Комплексна оцінка енергетичної ефективності функціонування розподільних теплових мереж проводиться з урахуванням залежності втрат

теплової енергії від конструктивних характеристик теплових мереж, режимів їх роботи, умов експлуатації та технічного стану мереж, зовнішніх кліматичних факторів тощо і базується на системі показників, серед яких, у першу чергу, розрізняють такі, як: питома середньочасова витрата теплоносія на одиницю розрахункового теплового навантаження; різниця температур теплоносія в подавальному і зворотному трубопроводах; питома витрата електроенергії на транспортування і розподіл теплової енергії (гідравлічна енергетична характеристика); величина питомих втрат теплоти через теплоізоляційні конструкції і витоки (витрати тощо) теплоносія (теплова енергетична характеристика); витрати теплоносія на пускові заповнення теплових мереж і проведення планових випробувань; витрати на технологічні зливи в засобах автоматичного регулювання і захисту тощо.

В системах централізованого теплопостачання житлових будинків и громадських споруд в якості теплоносія використовується спеціально оброблена мережна вода, температура якої (потенціал) визначається режимами транспортування і споживання теплової енергії.

У двотрубних системах теплопостачання різниця потенціалів (температур) у подавальному і зворотному трубопроводах є основним екзогенним параметром, який визначає витрати і втрати теплоносія в мережах, що залежать від таких ендогенних параметрів і характеристик мережі як довжини і діаметри трубопроводів, способи їх прокладання, параметри і характеристики теплової ізоляції тощо.

В залежності від вимог до якості та ефективності теплопостачання розрізняють закриті і відкриті системи. У закритій системі теплопостачання підсистема гарячого водоспоживання (ГВС) та інші споживачі приєднані до теплових мереж через теплообмінні апарати, внаслідок чого вода, що циркулює в тепловій мережі, використовується виключно як теплоносії і з мережі не відбирається, на відміну від відкритої системи, де вона відбирається для потреб ГВС.

За структурною схемою, розрізняють радіальні (тупикові) та кільцеві мережі. Тупикові схеми є найбільш поширеними при побудові розподільних теплових мереж, що живляться від одного джерела. По мірі віддалення від цього джерела, система трубопроводів розгалужується, а їх діаметри зменшуються. За наявності у місті (населеному пункті) декількох джерел теплової енергії  $BH = \{BH_1, BH_2, \dots, BH_n\}$ , де  $n$  – кількість джерел, між ними встановлюються перемички, які підвищують надійність та, в деяких випадках, і енергетичну ефективність системи тепlopостачання. У великих містах джерела за допомогою магістральних трубопроводів зазвичай з'єднуються у кільцеву схему.

Теплове навантаження на опалення та гаряче водopостачання кожного з житлових будинків головним чином залежить від температури зовнішнього повітря та теплоізоляційних параметрів конструктивних елементів будівель. В СЦТ це навантаження, як правило, регулюють зміною температури і витратою теплоносія. При цьому використовують або якісне регулювання, яке здійснюють шляхом зміни потенціалів (температури) теплоносія при постійній його витраті, або кількісне – шляхом зміни кількості теплоносія при постійному потенціалі. На практиці регулювання здійснюють за так званим температурним (опалювальним) графіком розрахункових значень температури теплоносія у подавальному і зворотному трубопроводах (після джерела тепlopостачання на вході в теплову мережу споживача і після його повернення від споживачів), які залежать від розрахункової зовнішньої температури повітря (для систем опалення). Найбільш поширеними є графіки  $95-70$   $^{\circ}C$  і  $150-70$   $^{\circ}C$ , де перша складова визначає розрахункову температуру у подавальному ( $T_{p.под}^{BH_{i,j}}$ ), а друга – у зворотному ( $T_{p.звор}^{BH_{i,j}}$ ) трубопроводі  $i$ -го джерела,  $i = \overline{1, n}$ , на  $j$ -му часовому інтервалі,  $j = \overline{1, l}$ , при розрахунковій температурі зовнішнього повітря

$T_{p.зовн}^{BH_{i,j}}$  найбільш холодної п'ятиднівки забезпеченістю 0,92 (визначається в залежності від географічної зони розташування міста за кліматичними нормами) [174, 175].

У випадку програмної реалізації модуля структурно-параметричної оптимізації системи транспортування (розподілення) теплової енергії в межах багаторівневої моделі управління підвищенням 3-Е ефективності системи КТЕ, будемо застосовувати:

- квазідинамічні, детерміновані на інтервалах дискретизації температуро-часового простору, моделі розрахунків теплового балансу втрат і витрат енергії (теплоносія) у гілках теплової мережі, що оперують з середньстатистичними нормованими даними, адаптованими на кожному інтервалі дискретизації до умов функціонування системи транспортування;
- уніфіковані (типологізовані) моделі складових елементів (об'єктів) мережі;
- модель розрахунку гідравлічних режимів роботи мережі на основі нормативних показників функціонування мережі та калібрування розрахункових даних за даними приладового обліку витрат і втрат теплової енергії і теплоносія в мережі;
- фактичні або прогнозовані метеорологічною службою на декілька діб наперед показники зовнішнього клімату для кожного географічного розташування системи тепlopостачання.

В якості основних напрямів підвищення 3-Е ефективності системи транспортування (розподілення) теплової енергії, насамперед, розглянемо можливості оптимізації параметрів температурного графіка регулювання теплового навантаження системи, мінімізації втрат теплової енергії в гілках мережі через ізоляцію і витоки, мінімізації витрат електроенергії на транспорт теплоносія, мінімізації обсягів викидів CO<sub>2</sub>, виконання енергозберігаючих проектів.

Реалізацію моделі почнемо з побудови температурного графіка якісного регулювання теплового навантаження, використовуючи величини розрахункових температур теплоносія у подавальному  $T_{p.под}^{BH_{i,j}}$  і зворотному  $T_{p.звор}^{BH_{i,j}}$  трубопроводах та зовнішньої  $T_{p.зовн}^{BH_{i,j}}$  і внутрішньої (у приміщеннях)  $T_{p.вн}^{BH_{i,j}}$  температури повітря. Для двотрубних систем опалення з чавунними нагрівальними приладами температура теплоносія у подавальному і зворотному трубопроводах при довільно взятої температурі зовнішнього повітря  $T_{зовн}^{BH_{i,j}}$  визначається формулами [179-180]:

$$\begin{aligned}
 T_{под}^{BH_{i,j}} &= T_{p.вн}^{BH_{i,j}} + (K_{прив}^{BH_{i,j}})^{0,76} \cdot (T_{сер}^{BH_{i,j}} - T_{p.вн}^{BH_{i,j}}) + \\
 &+ K_{прив}^{BH_{i,j}} \cdot (T_{p.под}^{BH_{i,j}} - T_{сер}^{BH_{i,j}}); \\
 T_{звор}^{BH_{i,j}} &= T_{под}^{BH_{i,j}} - K_{прив}^{BH_{i,j}} \cdot (T_{p.под}^{BH_{i,j}} - T_{p.звор}^{BH_{i,j}}), \\
 де: K_{прив}^{BH_{i,j}} &= (T_{p.вн}^{BH_{i,j}} - T_{зовн}^{BH_{i,j}}) / (T_{p.вн}^{BH_{i,j}} - T_{p.зовн}^{BH_{i,j}}); \\
 T_{сер}^{BH_{i,j}} &= (T_{p.под}^{BH_{i,j}} + T_{p.звор}^{BH_{i,j}}) / 2.
 \end{aligned}
 \tag{2.4.12}$$

Зрозуміло, що розрахункова величина теплового навантаження співпадає з фактичним навантаженням тільки при температурі  $T_{p.зовн}^{BH_{i,j}}$ .

Для подальших автоматизованих розрахунків оптимальних залежностей між температурами теплоносія у подавальному і зворотному трубопроводах та температурою зовнішнього повітря, необхідних для визначення втрат і витрат теплової енергії при її транспортуванні мережами, сформуємо власну Excel-функцію користувача, представлену формулою (2.4.13) та призначену для розрахунків параметрів температурних графіків якісного регулювання теплового навантаження  $i$ -го джерела на  $j$ -му часовому інтервалі. У формулі (2.4.13) знак алгебри логіки  $\Leftrightarrow$  указує на те, що вираз



зліва є означенням виразу справа. Зрозуміло, що для кожної географічної зони розташування котельні, Ексел-функції (2.4.13) мають бути розраховані окремо для кожного з використовуваних нормативно-розрахункових (95-70 °С, 150-70 °С тощо) і фактично-застосованих температурних графіків, тобто функції:

$$HEATCURVE^{(норм)} \left\{ T_{под,звор}^{BH_{i,j}} \right\}; HEATCURVE^{(факт)} \left\{ T_{под,звор}^{BH_{i,j}} \right\}.$$

$$HEATCURVE \left\{ T_{под,звор}^{BH_{i,j}} \right\} \Leftrightarrow$$

$$\left\{ = HEATCURVE \left( \left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ \alpha_{под,звор}^i T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ \beta_{под,звор}^i \right\} \right) \right\},$$

$$T_{под}^{BH_{i,j}} = \alpha_{под}^i T_{зовн}^{BH_{i,j}} + \beta_{под}^i, \quad T_{звор}^{BH_{i,j}} = \alpha_{звор}^i T_{зовн}^{BH_{i,j}} + \beta_{звор}^i.$$

$$В температурному діапазоні  $-25^0 C \leq \left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\} \leq 10^0 C :$$$

$$\alpha_{под}^i = НАКЛОН \left( \left\{ T_{под}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\} \right)_j;$$

$$\beta_{под}^i = ОТРЕЗОК \left( \left\{ T_{под}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\} \right)_j;$$

(2.4.13)

$$R_{под}^2 = КВПИРСОН \left( \left\{ T_{под}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\} \right)_j;$$

$$\alpha_{звор}^i = НАКЛОН \left( \left\{ T_{звор}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\} \right)_j;$$

$$\beta_{звор}^i = ОТРЕЗОК \left( \left\{ T_{звор}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\} \right)_j;$$

$$R_{звор}^2 = КВПИРСОН \left( \left\{ T_{звор}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\} \right)_j \quad j = \overline{I, l}.$$

Відмітимо, що у круглих душках програмних інструментів розміщуються множини, означені фігурними душками, чисельні значення

елементів яких попарно упорядковуються за індексом  $j$  (прямі душки) в залежності від зміни температури зовнішнього повітря у встановленому обмеженні діапазоні.

Для прикладу, на Рис.2.4.13 наведено температурний графік якісного регулювання теплового навантаження котельні за графіком 95-65 °C при  $T_{p.зовн}^{BH,i,j} = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$  та  $T_{p.вн}^{BH,i,j} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Розрахунки коефіцієнтів  $\alpha$  і  $\beta$  рівнянь лінійної парної регресії за Excel-функціями (2.4.13) для даних параметрів температурного графіку, визначають:

$$\begin{aligned} \alpha_{под} &= -1,710; \beta_{под} = 57,94; R^2 \geq 0,999 \\ \alpha_{звор} &= -0,960; \beta_{звор} = 44,44; R^2 \geq 0,997. \end{aligned} \tag{2.4.14}$$

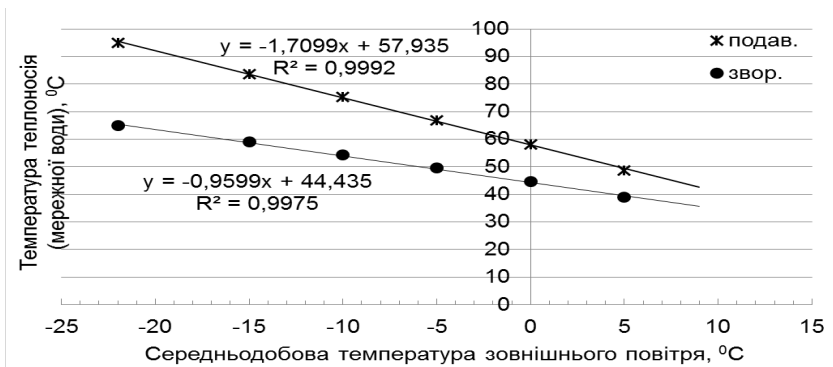


Рисунок 2.4.13 – Температурний графік 95-65 °C якісного регулювання теплового навантаження котельні

У подальшому, включимо означені Excel-функції (інструменти) в оригінальні підпрограми *LOSSCALC* і *NETWLOSS* розрахунків втрат і витрат теплоти за різними графіками регулювання теплового навантаження котельних з урахуванням впливу інших екзогенних параметрів шляхом додавання інструменту *ЛИНЕЙН* множинної лінійної регресії.

Температурні графіки застосовуються на практиці не тільки для визначення оптимальних, з точки зору енергоефективності використання

ПЕР, режимів роботи котельного обладнання в залежності від зміни температури зовнішнього повітря. Водночас, вони слугують й інструментом контролю порушень цих режимів. Так, на Рис.2.4.14, представлений фактичний графік, розрахований за допомогою функції (підпрограми) *HEATCURVE* на основі експериментальних даних, з якого не важко помітити, що замість нормативно-розрахункового графіку  $95-70^{\circ}\text{C}$  у даній котельні використовується графік  $87-65^{\circ}\text{C}$ , який, до того ж, помітно порушується на окремих інтервалах зміни температури зовнішнього повітря.

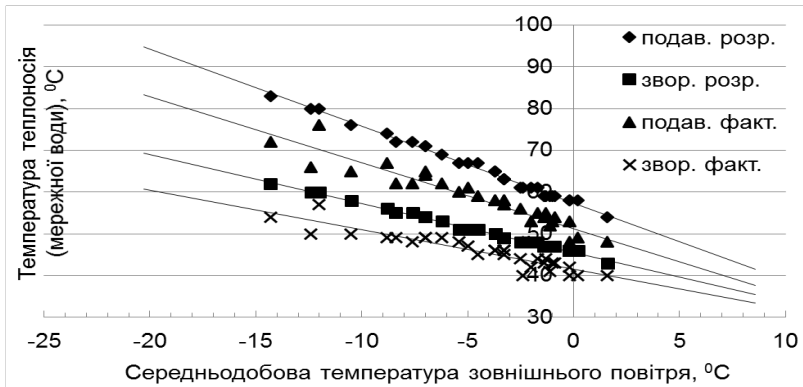


Рисунок 2.4.14 – Температури теплоносія фактичні та згідно розрахункового температурного графіку  $95-70^{\circ}\text{C}$  якісного регулювання теплового навантаження котельні

Автоматизоване визначення нормативних і фактичних експлуатаційних втрат теплової енергії в розподільній мережі, схема та конструктивні характеристики ділянок якої (діаметри і довжині трубопроводів) наведені на Рис.2.4.2, будемо проводити за допомогою розробленої підпрограми *LOSSCALC* з урахуванням даних про типи прокладки та види теплової ізоляції у відповідності з вимогами методично-нормативних документів [169, 177, 180, 182-184], де ці дані представлені у табличній формі.

За означеними методично-нормативними документами, кількість теплової енергії  $\widetilde{W}_{мрж}^{BH^k}_{i,j}$ , що втрачається у тепловій мережі при транспортуванні теплоносія, визначається як сума втрат через ізольовані

поверхні подавальних  $\widetilde{W}_{под}^{BH^k}$  і зворотних  $\widetilde{W}_{звор}^{BH^k}$  трубопроводів та втрат  $\widetilde{W}_{вут}^{BH^k}$  з витоками теплоносія на кожній з  $k$ -их ділянок трубопроводів,  $k = \overline{1, m}$ , для кожного з  $n$  джерел за  $l$  часових інтервалів:

$$\widetilde{W}_{мрж}^{BH} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^m (\widetilde{W}_{ізол}^{BH^k} + \widetilde{W}_{вут}^{BH^k}), \text{ Гкал,} \quad (2.4.15)$$

$$\text{де } \widetilde{W}_{ізол}^{BH} = \widetilde{W}_{под}^{BH^k} + \widetilde{W}_{звор}^{BH^k}.$$

Для випадку двотрубного прокладання сума втрат через ізольовані поверхні подавальних і зворотних трубопроводів за довільний часовий інтервал визначається як:

$$\widetilde{W}_{ізол}^{BH^k, j} = w_{ізол}^{BH^k, j} \times J_j^{BH^k}, \quad (2.4.16)$$

а втрати теплоти з витоками теплоносія:

$$\widetilde{W}_{вут}^{BH^k, j} = w_{вут}^{BH^k, j} \times J_j^{BH^k}, \text{ де} \quad (2.4.17)$$

$w_{ізол}^{BH^k, j}$  – величина теплового потоку (втрати) через поверхню теплової ізоляції, Гкал/год.;  $w_{вут}^{BH^k, j}$  – величина втрат теплового потоку з витоками теплоносія, Гкал/год.;  $J_j^{BH^k}$  – тривалість  $j$ -го часового інтервалу, год.

Норми щільності теплового потоку  $q_{діам, k}^{T_{pc}, h}$ , ккал/(год·м), з одиниці довжини ділянок трубопроводів, м, будемо знаходити шляхом лінійної інтерполяції (знаходження проміжних значень функції по ряду її відомих значень) та екстраполяції даних (тобто поширення результатів спостережень над однією частиною процесу на іншу, зазвичай невизначену його частину), представлених в нормативній базі у табличній формі в залежності від діаметрів трубопроводів  $d^{BH^k}$ , мм, і розрахункових середніх за

опалювальний період температур теплоносія  $T_{pc.под}^{BH_{i,j}}, ^\circ C$ , та  $T_{pc.звор}^{BH_{i,j}}, ^\circ C$ , у подавальному і зворотному трубопроводах.

За середніми температурами  $T_{цільн}^g = 65^\circ C$  і  $T_{цільн}^h = 50^\circ C$ , які за нормативними даними відповідають температурному графіку  $95-70^\circ C$  якісного регулювання теплового навантаження котельні, залежність норми щільності теплового потоку від діаметрів трубопроводів програмним способом (лінійна апроксимація) розраховується за формулою (2.4.18):

$$\begin{aligned} \left\langle \left\langle q_{діам}^{T_{цільн}^{g,h}} \right\rangle \right\rangle &\Leftrightarrow \text{НАКЛОН} \left( \left\{ q_{діам,k}^{T_{цільн}^{g,h}} \right\}; \left\{ d_k^{BH_i} \right\} \right)_k \times d_k^{BH_i} + \\ &+ \text{ОТРЕЗОК} \left( \left\{ q_{діам,k}^{T_{цільн}^{g,h}} \right\}; \left\{ d_k^{BH_i} \right\} \right)_k; \quad (2.4.18) \\ R_{цільн}^2 &= \text{КВПИРСОН} \left( \left\{ q_{діам,k}^{T_{цільн}^{g,h}} \right\}; \left\{ d_k^{BH_i} \right\} \right)_k, \quad k = \overline{1, m}, \end{aligned}$$

де чисельні значення елементів множин, означених фігурними дужками, попарно упорядковуються за індексом  $k$  (прямі дужки) у діапазоні, обмеженому наявними діаметрами трубопроводів.

Програмні розрахунки величини нормативного теплового потоку (втрат) через поверхню теплової ізоляції по видах прокладання (підземний-каналний, безканалний, надземний)  $W_{ізол}^{BH_{i,j}^k}$ , Гкал/год., з урахуванням діаметрів  $d^{BH_i^k}$ , мм, та протяжності  $L^{BH_i^k}$ , м, ділянок трубопроводів, поправочних коефіцієнтів  $K_{nonp}^{BH_{i,j}^k}$ , середніх за прийнятий інтервал часу (день, ніч, доба, місяць, рік, опалювальний період тощо) температур ґрунту  $T_{грунт}^{BH_{i,j}^k}, ^\circ C$ , та холодної води  $T_{х.вода}^{BH_{i,j}^k}, ^\circ C$ , на рівні закладання трубопроводів формалізуємо оригінальною Ексел-функцією (підпрограмою):

$$LOSSCALC \left\{ w_{\text{ізол}}^{BH_i^k} \right\} \Leftrightarrow \left\langle \left\langle K_{\text{нопр}}^{BH_i^k} \right\rangle \right\rangle \times \sum_{k=1}^m \left\langle \left\langle q_{\text{діам},k}^{T_{\text{цільн}}^{(g+h)}} \right\rangle \right\rangle \times \left\{ L_k^{BH_i^k} \right\}_k,$$

де для підземного двотрубного прокладання

$$\begin{aligned} \left\langle \left\langle K_{\text{нопр}}^{BH_i^k} \right\rangle \right\rangle \Leftrightarrow & (HEATCURVE \left\{ T_{\text{под}}^{BH_i^k} \right\} + \\ & + HEATCURVE \left\{ T_{\text{звор}}^{BH_i^k} \right\} - \\ & - 2 \times \left\{ T_{\text{грунт}}^{BH_i^k} \right\} / (\left\{ T_{\text{цільн}}^g \right\} + \left\{ T_{\text{цільн}}^h \right\} - 2 \times \left\{ T_{\text{х.вода}}^{BH_i^k} \right\}). \end{aligned} \quad (2.4.19)$$

Наприклад, для ділянки *kr* розподільної мережі районної котельні (див.

Рис.2.4.2) з умовним діаметром трубопроводу  $d^{BH_i} = 400$  мм (зовнішнім

діаметром 426 мм) і довжиною ділянки  $L_k^{BH_i^k} = 89$  м (у двотрубному вимірі)

при  $T_{\text{зовн}}^{BH_i^k} = -3,0$  °C,  $T_{\text{грунт}}^{BH_i^k} = 9,4$  °C,  $T_{\text{х.вода}}^{BH_i^k} = 6,7$  °C,  $T_{\text{под}}^{BH_i^k} = 63,1$  °C,

$T_{\text{звор}}^{BH_i^k} = 47,3$  °C,  $T_{\text{цільн}}^g = 65,0$  °C і  $T_{\text{цільн}}^h = 50,0$  °C отримуємо:

$$K_{\text{нопр}}^{BH_i^k} = (63,1 + 47,3 - 2 \times 9,4) / (65,0 + 50,0 - 2 \times 6,7) = 0,900;$$

$$w_{\text{ізол}}^{BH_i^k} = 0,900 \times (0,4202 \times 400 + 46,13) \times 89 \times 10^{-6} =$$

$$= 0,0172 \text{ (Гкал / год.)}.$$

Визначення нормативної кількості теплової енергії (теплоти), що втрачається у тепловій мережі з витокami, почнемо з формалізації

розрахунків питомої ємності  $V_{\text{ємн}}^{BH_i^k}$ , м<sup>3</sup>/м, теплоносія (води) у ділянках трубопроводів мережі шляхом застосування степеневі апроксимації вихідних нормативних даних. Коефіцієнти степеневі регресії, рівняння якої

має вид  $v_{\epsilon MN}^{BH_i^k} = \alpha_{\epsilon MN}^0 \times \left\{ d_k^{BH_i} \right\}^{\beta_{\epsilon MN}^0}$ , розрахуємо за допомогою програмного інструменту Excel

$$\left\langle \left\langle v_{\epsilon MN}^{BH_i^k} \right\rangle \right\rangle \Leftrightarrow \text{ЛИНЕЙН} \left( \left| LN \left\{ v_{\epsilon MN}^{BH_i^k} \right\}; LN \left\{ d_k^{BH_i} \right\} \right|; ; 1 \right), \quad (2.4.20)$$

де  $LN$  означитиме Ексел-функцію натурального логарифму.

За допомогою програмного інструменту (2.4.20) виробничий об'єм теплоносія (мережної води) у тепловій мережі  $i$ -ї котельні визначиться як

$$\left\langle \left\langle V_{\epsilon. \text{мрж}}^{BH_i} \right\rangle \right\rangle \Leftrightarrow \sum_{k=1}^m \left| \left\langle \left\langle v_{\epsilon MN}^{BH_i^k} \right\rangle \right\rangle \times \left\{ L_k^{BH_i^k} \right\} \right|, \text{ м}^3, \quad (2.4.21)$$

а величина втрат теплового потоку з витоками теплоносія, ккал/год.:

$$\text{LOSSCALC} \left\{ w_{\text{вум}}^{BH_{i,j}} \right\} \Leftrightarrow \sum_{k=1}^m \left| c_{\epsilon} \times \left\{ K_{\text{вум}}^{BH_{i,j}^k} \right\} \times \left\langle \left\langle S_{\text{підж}}^{BH_i^k} \right\rangle \right\rangle \right|, \quad (2.4.22)$$

де:  $c_{\epsilon}$  – питома теплоємність мережної води,  $1 \text{ ккал} / (\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ,

$K_{\text{вум}}^{BH_{i,j}^k} = (T_{\text{под}}^{BH_{i,j}^k} + T_{\text{звор}}^{BH_{i,j}^k} - 2 \times T_{\text{х.вода}}^{BH_{i,j}^k}) / 2, ^{\circ}\text{C}$ ;  $\left\langle \left\langle S_{\text{підж}}^{BH_i^k} \right\rangle \right\rangle$  – матеріальна

втрата теплоносія на підживлення, кг/год.:

$$\left\langle \left\langle S_{\text{підж}}^{BH_i^k} \right\rangle \right\rangle = \rho_{\epsilon} \times a_{\text{н.вум}}^{BH_i^k} \times \left\langle \left\langle V_{\epsilon. \text{мрж}}^{BH_i^k} \right\rangle \right\rangle, \quad (2.4.23)$$

де:  $\rho_{\epsilon}$  – щільність води, яка дорівнюватиме  $977,5 \text{ кг/м}^3$  при середній температурі теплоносія у подавальному і зворотному трубопроводах

$T_{\text{сер}}^{BH_{i,j}} = (T_{\text{под}}^{BH_{i,j}} + T_{\text{звор}}^{BH_{i,j}}) / 2 = 70^{\circ}\text{C}$ ;  $a_{\text{н.вум}}^{BH_i} = 0,0025 \text{ м}^3 / (\text{год} \cdot \text{м}^3)$  – нормативне значення витоку з теплової мережі протягом опалювального періоду.

За формулами (2.4.20)-(2.4.23), розрахуємо нормативні втрати теплового потоку з витоками теплоносія. Наприклад, для ділянки  $kr$

розподільної мережі з умовним діаметром трубопроводу  $d^{BH_i^k} = 400$  мм і довжиною ділянки  $L_k^{BH_i^k} = 89$  м (у двотрубному вимірі) при  $T_{зовн}^{BH_i^k} = -3,0$  °C,  $T_{х.вода}^{BH_i^k} = 6,7$  °C,  $T_{под}^{BH_i^k} = 63,1$  °C,  $T_{звор}^{BH_i^k} = 47,3$  °C, отримуємо:

$$V_{\epsilon_{ми}}^{BH_i^k} = 0,8587 \times 0,4^{2,0221} = 0,1346 \text{ (м}^3/\text{м)}; V_{\epsilon_{мрж}}^{BH_i^k} = 0,1346 \times 89 = 11,98 \text{ (м}^3\text{)};$$

$$W_{\epsilon_{вит}}^{BH_i^k} = 0,0025 \times 11,98 \times 977,5 \times (63,1 + 47,3 - 2 \times 6,7) / 2 = 1421 \text{ (ккал/год.)}.$$

У відповідності до формул (2.4.15)-(2.4.17), кількість теплової енергії, що втрачається у тепловій мережі при транспортуванні теплоносія, за допомогою програмного інструменту *NETWLOSS* визначається як:

$$\left\langle \left\langle \tilde{W}_{\text{мрж}}^{BH_i^k} \right\rangle \right\rangle \Rightarrow \text{NETWLOSS} \left\{ \tilde{W}_{\text{ізол}}^{BH_i^k} \right\} + \text{NETWLOSS} \left\{ \tilde{W}_{\text{вит}}^{BH_i^k} \right\},$$

$$\text{NETWLOSS} \left\{ \tilde{W}_{\text{ізол}}^{BH_i^k} \right\} = \text{LOSSCALC} \left[ \left\{ W_{\text{ізол}}^{BH_i^k} \right\} \times \left\{ J_j^{BH_i^k} \right\} \right]_j, \quad (2.4.24)$$

$$\text{NETWLOSS} \left\{ \tilde{W}_{\text{вит}}^{BH_i^k} \right\} = \text{LOSSCALC} \left[ \left\{ W_{\text{вит}}^{BH_i^k} \right\} \times \left\{ J_j^{BH_i^k} \right\} \right]_j,$$

де елементи множин упорядковуються за довільним інтервалом часу.

За результатами розрахунків за виразами (2.4.12)-(2.4.24) на Рис.2.4.15 для трьох гілок розподільної теплової мережі, зображеної на Рис.2.4.2, при температурному графіку роботи котельні 95-65 °C та  $T_{p.вн}^{BH_i,j} = 18$  °C, представлені розрахункові залежності сумарних (через ізоляцію і витоки) середньодобових втрат теплового потоку від зміни величини градусо-добі  $T_{гр.д\text{б}}^{BH_i,j} = T_{p.вн}^{BH_i,j} - T_{зовн}^{BH_i,j}$  за фактичний 166-ти добовий опалювальний період з середньою температурою зовнішнього повітря -1,7 °C.



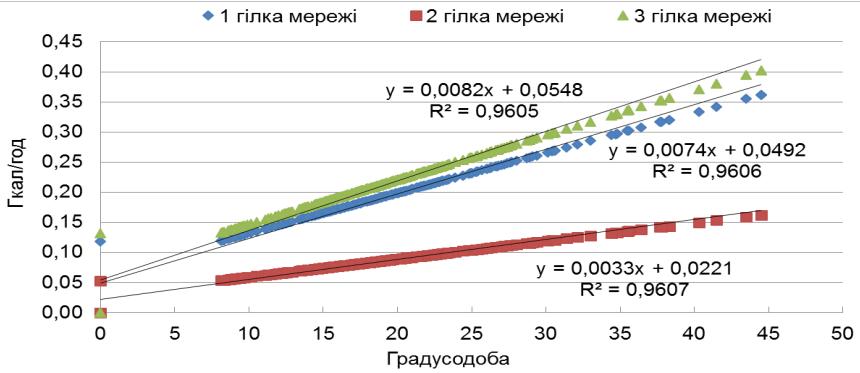


Рисунок 2.4.15 – Залежність сумарних середньодобових втрат теплового потоку розподільної теплової мережі від величини градусо-добы

За тих самих екзогенних умов і параметрів, на Рис.2.4.16 наведені розрахункові залежності втрат теплового потоку через ізоляцію і витоки в гілках теплової мережі від часу (з 12-ти годинною, день/ніч, диференціацією тривалості опалювального періоду), а на Рис.2.4.17 – часова залежність потенціалу зменшення сумарних втрат теплового потоку в мережі внаслідок переходу з температурного графіка 95-65<sup>0</sup>С на графік 87-65<sup>0</sup>С.

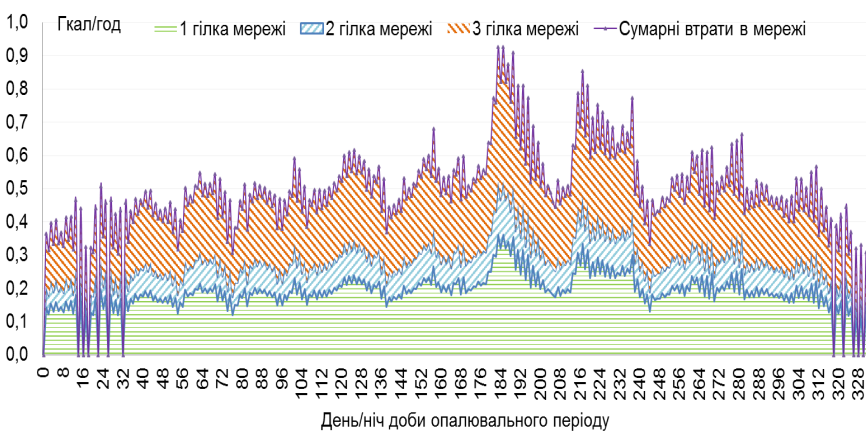


Рисунок 2.4.16 – Сумарні втрати теплового потоку в гілках розподільної теплової мережі через ізоляцію і витоки за графіком 95-65<sup>0</sup>С

При цьому, середнє значення величини зменшення втрат теплового потоку за 166-ти добовий опалювальний період складатиме 0,0221 Гкал/год, а

обсяги сумарних втрат теплової енергії  $\tilde{W}_{mr,ж}^{BH}$ , розраховані за формулою (4.15), – 2565,0 Гкал (2982,6 тис. кВт.год) за температурним графіком 95-65 °С і 2451,4 Гкал (2850,5 тис. кВт.год) за графіком 87-65 °С при середній температурі зовнішнього повітря за опалювальний період -1,7°С і, відповідно, 2242,1 Гкал і 2152,8 Гкал при середній температурі зовнішнього повітря за опалювальний період 2,5 °С.

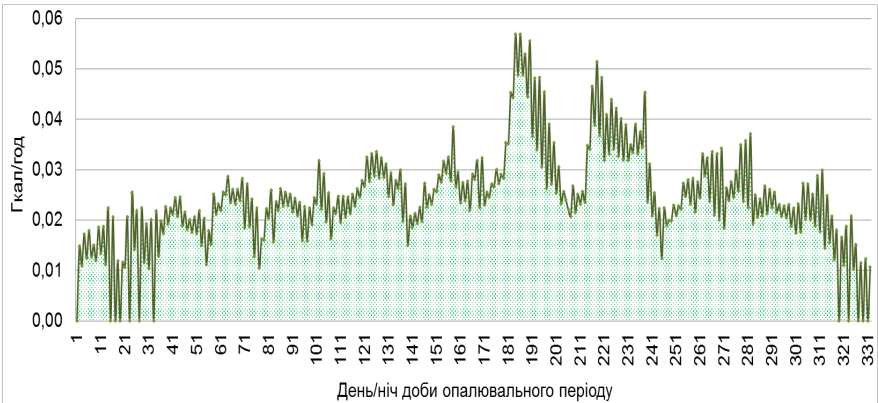


Рисунок 2.4.17 – Потенціал зменшення втрат теплоти в тепловій мережі внаслідок переходу з температурного графіка 95-65 на графік 87-65 °С

Техніко-економічна ефективність переходу з одного температурного графіка на інший визначається за результатами комплексних розрахунків режимів регулювання системи теплопостачання. У загальному випадку, величину теплового навантаження системи можливо регулювати шляхом зміни температури теплоносія та обсягів його витрати, коефіцієнта теплопередачі та площі поверхні нагрівальних приладів у споживачів, зміною тривалості роботи системи тощо.

Розрахункові обсяги теплоносія  $G_{p,mr,ж}^{BH_{i,j}}$ , т/год., що циркулює у тепловій мережі  $i$ -го джерела на  $j$ -му часовому інтервалі, в нормальних режимах функціонування системи теплопостачання, запроєктованої на

розрахункові температури зовнішнього  $T_{p.зовн}^{BH_{i,j}}$  і внутрішнього  $T_{p.вн}^{BH_{i,j}}$  повітря, визначаються за формулою [180-182]:

$$G_{p.мрж}^{BH_{i,j}} = \frac{Q_{p.мрж}^{BH_{i,j}} \times 10^3}{c_e \times (T_{p.под}^{BH_{i,j}} - T_{p.звор}^{BH_{i,j}})}, \quad (2.4.25)$$

де:  $Q_{мрж}^{BH_{i,j}}$  – розрахункове теплове навантаження системи, Гкал/год.;  
 $T_{p.под}^{BH_{i,j}}$  і  $T_{p.звор}^{BH_{i,j}}$  – розрахункові температури теплоносія у подавальному і зворотному трубопроводах, °C;  $c_e$  – питома теплоємність мережної води, 1 ккал/(кг·°C).

Розрахунковий потенціал теплоносія (температура) у подавальному трубопроводі визначається температурами зовнішнього і внутрішнього повітря, а у зворотному – ефективністю використання цього потенціалу у системі теплоспоживання. За можливості зменшення потенціалу у зворотному трубопроводі збільшується різниця потенціалів на вході системи теплоспоживання, забезпечуючи зниження витрати теплоносія в мережі і відповідне зменшення обсягів споживання електричної енергії на його перекачку, зменшення діаметрів трубопроводів, скорочення капітальних вкладень і витрат на обслуговування системи, а у разі необхідності й збільшення пропускної здатності теплових мереж. Аналогічний ефект виникає і при переводі системи теплопостачання на підвищений температурний графік роботи [180-182].

У випадках зниження теплового навантаження системи, яке має здійснюватися шляхом підвищення ефективності використання теплової енергії у споживачів, доцільним може виявитися і перехід на понижений температурний графік роботи системи. Покажемо це. Спочатку розрахуємо зміни витрати теплоносія та його температури, що відбуваються внаслідок переходу з одного температурного графіка на інший. За умов збереження

незмінної теплової продуктивності теплоспоживаючих приборів, які залишаються в експлуатації, нова витрата теплоносія визначається формулою [182, 183]:

$$G_{p.мрж}^{BH_{i,j}^*} = k_{p.мрж}^{BH_{i,j}} \times G_{p.мрж}^{BH_{i,j}}, \quad (2.4.26)$$

де:  $G_{p.мрж}^{BH_{i,j}^*}$  і  $G_{p.мрж}^{BH_{i,j}}$  – витрати теплоносія відповідно при новому і вихідному температурних графіках;  $k_{p.мрж}^{BH_{i,j}}$  – відношення нової витрати теплоносія до вихідної.

Для систем опалення, приєднаних до теплової мережі через змішувальний пристрій (наприклад, елеватор), витрата і температура теплоносія на вході у систему споживання мають залишатися незмінними за обох температурних графіках, що досягається зміною коефіцієнта змішування пристрою  $k_{зміш}^{BH_{i,j}}$ , нове значення якого розраховують за формулою:

$$k_{зміш}^{BH_{i,j}^*} = \frac{T_{p.под}^{BH_{i,j}^*} - T_{p.зміш}^{BH_{i,j}}}{T_{p.зміш}^{BH_{i,j}} - T_{p.звор}^{BH_{i,j}}}, \quad (2.4.27)$$

де:  $T_{p.под}^{BH_{i,j}^*}$ ,  $T_{p.звор}^{BH_{i,j}}$  і  $T_{p.зміш}^{BH_{i,j}}$  – розрахункові температури теплоносія відповідно у подавальному трубопроводі за новим температурним графіком (означений символом \*) та у зворотному трубопроводі і у системі споживання за вихідним температурним графіком.

За умовами (2.4.25)-(2.4.27) величина  $k_{p.мрж}^{BH_{i,j}}$  визначається як:

$$k_{p.мрж}^{BH_{i,j}} = \frac{T_{p.под}^{BH_{i,j}} - T_{p.звор}^{BH_{i,j}}}{T_{p.под}^{BH_{i,j}^*} - T_{p.звор}^{BH_{i,j}^*}}. \quad (2.4.28)$$

Як приклад, за формулами (2.4.25)-(2.4.28) розрахуємо нову (розрахункову) витрату теплоносія у розподільній мережі з тепловим навантаженням на опалення 11,18 Гкал/год при переході з вихідного температурного графіка 85-60 °С на новий графік 95-70 °С. Вихідна розрахункова витрата теплоносія, що циркулює у тепловій мережі, запроєктованої на розрахункові температури зовнішнього  $T_{p.зовн}^{BH_{i,j}} = -22$  °С і внутрішнього  $T_{p.вн}^{BH_{i,j}} = 18$  °С повітря дорівнюватиме

$$G_{p.мрж}^{BH_{i,j}} = 11,18 \cdot 1000 / (87 - 65) = 508,3 \text{ (т/год.)},$$

тоді:  $k_{змиш}^{BH_{i,j}} = (87 - 85) / (85 - 65) = 0,1$ ;  $k_{змиш}^{BH_{i,j}^*} = (95 - 85) / (85 - 65) = 0,5$ ;

$$k_{p.мрж}^{BH_{i,j}} = (87 - 65) / (95 - 65) = 0,733; \quad G_{p.мрж}^{BH_{i,j}^*} = 0,733 \cdot 508,3 = 372,8 \text{ (т/год.)}.$$

За тих самих температурних умов, але при тепловому навантаженні на опалення 7,3 Гкал/год (фактичне навантаження системи, див. Рис.2.4.1)

$$G_{p.мрж}^{BH_{i,j}} = 331,8 \text{ т/год.}, \text{ а } G_{p.мрж}^{BH_{i,j}^*} = 243,2 \text{ т/год.}$$

Оціночне значення зниження  $\Delta T_{p.под}^{BH_{i,j}}$  температури теплоносія у подавальному трубопроводі мережі внаслідок теплових втрат через ізоляцію з урахуванням означень у формулах (2.4.19) і (2.4.25) розрахуємо за допомогою програмного інструменту:

$$\left\langle \left\langle \Delta T_{p.под}^{BH_{i,j}} \right\rangle \right\rangle \Leftrightarrow \left| \frac{0,7 \times 10^3 \times CPЗНАЧ \left\{ w_{p.изол}^{BH_{i,j}} \right\}}{c_6 \times CPЗНАЧ \left\{ G_{p.мрж}^{BH_{i,j}} \right\}} \right|_j. \quad (2.4.29)$$

Для означених вище умов маємо:  $\Delta T_{p.под}^{BH_{i,j}} \leq 1,37$  °С.

Характеристикою, що відображає теплоенергетичну ефективність технологічного процесу транспортування, є питома середньогодинна витрата

теплоносія на передачу теплового навантаження в залежності від градусодоби (теплова енергетична характеристика мережі)  $\zeta_{\text{мрж}}^{BH_{i,j}}$  (т/Гкал), яка визначається відношенням середньогодинних значень витрат теплоносія в тепловій мережі  $G_{\text{мрж}}^{BH_{i,j}}$  (т/год.) до середньогодинних значень теплового навантаження системи  $Q_{\text{мрж}}^{BH_{i,j}}$  (Гкал/год.):

$$\left\langle \left\langle \zeta_{\text{мрж}}^{BH_{i,j}} \right\rangle \right\rangle = \left\{ G_{\text{мрж}}^{BH_{i,j}} \right\}_j / \left\{ Q_{\text{мрж}}^{BH_{i,j}} \right\}_j. \quad (2.4.30)$$

За результатами проведених розрахунків та порівняння їх результатів з фактичними даними можливо зробити загальний висновок щодо структуризації розрахункової моделі: для техніко-економічної оцінки режимів управління СЦТ більш глибока (наприклад, погодинна замість застосованої 12-ти годинної) диференціація часових втрат і витрат теплового потоку (енергії тощо) в мережі не призводить до суттєвого уточнення результатів розрахунків (різниця складає менш одного відсотка), але ж потребує 12-ти кратного збільшення кількості строк табличного процесора (4320 замість 360 строк при нормативній тривалості опалювального періоду 180 діб). При цьому, в обох випадках диференціації урахування часових змін температур ґрунту і холодної води на глибині закладання трубопроводів доцільно проводити навіть за щомісячною диференціацією, по-перше, за фактом наявності доступної інформації, а по-друге, – за відносно незначної (менш 0,6%) різниці в отриманих результатах.

У будь-якому випадку, при відображенні часових змін температурних (або інших) параметрів по строках табличного процесора, витрати кожного з джерел теплопостачання та втрати на кожній з гілок і ділянок трубопроводів, що розглядаються, мають бути представлені окремими стовпчиками цього процесора.

Фрагменти програмної реалізації модуля структурно-параметричної оптимізації системи транспортування (розподілення) теплової енергії багаторівневої моделі управління підвищенням 3-Е ефективності системи КТЕ представлено на Рис.2.4.18, а, б.

Глики мережі	Ø трубо-проводу	Довжина трубо-проводу (у двотруб. вимірі)	Матеріальна характеристика мережі	нормативні				фактичні			
				0,0025		сумарні:		Коеф. зб. втрат на фланц. з'єдн.		сумарні:	
				0,4202	2,022	за мережею				за мережею	
				46,13	0,8587	0,5573	0,4956	1,2	3,2	0,6688	1,5861
			898,7	ізоляц.	витоки	ізоляц.	витоки	ізоляц.	витоки	ізоляц.	витоки
№ діл.	мм	м	м <sup>2</sup>	Гкал/год	т/год	Гкал/год	Гкал/год	Гкал/год	Гкал/год	Гкал/год	Гкал/год
4t	100	30	3,0	0,0026	0,0006			0,0032	0,0019		
5q	80	12	1,0	0,001	0,0002			0,0011	0,0005		
tq	200	114	22,8	0,0148	0,0092			0,0178	0,0296		

Рисунок 2.4.18,а – Фрагмент модуля розрахунку базових коефіцієнтів втрат теплового потоку в ділянках мережі, що розглядається, всього 3 гілки і 45 ділянок

# день-ніч (д/н) періоду	Темпер. зовн. повітря	Градусодоба	Температура теплоносія:			Втрати тепл. потоку ч/з ізоляцію			
			-1,5099	-0,9599	Δ темп-р	1 гілка мережі	2 гілка мережі	3 гілка мережі	Сум. втрати
			54,33	44,43					
Середнє за період значення									
	-1,3	19,0	56,2	45,6	10,6	0,174	0,079	0,191	0,443
д/н	д/н	д/н	подав.	звор.	д/н	д/н	д/н	д/н	д/н
#	°С	°Сдоба	°С	°С	°С	Гкал/год	Гкал/год	Гкал/год	Гкал/год
1	12,1	0,0	36,1	32,8	3,2	0,000	0,000	0	0,000
2	6,5	11,5	44,5	38,2	6,3	0,131	0,059	0,144	0,335
3	9,4	8,6	40,1	35,4	4,7	0,114	0,052	0,125	0,291

Коеф. збільшення втрат на ремонтні з'єднання і латки (1,0 - без втрат)						Вибір типу даних [0, тільки одна 1]		
факт. 1,2	1,2	3,2	факт. 3,2			(95-65)°С	(87-65)°С	
	ізоляц.	витоки				0	1	
Втрати в гілках мережі за різними темп. графіками						Тепло на вході у теплову мережу		
Втрати до ЕЗ3 (95-65 °С)			Втрати після ЕЗ3 (87-65 °С)			Тепло на вході у теплову мережу		
Сер.розр	За спожив. тепла населенням		Сер.розр	За спожив. тепла населенням		Сер.розр	Загальне споживання тепла	
0,623			0,592			6,559		
Макс.	Розрах.	за пер.	Макс.	Розрах.	за пер.	Макс.	Розрах.	за пер.
1,185	1,020	2 484	1,113	0,964	2 360	15,409	13,765	26 130
д/н	д/н	щомісяч	д/н	д/н	щомісяч	д/н	д/н	щомісяч
Гкал/год.	Гкал	Гкал	Гкал/год.	Гкал	Гкал	Гкал/год.	Гкал	Гкал
0,000	0,00		0,000	0,00		0,000	0,00	
0,467	5,60		0,448	5,38		3,979	47,75	
0,404	4,84		0,389	4,67		2,995	35,94	

Рисунок 2.4.18,б – Фрагменти модулів розрахунку впливу температурно-погодних та експлуатаційних факторів на рівень ефективності системи транспортування, всього 332 день/ніч періодів

Тестування і калібрування модулів розглянутої моделі структурно-параметричної оптимізації системи транспортування теплової енергії проведено на базі експериментальних даних функціонування СЦТ, структурну схему якої наведено на Рис.2.4.2, за даними 3-річних щоденних вимірювань наступних параметрів: середньодобової температури зовнішнього повітря, середньодобової температури і тиску теплоносія у подавальному і зворотному трубопроводах, витрату і живлення за добу теплоносія, витрату газу, електроенергії і води. Оптимізація показників 3-Е ефективності використання теплової енергії на транспорт і розподілення теплової енергії здійснюється шляхом мінімізації сумарних витрат і втрат теплоносія за умов забезпечення потреб споживачів.

Як можна бачити у цілому, за наведеними формулами (2.4.12)-(2.4.30) і результатами техніко-економічних розрахунків, відображеними на Рис.2.4.13 - Рис.2.4.18, у даному розділі представлено і експериментально обґрунтовано оригінальну модель розрахунків втрат теплоти в тепловій мережі на основі стандартних і власно сформованих Excel-функцій і підпрограм лінійної інтерполяції та екстраполяції вихідних даних, диференційованих у табличному процесорі (і паралельних листах процесора тощо) за змінами екзогенних та ендогенних параметрів. Головною перевагою запропонованої моделі є можливість одночасного визначення прямих залежностей часових втрат і витрат енергії від означених параметрів, у першу чергу, величин втрат тепла і теплового потоку у гілках та ділянках мережі від температури зовнішнього повітря, температур ґрунту і холодної води, температур теплоносія у подавальному і зворотному трубопроводах тощо, що дозволяє застосовувати цю модель у системі управління підвищенням ефективності функціонування системи КТЕ у цілому.



#### **2.4.4. Метод та засіб управління підвищенням 3-Е ефективності виробництва теплової енергії в системі централізованого теплопостачання**

Виробництво теплової енергії у системах централізованого (помірно-централізованого тощо) теплопостачання міст і населених пунктів зазвичай здійснюється об'єднаними у єдину систему декількома джерелами теплової енергії, – котельнями та/або теплоелектроцентралями, кожне з яких у свою чергу складається з декількох одиниць теплогенеруючого устаткування (енергетичних котлів), електротехнічного та регулюючого обладнання і трубопроводів [5, 176, 1184].

Комплексна оцінка можливостей підвищення 3-Е ефективності виробництва теплової енергії (теплоти) у СЦТ традиційно здійснюється на основі таких показників як встановлена потужність енергетичних котлів, коефіцієнт використання їх встановленої теплової потужності за рік (за опалювальний період тощо) з розбивкою за джерелами генерації, обсяг вироблення теплової енергії, види первинного палива і їх теплотворна здатність, фактичні і нормативні значення витрат теплової і електричної енергії на власні потреби, фактичні, номінальні і нормативні значення питомих витрат палива і води на відпущену теплову енергію, середньозважені (інтервальні) ККД котлів і СЦТ у цілому, обсяги викидів забруднюючих речовин, собівартість виробництва теплової енергії тощо [177, 179].

У випадку програмної реалізації модуля структурно-параметричної оптимізації системи виробництва теплової енергії в межах побудови багаторівневої моделі управління підвищенням 3-Е ефективності системи КТЕ, як і на інших рівнях цієї моделі, будемо застосовувати:

- квазідинамічні, детерміновані на інтервалах дискретизації температуро-часового простору, моделі розрахунків теплового балансу втрат і витрат енергії на всіх етапах виробництва, що оперують з

середньостатистичними нормованими (паспортними тощо) даними, адаптованими на кожному інтервалі дискретизації до умов функціонування системи виробництва;

- уніфіковані (типологізовані) моделі складових елементів (об'єктів) системи виробництва;
- калібрування розрахункових даних за даними приладового обліку витрат і втрат теплової енергії і теплоносія в процесі виробництва;
- фактичні або прогнозовані метеорологічною службою на декілька діб наперед показники зовнішнього клімату для кожного географічного розташування системи тепlopостачання.

В якості основних напрямів підвищення 3-Е ефективності системи виробництва теплової енергії будемо, насамперед, розглядати можливості системної оптимізації величин встановлених потужностей енергетичних котлів, часу, кількості і порядку їх введення у робочий режим, мінімізації кількості пусків/останов котлів за опалювальний період, застосування прогнозованого випереджального управління для мінімізації обсягів теплової енергії, що марно витрачається на «перетопи» і «недотопи», мінімізації обсягів викидів CO<sub>2</sub>, реалізації енергозберігаючих проектів тощо.

Розрахункова частина модуля структурно-параметричної оптимізації системи виробництва теплової енергії моделі складається з наступних параметрів і показників.

Середньогодинна загальна кількість теплової енергії  $Q_{вир}^{BH_j}$ , що виробляється у СЦТ на  $j$ -му часовому інтервалі ( $j = \overline{1, l}$ ), визначається у формі теплового балансу [177, 185], права частина якого складається з середньогодинних значень обсягів корисного відпуску теплоти  $Q_{кор}^{BH_{i,j}}$  і витрат теплоти на власні потреби  $Q_{влас}^{BH_{i,j}}$  кожного  $i$ -го ( $i = \overline{1, n}$ ) з  $n$  джерел

тепловій енергії  $BH$  та середньогодинних втрат в теплових мережах  $Q_{\text{мржс}}^{BH_{i,j}}$ , що входять до системи тепlopостачання:

$$Q_{\text{вир}}^{BH_j} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{вир}}^{BH_{i,j}} = \sum_{i=1}^n (Q_{\text{відн}}^{BH_{i,j}} + Q_{\text{влс}}^{BH_{i,j}}), \quad (2.4.31)$$

де кількість відпущеної у теплові мережі теплоти

$$Q_{\text{відн}}^{BH_j} = \sum_{i=1}^n (Q_{\text{кор}}^{BH_{i,j}} + Q_{\text{мржс}}^{BH_{i,j}}).$$

Коефіцієнт бруто  $K_{\text{бр.влс}}^{BH_{i,j}}$  пайової частки теплоти, що використовується на власні потреби  $i$ -го джерела теплової енергії, складається з окремих елементів витрат (опалення приміщень, розпалювання котлів, технологічні потреби хімоводоочищення і баків-акумуляторів, підігрів мазуту та мазутопроводів тощо) і у загальному випадку визначається за формулами:

$$K_{\text{бр.влс}}^{BH_{i,j}} = Q_{\text{влс}}^{BH_{i,j}} / Q_{\text{вир}}^{BH_{i,j}} = 1 - Q_{\text{відн}}^{BH_{i,j}} / Q_{\text{вир}}^{BH_{i,j}}. \quad (2.4.32)$$

В кількісному виразі нормативні витрати теплоти на власні потреби котельні на газоподібному паливі у системі централізованого тепlopостачання складають  $2,3 \div 2,4$  % від номінального теплового навантаження котельні.

При цьому, середньогодинна потреба системи тепlopостачання у паливі  $B_{\text{вир}}^{BH_j}$  на виробництво теплоти складається з середньогодинних витрат палива кожного  $k$ -го ( $k = \overline{1, m}$ ) з  $m$  задіяних в тепlopостачанні котлів

$B_{\text{кот}}^{BH_{i,j}^k}$  та витрат палива  $B_{\text{влс}}^{BH_{i,j}^k}$  на власні потреби котельні:

$$B_{\text{вир}}^{BH_j} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{m_i} (B_{\text{кот}}^{BH_{i,j}^k} + B_{\text{влс}}^{BH_{i,j}^k}), \quad (2.4.33)$$

де  $m_i$  – кількість задіяних котлів  $i$ -ої котельні на  $j$ -му інтервалі часу.

Для порівняння ефективності використання різних видів палива на виробництво теплоти, розрахунки потреб системи у паливі здійснюють в умовних одиницях, а перерахунок натурального палива в умовне для кожного окремого котла – за формулами [177]:

$$B_{ум}^{BH_{i,j}^h} = K_{екв}^h \times B_{нат}^{BH_{i,j}^h}; K_{екв}^h = q_{ниж}^h / q_{ум}^{норм}, \quad (2.4.34)$$

де:  $B_{ум}^{BH_{i,j}^h}$  – потреба в умовному паливі (кг у.п.)  $k$ -го котла  $i$ -го джерела теплової енергії на  $j$ -му часовому інтервалі;  $B_{нат}^{BH_{i,j}^h}$  – теж саме, для виду  $h$  натурального палива (н.м<sup>3</sup> природного газу, кг твердого чи рідкого палива);  $K_{екв}^h$  – калорійний еквівалент палива  $h$ ;  $q_{ниж}^h$  – нижча теплота згорання натурального палива  $h$  (ккал/(н.м<sup>3</sup>) чи ккал/кг);  $q_{ум}^{норм} = 7000$  ккал/(кг у.п.) – нормативна теплота згорання умовного палива.

Середньогодинна потреба в умовному паливі  $i$ -го джерела теплової енергії може бути також розрахована з використанням середньогодинних значень коефіцієнта корисної дії (ККД) бруто  $\eta_{бр.сер}^{BH_{i,j}}$  за формулами:

$$B_{умов}^{BH_{i,j}} = Q_{вир}^{BH_{i,j}} / (q_{ум}^{норм} \times \eta_{бр.сер}^{BH_{i,j}}); \eta_{бр.сер}^{BH_{i,j}} = \sum_{k=1}^{m_i} (\eta_{сер}^{k_{i,j}} \times q_{вст}^{k_{i,j}}) / \sum_{k=1}^{m_i} q_{вст}^{k_{i,j}}, \quad (2.4.35)$$

де:  $\eta_{сер}^{k_{i,j}}$  – середньогодинні значення ККД,  $q_{вст}^{k_{i,j}}$  – теж, для встановленої (або середньогодинної фактичної) теплотужності  $k$ -го котла  $i$ -го джерела теплової енергії на  $j$ -му часовому інтервалі. Нагадаємо, що ККД котла (брутто) визначається відношенням корисно використаної теплоти до кількості теплоти палива. При визначенні ККД нетто додатково враховуються (віднімаються) витрати енергії на власні потреби котла.

За відомим значенням середньогодинної питомої витрати умовного палива на виробництво теплоти  $b_{вир}^{BH_{i,j}^k}$  (кг у.п./Гкал) середньогодинна потреба котельні в умовному паливі (кг у.п.) розраховується за формулою:

$$B_{ум.вир}^{BH_{i,j}} = b_{вир}^{BH_{i,j}} \times Q_{вир}^{BH_{i,j}}, \text{ де } b_{вир}^{BH_{i,j}} = 142,86 / \eta_{бр.сер}^{BH_{i,j}}. \quad (2.4.36)$$

Середньогодинна норма питомих витрат умовного палива на вироблення теплоти при номінальному навантаженні складає  $156 \div 173$  кг у.п./Гкал в залежності від марки, типорозміру та значень номінальної потужності котлів.

Середньогодинна питома витрата умовного палива на відпуск теплоти

$b_{відп}^{BH_{i,j}^k}$  (кг у.п./Гкал) розраховується за формулою:

$$b_{відп}^{BH_{i,j}} = 142,86 / \eta_{нет.сер}^{BH_{i,j}}, \text{ де } \eta_{нет.сер}^{BH_{i,j}} = Q_{відп}^{BH_{i,j}} / (q_{ум}^{норм} \times B_{ум.вир}^{BH_{i,j}}), \quad (2.4.37)$$

де:  $\eta_{нет.сер}^{BH_{i,j}}$  – ККД нетто. Між ККД нетто і брутто існує співвідношення:

$$\eta_{нет.сер}^{BH_{i,j}} = \eta_{бр.сер}^{BH_{i,j}} \times (1 - K_{бр.влс}^{BH_{i,j}}), \quad (2.4.38)$$

Питома витрата умовного палива на одне розпалювання котла (кг у.п.) в залежності від площі поверхні його нагріву ( $m^2$ ) та тривалості зупинки котла (год.) відображена на Рис.2.4.19 [177].

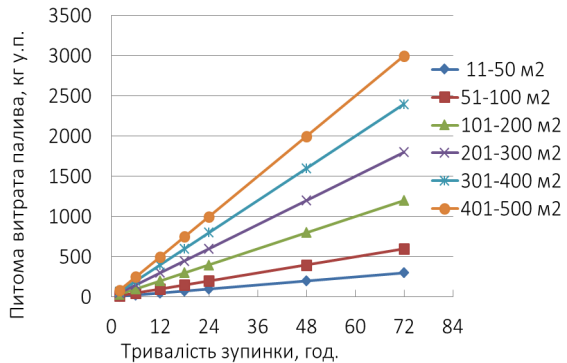


Рисунок 2.4.19 – Залежності питомої витрати палива на розпалювання котлів

Для подальших автоматизованих розрахунків витрат палива на розпалювання різних типів котлів після їх зупинок, обумовлених як

внутрішніми потребами СЦТ, так і зовнішніми факторами, будемо використовувати програмні інструменти *НАКЛОН*, *ОТРЕЗОК* і *КВПИРСОН*, а також інструмент *ЛИНЕЙН* множинної лінійної регресії табличного процесора Microsoft Excel для знаходження коефіцієнтів степеневі регресії [178]. Враховуючи нелінійний характер попарної кореляції витрат палива від площі поверхні його нагріву і тривалості зупинок, можливо сформулювати власну Excel-функцію користувача *FIREDDUP* у вигляді рівняння нелінійної множинної регресії.

Покажемо програмний вигляд цієї функції, сформованої для розрахунків витрат умовного палива  $Q_{розн}^{BH_{i,j}^k}$  на розпалювання  $k$ -го котла  $i$ -го джерела теплової енергії на  $j$ -му часовому інтервалі, за якою котел характеризується площею поверхні нагріву  $S_{нагр}^{BH_{i,j}^k}$  і тривалістю зупинок

$I_{зуп}^{BH_{i,j}^k}$  у діапазонах, означених на Рис. 2.4.19:

$$\left\langle \left\langle Q_{розн}^{BH_{i,j}^k} \right\rangle \right\rangle = FIREDDUP \left( EXP(\alpha_{розн}) \times \left\{ I_{зуп}^{BH_{i,j}^k} \right\} \times \left\{ S_{нагр}^{BH_{i,j}^k} \right\}^{(\beta_{розн})} \right),$$

$$де: \left\langle \left\langle (\beta_{розн}, \alpha_{розн}) \right\rangle \right\rangle \Leftrightarrow$$

$$ЛИНЕЙН \left( LN \left\{ НАКЛОН \left( \left\{ Q_{розн}^{BH_{i,j}^k} \right\}; \left\{ I_{зуп}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right); LN \left\{ S_{нагр}^{BH_{i,j}^k} \right\}; ; 1 \right).$$

У формулі (2.4.39) знак алгебри логіки  $\Leftrightarrow$  указує на те, що вираз зліва є програмним еквівалентом виразу справа. При цьому, у круглих дужках програмних інструментів розміщуються множини, означені фігурними дужками, чисельні значення елементів яких попарно упорядковуються за однаковими кортежами індексів  $(k, i, j)$ .

Так, коефіцієнти  $\alpha_{розн}$  і  $\beta_{розн}$  нелінійної множинної регресії за Excel-функцією (4.39) для залежностей, наведених на Рис. 2.4.19, дорівнюють:

$$\alpha_{\text{позн}} = 0,2166; \beta_{\text{позн}} = 0,8601. \quad (2.4.40)$$

Наприклад, проведений порівняльний аналіз нормативних і розрахованих за допомогою моделі (2.4.39)-(2.4.40) значень питомої витрати палива на розпалювання котла КВГ-7,56 теплотужністю 6,5 МВт і площею нагріву 150 м<sup>2</sup> показує, що середня відносна похибка не перевищує 0,2 %.

Витрати електроенергії на потреби теплопостачання  $W_{\text{ел.заг}}^{BH_{i,j}^k}$  (кВт·год) на  $j$ -му часовому інтервалі для  $i$ -го джерела теплової енергії на кожній з  $k$ -х ділянок мережі системи теплопостачання у загальному випадку складаються з витрат електроенергії на технологічні потреби виробництва  $W_{\text{ел.вир}}^{BH_{i,j}^k}$ , на транспорт теплоносія від котельні до центральних теплових пунктів (ЦТП) або індивідуальних (ІТП) теплових пунктів  $W_{\text{ел.мп}}^{BH_{i,j}^k}$ , на розподіл теплової енергії  $W_{\text{ел.роз}}^{BH_{i,j}^k}$ , на допоміжні (загальновиробничі) потреби  $W_{\text{ел.дон}}^{BH_{i,j}^k}$ , на компенсацію втрат при транспортуванні і трансформації електроенергії  $\Delta W_{\text{ел.втр}}^{BH_{i,j}^k}$ , та для системи теплопостачання у цілому розраховуються при заданому гідравлічному режимі теплових мереж за формулою [179, 185]:

$$W_{\text{ел.заг}}^{BH} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^m W_{\text{ел.заг}}^{BH_{i,j}^k}, \quad (2.4.41)$$

$$\text{де: } W_{\text{ел.заг}}^{BH_{i,j}^k} = W_{\text{ел.вир}}^{BH_{i,j}^k} + W_{\text{ел.мп}}^{BH_{i,j}^k} + W_{\text{ел.роз}}^{BH_{i,j}^k} + W_{\text{ел.дон}}^{BH_{i,j}^k} + \Delta W_{\text{ел.втр}}^{BH_{i,j}^k}.$$

У технологічному процесі виробництва тепла електроенергію в основному споживає тягодуттьове обладнання, живильні, рециркуляційні насоси, насоси сирій води і хімовдоочистки, агрегати паливоприготування та золовидалення, прилади регулювання та освітлення тощо. Нормативна питома витрата електроенергії у процесі виробництва тепла складає 20 ÷ 22 кВт·год/Гкал у широкому спектрі (0,5 ÷ 50 Гкал/год) типорозмірів продуктивності котелень на природному газі. Для котелень на мазуті, вугіллі

і торфї питомі витрати електроенергії збільшуються, відповідно в 1,09, 1,2 та 1,19 разів. При цьому, витрати електроенергії електроприводами технологічного обладнання при виробництві теплової енергії змінюються практично пропорційно до об'ємів виробленої теплової енергії.

Витрати електроенергії на транспортування теплової енергії від котельні до ЦТП або ІТП в основному складаються із спожитої електроенергії двигунами мережевих насосів систем опалення та насосів підживлення і при якісному регулюванні відпуску майже не залежать від обсягів виробленої теплової енергії.

При розподілі та трансформації теплової енергії електроенергію в основному споживають підвищувальні та циркуляційні насоси системи гарячого водопостачання (ГВП), прилади освітлення та регулювання.

Витрати електроенергії на допоміжні (загальновиробничі) потреби складаються з витрат на освітлення та вентиляцію виробничих приміщень, витрат електроенергії контрольно-вимірювальними приладами та засобами автоматики, на випробування і ремонтні роботи теплосилового обладнання котельні та ЦТП, на електроопалення та ГВП виробничих приміщень.

Нормативні втрати електричної енергії складаються з втрат при трансформації і транспортуванні до електроприймача і складають  $2 \div 8$  % від загально споживаної електроенергії.

Основною складовою витрат електроенергії на потреби тепlopостачання є витрати на транспорт теплової енергії, які складають до 70 % загального її споживання. Характеристикою енергетичної ефективності технологічного процесу транспортування, є питома середньогодинна витрата електроенергії (так звана гідравлічна електроенергетична характеристика

теплової мережі)  $\lambda_{ел.мп}^{BH_{i,j}^k}$ , яка визначається упорядкованим за часом відношенням множини середньогодинних значень витрат електроенергії на

транспорт теплової енергії в тепловій мережі  $\left\{ W_{ел.мп}^{BH_{i,j}^k} \right\}$ , кВт·год, до множини



середньогодинних значень відпуску теплової енергії від джерел теплової енергії  $\left\{ Q_{відп}^{BH^k} \right\}$ , Гкал, при відповідних значеннях температури зовнішнього повітря:

$$\left\langle \left\langle \lambda_{ел.тр}^{BH^k} \right\rangle \right\rangle \Leftrightarrow \left\{ W_{ел.тр}^{BH^k} \right\}_j / \left\{ Q_{відп}^{BH^k} \right\}_j, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{Гкал}. \quad (2.4.42)$$

Оскільки транспорт теплової енергії у СЦТ здійснюється за допомогою електроприводу, питома середньогодинна витрата електроенергії може бути виражена також відношенням середньогодинної потужності на валу електродвигунів насосного обладнання (кВт) до середньогодинної витрати теплової енергії (теплової потужності, Гкал/год.).

Упорядкована за часом множина середньогодинних значень електричної потужності  $\left\{ P_{ел.дв}^{BH^k} \right\}$  (кВт) на валу електродвигуна  $k$ -го насоса визначається програмним інструментом за наступною формулою:

$$\left\langle \left\langle W_{ел.дв}^{BH^k} \right\rangle \right\rangle \Leftrightarrow \frac{g_0 \times \left\{ G_{мрж}^{BH^k} \right\}_j \times \left\{ H_{мрж}^{BH^k} \right\}_j}{3600 \times \left\{ \eta_{нс}^k \right\}_j \times \left\{ \eta_{ел}^k \right\}_j}, \quad (2.4.43)$$

де  $\left\{ G_{мрж}^{BH^k} \right\}$  – множина значень середньогодинних витрат теплоносія, переміщуваного насосом, т/год.;  $\left\{ H_{мрж}^{BH^k} \right\}$  – множина значень напору насоса, м вод. ст.;  $g_0$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\left\{ \eta_{нс}^k \right\}$  – множина значень коефіцієнта корисної дії насоса;  $\left\{ \eta_{ел}^k \right\}$  – множина значень коефіцієнта корисної дії електродвигуна. Усі множини у формулі (4.43) упорядковані за часом та приведені до відповідної витраті теплоносія; 3600 с = 1 год.

На Рис.2.4.20 представлений розрахований за моделлю (2.4.42) графік залежності від значень градусо-добы питомої середньогодинної витрати електроенергії  $\lambda_{ел.тр}^{BH_{i,j}^k}$  на передачу теплового навантаження за температурним

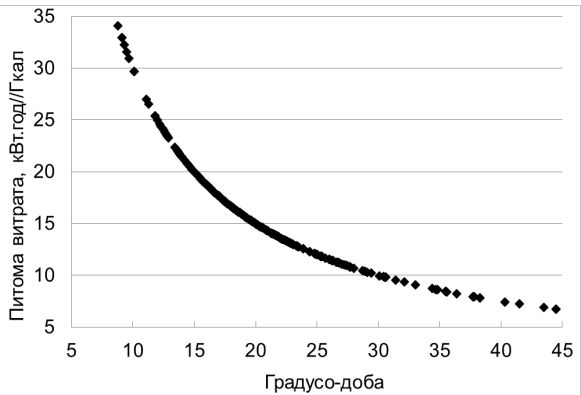


Рисунок 2.4.20 – Питома середньогодинна витрата електроенергії на передачу теплового навантаження

графіком 95-65 °С у СЦТ, структурна схема якої зображена на Рис.2.4.2. Не складно побачити, що середньогодинна витрата електроенергії обернено пропорційно залежить від значень градусо-добы за опалювальний період.

Інші складові витрат електроенергії на потреби тепlopостачання за формулою (2.4.41) складають 20÷30 % від загального її споживання, тому, враховуючи пряму залежність цих витрат від обсягів виробництва теплової енергії і обсягів споживання палива (природного газу), для цілей техніко-економічного аналізу достатньо розраховувати їх загалом.

Функціональна схема програмної реалізації модуля структурно-параметричної оптимізації системи виробництва теплової енергії включає, але ж не обмежується, наступними блоками (підмодулями):

- бази даних по енергоефективності типових проєктів житлових і громадських будинків в Україні, даних експлуатації системи тепlopостачання одного з обласних міст в Україні за п'ять років (параметри та режими роботи теплогенеруючого обладнання і теплових мереж, метеорологічні дані, фактичні та прогнозні);
- розрахунку температурно-погодних факторів впливу, у тому числі розрахунку параметрів прогнозно-випереджального управління підвищенням

ефективності системи тепlopостачання шляхом виділення та подальшого роздільного урахування на кожному з виділених інтервалів опалювального періоду трендових (у тому числі сезонних) і циклічних (коливальних) складових, визначених за допомогою фільтра Ходріка-Прескотта (Hodrick-Prescott Filter, HP-filter) [186], який здійснює згладжування часових послідовностей поліномами третього ступеня;

- розрахунку базових показників 3-Е ефективності функціонування визначеної системи виробництва теплової енергії, що охоплює блоки розрахунку обсягів власних потреб виробників у тепловій та електричній енергії, сумарних потреб, необхідних для покриття попиту споживачів з урахуванням втрат енергії у теплових мережах, та блоків розподілення теплового навантаження системи за зонами базового, блочно-регульованого і маневрового навантаження (все це з шагом день/ніч температури-часової дискретизації процесу виробництва за опалювальний період);

- розрахунку середньогодинних показників функціонування теплоенергетичного обладнання за зонами базового, блочно-регульованого і маневрового навантаження, що включає розрахунок таких показників, як необхідна встановлена потужність обладнання, час його використання, обсяг виробництва теплоти, надлишок (дефіцит) виробництва у порівнянні з потребами споживачів, коефіцієнт використання встановленої потужності, ККД (брутто і нетто) в залежності від величини наявного теплового навантаження, кількість включень і останов обладнання за опалювальний період та втрати на пуски і зостанови;

- розрахунку витрат та втрат первинного палива, теплоносія та електроенергії на забезпечення належного функціонування системи централізованого теплозабезпечення споживачів, обсягів викидів забруднюючих речовин та вартості використаних на виробництво теплової енергії видів первинного палива та енергії;

- оптимізації за показниками 3-Е ефективності структури і параметрів задіяного у технологічному процесі вироблення теплової енергії обладнання

з урахуванням дискретного характеру функціонування СЦТ (змінami за часом та температурою зовнішнього повітря кількості та послідовності задіяних генеруючих блоків), де пошук оптимального рішення здійснюється за два етапи: на першому застосовується метод бар'єрних функцій, а на другому – метод узагальненого приведеного градієнта (для уточнення знайденого на першому етапі рішення. Останнє робиться задля знаходження «глобального» екстремуму цільової функції шляхом подолання бар'єрів, що виникають в моменти зміни структури задіяного генеруючого обладнання.

Тестування і калібрування моделі проведено на базі експериментальних даних функціонування системи виробництва теплової енергії, структурну схему якої наведено на Рис.2.4.2, за даними 3-річних щодобових вимірювань таких параметрів, як тривалість роботи котельні, кількість працюючих котлів, обсяги відпуску тепла у теплову мережу і витрат на власні потреби, обсяги витрат природного газу, електроенергії і води.

За моделлю розраховано показники виробництва теплової енергії котельною на природному газі у системі, схема якої відображена на Рис.2.4.2. У базовому (наявному) стані котельня налічувала два котли встановленою потужністю 7,56 тис. кВт і один котел на 9,65 тис. кВт з ККД брутто 0,922. При цьому у роботі використовувалися один котел 7,56 тис. кВт і котел на 9,65 тис. кВт, обсяг виробництва теплової енергії за опалювальний період складав 21109 тис. кВт·год. (18154 Гкал) при потребі споживачів у 18182 тис. кВт·год., перетопи – 1278 тис. кВт·год. тис., а недотопи – 880 тис. кВт·год., обсяг викидів CO<sub>2</sub> – 5,22 тис. тон при середньогодинному ККД брутто котельні 0,855.

Проведені оптимізаційні розрахунки за наявною структурою системи, результати яких представлені на Рис.2.4.21, показали можливість зниження до 446 тис. кВт·год. обсягу недотопів у системі (викликаних понадмірною встановленою потужністю задіяних котлів), забезпечуючи базовий режим роботи котельні двома котлами по 7,56 тис. кВт.

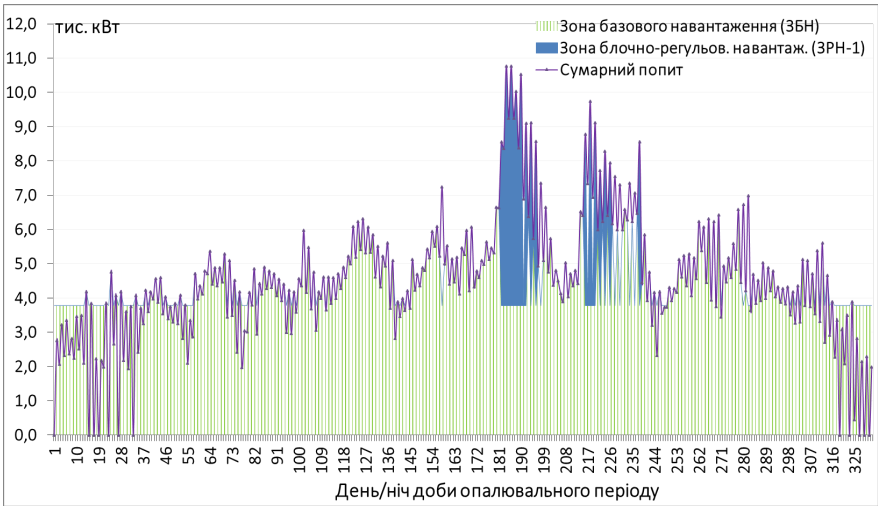
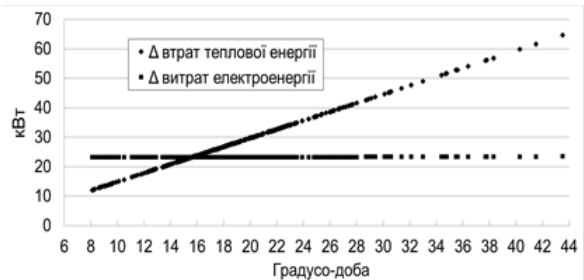


Рисунок 2.4.21 – Зони оптимального розподілення навантаження котлів за опалювальний період у базовому стані роботи котельні

Проведено додаткові параметричні дослідження стосовно можливості зниження обсягів виробництва теплової енергії у базовому стані системи шляхом переходу з одного температурного графіку роботи теплової мережі на інший. Так, на

Рис.2.4.22 наведено порівняні з Рис.2.4.17 графіки залежності обсягів зменшення середньогодинних втрат



теплової енергії в тепловій мережі і збільшення

Рисунок 2.4.22 – Залежності зміни втрат теплової енергії і витрат електроенергії на транспорт теплоносія

середньогодинних витрат електроенергії на транспорт теплової енергії по мережі (на 21,11 кВт·год.) при переході з температурного графіка 95-65 °С на графік 87-65 °С.

Не складно помітити, що поінтервальним вибором параметрів температурного графіка як у бік підвищення, так і зниження температури

теплоносія, можливо оптимізувати витрати паливно-енергетичних ресурсів (у даному випадку природного газу і електроенергії) в енергетичному і вартісному еквівалентах.

Так, проведені розрахунки показують, що за цінами на електроенергію у 80,00 \$/МВт-год., а на вироблену теплову енергію 48,50 \$/Гкал для теплової мережі, що розглядається, економічно доцільним стає перехід на температурний графік 87-65 °С у діапазоні зміни температур зовнішнього повітря нижче -12 °С (вище середнього значення у 30 градусо-днів).

Якщо ж використовувати температурний графік 87-65 °С продовж опалювальний період, то для умов функціонування теплової мережі, що розглядається (див., наприклад, форму графіку, наведеного на рис.4.17), за яких середня за опалювальний період величина градусо-добі дорівнюватиме 19,0, втрати теплової енергії в мережі зменшаться за опалювальний період на 97,0 Гкал, витрати електроенергії зростуть на 89,0 тис. кВт·год., зростуть на 5,1 тон і обсяги викидів CO<sub>2</sub>, а загальні збитки за опалювальний період складуть понад 2,4 тис.\$.

Цей приклад показує, що намагання виробників в Україні підвищувати 3-Е ефективність СЦТ шляхом зниження температури теплоносія потребує ретельного техніко-економічного обґрунтування. Досвід північноєвропейських країн, де СЦТ знайшли широке розповсюдження, показує, що оптимум, за умов відповідного технічного стану системи, слід шукати в області значень температурного графіку 120-60 °С.

Проведено структурно-параметричну оптимізацію системи з метою дослідження можливостей підвищення 3-Е ефективності СЦТ при використанні у роботі чотирьох котлів з ККД брутто 0,960, результати якої представлені на рис. 2.4.23. Оптимальною виявилася множина (1,72; 2,11; 5,81; 3,29) величин встановленої потужності котлів, тис. кВт. При цьому, обсяг виробництва теплової енергії за опалювальний період склав 18461 тис. кВт·год. (15876 Гкал) при потребі споживачів у 18182 тис. кВт·год., а перетопи – 282 тис. кВт·год. тис. за відсутності недотопів. У порівнянні з базовим режимом, представленим на рис.4.21, виграш складає 2,277 тис. Гкал за опалювальний період (12,5%), що за ціною на теплову енергію 48,50 \$/Гкал надасть щорічну економію у 110,4 тис.\$ та зниження обсягів викидів CO<sub>2</sub> на 0,597 тис. тон при середньогодинному ККД брутто котельні 0,937.

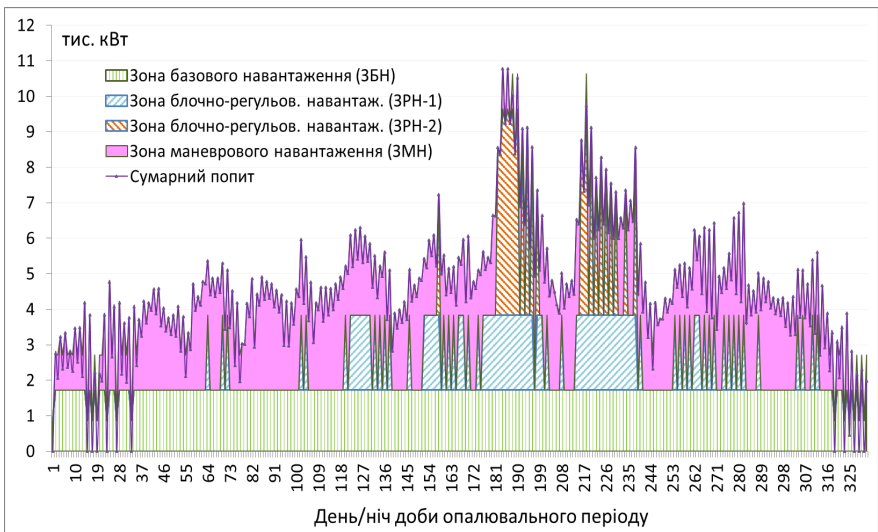


Рисунок 2.4.23 – Зони оптимального розподілення навантаження котлів за опалювальний період у чотирьох зонному режимі роботи котельні

Однак, цей результат може бути покращений шляхом використання в управлінні виробництвом теплової енергії СЦТ властивість інерційності процесів її постачання і споживання, застосовуючи методи і засоби

прогнозованого випередження (на 6-12 годин) по відношенню до змін температури зовнішнього повітря.

Широке розповсюдження методів, моделей і засобів прогнозованого випередження (Model Predictive Control) почалося у 70-80-х роках 20 століття [97, 186-191].

При побудові моделі управління температурними режимами СЦТ термодинамічні процеси у системі потрібно розподіляти на швидкі (нестационарні) і повільні (квазіусталені), що в даній роботі здійснюється за допомогою фільтра Ходріка-Прескотта [186]. Специфіка моделі управління, що розглядається, насамперед потребує обрахунку квазіусталених процесів (теплостійкості будівель) шляхом їх відображення у вигляді інтегральних кривих квазідинаміки протікання теплових процесів.

Під теплостійкістю розуміють властивість огороження будівлі зберігати відносну сталість температури внутрішньої поверхні огороження при коливаннях зовнішніх теплових впливів. Власно проведені розрахунки за формулами, представленими у роботах [173, 192-195], показують, що температурна хвиля на внутрішньої поверхні огороження розглянутих будинків по відношенню до хвилі коливання температури зовнішнього повітря посунута на більше ніж 6 годин у бік запізнення.

Зрозуміло, що розглянуті у попередніх розділах роботи методи і алгоритми управління тепловими режимами СЦТ, які основані на статичних температурних графіках регулювання температури теплоносія у подавальному і зворотному трубопроводах, потребують корегування з метою урахування динамічного запізнення розрахункових (потрібних, оптимальних тощо) значень споживання теплової енергії по відношенню до фактичних обсягів їх споживання, обумовлених інерційними властивостями елементів і об'єктів системи.

Інерційність, як загальна властивість енергетичних об'єктів і систем, у системах тепlopостачання вимірюється або швидкістю, з якою система виходить на робочий режим, або часом, що проходить між запуском системи



(процесом) і нагрівом повітря в приміщеннях кінцевого споживача (рідини, іншого теплоємного об'єкту нагріву тощо) до розрахункової температури. Теплова інерція елементів і об'єктів системи тепlopостачання в основному визначається і залежить від коефіцієнтів теплопровідності елементів системи, їх об'ємних і масових характеристик та встановленої потужності системи виробництва.

На Рис.2.4.24 наведені розраховані за моделлю погодинні залежності і характеристики (площі) динамічного запізнення розрахункових і фактичних значень теплоспоживання приміщень (теплого навантаження будинків у цілому тощо) по відношенню до змін температури зовнішнього повітря (починаючи з 00 годин доби). Для чисельних значень параметрів, наведених на Рис.2.4.24, не складно підрахувати, що за наявного динамічного запізнення сумарні (за абсолютними величинами) порушення умов життєдіяльності у приміщеннях, обумовлені невідповідністю температури внутрішнього повітря за рахунок переопалення (+) і недоопалення (-) приміщень, складають величину біля 2 % від рівня загального теплоспоживання.

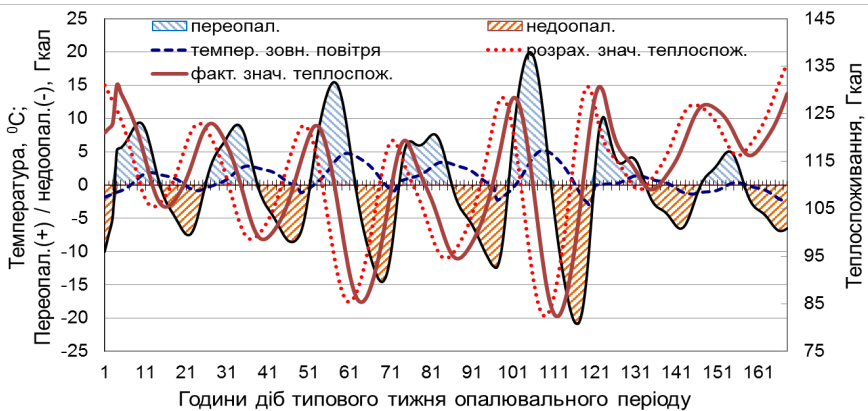


Рисунок 2.4.24 – Залежності і характеристики розрахункових і фактичних значень теплоспоживання приміщень за умов динамічного запізнення

Алгоритм автоматизованого розрахунку обсягів теплової енергії, що марно витрачають на інтервалах переопалення і недопостачають на

інтервалах недоопалення, при заданих у табличній формі розрахункових  $q_{розр}^j$  і фактичних  $q_{факт}^j$  функціях потужності теплоспоживання, де  $j = \overline{1, l+1}$ ,  $l$  – число інтервалів дискретизації функцій за часом за період опалення, працює наступним чином:

1) Використовуючи відомі значення цих функцій або застосовуючи для їх розрахунку кусково-лінійну апроксимацію кривих теплоспоживання за програмними інструментами *SLOPE* і *INTERCEPT* табличного процесора), на кожному  $j$ -му інтервалі дискретизації знаходимо відповідні обсяги споживання теплової енергії

$$Q_{розр}^j = (q_{розр}^j + q_{розр}^{j+1}) \Delta t_j / 2, \quad Q_{факт}^j = (q_{факт}^j + q_{факт}^{j+1}) \Delta t_j / 2, \quad (2.4.44)$$

де  $\Delta t_j$  – тривалість  $j$ -го інтервалу дискретизації, та їх різницю

$$\Delta Q_{n/n}^j = Q_{факт}^j - Q_{розр}^j;$$

2) Застосовуючи логічні функції *IF* табличного процесора знаходимо обсяги переопалення  $Q_{n.опал}^j = IF(\Delta Q_{n/n}^j \geq 0; \Delta Q_{n/n}^j; 0)$  і недоопалення  $Q_{n.опал}^j = IF(\Delta Q_{n/n}^j \leq 0; \Delta Q_{n/n}^j; 0)$ ;

3) Підсумовуючи знайдені обсяги переопалення і недоопалення за період опалення, визначаємо:

$$Q_{n.опал}^l = SUM(Q_{n.опал}^j), \quad Q_{n.опал}^l = SUM(Q_{n.опал}^j), \quad j = \overline{1, l}. \quad (2.4.45)$$

Визначені за цим розрахунком величини в подальшому використовуються у відповідному алгоритмі управління з прогнозованим випередженням. Якість управління режимами теплопостачання за період часу  $T_0$ , що розглядається, оцінюється коефіцієнтом ефективності  $\mu_{ef}$ , а резерви економії теплової енергії внаслідок управління – коефіцієнтом надлишку подачі тепла  $\nu_{надл}$  [187]:

$$\mu_{\text{еф}} = \int_0^{T_0} \min\{Q_{\text{факт}}, Q_{\text{розр}}\} d\tau / \int_0^{T_0} \max\{Q_{\text{факт}}, Q_{\text{розр}}\} d\tau, \quad (2.4.46)$$

$$\mu_{\text{еф}} = \int_0^{T_0} \max\{Q_{\text{факт}}, Q_{\text{розр}}\} d\tau / \int_0^{T_0} Q_{\text{факт}} d\tau$$

де значення  $\mu_{\text{еф}}$  при якісному функціонуванні системи тепlopостачання будуть наближуватися до одиниці.

Враховуючи складність визначення цих коефіцієнтів за формулами (2.4.46), у роботі застосовано розглянутий вище алгоритм, за яким коефіцієнти ефективності  $\mu_{\text{еф}}$  та надлишку  $\nu_{\text{надл}}$  подачі тепла розраховуються більш простими операціями підсумовування:

$$\hat{\mu}_{\text{еф}} = \text{SUM}_j(Q_{\text{факт}}^j + Q_{\text{н.опал}}^j) / \text{SUM}_j(Q_{\text{факт}}^j + Q_{\text{н.опал}}^j), \quad (2.4.47)$$

$$\hat{\nu}_{\text{надл}} = \text{SUM}_j(Q_{\text{факт}}^j + Q_{\text{н.опал}}^j) / \text{SUM}_j(Q_{\text{факт}}^j).$$

Для даних, представлених на Рис.2.4.24, розрахунок за формулами (2.4.44)-(2.4.47) визначає наступні значення коефіцієнта ефективності  $\mu_{\text{еф}} = 0,9838$  і коефіцієнта надлишку  $\nu_{\text{надл}} = 1,0075$ .

Застосовуючи прогнозоване випередження в управлінні СЦТ, проведено структурно-параметричну оптимізацію системи з метою дослідження можливостей підвищення 3-Е ефективності СЦТ при використанні у роботі оптимальної кількості котлів, починаючи з чотирьох, як і у попередньому варіанті на Рис.2.4.23. Результати оптимізації представлені на Рис.2.4.25.

Оптимальною виявилася множина величин встановленої потужності котлів (4,00; 7,56; 0,00; 4,00) тис. кВт, тобто кортеж з трьох задіяних у роботі котлів, з яких тільки два нових з ККД брутто 0,960, а старий, що працює незначний час у піковому режимі – з ККД брутто 0,922. При цьому, обсяг виробництва теплової енергії за опалювальний період склав 18196 тис. кВт·год. (15649 Гкал) при потребі споживачів в 18182 тис. кВт·год., а

перетопи – 13,9 тис. кВт·год. тис. за відсутності недотопів. У порівнянні з базовим режимом, представленим на Рис.2.4.21, виграш складає 2505 Гкал (13,8 %) за опалювальний період, що за ціною на теплову енергію 48,50 \$/Гкал дає щорічну економію у 121,5 тис.\$ та зниження обсягів викидів CO<sub>2</sub> на 0,653 тис. тон при середньогодинному ККД бруто котельні 0,943.

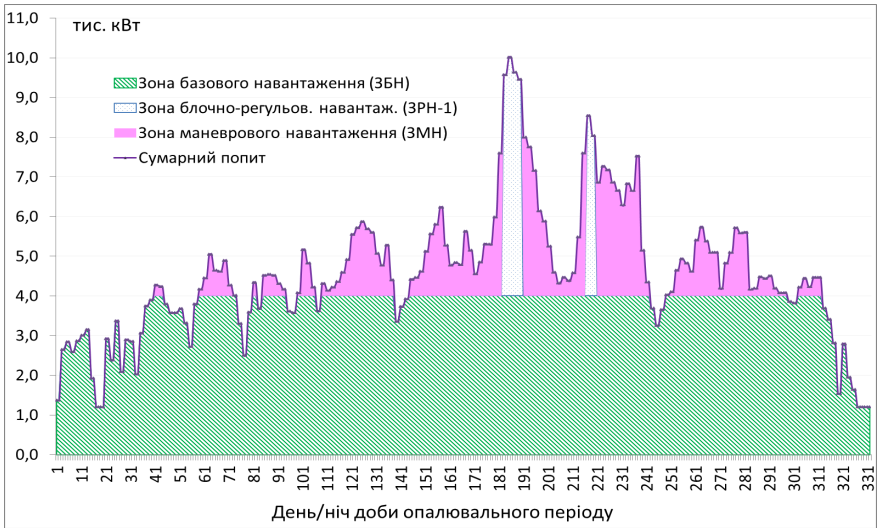


Рисунок 2.4.25 – Зони оптимального розподілення навантаження котлів за опалювальний період у режимі роботи з випереджальним управлінням

Зрозуміло, що впровадження нових технологій і обладнання дає найбільший енерго- і ресурсозберігаючий ефект. При цьому, проведення техніко-еколого-економічних обґрунтувань доцільності підвищення 3-Е ефективності систем КТЕ (СЦТ тощо) шляхом заміни застарілого обладнання і технологій, має виконуватись на базі методу аналізу затрат за період окупності інвестицій (Life Cycle Cost Analysis), шляхом розрахунку таких кількісних показників ефективності проєктів, як чиста приведена вартість (Net Present Value, NPV), співвідношення економії до інвестицій (Savings-to-Investment Ratio, SIR), внутрішня норма прибутку (Internal Rate of Return, IRR), простий період окупності (Simple Payback Period, SPP) і дисконтований період окупності (Discounted Payback Period, DPP).

Підсумовуючи наведені результати програмної реалізації оригінальних моделей і алгоритмів (формули (2.4.31)-(2.4.47)), а також результати проведених багатоваріантних розрахунків, відображених на Рис.2.4.19 – Рис.2.4.25, окремо наголосимо, що головною перевагою запропонованих моделей є можливість одночасного визначення оптимальних залежностей часових втрат і витрат теплової і електричної енергії (первинного палива тощо) від структури і параметрів системи, насамперед, величин втрат теплової і електричної енергії в квазідинамічних режимах навантаження енергетичного обладнання, а також кількості включень і останов котлів в залежності від визначеного алгоритму роботи котельні та температури зовнішнього повітря.

## Список використаних джерел до розділу 2

1. Комунальна теплоенергетика України: Стан, проблеми, шляхи модернізації : в 2 т. / [Долінський А. А. Басок Б. І., Базєєв Є. Т., Піроженко І. А.]. – К. : Поліграф-Сервіс, 2007. – Т. 1. – 394 с.
2. Комунальна теплоенергетика України: Стан, проблеми, шляхи модернізації : в 2 т. / [Долінський А. А. Басок Б. І., Базєєв Є. Т., Піроженко І. А.]. – К. : Поліграф-Сервіс, 2007. – Т. 2. – 828 с.
3. Ковалко О. М., Вступ до теорії енергоефективності багаторівневих систем: методи та моделі енергетичного менеджменту в системі житлово-комунального господарства / Ковалко О. М., Новосельцев О. В., Євтухова Т. О. – К: НАН України, Ін-т теплофізики, 2014. – 252 с.
4. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році. / [Єрмілов С. Ф., Геєць В. М., Яценко Ю. П. та ін.]. – К. : НАЕР, 2009. – 93 с.
5. Стан та перспективи реформування системи теплозабезпечення в Україні. Аналітична доповідь / [ Шевцов А. І., Бараннік В. О., Земляний М. Г., Рязова Т. В.]. – Дніпропетровськ: Регіональний філіал Національного інституту стратегічних досліджень, 2010. – 66 с.
6. Національний план дій з енергоефективності до 2020 року. Підготовлений Україною, як Договірною Стороною Енергетичного Співтовариства. – К.: Держенергоефективність України, 2013. – 82 с.
7. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Загальні засади енергозбереження / [Жовтянський В. А., Кулик М. М., Стогній Б. С.] – К.: Академперіодика, 2006. – Т. 1. – 510 с.
8. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Механізми реалізації політики енергозбереження / [ Жовтянський В. А., Кулик М. М., Стогній Б. С.] – К.: Академперіодика, 2006. – Т.2. – 600 с.

9. Ковалко М. П. Энергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М. П. Ковалко, С. П. Денисюк. – К.: Укренергозбереження, 1998. – 506 с.
10. Энергетика світу та України. Цифри та факти / [Вороновський Г. К., Денисюк С. П., Кириленко О. В. та ін.]. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2005. – 404 с.
11. Огризко П.Т. Энергозбереження в Україні. / Огризко П.Т. – Харків: Слобода, 2012. – 298 с.
12. Novoseltsev O. Cross-Border Cooperation of Energy Service Companies as a Factor Enhancing Energy and Economic Safety // Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems / Novoseltsev O., Kovalko O., Evtukhova T.; (eds) G. Pivnyak, O. Beshta, M. Alekseyev. – London: Taylor & Francis Group, CRC Press, 2013. – P. 37–46.
13. Odum H. T. Energy, Ecology, and Economics / Odum H. T. // AMBIO. – 1973. – vol.2. – №6. – P. 220–227.
14. Бушуев В. В. Энерго-эколого-экономическая концепция устойчивого развития цивилизации / В. В. Бушуев, А. И. Громов // Партнерство цивилизаций. – 2013. – №4. – С. 203–213.
15. Карп И. Н. Пути решения проблем коммунальной энергетики / И. Н. Карп, Е. Е. Никитин // Житлово-комунальне господарство України. – 2011. – №6 (39). – С. 16–22.
16. Закон України «Про природні монополії»: за станом на 24.10.2013. – № 1682-III.
17. Закон України «Про захист економічної конкуренції»: за станом на 26.01.2016. – № 2210-III.
18. Леви-Строс К. Структурная антропология / К. Леви-Строс. – М.: Эксмо-Пресс, 2001. – 264 с.
19. Adelman M. A. Concept and Statistical Measurement of Vertical Integration. – Princeton: Princeton University Press, 1955. – P. 281 – 330.
20. Grossman S. J. The Costs and Benefits of Ownership: A Theory of

Vertical and Lateral Integration / S. J. Grossman, Hart O. D. // *Journal of Political Economy*, 1986. – Vol. 94. – № 4. – P. 691-719.

21. Acemoglu D. Vertical Integration and Technology: Theory and Evidence / D. Acemoglu, R. Griffith, P. Aghion, F. Zilibotti // *Journal of the European Economic Association*, 2010. – Vol. 8. – № 5. – P. 989–1033.

22. Ursino G. Supply Chain Control: A Theory of Vertical Integration / G. Ursino / *Munich Personal RePEc*, 2009. – № 18357. – 32 p.

23. Іванов Ю. Б. Інтеграційний розвиток суб'єктів господарювання: теоретичне обґрунтування та організація управління / Ю. Б. Іванов, А. А. Пилипенко – Х.: ВД «ІНЖЕК», 2012. – 400 с.

24. Чухрай Н. І. Розвиток вертикально-інтегрованих структур в Україні на прикладі паливно-енергетичного комплексу / Н. І. Чухрай, І. В. Климовець // *Інноваційна економіка*, 2012. – № 4 (30). – С. 293–297.

25. Євдокімов Ф. І. До проблеми оцінки ефективності інтеграції промислових підприємств / Ф. І. Євдокімов, Н. В. Розумна // *Економіка промисловості*, 2007. – № 1. – С. 139–145.

26. Момот Т. В. Вартісно-орієнтований організаційно-економічний механізм корпоративного управління холдинговими компаніями: стратегія отримання комбінаторних переваг: // Т. В. Момот, М. В. Кадничанський, О. А. Лобанов, Н. В. Рудь. – Х.: Фактор, 2010. – 220 с.

27. Люльчак З. С. Засади консолідації підприємств у паливно-енергетичному комплексі України / З. С. Люльчак, О. П. Карпій, Г. І. Ільчук // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Логістика. – 2009. – Вип. 649. – С. 109–120.

28. Скопенко Н. С. Методичні підходи до визначення доцільності та ефективності інтеграційної взаємодії суб'єктів господарювання / Н. С. Скопенко // *Стратегія економічного розвитку України*, 2014. – № 34. – С. 163–170.

29. Закон України «Про теплопостачання»: за станом на 16.07.2015. – № 2633-IV.



30. Гелетуха Г. Г. Анализ тарифообразования в секторе централизованного теплоснабжения стран Европейского Союза / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железная, А. И. Баштовой. – Аналитическая записка № 14 – К.: Биоэнергетическая ассоциация Украины, 2016. – 46 с.

31. Люльчак З. С. Засади формування конкурентних відносин на регіональних ринках теплової енергії системи централізованого теплопостачання / З. С. Люльчак, Н. І. Хтей, Л. М. Акімова // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Логістика. – 2008. – Вип. 623. – С. 137–142.

32. Закон України «Про державне регулювання у сфері комунальних послуг»: за станом на 16.07.2015. – № 2479-VI.

33. Євтухова Т. О. Структурно–функціональні особливості побудови системи управління енергозбереженням у ЖКГ України / Т. О. Євтухова // Проблеми загальної енергетики. – 2010.– №2 (22).– С.39–44.

34. Ковалко О. М. Теоретико–множинна модель багаторівневої системи організаційно–технологічного управління енерговикористанням у системах з ієрархічною структурою / О. М. Ковалко, Т. О. Євтухова // Енергетика: економіка, технології, економіка. – 2010. – №2. – С.42–49.

35. Ковалко А. М. Формалізація моделі програмно–целевого управління розвитком городських систем комунальної теплоенергетики в умовах ринкової економіки / А. М. Ковалко, А. В. Новосельцев, Т. А. Євтухова // Промышленная теплотехника. – 2011. – №8. – С.165–170.

36. Аверченко А.Р. Проблеми розвитку теплозабезпечення в Україні / Аверченко А.Р. – Харків: Слобода, 2011. – 239 с.

37. Гесьо М.П. Теплові втрати існуючих систем теплозабезпечення України / Гесьо М.П. – Львів: Наукова думка, 2011. – 181 с.

38. Froot K. A. Perspectives on PPP and Long–Run Real Exchange Rates – Cambridge: Bureau of Economic Research, 1994. – 55 p.

39. Stapel S. Eurostat–OECD Methodological Manual on Purchasing Power Parity. – Paris: OECD Publications, 2006. – 280 p.

40 Gareth D. The Potential and Costs of District Heating Networks. – Oxford: Poyry Energy, 2009. – 152 p.

41. Кулик М. М. Аналіз стану розвитку систем теплозабезпечення в Україні / М. М. Кулик, Г. О. Куц, В. Д. Білодід // Проблеми загальної енергетики. – 2006. – №14. – С. 13–24.

42. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про енергетичну стратегію України на період до 2030 р.»: за станом на 24.07.2013. – №1071.

43. Новосельцев О. В. Методи та засоби організаційно-технологічного управління підвищенням ефективності систем тепlopостачання за критеріями сталого розвитку / О. В. Новосельцев, Б. І. Басок, Т. О. Євтухова // Організаційно-економічні механізми модернізації теплоенергетики України: зб. матеріалів; за ред. Б. І. Баска; Інститут технічної теплофізики НАН України. – К.: ТОВ «Видавничий дім «Калита», 2015. – Розділ.2.5. – С. 92–103 с.

44. Статистичний бюлетень про основні показники роботи опалювальних котелень і теплових мереж в Україні за 2013 рік. – Київ: Державна служба статистики України. – 2014. – 21 с.

45. Розпорядження КМ України «Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року» : за станом на 01.10.2014. – №902- р.

46. Найда А. Р. Впровадження енергозберігаючих технологій в Україні / Найда А.Р. – Харків: Слобода, 2011. – 211 с.

47. Межі економічної доцільності централізації і децентралізації тепlopостачання / Дубовський С. В., Бабін М. Є, Левчук А. П. [та ін.] // Проблеми загальної енергетики. – №24. – 2011. – С. 26-31.

48. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» від 21.12.2010, №2818-VI.

49. In-Depth Review of the Energy Efficiency Policy of Ukraine / [Katyshev S., Brandl G., Jambor E., Prata Dias G. and Chobanova] – Brussels:

Energy Charter Secretariat, 2013. – 134 p.

50. Теоретические основы системных исследований в энергетике / [Гамм А. З., Макаров А. А., Санеев Б. В. и др.] – Новосибирск: Наука, 1986. – 335 с.

51. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / Месарович М., Мако Д., Такахара И. – М.: Мир, 1973. – 344 с.

52. Моисеев Н. Н. Элементы теории оптимальных систем / Моисеев Н. Н. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1975. – 527 с.

53. Губанов В. А. Введение в системный анализ / Губанов В. А., Захаров В. В., Коваленко А. Н. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1988. – 232 с.

54. Растринин Л. А. Системы экстремального управления / Растринин Л. А. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. – 632 с.

55. Гитис Э. И. Техническая кибернетика / Гитис Э. И., Данилович Г. А., Самойленко В. И. – М.: Советское радио, 1969. – 488 с.

56. Юдин Д. Б. Задачи и методы линейного программирования / Д. Б. Юдин, Е. Г. Гольштейн – М.: Советское радио, 1961. – 492 с.

57. Канторович Л. В. Об одном эффективном методе решения некоторых классов экстремальных проблем / Л. В. Канторович // ДАН СССР. – 1940. – Т.28. – №3. – С. 212–215.

58. Ермаков С. М. Математическая теория оптимального эксперимента / С. М. Ермаков, А. А. Жиглявский – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 320 с.

59. Євтухова Т. О. Механізм реалізації самоокупних енергозберігаючих заходів на комунальних підприємствах тепло-, водопостачання та водовідведення / Т. О. Євтухова // Проблеми загальної енергетики. – 2003. – №9. – С. 55–58.

60. Новосельцев О. В. Механізм економічного стимулювання енергозбереження на підприємствах комунальної власності / О. В. Новосельцев, Т. О. Євтухова // Проблеми загальної енергетики. – 2003. – №8.

– С. 40–47.

61. Дослідження чинного законодавства України у житлово–комунальній сфері та підготовка пропозицій щодо його вдосконалення з метою забезпечення дерегуляції та прозорості шляхом розроблення єдиного уніфікованого базового законопроекту в житлово–комунальному господарстві / Проміжний звіт за договором № Н-7/328-2012 від 26.10. 2012, Етап 1. – Київ: Інститут соціально–економічних стратегій, 2012. – 152 с.

62. Закон України «Про енергозбереження»: за станом на 09.04.2015. – № 74/94-ВР.

63. Закон України «Про запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб'єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації»: за станом на 25.12.2015. – № 327-VIII.

64. Закон України «Про інвестиційну діяльність»: за станом на 15.04.2014. – №1560-XII.

65. Дідківська Л. І. Державне регулювання економіки : навчальний посібник. / Л. І. Дідківська, Л. С. Головка. – К.: Знання, 2006. – 213 с.

66. Бакуменко В. Д. Державне управління: основи теорії, історія і практика : навчальний посібник / [Бакуменко В. Д., Надолішній П. І., Іжа М. М., Арабаджі Г. І.] – Одеса: ОРІДУ НАДУ, 2009. – 394 с.

67. Михасюк І. Р. Державне регулювання економіки: підручник / І. Р. Михасюк, Л. А. Швайка. – Львів: Магнолія плюс, 2006. – 220 с.

68. Ковалко О. М. Механізми державного управління і регулювання діяльності з підвищення енергоефективності системи КТЕ в Україні / О. М. Ковалко // Наук. Вісник АМУ, Сер. Управління. – 2012. – №4. – С. 103–110.

69. Новосельцев О. В. Функції, форми та механізми державного управління енергоефективністю муніципальних систем комунальної теплоенергетики / О. В. Новосельцев, О. М. Ковалко // Завдання державного, регіонального та муніципального управління в контексті нових реалій національного розвитку : міжн. наук.–практ. конф., Ч.2, Київ, 6 квітня 2012 р.

: матеріали конференції – Київ: АМУ, 2012. – С. 281 – 282.

70. Санковский А. Г. Учебно-методическое руководство по энергетическому экспресс-аудиту / [А. Г. Санковский, А. В. Новосельцев, Е. А. Збродько и др.]. – Караганда: Изд-во КаРГТУ, 2014. – 148 с.

71. Hansen S. J. ESCOs Around the World: Lessons Learned in 49 Countries / Hansen S. J., Bertoldi P., Langlois P. – Lilburn: The Fairmont Press, 2009. – 377 p.

72. Painuly J. P. Promoting Energy Efficiency Financing and ESCOs in Developing Countries: Mechanisms and Barriers / Painuly J. P., Park H., Lee M.-K., Noh J. // Journal of Cleaner Production. –2003. – №11. – P. 659–665.

73. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on Energy Efficiency // Official Journal of the European Union. – 2012. – L315. – P. 1–56.

74. Сиваев С. Б. Создание и деятельность энергосервисных компаний и перфоманс-контрактов в России. Энергосервис и перфоманс контракты: возможности и проблемы их реализации в России. / Сиваев С. Б. – М.: WWF, 2011. – Т.1. – 111 с.

75. Праховник А. В. Управление электропотреблением (концепция, методы и средства) / А. В. Праховник // Изв. АН СССР. – 1990. – Т. 36. – С. 5–16.

76. Bachmann J. Partnership and Incentives: Making Performance Contracting Work in Ukraine / Bachmann J., Novoseltsev A. // Energy Engineering. – Vol.101. – 2004. – №.6.– P. 49–70.

77. Coburn L. Ukraine: Energy Policy Review 2006. / L. Coburn. – Paris: IEA Head of Publications Service, 2006. – 383 p.

78. Постанова НКРЕ «Про затвердження Порядку визначення регуляторної бази активів суб'єктів природних монополій у сфері електроенергетики» від 11.07.2013. – № 899.

79. Постанова НКРЕ «Про затвердження Порядку визначення регуляторної бази активів суб'єктів, що здійснюють розподіл природного

газу» від 28.11.2013. – № 1500.

80. Зубілевич С. Я. Посібник з бухгалтерського обліку та складання фінансової звітності підприємствами України (за національними положеннями (стандартами бухгалтерського обліку) / [С. Я. Зубілевич, І. Ю. Кравченко, О. О. Прокопенко і др.] – К: Укрпапір, Програма Агентства США з міжнародного розвитку, 2002. – 472 с.

81. Міжнародний стандарт бухгалтерського обліку 18 (МСБО 18) Дохід: Стандарт, IASB. – [Міжнародний документ від 01.01.2012]. – 6 с.

82. International Accounting Standard (IAS 18) Revenue : EU [Version as of 16 September 2009]. – 6 p.

83. Голов С. Ф. Бухгалтерський облік та фінансова звітність за міжнародними стандартами / С. Ф. Голов, В. М. Костюченко. – К. : Лібра, 2004. – 880 с.

84. Johnstone D. Replacement Cost Asset Valuation and the Regulation of Energy Infrastructure Tariffs: Theory and Practice in Australia / Johnstone D. – Bath: CRI Centre, University of Bath, 2003. – 51 p.

85. Diewert E. Asset Valuation and Productivity-Based Regulation Taking Account of Sunk Costs and Financial Capital Maintenance / Diewert E., Lawrence D., Fallon J. Report for Commerce Commission. – Hawker: Economic Insights Pty Ltd, 2009. – 76 p.

86. Water and Wastewater Price Review / Price Determination Report. – Canberra: Independent Competition and Regulatory Commission, 2007. – 191 p.

87. Newbery D. Determining the Regulatory Asset Base for Utility Price Regulation / Newbery D. // Utilities Policy. – 1997. – Vol. 6. – №1. – 1–8 p.

88. Carne S. The Competition and Policy Implications of Regulatory Depreciation and the Asset Base Regulation Initiative / Carne S., Currie D., Siner M. // Discussion Paper Series. – London: Business School. – 1999. – №25. – 37 p.

89. Muller M.B. IAC Assessment Database Manual / Muller M.B. – Washington: US Department of Energy, 2011. – 32 p.

90. Muller M. R., Kasten D. Industrial Productivity Training Manual /

- M. R. Muller, D. Kasten – New Jersey: Rutgers University Press, 2006. – 136 p.
91. International Performance Measurement and Verification Protocol. – Vol.1. Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings. – U.S. Department of Energy, 2002. – 89 p.
92. Ishikawa K. Introduction to Quality Control / K. Ishikawa. – University Park, Pennsylvania: Taylor & Francis, 1990. – 435 p.
93. Gastwirth J. The use of the Lorenz curve, Gini index and related measures of relative inequality and uniformity in securities law / J. Gastwirth, R. Modarres, E. Bura // International Journal of Statistics. – 2005. – Vol.LXIII. – №3. – P. 451–469.
94. Chen J. QFD-based Technical Textbook Evaluation – Procedure and a Case Study / J. Chen, J. C. Chen // Industrial Technology. – 2002. – Vol.18. – №1. – P. 1–8.
95. Jebaray S. A review of Energy Models / S. Jebaray, S. Sniyan // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2006. – Vol.10. – P. 281–311.
96. Аввакумов В. Г. Постановка и решение электроэнергетических задач исследования операций / Аввакумов В.Г. – Киев: Вища школа, 1983. – 240 с.
97. Табунщиков Ю. А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач – М.: АВОК–ПРЕСС, 2002. – 194 с.
98. Masse P. Applications of Linear Programming to Investments in Electric Power Industry / P. Masse, R. Gibrat // Management Science. – 1957. – Vol. 3. – № 1. – P. 149–166.
99. Delson J. K. LP Applications to Power System Economics, and Planning / J. K. Delson, S. M. Shahidehpur // IEEE Trans. on Power Systems. – 1992. – Vol. 7. – №3. – P. 1155–1163.
100. Веселов Ф. В. Построение и использование моделей линейного программирования в задачах исследования энергетики / Ф. В. Веселов, А. Е. Курилов, А. А. Хоршев // Сб. тр. конф. «Моделирование – 2006», 16–18

мая 2006. – Киев: ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАН Украины, 2006. – С.147–152.

101. Кононов Ю. Д. Методы и модели прогнозных исследований взаимосвязей энергетики и экономики / [Ю. Д. Кононов, Е. В. Гальперова, Д. Ю. Кононов и др.] – Новосибирск: Наука, 2009. – 178 с.

102. Мелентьев Л. А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики / Мелентьев Л. А. – М.: Высш. шк., 1982. – 319 с.

103. Михалевич В. С. Оптимизационные задачи производственно–транспортного планирования: Модели, методы, алгоритмы / В. С. Михалевич, В. А. Трубин, Н. З. Шор – М.: Наука, 1986. – 264 с.

104. Канторович Л. В. Экономический расчет наилучшего использования ресурсов / Канторович Л. В. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 349 с.

105. Improving District Heating Policy in Transition Economies / Under addition C. Mandil. – Paris: STEDI, International Energy Agency, 2004. – 264 p.

106. Макконнелл К. Р. Экономикс: принципы, проблемы, политика / К. Р. Макконнелл, С. Л. Брю – К.: Хагар–Демос, 1993. – 785 с.

107. Самуельсон П. Економіка: підруч. / Самуельсон П. – Львів: Світ, 1993. – 496 с.

108. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн – М.: Наука, гл. ред. физ.–мат. лит., 1974. – 832 с.

109. Коршунов Ю. М. Математические основы кибернетики / Коршунов Ю. М. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 496 с.

110. Артамонов С. Б. Підхід до моделювання систем теплопостачання через аналіз причин виникнення втрат теплової енергії і теплоносія в системі / С. Б. Артамонов // Математичні машини і системи. – 2007. – № 3, 4. – С. 203–210.

111. Новосельцев О. В. Концептуальні засади, метод та модель системного регулювання цін і тарифів на енергоємні ресурси, продукти та послуги / О. В. Новосельцев, Т. О. Євтухова // Проблеми загальної



енергетики, 2007. – № 16. – С. 21–27.

112. Колмогоров А. Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А. Н. Колмогоров, С. В. Фомин. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1976. – 544 с.

113. Viscussi W. K. Economics of Regulation and Antitrust. London, England, Cambridge, Massachusetts, / W. K. Viscussi, J. M. Vernon, J. E. Harrington – The MIT Press, 1993. – 864 p.

114. Бабак А. В. Ефективне регулювання цін природних монополістів / А. В. Бабак, О. П. Романюк // Аспекти тарифної реформи. – 2003. – №1. – С.1–9.

115. Shleifer A. A Theory of Yardstick Competition in English and Welsh water industry / A. A Shleifer // The Rand Journal of Economics, Vol.6, Issue 3. – 1985 – P. 319–327.

116. Басок Б. І. Підвищення ефективності організаційно-технологічного управління системами комунальної теплоенергетики / Б. І. Басок, Т. О. Євтухова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016 – Т.1, №8 (79). – С. 46–52.

117. Басок Б. І. Модель підвищення 3-Е ефективності організаційно-технологічного управління системами комунальної теплоенергетики / Б. І. Басок, Т. О. Євтухова // Промышленная теплотехника. – 2015. – Т.37, №7. – С.191–195.

118. Євтухова Т. О. Модель управління підвищенням 3-Е ефективності систем комунальної теплоенергетики / Євтухова Т. О. // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2015. – Випуск 5(94). – С. 38–43.

119. Волконский В. А. Модель оптимального планирования и взаимосвязи экономических показателей / Волконский В. А. – М.: Наука. – 1967.– 168 с.

120. Афраймович Л. Г. Многоиндексные задачи распределения ресурсов в иерархических системах / Л. Г. Афраймович, М. Х. Прилуцкий //

Автоматика и телемеханика. – 2006. – № 6.– С. 194–205.

121. Фаткин Ю. М. Оптимальное управление в иерархических структурах / Ю. М. Фаткин // ДАН СССР. – 1972 –Т.202 – №1 – С. 1972-1975.

122. Гермейер Ю. Б. Игры с противоположными интересами / Гермейер Ю. Б. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1976. – 328 с.

123. Begg D. Economics. / D. Begg, S. Fischer, R Dornbusch – London: McGRAW–HILL, 1991. – 808 p.

124. Лахтіонова Л. А. Фінансовий аналіз суб'єктів господарювання / Л. А. Лахтіонова. – К.: КНЕУ, 2001. – 387 с.

125. Розен В. П. Определение исходного состава факторов, влияющих на энергетическую безопасность территории / В. П. Розен, О. М. Залунина // Наукові праці КДТУ, Кіровоград. – 2004. – Вип.5, Ч.1 – С. 313–321.

126. Денисюк С. П. Інтегровані системи енергоменеджменту як основа побудови сучасної політики енергоефективності вищих навчальних закладів. / С. П. Денисюк, О. В. Бориченко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2013. – №6 (74).– С. 212–220.

127. Розен В. П. Применение метода анализа иерархий при выборе энергосберегающих мероприятий, технологий и оборудования / В. П. Розен, А. И. Соловей, А. В. Чернявский // Новини енергетики. – 2003. – №3-4. – С. 31–36.

128. Праховник А. В. Ефективне енерговикористання в Україні: основні проблеми та шляхи вирішення // Управління енерговикористанням : зб. доповідей / А. В. Праховник, С. М. Іншеков. – К.: Альянс за збереження енергії, 2001. – С. 19–34.

129. Пономарев С. В. Управление качеством продукции. Введение в системы менеджмента качества / Пономарев С. В., Мищенко С. В., Белобрагин В. Я. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2004. – 248 с.

130. Фокс М. Дж. Принципы и методы всеобщего руководства качеством / Фокс М. Дж.: пер. с англ. В. Н. Азарова. – М.: Фонд

«Европейский центр по качеству», 1999. – 131 с.

131. Руководство по экономике качества. Ч.1: Модель затрат на процесс: BS 6143:1992. – М.: НТК "Трек", 2000. – 28 с. – (Британский стандарт).

132. Затраты на качество или стоимость плохого качества // Сер. Все о качестве. Зарубежный опыт. – М.: НТК "Трек". – 1999. – № 9. – 40 с.

133. Окрепелов В. В. Управление качеством продукции: [учебник для вузов] / В.В. Окрепелов – [2-е изд.]. – М.: Экономика, 1998 – 640 с.

134. Bruhn M. Theory, Development, and Implementation of National Customer Satisfaction Indices: The Swiss Index of Customer Satisfaction (SWICS) / Bruhn M., Grund M. A. // Total Quality Management. – 2000. – Vol.11. – №7. – P. 1017–1028.

135. Park Y. J. Measurement of a Customer Satisfaction Index for Improvement of Mobile RFID Services in Korea / Y. J. Park, P. S. Heo, M. H. Rim // ETRI Journal. – 2008. – Vol.30. – №5. – P. 634–643.

136. Lockamy A. Quality function deployment: total quality management for new product design / A. Lockamy, A. Khurana // International Journal of Quality & Reliability Management. – 1995. – Vol.12. – №6. – P. 73–84.

137. Huff L. Quality and Productivity: Contradictory and Complementary / L. Huff, E. W. Anderson // Quality Management Journal. – 1996. – Vol.4. – №1. – P. 22–39.

138. Портер М. Е. Конкуренция / М. Е. Портер: пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. – 608 с.

139. Томпсон А. А., Стрикленд А. Дж. Стратегический менеджмент. Искусство разработки и реализации стратегии. / А. А. Томпсон, А. Дж. Стрикленд : пер. с англ.– М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. – 576 с.

140. Портер М. Е. Конкурентная стратегия: Методика анализа отраслей и конкурентов / М. Е. Портер: пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 454 с.

141. Porter M. E. How Competitive Forces Shape Strategy / M. E. Porter //

Harvard Business Review – 1979. – V.57. – №2 – P. 137–145.

142. Кельтон В. Имитационное моделирование. Классика CS. / В. Кельтон, А. Лоу. – [3-е изд.] – СПб: Питер; Киев: Изд. Группа ВHV, 2004. – 847 с.

143. Колибаба В. И. Перспективы развития конкуренции на рынке тепловой энергии / В. И. Колибаба, И. А. Новичков; под общ. ред. Г. К. Вороновского, И. В. Недина – К.: Знання України, 2006. – С. 231–236. – (В кн.: Мала енергетика в системі забезпечення економічної безпеки держави).

144. Ачкасов А. Е. Предпосылки реформирования региональных рынков теплоэнергоресурсов / А. Е. Ачкасов, А. А. Воронков // Бизнес Информ.– 2009. – №4 (1). – С. 16–19.

145. Макаров А. А. Методы исследования и оптимизации энергетического хозяйства / А. А. Макаров, Л. А. Мелентьев – Новосибирск: Наука, 1973. – 275 с.

146. Новосельцев О. В. Системні питання формування оптимальних паливно-енергетичних балансів за умов конкуренції в енергетиці / О. В. Новосельцев // Проблеми загальної енергетики. – 2006. – №13. – С. 7–11.

147. Новосельцев О. В. Балансово-оптимізаційна модель взаємозв'язаних систем транспортування і розподілу паливно-енергетичних ресурсів / О. В. Новосельцев, М. І. Каплін // Проблеми загальної енергетики. – 2009. – №20. – С. 51–57.

148. Кулик М. М. Модель рівноважних цін європейського ринку енергоресурсів / М. М. Кулик, В. К. Добровольський, І. М. Голованов // Проблеми загальної енергетики. – 2002. – №7. – С. 7-17.

149. Кириленко О. В. Інформаційно-технологічні системи конкурентного оптового ринку електричної енергії в Україні / О. В. Кириленко, І. В. Бінов, Г. С. Корхмазов [та ін.] // Проблеми загальної енергетики. – 2009. – №19. – С. 16-22.

150. Кириленко А. В., Прихно В. Л. Оптимизация режимов

энергосистем в условиях рынка электроэнергии : зб. наук. праць ІЕД НАНУ, Спец. випуск «Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонніх контрактів і балансуючого ринку»./ А. В. Кириленко, В. Л. Прихно – Київ: ІЕД, 2009. – С. 3–10.

151. Борисенко А. В. Модель ринкової рівноваги в електроенергетичному секторі України / А. В. Борисенко, С. С. Саух // Новини енергетики. – 2009. – №5. – С. 29–44.

152. Борисенко А. В. Модель розвитку генеруючих потужностей в умовах недосконалої конкуренції : зб. наук. праць ІЕД НАНУ, Спец. випуск «Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонніх контрактів і балансуючого ринку». / А. В. Борисенко – Київ: ІЕД. – 2009. – С. 48–56.

153. Бронз П. В., Вощинин А. П. Построение аналитических моделей критериев эффективности инвестиционных проектов энергоблоков по данным вычислительного эксперимента / Бронз П. В., Вощинин А. П.// Теория и практика построения и функционирования АСУ ТП: Труды международной научной конференции CONTROL–2005. – Москва, 2005. – С. 155–165.

154. Stoft S. Power System Economics: Designing Markets for Electricity/ Stoft S. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002. – 468 p.

155. Lee S. T. Simulation Model Explores Alternative Wholesale Power Market Structures / S. T. Lee // IEEE Computer Applications in Power. – 2002. – Vol. 15, № 2. – P. 28–35.

156. Юфа А. И. Комплексная оптимизация теплоснабжения / А. И. Юфа, Д. Р. Носулько – Киев: Техника, 1988. – 135 с.

157. Оптимізація систем теплопостачання із використанням економіко-математичного моделювання / [Гавриш О. М. [и др.]; за заг. ред. О. М. Гавриша – Х.: НТУ "ХП", 2015. – 209 с.

158. Клименко В. А. Математическая модель оптимизации системы теплоснабжения / Клименко В. А., Орлов Ю. Н. – Москва: ИПМ, 2003. – 26 с. – (Препринт №52 ИПМ им. М.В. Келдыша РАН).

159. Вороновский Г. К. Реформирование регионального рынка тепловой энергии: неизбежность и перспективы / Вороновский Г. К., Сергеев С. А., Черкашина Г. И.; под общ. ред. Г. К. Вороновского, И. В. Недина – К.: Знания Украины. – 2006. – С. 231–236. – (В кн.: Экономическая безопасность государства и интеграционные формы ее обеспечения).

160. Клименко В. Н. Когенерационные системы с тепловыми двигателями: справочное пособие в 3-х частях. Ч.1: Общие вопросы когенерационных технологий. / Клименко В. Н., Мазур А. И., Сабашук П. П. – Киев: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2008. – 560 с.

161. Дубовський С. В. Енергоекономічний аналіз сполучених систем генерації електричної енергії та теплоти / Дубовський С. В. – Київ: Наукова думка, 2014. – 183 с.

162. Ковалко О. М. Порівняльний аналіз показників енергетичної ефективності виробництва біодизельного палива / О. М. Ковалко, Т. О. Євтухова, Л. В. Чуприна // Проблеми загальної енергетики. – 2014. – №3(38). – С. 36–42.

163. Ковалко О. М. Енергоекономічна оцінка сценаріїв трансграничної взаємодії енергосервісних компаній на ринках ріпаку та біодизелю / О. М. Ковалко, О. В. Новосельцев, Т. О. Євтухова // Відновлювана енергетика. – 2015. – №1(40). – С. 74–80.

164. Білодід В. Д. Деякі розрахунки щодо енергетичної ефективності біопалив / В. Д. Білодід, П. В. Тарасенко // Проблеми загальної енергетики. – 2008. – №18. – С. 32-39.

165. Hill J. Environmental, Economic, and Energetic Costs and Benefits of Biodiesel and Ethanol Biofuel / [Hill J., Nelson E., Tilman D., Polasky S., Tiffan D.] // Proc. of National. Academy of Science the USA. – 2006. – Vol.103. – №30. – P. 11206–11210.

166. Гелетуха Г. Г. Енергетичний та екологічний аналіз технологій виробництва енергії з біомаси / Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Дроздова О. І. – К.: Біоенергетична асоціація України, 2014. – 25 с.

167. Дешко В. І. Енерго- і ексергоєфективність систем теплопостачання будівлі (дослідження, аналіз, нові показники) / В. І. Дешко, Н. А. Буюк, І. С. Долгополов [та ін.]// Енергетика, економіка, технології, екологія. – 2009. – №2. – С. 32–41.

168. Никитин Е. Е. Системный подход к разработке энергоэффективных схем теплоснабжения городов и населенных пунктов / Е. Е. Никитин // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2009. – №4. – С. 89–97.

169. Теплові мережі : ДБН В.2.5–39:2008. [Чинний від 2008-12-09]/ Наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України №568 – 56 с.

170. Енергозбереження у житловому фонді: проблеми, практика, перспективи: Довідник – "НДІпроектреконструкція", Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Instituts Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), 2006. – 144 с.

171. Фаренюк Г. Г. Основы обеспечения энергоэффективности зданий и тепловой надежности ограждающих конструкций./ Фаренюк Г. Г. – Киев: Гамма-Принт, 2009. – 216 с.

172. Бачинська Л. Г. Архітектура житла: Проблеми теорії та практики структуроутворення / Бачинська Л. Г. – К.: Грамота, 2004. – 408 с.

173. Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6–31:2006. [Чинний від 2006-09-09] – Наказ Мінбуду України №301, 2006. – 71 с.

174. Апатенко Т. М. Конспект лекцій з дисципліни „Будівельна фізика. Кліматологія” / Т. М. Апатенко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва – Х.; ХНАМГ, 2011. – 98 с.

175. Будівельна кліматологія : ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. [Чинний від 2010-12-16] – Наказ Мінрегіонбуду України №511, 2010. – 123 с.

176. Сканави А. Н. Отопление: [учебник для вузов] / А. Н. Сканави, Л. М. Махов – М.: АСВ. – 2002. – 576 с.

177. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні : КТМ 204 України 244–94. – Київ: ВПОЛ, 2001. – 376 с.

178. Сингаевская Г. И. Функции в Microsoft Office Excel 2007 / Сингаевская Г. И. – М: ООО И.Д. Вильямс, 2008. – 1024 с.

179. Щекин Р. В. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Книга 1–я / [Щекин Р. В., Кореневский С. М., Бем Г. Е. и др.] – Київ: Будівельник, 1976. – 416 с.

180. Любарець О. П. Проектування систем водяного опалення / Любарець О. П. Зайцев О. М., Любарець В. О. – Київ: КНУБА, 2010. – 200 с.

181. Матросов Ю. А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути ее решения / Матросов Ю. А. – М.: НИИСФ, 2008. – 496 с.

182. Манюк В. И. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей / [Манюк В. И., Каплинский Я. И., Хиж Э. Б. и др.] – М.: Стройиздат, 1988. – 432 с.

183. Беляйкина И.В. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию / [Беляйкина И.В., Витальев В.П., Громов Н.К. и др.]; под ред. Н. К. Громова, Е. П. Шубина. — М.: Энергоатомиздат, 1988. – 376 с.

184. Taylor N. R. District Heating Handbook, Fourth Edition, vol.1. A Design Guide / N. R. Taylor, K. L. Stierhoff – Washington: IDHA, 1983. – 516 p.

185. Порядок розрахунку нормативних витрат електроенергії підприємствами теплоенергетики при виробництві, транспортуванні та постачанні (розподілі) теплової енергії / Наказ Мінжитлокомунгоспу України №12 від 02.02.2009. – 32 с.

186. Hodrick R. J. Business Cycles: an Empirical Investigation / R. J. Hodrick, E. C. Prescott, U. S. Postwar // Journal of Money, Credit, and Banking. – 1997. – Vol. 29. – №1. – P. 1-16.

187. Чистович С. А. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления / [Чистович С. А., Аверьянов В. К., Темпель Ю. Я., Быков С. И.] –



Л.: Стройиздат, 1987. – 248 с.

188. Rossiter J. A. Model-Based Predictive Control: a Practical Approach / Rossiter J. A. – Boca Raton / Rossiter J.A. – the USA: CRC Press, 2004. – 319 p.

189. Zheng Tao. Model Predictive Control. / Tao Zheng– Rijeka, Croatia: Sciyo, 2010. – 304 p.

190. García C. E. Model predictive control: Theory and practice / C. E. García, D. M. Prett, M. Morari // Automatica, Vol. 25, Issue 3. – 1989. – P. 335–348.

191. Diehl M., Bock H. G., Schlöder J. P. Real-Time Optimization and Nonlinear Model Predictive Control of Processes Governed by Differential–Algebraic Equations / M. Diehl, H. G. Bock, J. P. Schlöder [et al.]// Journal of Process Control, Vol. 12, Issue 4. – 2002. – P. 577-585.

192. Богословский В. Н. Отопление: [учеб. для вузов.] / В. Н. Богословский, А. Н. Сканава– М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.

193. Дешко В. І. Діагностика температурно–теплових режимів будівель / В. І. Дешко, М. М. Шовкалюк, О. М. Шевченко, І. А. Кріпак // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2011 – №2. – С. 17–24.

194. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / Фокин К. Ф. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.

195. Шкловер А. М. Теплопередача при периодических тепловых воздействиях / Шкловер А. М. – М.: Стройиздат, 1961. – 160 с.

# РОЗДІЛ 3. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЕНЕРГОСЕРВІСУ ТА ЕНЕРГОСЕРВІСНИХ ПОСЛУГ, РИНКИ ТРАНСГРАНИЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

## Глава 3.1. Енергосервісні послуги: методологія покращення результатів<sup>1</sup>

Ринки енергосервісних послуг активно розвиваються в усьому світі, але темпи їх зростання необхідно не забезпечують досягнення цілей еко-спрямованої енергетичної політики. Одна з перешкод спричинена неузгодженістю термінологією, яка використовується в різних частинах світу. У цьому контексті в даному розділі проаналізовано різні визначення терміну «енергосервісні послуги» і обґрунтовано його використання. Для цього досліджено структурно-функціональні особливості концептуальних основ функціонування ринку енергосервісних послуг та моделі його реалізації, а також використання концепції енергосервісних компаній (ЕСКО). Проведено стандартизацію термінології у різних сферах бізнес-діяльності, що дозволяє покращити можливості для інвесторів і зацікавлених сторін для подальшого розширення ринку енергосервісних послуг.

### 3.1.1. The energy services components, markets and energy service companies

Over past few decades, the global economy is increasingly transforming from a manufacturing (product) economy to a service economy [1-3]. Employment services dominate in the USA economy since 1960, accounting for about 80% of US value added. Services markets in the European Union (EU) brought 71% of EU-28 value added and 68% of EU employment in 2017. Nevertheless, the pace of development of services markets around the world is considered unsatisfactory, primarily due to low competitive pressures that drive innovation and performance, slow productivity growth, a shortage of cross-border investments, and low labor mobility [4, 5].

Up-to-date energy services consist of professional business (commercial) activities, including scientific and technical, as well as management and consulting

---

<sup>1</sup> Eutukhova T., Kovalko O., Novoseltsev O., Woodroof E. Energy Services: A Proposed Framework to Improve Results // Energy Engineering, 2020, vol.117, no.3, pp. 99-110.

services. The specifics of energy services are defined in EU legislation as “the physical benefit, utility or good derived from a combination of energy with energy efficient technology and/or with action, which may include the operations, maintenance and control necessary to deliver the service, which is delivered on the basis of a contract, and in normal circumstances has proven to lead to verifiable and measurable or estimable energy efficiency improvement and/or primary energy savings” [6, 7]. Here, as well as in economic theory, the term “good” refers to objects, devices, or things, whereas the term “service” – to actions, efforts, or performances.

The field of energy services covers all major branches of the global economy, where fuel and energy resources are used intensively. Primarily, these are energy, industry, transport, housing and communal sectors, agriculture etc. Since the beginning of the third millennium, global energy services markets are rapidly developing in two priority fields. These are energy efficiency and renewable energy, where energy efficiency is considered as “a special type of fuel”. According to the International Renewable Energy Agency, the cumulative investment in energy efficiency and renewable energy in the world for 2016-2050 under different scenarios will be \$(29.0-37.0) trillion and \$(13.0-27.0) trillion, respectively [8].

What is also important for our further consideration, the EU Directive [9] that amends the Directive [7] on energy efficiency services, that establishes new, more strict requirements to the EU countries as follows: “...to promote energy efficiency within the Union in order to ensure that the Union's 2020 headline targets on energy efficiency of 20% and its 2030 headline targets on energy efficiency of at least 32.5% are met and paves the way for further energy efficiency improvements beyond those dates”.

This paper presents the results of a synergy analysis of literature sources as well as the authors' findings, which allow answering the conceptual questions: “what are the energy services”, “what are the fields of energy services implementation”, and “what are the structural-functional components of energy services market's formation and functioning”? The answers to these questions are

important for the energy services market development as they allow clarifying the object of business activity and possibilities that open to investors and stakeholders.

## Energy Services

The most complete modern review of literary sources that covers 185 articles devoted to the definition of "energy services" has given in article [10], and first reference to this term, according to the Scopus database, was in the 1955 [11]. As a result of the review [10], the following definition was suggested: "Energy services are those functions performed using energy which are means to obtain or facilitate desired end services or states". In our opinion, this definition is too general and does not allow highlighting the objects of energy services and outlining the opportunities that they open to investors, entrepreneurs and end-users. The author of [10] agrees with us saying, "...this definition will not be suitable in all contexts".

To fix this, we added the definition of the term "energy services" given in [12] that reveals their internal content for engineering as a "set of organization, processes, activities, means and resources necessary for production, transmission, distribution and supply of energy and for providing a physical benefit, utility or goods, which are derived from a combination of energy with energy-efficient technology or with action, that can include the operations, maintenance and control necessary to deliver the service". The practical aspects of using this definition are detailed in [13].

In light of the above, the literature review [10] should also be supplemented with background notes made by the Secretariat of World Trade Organization (WTO) [14, 15]: "In liberalized markets, core energy services such as transport, transmission and distribution are increasingly supplied by independent operators under conditions of competition. Other services include consulting (in various fields including energy efficiency, conservation and renewable energy), construction, maintenance of the network, and services related to distribution such as metering and billing. A major difficulty in identifying energy services is represented by the fact that the industry has traditionally not distinguished between energy goods and services". Thus: "Other services intervene in the energy value

added chain (from production to resale to consumers), including construction, engineering, and consulting services ... are better defined as energy-related services rather than energy services”.

We propose to use in engineering the WTO’s differentiation between core energy services and energy-related services, since it is largely based on the widely used in world practice concept, theoretical basis of which has been developed by famous economists F. Bastiat, P. Kotler, K. Marx, P. Samuelson, A. Smith and others. Sic, Karl Marx in his classic work “Theories of Surplus-Value” talking about services underlines their feature to “increase the value of the commodities against which it is exchanged, that it creates surplus-value – and in doing so, it disregards the specific relationship through which money and commodities are transformed into capital” [16]. In other words, the terms “energy services” and “energy-related services”, used in commercial sense, should mean different types of services that are provided in exchange for income.

### Energy Services Markets

Markets have always played a leading role in the economy, but their definitions remain blurred and uncertain. Nevertheless, in general they are all associated with the monetary exchanges of goods, services and information [17, 18].

In line with a definition of Business Dictionary, market is “an actual or nominal place where forces of demand and supply operate, and where buyers and sellers interact (directly or through intermediaries) to trade goods, services, or contracts or instruments, for money or barter”. To succeed in the energy services market, it is important to have a clear understanding of the following market mechanisms and tools for: (1) determining price of each transaction, (2) communicating the price information, (3) facilitating deals and transactions, and (4) effecting distribution. Thus, market should (5) facilitate the efficient exchange, coordination and allocation of resources, goods and services, as well as (6) support competition and lower the costs of doing business, (7) provide incentives for trade and investment, and therefore stimulate the business growth. So, the market should

be (8) customer-oriented by delivering the right goods and services to customers at the right time.

On the whole, the market is a mixture of agents who perform market roles, organizational and regulation structures, mechanisms, procedures, social relations, contracts and infrastructures whereby parties engage in exchange of goods, services and information. Agents of the markets as a rule are natural or legal entities.

Given the above, when implementing the energy service market, it is necessary to take into account the features of the organization and functioning of various types of markets (see, for example, [19]), among which we identified the following that most fully cover the specifics of energy services:

1. Price discrimination market that is characterized by significant differences between clients in terms of their solvency, ownership form, availability of suppliers of different types of energy et al. Service providers in this market should be prepared to set (to take into account) different price-value margins for different groups of their clients, including suppliers of energy and equipment;

2. Aftermarket, where the efficient use of main (primary) equipment is possible only in combination with other (secondary) products. This is typical of energy services, where their providers are directly involved in the acquisition of various primary and secondary products, which should complement each other by forming an efficiently functioning system;

3. Cluster market, which is characterized by transaction complementarities between the various components of a bundle of products and services. Transaction complementarities arise when a consumer incurs lower transaction costs if he buys several products (services) from one firm, instead of buying each product (service) from a different firm. Thus, transaction complementarities may be interpreted as economies of scope on the demand side that benefit consumers. Energy service providers on such type of market should be interested in organizing a kind of union, for example, in the form of a public association or cooperative;

4. Bidding market, where firms compete by submitting bids in response to tenders by buyers. This type of market is one of the most common when choosing

an energy service provider. In its purest form, they exhibit four characteristics. First, competition is of the “winner takes all” type meaning that there is no smooth demand function, i.e. no relationship between price and quantity. Second, competition is lumpy as contests are large with respect to the total sales of any particular firm. Third, competition begins afresh for each contract and customer and fourth, market entry is easy;

5. Dynamic and innovative markets with rapid technological progress. The participation of energy service providers in such markets is attractive, but difficult, since the payback period of their performance contracts is usually several years;

6. Differentiated market-as-network [20, 21] in the following terms: (a) exchange exists not only as discrete transactions, but also as ongoing relationships; (b) buyers and sellers are interconnected, and know each other, and market agents are not anonymous; (c) the supplier and the buyer are both active in the business relationship; (d) organizations, particularly in industrial settings, interact with a limited set of identifiable actors with considerable influence where agents are seldom atomized, (e) organizational boundaries are blurred and relationships extend outside the contractual boundaries of firms; and (f) bargaining power results from a relative position within a network, rational egalitarian interactions play a part but only to a limited extent. This type of market is quite new and most progressive due to the sustainable transition of the global economy from a manufacturing to a service economy. The role of energy service providers in this market is currently understudied. One possible framework for solving this non-simple task is a service-dominant concept.

The Service-Dominant Logic (SDL) concept of market formation, proposed in [22], is radically different from the conventional manufacturing (product) concepts of markets discussed above. In contrast to the “product” concept, which is based primarily on the core importance of value added created during the manufacturing process and where a customer service considered as a cost that plays a secondary, supporting role, in the SDL concept the product is cost, and the customer service is the core value added. In other words, within the framework of the SDL concept, the products are considered not only objects for sale but also a

means to provide services, and the customers act as co-producers (prosumers) with product manufacturers and service providers. The details of SDL concept can also be found in [23, 24].

A classification of business instruments (models) to provide services that divides them into two main categories was proposed in [25, 26]: (a) ownership models, which focus on financing and risk mitigation, and (b) service models, which focus on providing specified services and highlight the different methods of operation and maintenance. Among the various types of ownership business models are considered: Public-Private Partnership (PPP) model in the forms of build-own-operate-transfer (BOOT), build-own-operate (BOO) and build-own-transfer (BOT); Multiparty Ownership Model; Lease or Hire Purchase Model; and Dealer Credit Business Model. The concept of “meta-service” and the role of intermediaries in catalyzing the energy services market are described in [27, 28]. Meta-services define as “more-than-energy services and are shaped not only through energy consumption, provision and governance but also by a range of other non-energy providers and organizations”. Various types of models for risk management, suitable for the specifics of energy services, you can find, for example, in [29].

### Energy Services Companies

Energy service companies (ESCOs) are among the most efficient and most frequently used type of firms specializing in the provision of energy services, whose effectiveness has been proven in practice world-wide [30-32]. The first effort in ESCO market development came from Scallop Thermal, a division of Royal Dutch Shell. S. Hansen is considered a pioneer in analyzing and systematizing most of the conceptual provisions of the modern ESCO business concept, and the ideologist of its dissemination in EU is P. Bertoldi, who are the authors of more than ten published monographs on this topic, including [33, 34].

ESCO is defined in [6] as “a natural or legal person that delivers energy services and/or other energy efficiency improvement measures in a user's facility or premises, and accepts some degree of financial risk in so doing. The payment for the services delivered is based (either wholly or in part) on the achievement of



energy efficiency improvements and on the meeting of the other agreed performance criteria”.

ESCO is a commercial type of organization, acting based on the energy-service contract and providing a wide range of energy services that cover technical, economic, financial and legal aspects of design, engineering, installation, commissioning, monitoring and verification of the results achieved from the implementation of innovative projects in the area of energy savings and energy infrastructure development [3, 33-35].

ESCOs, depending on their composition and form of ownership, can be divided into the following types: ESCOs, which are private independent companies; ESCOs that belong to manufacturers of equipment or control systems; ESCOs that belong to regulated or state-owned utilities; ESCOs that belong to unregulated energy suppliers or engineering and construction firms; ESCOs that belong to state or municipal authorities. In more simple words, manufacturers of energy-efficient equipment, energy supply companies (utilities), energy engineering and energy maintenance companies can operate as effective ESCOs. However, the energy services of different types of ESCOs are fundamentally different, depending on the forms (models) of their energy services projects contracting and financing. [33-36].

Among the business models (instruments) for financing ESCO projects can be used such as private and state sources (funds, subsidies, tax rebates, loans, third-party financing), as well as energy savings via performance contracting, energy outsourcing and other related financing that allows ESCOs to partially or fully cover the projects cost [6].

As for energy services contracting, the service-based business models, considered in [25, 26, and 37], distinguish three common forms: Energy Performance Contracting (EPC), Energy Supply Contracting (ESC) and “Chauffage”. However, in practice, most real service-based business models are a combination of various forms and types or even a simplification of them.

Energy performance contracting in European legislation “means a contractual arrangement between the beneficiary and the provider of an energy

efficiency improvement measure, verified and monitored during the whole term of the contract, where investments (work, supply or service) in that measure are paid for in relation to a contractually agreed level of energy efficiency improvement or other agreed energy performance criterion, such as financial savings” [7]. In general, energy performance contracting is focused on the benefits derived from the efficient use of energy, and not on the procedures for the purchase / sale of energy. ESC is aimed at efficient supply of useful energy, usually limited to the energy supply side and purchase of fuels. “Chauffage” generally refer to a greater value-added approach, where ESCO manages all supply and demand efficiencies.

Regarding the specifics of ESCO contracting in relation to the cost of their energy services projects, the key role of transaction costs is noted first [3, 28, and 36]. The latter incur both inside the companies and outside it, as a result of their interactions in the energy services market and include any necessary costs that are not connected directly to the production of goods and services (production costs), but provide their successful implementation.

Transboundary (cross-border) cooperation of ESCOs creates fundamentally new challenges in the field of energy services provision, aimed at carrying out upgrade and innovative technical and technological development of each company and national economies of the countries, which cooperate. Such international cooperation is realized through the interaction of manufacturers and financial institutions, ESCOs and state and local authorities in the market environment. It should be noted that the efficiency and effectiveness of ESCOs transboundary cooperation depends largely on the ability to account for the absolute and comparative advantages of ESCOs located in different countries and economic zones [3, 38].

### **3.1.2. Classification of energy services, features of their provision and interaction of participants**

Based on the literature review, a proposed block diagram of the energy services classification is shown in Fig. 1.

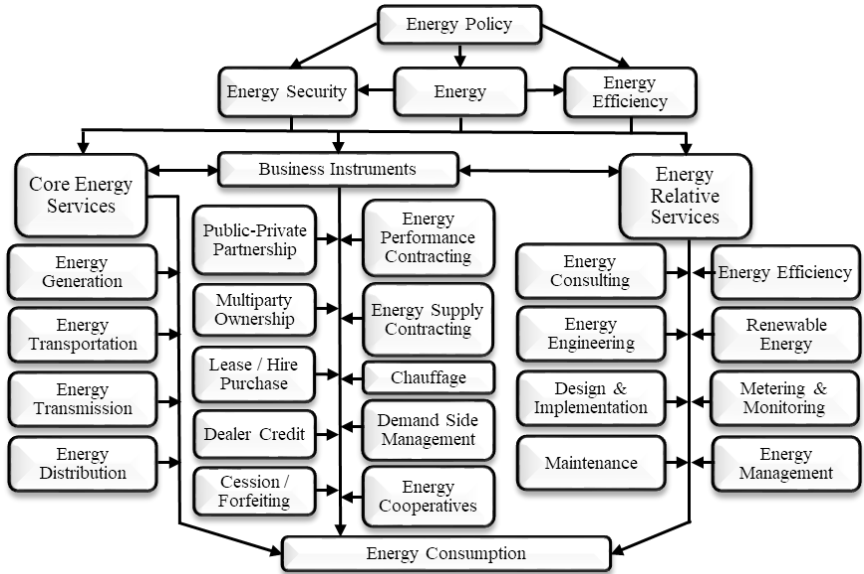


Figure 1. The business environment of energy and energy-related services

As you can see, we recommend considering the differences between Core Energy and Energy-Related Services that are consistent with worldwide industry and commerce policy. The proposed classification also enfold the contractual business instruments for the implementation of energy services activity. Important elements of the block diagram are the components of Energy Policy, Energy Security and Energy Efficiency, located at the top of the scheme. These components determine the directions and content of energy services and energy services market development that will be discussed in more detail below.

To achieve the desired result through the providing energy services, we have to consider first their components as a causal process, whose links are connected by chains of causes and effects. At the same time, we must consider the behavioral strategies of service providers and their clients (customers), very often do not coincide and require a holistic approach. A generalized diagram of the causal processes of interaction between the participants of energy services (ESs) projects is shown in Fig. 2.

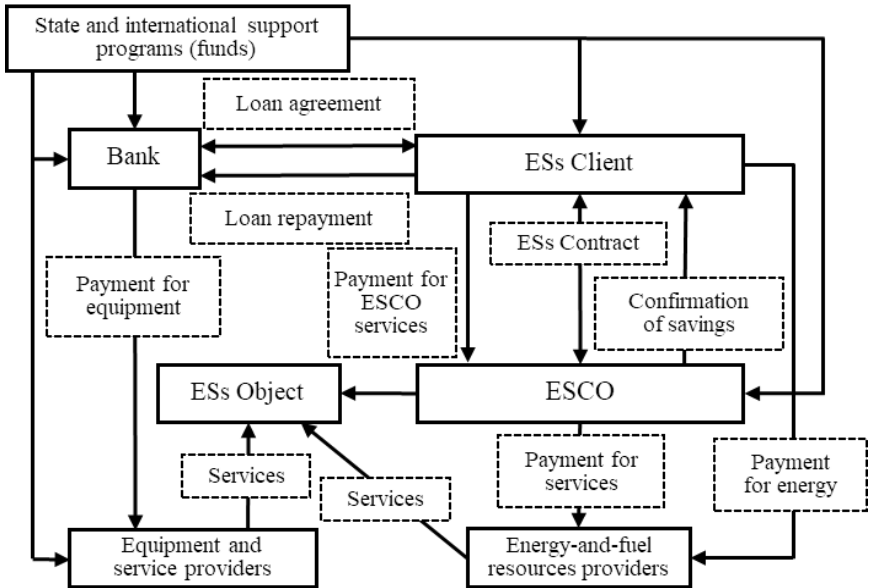


Figure 2. Structure and forms of business relations in energy services projects

As can be seen from Fig. 2, besides the main energy services provider, energy services supporting activities are carried out by other participants (actors), such as: manufacturers of energy-efficient equipment and materials, energy-and-fuel resources providers, utility companies, financial intermediaries (investors, etc.), participants of trading platforms (exchanges, auctions), state and local authorities, regulators of business activities, etc. In such a multipurpose cooperation, the knowledge of energy services providers and their contribution to financing and implementation of services, measuring and verification of results, as well as ability to maintain high level of service standards becomes the stable source of customer’s development.

## The Process of Providing Energy Services

The ESs projects energy management cycle is shown in Fig. 3, where you can see all the main stages of such projects implementation. The presented cycle is a rather complicated cause-and-effect process, which requires professional training of energy services project executors in the technical, financial and legal fields.

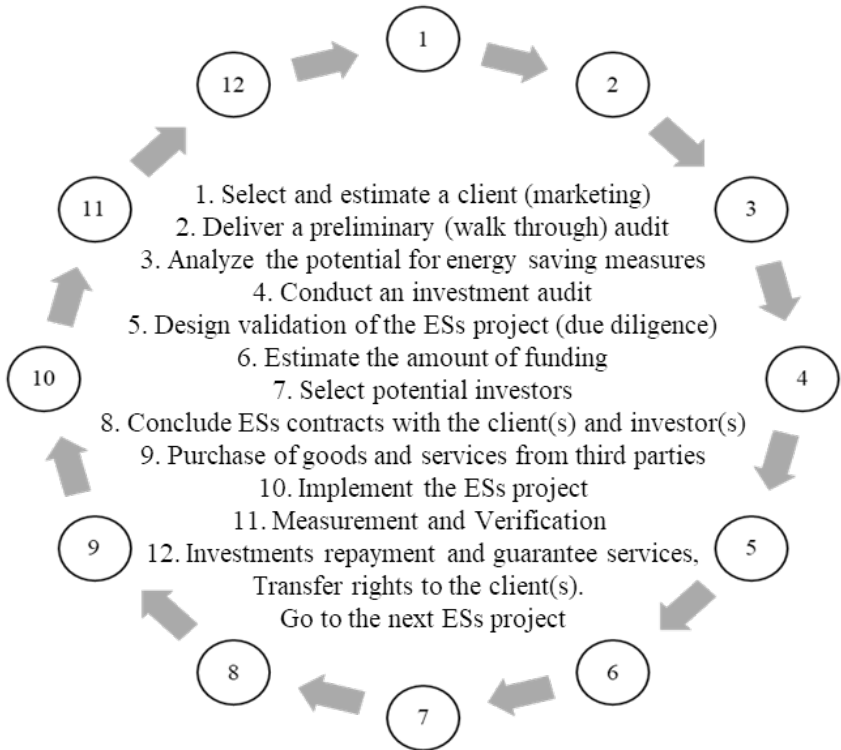


Figure 3. Flowchart of energy services (ESs) projects management cycle

### The specifics of Energy Performance Contracting

Energy performance contracting is the most attractive for customers and the most difficult form of energy services for ESCO. The specifics of providing the energy performance contracting are as follows:

(1) An energy performance contracting provider must guarantee that the energy savings achieved through the implementation of an energy services project

will exceed payments to cover total project costs during the project payback period;

(2) An energy performance contracting provider invests its own funds (in whole or in part) in the implementation of energy services projects. If the guaranteed savings do not materialize, the provider compensates the difference. It should be noted here that in many mature markets, it is more profitable to involve third parties (bank or financier) in financing, since energy performance contracting provider usually requires a greater return on its capital than a bank;

(3) An energy performance contracting provider has to aim at a comprehensive smart restructuring of the organizational and management structures of production and distribution processes of their business clients in order to increase their energy efficiency, competitiveness and financial sustainability.

### **3.1.3 Structural and functional features of the energy services market and the conceptual model of their organization**

#### Structure-Functional Approach to Energy services Market Conceptual Design

The literature review results clearly show that the conceptual design of energy services markets requires study from the very beginning to clarify the structure-functional components of the market's formation and functioning.

Among the Energy services market's basic features, we will distinguish such as:

- Improving the quality of services as well as resource utilization to reduce waste and cost;
  - Setting alternative and renewable energy resources;
  - Using high-efficiency cogeneration, heat pumps, energy storage, district heating and cooling etc.;
  - Shifting the client's load from peak to off-peak times, as well as using distributed generation and distributed consumers (aggregators, prosumers, energy cooperatives etc.);
  - Choosing non-discriminatory pricing and tariffs that reflect real economic costs;

- Establishing fair competition between market participants, and independent selection of business partners.

To make the functioning of energy services market more productive, we propose to form a system of complementary markets configuration, where the energy services market is an integral part of multilevel organizational structure that ensures the efficient operation of the cause-and-effect chain of energy use from its production to end consumption. The proposed configuration of such a system of markets is shown in Fig. 4.

At the top level of the proposed configuration are markets of energy resources supplying consumers with natural gas, coal, renewable energy (RE), electricity (EI), heating & cooling. To improve the results of interaction between suppliers of energy resources and consumers, we recommend that ESCOs take the lead in using a combination of core energy and energy-related services. For this, ESCOs need to organize mutually beneficial cooperation with all market participants, among which priority are consumers, energy suppliers and providers of EE / RE equipment. The latter are indicated in Fig. 4 as MT providers of energy efficient (EE) and renewable energy (RE) equipment. However, the primary task of each market participant is ensuring the effective interaction with energy consumers from public, private, municipal and other sectors of the economy, and the leading role in this belongs to energy-related services.

To formalize the interactions in such system of the markets, we propose using the mathematical sign ( $\cap$ ) of intersection of sets in families, which allows us to correctly reflect the scale and complexity of such interactions, as well as using

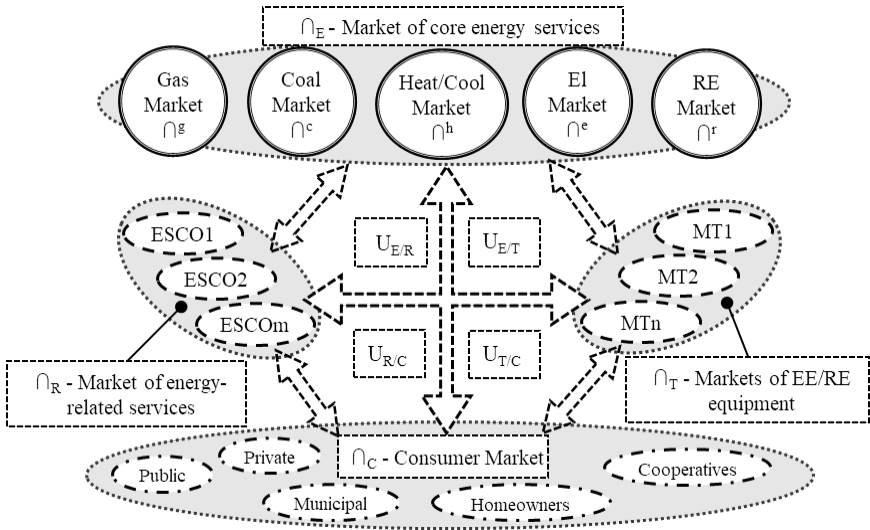


Figure 4: Configuration of the structure-functional interaction of energy services market participants

‘U’ forms with indices denoting direct and feedback links between markets. For example,  $U_{E/R}$  denotes link between core energy services market and energy-related services market.

#### Conceptual Model of Organizational Structure of Energy-related Services Market

The organizational structure of the energy-related services market has its own specific features that distinguish it from other types of markets. The main thing is the matrix form of the structure, the proposed conceptual design of which is shown in Fig. 5, where: ESR – Energy-related Services Regulator; ESC – Energy-related Services Client; ESP – Energy-related Services Provider; ESO – Energy-related Services Object; VF – Vertical Flows and HF – Horizontal Flows of structural interactions of market participants.

It should also be noted that in the case of matrix structure, a basic organizational-and-technological module of the operational flows in the energy-related services market has a triangular structure if the ESR impacts are not



considered, or a diamond-shaped structure, if these impacts are taken into account (see details in Fig. 6).

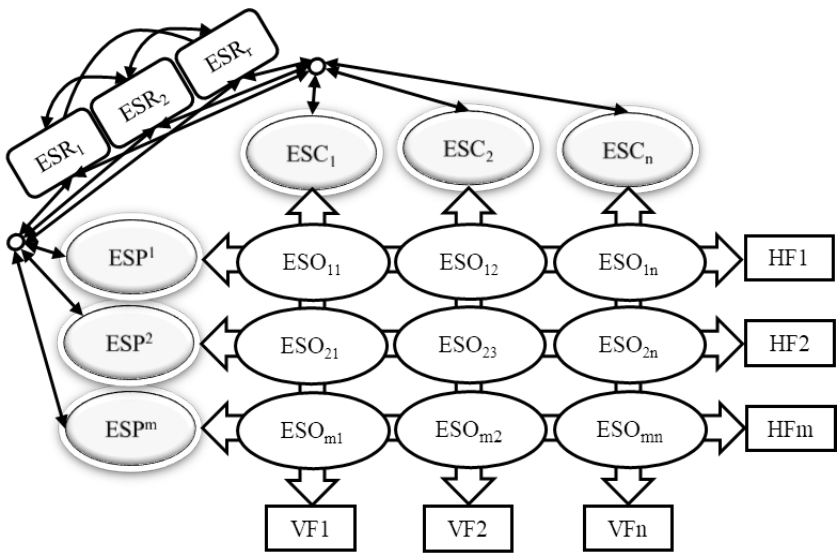
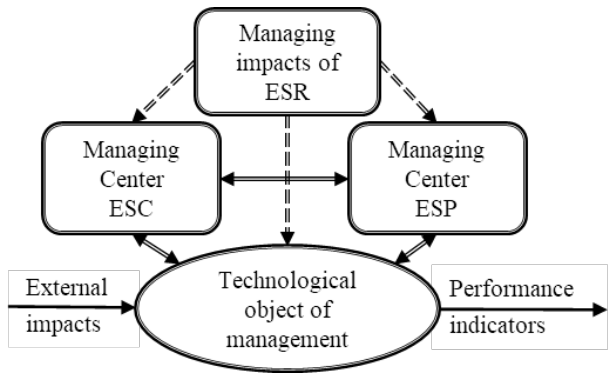


Figure 5: The matrix form of the organizational structure of the energy-related services market

Figure 6: The basic module of the matrix structure of energy-related services market



Implementation of matrix-structural interactions in the energy-related services market requires using specialized mechanisms of organizational-and-financial support aimed at strengthening and stable functioning of the market [39, 40]. The proposed sequence of stages for the implementation of such a support mechanism is shown in Fig. 7.

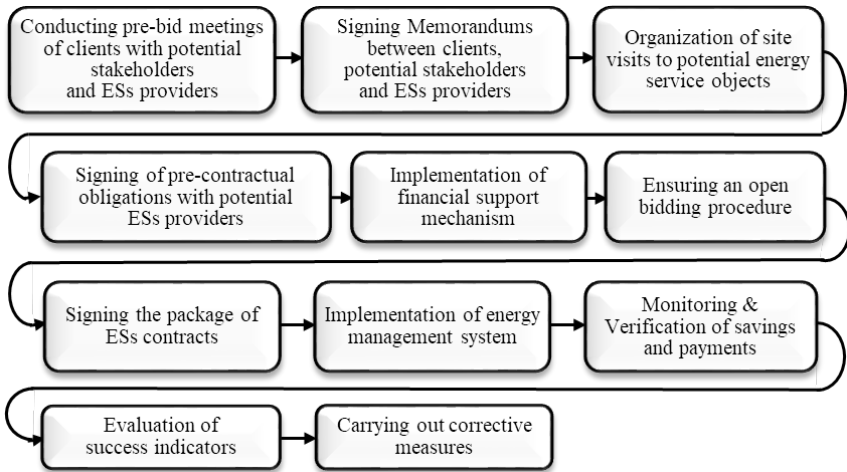


Figure 7: Flowchart of support mechanism

In a generalized form, this sequence represents a system of three main cause-and-effect units: a market of pre-contractual obligations, trading platform (auction) and a market of post-contractual obligations that form the modern energy services market.

### Conclusions and Recommendations

1. Energy service is a fundamental instrument for putting energy efficiency and renewable energy technologies into practice. In this sense, a clear, unambiguous and transparent definition of the basic terms of the energy service is of paramount importance. Based on the results of the literature review, we recommend using the definition “energy services” given in ISO 50007: 2017. In addition to this, we propose to distinguish “core energy services” from “energy-related services”, as recommended by the World Trade Organization.

2. The same requirements should apply to different types of energy-related service markets, whose definitions are now in their infancy and require fundamentally new approaches for the development of methodological, organizational, financial and technological solutions to ensure the profitability of energy efficiency and renewable energy projects in these markets.

3. Proposed structure-functional approach to energy-related services market design and the conceptual model of the market organizational structure are important initial steps in putting energy services markets into practice, where the next step in the study should be the processing and formalization of each component of the model presented in this paper.

Funding Statement: The authors received no specific funding for this study.

Conflicts of Interest: The authors declare that they have no conflicts of interest to report regarding the present study.

## References

1. Alatorrefrenk, C., Backhaus, M., Bauer N., et al. (2017). Perspectives for the energy transition: Investment needs for a low-carbon energy system. Germany: IEA & IRENA Publications.
2. Ritchie, J., Lane, K., Sung, J, et al. (2019). Energy efficiency 2018: Analysis and outlooks to 2040. France: IEA Publications.
3. Novoseltsev, O., Kovalko, O., Evtukhova T. (2013). Cross-border cooperation of energy service companies as a factor enhancing energy and economic safety. Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems. Great Britain: Taylor & Francis Group, CRC Press.
4. European semester thematic factsheet: Services markets. (2017). Belgium: European Commission.
5. Directive 2006/123/EU of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on Services in the internal market. (2006). Official Journal of the European Union, L 376, 36–68.
6. Directive 2006/32/EU of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on Energy end-use efficiency and energy services. (2006). Official Journal of the European Union, L 114, 64–85.
7. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on Energy efficiency. (2012). Official Journal of the European Union, L 315, 1–56.

8. Gielen, D., Gorini, R., Wagner, N., Leme, R., Gutierrez, L. et al. (2019). *Global energy transformation: A roadmap to 2050*. United Arab Emirates: IRENA Publications.
9. Directive 2018/2002/EU of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency. (2018). *Official Journal of the European Union*, L 328, 210–230.
10. Fell, M. J. (2017). Energy services: A conceptual review. *Energy Research & Social Science*, 27, 129–140.
11. Warde, J. M., Johnson, J. R. (1955). Recent developments in the technology of ceramic materials for nuclear energy service, *Journal Franklin Institute*, 260(6), 455–466. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-0032\(55\)90189-7](http://dx.doi.org/10.1016/0016-0032(55)90189-7).
12. ISO 50007:2017. (2017). *Energy services – Guidelines for the assessment and improvement of the energy service to users*. Switzerland: ISO/TC 301.
13. EN 15900:2010. (2010). *Energy efficiency services – Definitions and requirements*. Germany: Beuth Verlag GmbH.
14. *Energy Services. Background note by the Secretariat*. (1998). Switzerland: World Trade Organization.
15. *The International Energy Charter. Consolidated energy charter treaty with related documents*. (2015). Belgium: Energy Charter Secretariat.
16. Marx, K. (1861). *Theories of surplus-Value, Vol. IV, Part 2, Chapter XVII-8*. Germany: Progress Publishers.
17. Callon, M. (1998). *Introduction: The embeddedness of economic markets in economics*. Blackwell Publishers, USA.
18. Jackson, W. A. (2007). On the social structure of markets. *Cambridge Journal of Economics*, 31(2), 235–253.
19. *Making market systems work better for the poor. An introduction to the concept*. (2005). Philippines: ADB-DFID.
20. Diaz Ruiz, C. A. (2012). Theories of markets: Insights from marketing and the sociology of markets. *The Marketing Review*, January, 61–77.

21. Ford, D., Hakansson, H. (2006). IMP – some things achieved: much more to do. *European Journal of Marketing*, 40(3/4), 248–258.
22. Vargo, S. L., Lusch, R. F. (2004). Evolving to a new dominant logic for marketing. *Journal of Marketing*, 68(1), 1–17.
23. Vargo, S. L., Lusch, R. F. (2008). Service-dominant Logic: Continuing the evolution. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 36(1), 1–10.
24. Gray, D., Wal, T. V. (2012). *The Connected Company*. USA: O'Reilly Media, Inc.
25. Kim, J.-I., Jain, N., Lee H., Nieto, M. T., Husband, D. et al. (2015). Business models to realize the potential of renewable energy and energy efficiency in the Greater Mekong Subregion. Philippines: Asian Development Bank.
26. Hofer, K., Limaye, D., Singh, J. (2016). *Fostering the development of ESCO markets for energy efficiency*. USA: World Bank.
27. Morley, J. (2018). Rethinking energy services: The concept of 'meta-service' and implications for demand reduction and servicizing policy. *Energy Policy*, 122, 563–569.
28. Nolden, C., Sorrell, S., Polzin, F. (2016). Catalysing the energy service market: The role of intermediaries. *Energy Policy*, 98, 420–430.
29. Bondarenko, S., Bodenchuk, L., Krynytska O., Gayvoronska, I. (2019). Modelling instruments in risk management. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(1), 1561–1568.
30. Yan, L., Keay-Bright, S., Antonenko, O. (2019). *Energy efficiency China*. Belgium: Energy Charter Secretariat.
31. Stuart, E., Larsen, P. H., Carvallo, J. P., Goldman, C. A., Gilligan, D. (2016). *U.S. energy service company (ESCO) industry: Recent market trends*. USA: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
32. Boza-Kiss, B., Bertoldi, P., Economidou, M. (2017). *Energy service companies in the EU – Status review and recommendations for further market development with a focus on energy performance contracting*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

33. Hansen, S. J. (1992). Performance contracting for energy and environmental systems. USA: The Fairmont Press.
34. Hansen, S. J., Bertoldi, P., Langlois, P. (2009). ESCOs around the world: Lessons learned in 49 countries. USA: The Fairmont Press.
35. Woodroof, E. A., Thumann A. (2012). How to finance energy management projects: Solving the "Lack of capital problem". USA: Fairmont Press.
36. Sorrell, S. (2007). The economics of energy service contracts. *Energy Policy*, 35(10), 507–521.
37. IFC energy service company market analysis. (2011). Canada: Econoler.
38. Kovalko, O. M., Novoseltsev, O. V., Boublik, V. V. (2013). The Ricardian model of energy service companies transboundary cooperation. *Socio-Economic Research Bulletin*, 2(49/1), 202–209.
39. Energy Efficiency Progress Report: 2017 assessment of the progress made by Members States. (2017). Belgium: European Commission.
40. Kovalko, O. M., Kovalko, N. M., Novoseltsev, O. V. (2018). Result-oriented investment management system for targeted energy efficiency programs. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 3(165), 160–166.

## Глава 3.2. Віртуальна організація сервіс-орієнтованого енергоменеджменту<sup>2</sup>

Широкі можливості віртуального ведення бізнесу вплинули на діяльність підприємств, організацій і урядів в усьому світі. У даному дослідженні представлено структуру (концептуальну платформу) для реалізації послуг віртуального енергоменеджменту шляхом залучення (або створення) спеціалізованих компаній, що дозволяють постачальникам послуг об'єднувати ресурси, можливості та інформацію для розширення масштабу та покращення якості їх послуг. Для цього запропоновано два інструменти: (1) процедура створення віртуальної бізнес-спільноти (коаліції) енергосервісних компаній (ЕСКО); та (2) організація віртуальної взаємодії між ЕСКО та клієнтами. Для максимізації вигоди пропонується створення віртуального центру координації діяльності ЕСКО, розглядається порядок вирішення проблемних питань фінансування їх проєктів, а також механізм трансграничної взаємодії ЕСКО.

### 3.2.1. Specifics of virtual organizations' (VOs) business activities, energy management (EM) as a basic tool of VOs

Over the past three decades, the scope of business activities of virtual organizations (VOs) has expanded significantly and covered almost all areas of production and consumption of goods and services for both industrial and public appointments [1, 2]. VO services have become increasingly important and widespread around the world in connection with the coronavirus pandemic, when actually all sectors of the production and services in most countries of the world have been forced to operate fully or partially in a virtual environment.

In generalized form, VO services are determined by the jointly agreed activities of legally independent organizations (members of the virtual business community), which on the platform of computer networks (cloud information and communications technologies) pool their own resources, capabilities and

---

<sup>2</sup> Chupryna L., Kovalko O., Novoseltsev O., Woodroof E. Virtual Organization of Energy Management: Service-Oriented Framework to Improve Results // International Journal of Energy Management, Vol.2, No. 6, 2020, pp. 47-63.

information, providing customers (clients) with systemically agreed service packages without physical contact with them. It is clear that the specifics of VO activities are largely determined by the structure, composition and functional properties of cloud technologies that allow users to access, process, store, transmit and use shared information to improve the efficiency and quality of manufactured goods and provided services. Based mainly on the wireless conjoin (link) of physical (power) components of clients' technological equipment with smart components (sensors, user interfaces, microprocessors, data storages, software, controls, etc.), virtual organizations radically change the structure and nature of the competitive cooperation between members of the virtual business community in the service-oriented market.

Herewith, the VO platform provides not only the exchange of information between producers and users of goods and services, but also allows some functions of these goods (services) to exist in a cloud (computing) business environment, i.e. outside their physical content. Moreover, to process a large amount of information without human intervention, using algorithms to make smart decisions under conditions of competitive cooperation of members of the virtual business community (i.e. in the conditions of incomplete available information) [3]. As a result, the virtual combination of goods, services and information generated on the basis of cloud technology platforms allows VOs to identify and implement new synergetic opportunities to improve the quality and functionality of these goods and services, forming multiplicative value chains [4].

Under this approach, members of the virtual business community (virtual business participants) are in fact service providers whose jointly agreed actions are "materialized" in systemically produced goods and services. In this case, the primary task of managing a virtual service-oriented organization is to choose the type and kind of services, while the choice of their providers becomes secondary. The list of the latter (providers) usually includes various service-oriented organizations, primarily energy services companies (ESCOs), as well as consulting and research institutes, construction and installation organizations, industry associations, public organizations and even individual (independent) consultants



who provide specialized legal or insurance services, conduct marketing expertise, etc. This allows members of the virtual business community to reduce costs and risks of doing business, increase the efficiency and flexibility of exchange knowledge and new technologies, facilitate access to new markets and improve the financing of joint projects.

Among the members of the virtual business community, as a rule, one of the VOs assumes responsibility for coordinating and balancing the business interests of all other members. The governing structure of such a VO generally includes an administrator, a business planner, service coordinators and brokers (intermediaries between service providers and clients).

Among the main tasks of such a structure are [5, 6]:

- Support the livelihoods of members of the virtual business community,
- Mutually agreed coordination and balancing of their competencies and resources,
- Creating a system of incentives,
- Development of partner search tools and mechanisms to build trust among community members,
- Harmonization of contracts and principles of cooperation and exchange of information,
- Protection of intellectual property rights members of the community, etc.

EM serves as fundamental platform for the systemic improvement of energy performance of organizations and companies around the world since the 1980s [7]. Its main provisions are systematically set out in the ISO 50001 [8] and implemented according to the Deming closed loop model according to the scheme: planning-execution-verification-adjustment, which reflects the process of managing continual improvement of organizations and companies of all forms of ownership, size and appointment.

The ISO 50001 sets out the conceptual framework for the implementation of such improvements, covering the following main tasks:

- Development of energy efficiency (EE) policy,
- Definition of goals and objectives for its implementation,

- Systematic data collection for energy use managing decisions,
- Measurement, verification and benchmarking of results,
- Review the effectiveness of the policy,
- Identification and solution of problems,
- Implementation of measures (projects) aimed at improving EE, energy saving and reducing the costs of organizations and companies for energy resources.

Among the priorities of EM, in addition to the implementation of EE measures (projects), are minimizing the impact on the environment (climate control and protection), avoiding conflicts of interests and meeting social requirements for quality of life. The sphere of influence of EM also includes active, organized and systemic coordination of processes and procedures for procurement of equipment and services aimed at meeting client needs, taking into account economic, social and environmental goals. More detailed information on standardized requirements for EM services can be found, for example, in [9-12].

The sequence of EM stages of complex implementation of EE measures at the objects of clients generalized according to the Deming cycle is presented in Figure 1. Among these stages the key are:

- Conducting marketing for the selection and evaluation of clients, preliminary and investment audits, comprehensive financial and legal expertise of clients (Due diligence),
- Identification of potential investors, conclusion of agreements with clients and investors, purchase of necessary goods and services,
- Implementation of EE measures taking into account environmental issues, measurement and verification of achieved results,
- Return on investment and fulfillment of guarantee and post-guaranty obligations, transfer of rights to clients.

It should be emphasized that the implementation of EE measures within the EM systems today is usually based on cloud technologies used by system operators to monitor, control and optimize parameters of clients' business activity, including those related to the actions of personnel to manage the modes of operation of technological and auxiliary equipment.

Among the main advantages of using virtual EM services, first of all, highlight their opportunities for further development of services markets through:

- 1) Improved efficiency and quality of real time services,
- 2) Remote control of energy supply and consumption,
- 3) Efficient procedure of search and selection partners,
- 4) Investments based on portfolio deliveries.

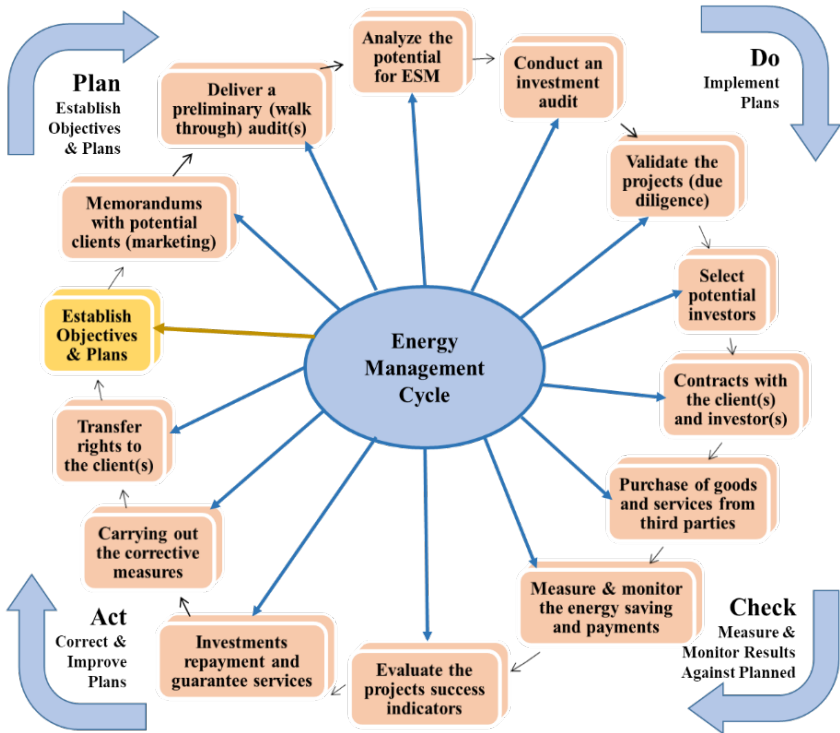


Figure 1. EM continuous cycle for the implementation of EE measures

A separate, not yet fully resolved issue of realization of these advantages of virtual services is the organization of mutually beneficial cooperation between providers and users of core-energy and energy-related services, among which priority is energy suppliers and consumers. Among the latter, it is important to note the importance of ensuring effective interaction with energy consumers from public, private, municipal and other sectors of the economy [13].

### **3.2.2. Energy services companies, virtual coordination and balancing in the EM services market**

ESCOs are one of the most efficient and widespread types of companies in the world, specializing in the implementation of EM systems. Both individuals and legal entities that provide EM services at clients' facilities, assuming a certain degree of financial risk, can perform ESCO functions. Payment for ESCO services usually depends in whole or in part on the level of EE improvement achieved and / or on the meeting of other agreed efficiency criteria [14, 15].

ESCOs realize their advantages through the implementation of a turnkey energy service project aimed at improving the efficiency of traditional and renewable energy sources, distributed generation, etc. in technological processes related to heating, cooling, lighting, ventilation, construction, etc., ESCOs free clients from the initial costs for a long time due to third party financing or energy saving payment schemes. ESCOs guarantee clients that the energy and / or money savings resulting from the exploitation of EM systems will be sufficient to cover the costs. ESCOs also make such systems more attractive to state and local governments by ensuring that the main assets and services under ESCO projects will be recorded off their balance sheets so as not to create an additional burden on the budget, thus allowing for much more investment projects.

ESCOs operate on the basis of energy service contracts, the provisions of which cover technical, economic, financial and legal aspects of engineering and design work, installation and operation of energy saving equipment, monitoring and verification of results from improving the energy infrastructure of clients. Among the different types of energy service contracts, the most common are energy performance contracting (EPC), energy supply contracting (ESC) and Chauffage, although in practice most implemented ESCO projects are a combination of their different forms and types or even simplification [16, 17 18, 19]. According to the type of energy service contract and the form of ownership of the client (contractors, etc.), the essence of energy services and mechanisms for their implementation is changing [20]. The classification table of such services and mechanisms, which is presented in the article [13], distinguishes between core-

energy and energy-related services provided within the public-private partnership, multiparty ownership agreements, lease / hire purchase, dealer credit and cession / forfeiting.

ESCO implements its projects in close cooperation with producers and suppliers of energy efficient equipment and materials, fuel and energy resources, financial intermediaries (investors, etc.), members in trading platforms (exchanges, auctions), state and local authorities, regulatory agencies, etc. Such multi-purpose cooperation in combination with the knowledge and experience of ESCOs, their contribution to the financing and implementation of services, measurement and verification of results provide a well-grounded foundation for the stable development of the EM services market. Unfortunately, today ESCOs activities in this market are largely chaotic and disorganized: ESCOs act at their own risk, look for clients themselves and practically do not interact with each other. This significantly limits the realization of the existing potential for the development of EM services market [14, 15]. Taking into account the experience of other services markets, first, electricity markets, it can be concluded that the coordination of ESCOs activities, which is proposed to be carried out within virtually created business communities, will give a new powerful impetus to the development of EM services market.

Coordination, as it relates to business, is one of the main functions of systems management (coordinating management), which provides unity of action and system (group) integration of resources of system elements (human, material and technical (logistical) support, financial, etc.) in order to use them most effectively in pursuance of a common goal. Herewith, the balancing of resources, tasks and activities between the constituent elements of the system (members of the virtual business community), which is an integral part of the coordination mechanisms, is defined as a process and / or procedure for maintaining dynamic equilibrium under a relatively independent and unstable behavior of its elements (community members).

The virtual business community of ESCOs is organized in the presence of the initiator (initiative group), which in case of interest of other participants in this

process creates a Virtual center for coordination and balancing (VCCB). The services of VCCB should be aimed at ensuring the unity of individual and group efforts of participants (members) of the community, aimed at the growth of added value and income of each of them through voluntary integration and optimal use of their resources. In general, this requires the involvement of appropriate methods and means of coordinating management, the establishment of stable two-way communication channels and the improvement of cooperation techniques with an effective format of interaction between members [21, 22].

Members' interest in acquisition of VCCB services is largely determined by the usefulness of virtual services, the provision of which coincides closely with the process of their consumption in contrast to the supply of goods that can be stored or transported for a long time. In this sense, the organizational and functional features of ESCO's virtual business community can be compared with the corresponding management functions in the field of coordination and balancing in other areas of economic activity, such as electricity market [22, 23]. This allows adjusting the process of providing EM services to coordinate and balance the organizational, logistical and financial interests of members of the ESCO virtual business community to ensure continuous improvement in time and space of the consumer properties of ESCO services.

The functioning of such a community, which is carried out by the jointly conformed efforts of its members under the coordinating management of the VCCB, requires the consistent implementation of the following tasks:

- 1) Policy development – setting goals and performance indicators for the center and each of the participants,
- 2) Planning – identification of needs, resources, regulatory and other requirements,
- 3) Provision of services, implementation and operation – control and management of resources, maintenance of internal and external obligations,
- 4) Monitoring of the results achieved by the participants – measurement and verification,

5) Analysis of identified discrepancies, elimination of shortcomings, correction and settlement of inconsistencies and imbalances.

Herewith, in accordance with the EM ideology, such activities should be carried out in a closed cycle, continuously perfecting all the tasks considered.

The generalization of the above allows to define the spheres of coordination influence of VCCB services in the following form (see Figure 2):

1) Core-product-related services affiliated to the production of basic goods by ESCO clients,

2) Complementary services related to the production and supply of complementary goods and services that accompany the core product (or service) and support its acquisition, installation, use, maintenance and disposal,

3) Consumer-related services, affiliated to the consumption of goods and services (their production by clients, etc., primarily for own consumption), and

4) Coordination and balancing services related to the elimination of inconsistencies and imbalances in the process of improving the consumer properties of goods and services produced, supplied and / or consumed by ESCO clients.

The proposed algorithm for providing services works as follows. In the first stage, community members submit their proposals to the VCCB, in the second – the VCCB adjusts the proposals and offers participants for discussion proposed solutions, which, taking into account the technological and regime capabilities of each member, ensure a balance of interests of community as a whole. In the third stage, the VCCB implements iterative procedures for reconciling (balancing)

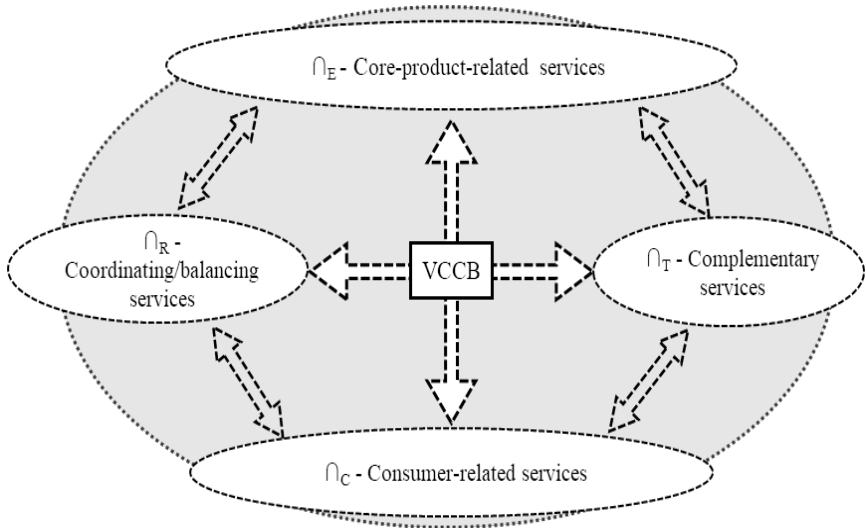


Figure 2. Potential spheres of VCCB services implementation

interests with each member, using market methods of economic incentives (so-called a carrot and stick methods), distinguishing between losses and costs from possible long- and short-term imbalances and realizing their elimination on a compensatory basis by involving balancing opportunities of  $\cap$  members with their consent [24].

Among such services of members aimed at maintaining the system balance, VCCB distinguishes two types of services:

- 1) For the short term – according to the available volumes of balancing resources of members in the mode close to real time, and
- 2) For the long term – on the long-term balancing ability of the members, distinguishing:



a) Modes of coordination up (increasing the size of the members' contribution) and down, and

b) Modes of support by members of reserve capacities depending on function and a way of their activation.

But in any case, in fulfilling their obligations, the members of the coordination must receive a profit, the amount of which is determined by:

- Efficiency and quality of services provided by them,
- Mechanisms for allocating coordination and balancing costs,
- Cost-benefit ratio through balance management,
- Degree of use of the cheapest balancing resources, etc.

In the presence of a complex, extensive network of community members, the VCCB should distinguish between zonal and nodal responsibility for balancing. Among the criteria for evaluating the effectiveness of the VCCB, members highlight, first of all, transparency, completeness and accessibility of information, non-discriminatory nature of the rules of cooperation, equal conditions for each member, fast response time, etc.

### **3.2.3. Financing energy management projects, mechanism of ESCOs transboundary cooperation**

Funding for EE and energy saving projects is one of the main problematic issues for the development of the EM services market. This is due to a number of reasons, among which we selected the following [17, 24]. Firstly, the verification of the achieved effect requires the calculation of complex indicators, first of all, the specific costs of fuel and energy resources for the production of goods and providing services. Secondly, the profits of economic entities (ESCO clients) from the implementation of projects increase due to the reduction of the expenditure part of their budgets, and not the increase of the revenue part. Third, the return on investment is determined by the amount of savings achieved by reducing the amount and / or change the type of energy consumed. Fourth, EM projects for separately considering entities are usually not attractive enough in their size (scale) to attract external investment.

Within the virtually organized ESCO community, these difficulties are largely overcome by:

1) Systemically agreed coordination of interaction of the community's members on the principle of relative organizational and functional independence of each of them,

2) Systemic ranking of projects submitted by clients in order to identify the possibility, feasibility and priority of their funding, in full or in part at the expense of the community,

3) Integration and further system optimization of the structure and parameters of financial, economic and energy resources of the projects submitted by clients,

4) Coordinated attraction of investments in a set of community projects and providing operational assistance to members in cases of unforeseen expenses.

In addition to it, we emphasize that integrating the resources of community members and their clients for the further use to implement the most productive investment projects is one of the priorities of the VCCB. Herewith, the center must ensure the effective attraction, distribution and use of investment resources, taking into account the objective differences of the target interests of both community members and their clients. This requires the center, first of all, to determine the general need for investment resources, the possibility of their formation from different sources and the development of a model of systemically coordinated management of projects accepted for implementation. It is fundamental that the algorithms and procedures of such management relate exclusively to investment projects and do not affect other spheres of economic activities of the community's members and their clients, which allows, without interfering in their business, to concentrate resources on the management of projects (see details in [24]).

Virtually-coordinated cooperation between ESCOs creates fundamentally new opportunities for providing EM services. It should be noted that the effectiveness of ESCOs coordinated cooperation largely depends on their ability to take into account the absolute and comparative advantages of ESCOs cooperation located in different economic (cross-border, heterogeneous) areas of domestic and /

or foreign markets [25, 26]. Simply put, the ESCOs can leverage each other's strengths to minimize a project's risks.

The structural-and-functional scheme of the proposed mechanism of cooperation between the two ESCOs (ESCO(a) and ESCO(b)), represented relative to the Border Line, which conditionally separates the two heterogeneous zones is shown in Figure 3. These are: Zone(a), where ESCO(a) and its CLIENT(a) are located and / or conduct business, and Zone(b), where ESCO(b) and its CLIENT(b) are located and / or conduct their business.

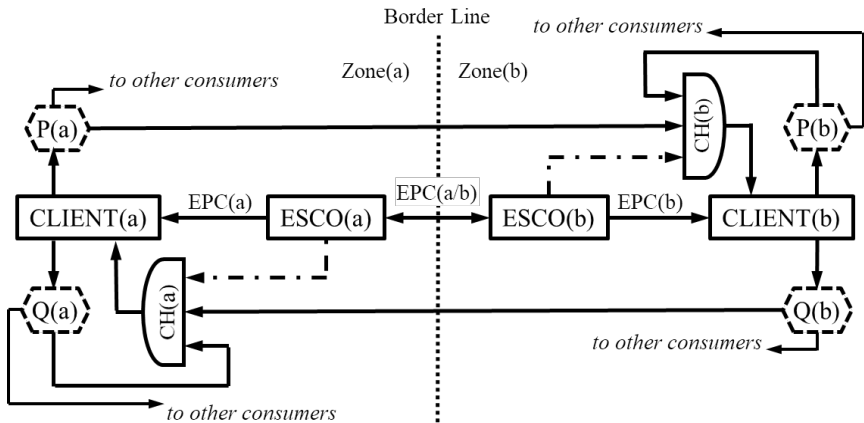


Figure 3. The mechanism of interaction between ESCOs located in different heterogeneous zones

Assume that each of the clients under the terms of EPC' contract with ESCO is able to produce two improved types of goods P(a), Q(a) and P(b), Q(b), respectively. Let the CLIENT(a) under the terms of the contract EPC(a) with ESCO(a) produces and delivers to the CLIENT(b) the quantity p(a) of the goods P(a). Similarly, the CLIENT(b) under the terms of the EPC(b) with ESCO(b) produces and delivers to the CLIENT(a) the quantity q(b) of the goods Q(b). Herewith, the CLIENT(a) under the terms of EPC(a) with ESCO(a) has the opportunity to produce and sell within the Zone(a) the quantity q(a) of goods Q(a), which is a competing substitute for goods Q(b). Similarly, the CLIENT(b) under the terms of the EPC(b) with ESCO(b) – to produce and sell within the Zone(b) the quantity p(b) of the product P(b), which is a competing substitute for the product P(a). Therefore, ESCO(a) and ESCO(b) have a choice, which is determined by the

functions Choose (CH(a) and CH(b)), which goods, where and in what quantity will be more profitable for them and their clients to produce, sell or buy. It is clear that the fulfillment of the specified conditions of cross-border interaction ESCO(a) and ESCO(b) requires coordination, which is carried out in accordance with the terms of the cross-border contract EPC(a/b).

The comparative benefit of ESCO's cross-border cooperation is due to the increase in production by ESCO clients of relatively more profitable goods for supply to another economic zone and the purchase outside their own zone of other goods that are relatively more expensive to produce yourself. Details of the functioning of the cross-border cooperation mechanism and the results of numerical calculations of the profit for each of the ESCOs can be found in [25, 26]. In the framework of this article, it should be emphasized the growing importance and economic feasibility of implementing virtual mechanisms for cross-border cooperation ESCOs, operating on the basis of cloud information and communication technologies.

## Conclusions

Energy management, as one of the fundamental tools for systemic improvement of energy performance of organizations and companies of all forms of ownership, size and purpose, requires continual improvement of EE policy, goals and tasks for its implementation, identification and elimination of emerging problems. Among the main goals of energy management, the priority is a careful balancing between efforts to improve EE and ensuring the fulfillment of client's primary mission. This is achieved through systemic coordination of the stages of design, purchase, installation and operation of energy efficient equipment, monitoring and verification of the achieved results taking into account environmental and economic objectives.

One of the primary tasks of improving EM systems is the active use of cloud information and communication technologies to increase the effectiveness of EM measures at all stages of their implementation, including those related to the actions of personnel to manage technological modes of equipment. Herewith, the implementation of these tasks in cyberspace requires a radical change in the

structure and nature of the interaction of EM service providers with their clients. Creating a virtual center to coordinate the interests of all participants in the process of providing EM services, as well for balancing overall resources use, creating a system of incentives and developing principles of information exchange, protection of intellectual property rights, etc., is becoming decisive.

Virtual centers for coordination and balancing are becoming a basic platform to integrate new technologies, increase transparency and use of competitive forces to scale development of advanced energy technologies, improve client access to these technologies, etc. In our opinion, the most effective way to solve the tasks of creating such centers is to involve ESCOs, which will guarantee their clients that the energy savings and / or money received through EM will be sufficient to cover costs.

The problem is that today ESCOs practically do not interact with each other, independently looking for clients in the market of EM services. This situation limits the boundaries of the EM services market to the relatively small sizes of the projects available to each individual ESCO, thereby limiting the ability of its clients to increase the efficiency and quality of production of goods and services needed by the consumers.

It is shown that the lack of jointly-agreed interaction does not allow to realize the synergetic effects of comparative advantages of ESCOs' cooperation and large-scale projects that require significant investments. This causes significant risks of underfunding of projects and limits their insurance opportunities. The coordination of their activities, which is proposed to be carried out within the virtual business community of ESCOs, gives a new impetus to the development of the EM services market. This allows the community members to reduce costs and risks of doing business, increase the efficiency and flexibility of knowledge exchange and new technologies, facilitate access to new markets and improve the conditions for financing joint projects.

In this sense, the virtually coordinated cooperation of ESCOs that interact in cross-border (heterogeneous) markets of one or more countries opens up new opportunities for EM services aimed at modernization and innovative development

of community members and their clients. It should be borne in mind that the effectiveness of coordinated ESCOs cooperation is largely determined by their ability to realize the absolute and comparative advantages of cross-border cooperation based on virtual platforms built on cloud information and communication technologies.

Financing of EM projects, which is one of the main issues in the development of the services market, is proposed to be carried out within a virtually organized ESCO community, where these difficulties are largely overcome by integrated investment in the set of community projects and systemically coordinated interaction of their members on the principle of relative organizational and functional independence of each of them.

Overall, this study provides a framework to improve results in strengthening the EM services market (based on mobile and advanced virtually organized ESCO communities) and offers conceptual solutions to overcome determined difficulties. In the future, the authors plan to focus on the development of ESCOs virtual cooperation procedures in greater detail.

## References

- [1] Camarinha-Matos, L., Afsarmanesh, H. and Ollus, M. (2005). *Virtual Organizations: Systems and Practices*. New York, Springer.
- [2] Amorim, A. N. G. G. (2007). *Virtual Organization Theory: Current Status and Demands in IFIP International Federation for Information Processing*. In: *Integration and Innovation Orient to E-Society*, Vol. 1, Boston, Springer, pages 1-8.
- [3] Poslad, S. (2009). *Ubiquitous Computing Smart Devices, Environments and Interactions*. Chichester, Wiley.
- [4] Porter, M. E., and Heppelmann, J. E. (2014). *How Smart, Connected Products are Transforming Competition*. *Harvard Business Review*, Vol. 92, No. 11, pages 64-88.
- [5] Camarinha-Matos, L. M., Silveri, I., Afsarmanesh, H. and Oliveira A. I. (2005). *Towards a Framework for Creation of Dynamic Virtual Organizations*.

In: Collaborative Networks and their Breeding Environments, Boston, Springer, pages 69-80.

[6] Afsarmanesh, H. and Camarinha-Matos, L. M. (2005). A Framework for Management of Virtual Organization Breeding Environments. In: Collaborative Networks and their Breeding Environments, Valencia, Springer, pages 35-48.

[7] Turner, W. C. (1996). Energy Management Handbook, 3-rd ed., Lilburn, The Fairmont Press.

[8] ISO 50001:2018. (2018). Energy Management Systems. Requirement with Guidance for Use. Geneva, ISO Central Secretariat, 30 p..

[9] Cosenza, E., Devetta, M., Rosa, M., Zogla, L., Barisa, A., etc. (2018). Energy Management System (EnMS) Guidebook for Local Authorities. Freiburg, Local Governments for Sustainability, 67 p.

[10] McLaughlin, L., Meffert, W., McKane, A. and Vermeeren, R. (2015). Practical Guide for Implementing an Energy Management System. Vienna, United Nations Industrial Development Organization, 78 p.

[11] Derashri, S. (2020). Building Energy Management System (BEMS): A Management Information System (MIS) Approach. International Journal of Energy Management, Vol. 2, No. 4, pages 9-26.

[12] Hooke, J. H., Landry, B. J. and Hart, D. (2003). Energy Management Information Systems: Achieving Improved Energy Efficiency: A Handbook for Managers, Engineers and Operational Staff. Ottawa, Office of Energy Efficiency of Natural Resources.

[13] Eutukhova, T., Kovalko, O., Novoseltsev, O. and Woodroof, E. (2020). Energy Services: A Proposed Framework to Improve Results. Energy Engineering, Vol. 117, No. 3, pages 99-110.

[14] Stuart, E., Larsen, P. H., Carvalho, J. P., Goldman, C. A. and Gilligan, D. (2016). U.S. Energy Service Company (ESCO) Industry: Recent Market Trends. Berkeley, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.

[15] Boza-Kiss, B., Bertoldi, P. and Economidou, M. (2017). Energy Service Companies in the EU – Status Review and Recommendations for Further

Market Development with a Focus on Energy Performance Contracting. Luxembourg, Publications Office of the European Union.

[16] Hansen, S. J., Bertoldi, P. and Langlois, P. (2009). ESCOs Around the World: Lessons Learned in 49 Countries. Lilburn, The Fairmont Press.

[17] Woodroof, E. A. and Thumann, A. (2012). How to Finance Energy Management Projects: Solving the "Lack of Capital Problem". Lilburn, The Fairmont Press.

[18] Hofer, K., Limaye, D. and Singh, J. (2016). Fostering the Development of ESCO Markets for Energy Efficiency. Washington, World Bank.

[19] IFC Energy Service Company Market Analysis. (2011). Quebec, Econoler.

[20] ISO 50007:2017. (2017). Energy Services – Guidelines for the Assessment and Improvement of the Energy Service to Users. Bern, ISO/TC 301.

[21] Osifo, O. C. (2013). The Effects of Coordination on Organizational Performance: An Intra and Inter Perspective. Asian Journal of Business and Management, Vol. 1, Issue 4, pages 149-162.

[22] Schraeder, M., Self, D. R., Jordan, M. H. and Portis, R. (2014). The Functions of Management as Mechanisms for Fostering Interpersonal Trust. Advances in Business Research, Vol. 5, pages 50-62.

[23] Van der Veen, R. A. C. and Hakvoort, R. A. (2016). The Electricity Balancing Market: Exploring the Design Challenge. Utilities Policy, No. 43, pages 186-194.

[24] Kovalko, O. M., Kovalko, N. M. and Novoseltsev, O. V. (2018). Result-oriented Investment Management System for Targeted Energy Efficiency Programs. Scientific Bulletin of National Mining University, No. 3(165), pages 160–166.

[25] Kovalko, A. M., Evtukhova, T. A. and Novoseltsev, A. V. (2013) ESCOs and Cross-Border Energy Services: Ideas for International Cooperation. Proc. of World Energy Engineering Congress, Washington, 25-27 Sept. 2013, Vol. 1, Ch. 75, pages 952-969.



[26] Novoseltsev, O., Kovalko, O., Evtukhova, T. (2013). Cross-border Cooperation of Energy Service Companies as a Factor Enhancing Energy and Economic Safety. In: Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems. Abingdon, Taylor & Francis Group, CRC Press, pages 37-46.

### **Глава 3.3. Ринок енергосервісних послуг: концептуальна основа та механізми формування<sup>3</sup>**

Ринок енергосервісних послуг є наймолодшим, порівняно з іншими видами енергетичних ринків, але таким, що найбільш активно розвивається у світі у двох пріоритетних сферах: енергоефективність та відновлювані джерела енергії. Водночас незавершеність теоретичних засад суттєво гальмує його розвиток. Цей розділ містить огляд законодавчої та нормативної бази, пов'язаної з формуванням ринку енергосервісних послуг, об'єднує концептуальні ідеї та інноваційні дослідження, отримані у розвинених країнах, а також пропонує теоретичні основи (модель) формування ринку енергосервісних послуг на основі синергетичного поєднання методологічних положень системного аналізу і теорії множин. Розглядаються організаційна структура взаємодії клієнтів ринку енергосервісу з енергетичними ринками, ринками енергоефективності і технологій відновлюваної енергетики та ринками споживачів, а також новий організаційний механізм підтримки ефективного функціонування енергосервісного ринку. Загалом запропонована структура дозволяє дослідникам та інженерам глибше та чіткіше визначити системно скоординовані шляхи покращення функціонування ринку енергосервісних послуг.

#### **3.3.1. Current trends of energy services markets development**

Today's global economy is rapidly changing from manufacturing to a service economy that covers now all major business sectors, where fuel and energy resources are used intensively (IEA & IRENA, 2017; IEA, 2019; Novoseltsev et al., 2013). Largely, these are energy, industry, transport, housing and communal sectors, agriculture etc.

To keep abreast of current trends, global energy services (ESs) markets are developing in two priority areas: energy efficiency (EE) and renewable energy sources (RES), where EE is considered a 'specific type of fuel'. Other important areas of ESs markets development include increasing regulatory capacity, securing

---

<sup>3</sup> Deshko V. I., Kovalko O. M., Novoseltsev O. V., Yevtukhova M. Y. Energy Services Market: Conceptual Framework and Mechanism of Forming // International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science, Vol-6, Issue-6, 2020, pp. 48-55.

energy supply to meet demand, and facilitating private sector-led energy investment. Note that the cumulative investment in EE and RES in the world for 2016-2050 is estimated under different scenarios as US\$ (29.0-37.0) trillion and US\$ (13.0-27.0) trillion, respectively (IRENA, 2019).

The foremost system-integrating role in the ESs markets plays energy service companies (ESCOs), whose effectiveness has been proven in practice in both developed and developing countries. The size of global ESCO business was USD 28.6 billion in 2017 with annual growth rate of over 8 %. China ESCO market grew 11 % to USD 16.8 billion, the USA market – to USD 7.6 billion, EU – to USD 3.0 billion, and in the rest of the world – shrunk since 2015 by 8 % to USD 1.5 billion (Boza-Kiss, et. al., 2017; ECS, 2016; ECS, 2018; IEA, 2019; Stuart et al., 2016). ESCOs represent the commercial type of organizations (companies, enterprises) that operate on the basis of an ESs performance contracting, providing a range of turnkey energy services that covers the energy, economic, environmental, financial and legal aspects of the design, engineering, installation and commissioning of ESs projects, long-term monitoring and verification of the projects' savings. In addition to Energy performance contracting format of ESs contracts, the next, most commonly used in the world, are Guaranteed savings, Shared savings, Chauffage, Energy supply, First out, Full management, Integrated energy etc. (Kovalko et al., 2013; Lefebvre et al., 2015; Kovalko et al., 2018).

Among other important ESs markets actors (participants), the manufacturers of energy-efficient and RES equipment and materials, primary energy-and-fuel resources providers, utility companies, investors, representatives of trading platforms, state and local governments and regulators should be taken into account when analyzing the ESs markets (Grazer Energy Agency, 2016; Szomolanyiova et al., 2018).

International and / or cross-border cooperation between the ESs markets participants creates a fundamentally new challenges in the field of EE and RES, aimed at carrying out upgrade and innovative technical and technological

development of each enterprise and national economies of the countries which cooperate (Kovalko et al., 2013; Novoseltsev et al., 2013).

### **3.3.2. The main directions of low-carbon development of national economies**

The implementation of EE and RES are one of the main strategic objectives of the low-carbon development of national economies, as well as the global economy as a whole. Great example – the USA: a network of federal and local energy-saving agencies were established, programs for financing and promoting energy-efficient and RES technologies were implemented, and a special fund for investing in ESs activities was created in accordance with the Federal Energy Policy Act of 1992. The necessary financial resources for the implementation of these programs, set the tasks for increasing the internal production of traditional energy resources, the paces of gradual reduction of the country's dependence on import of oil, measures to ensure national energy security were allocated among others under the Energy Policy Act of 2005. The Energy Independence and Security Act of 2007 aims to: increase the production of clean renewable fuels, protect consumers, increase the efficiency of products, buildings, and vehicles, facilitate exploration and deployment of greenhouse gas collection and storage options, improve the energy performance of the Government, and increase the US energy security, stimulate the production of renewable fuels, and improve vehicle fuel economy. Under the US legal framework, a 30 % tax benefit applies to equipment manufacturers using the latest state-of-the-art technologies. The National Action Plan for Energy Efficiency of 2005 represents a private-public initiative to create a sustainable, aggressive national commitment to EE through the collaborative efforts of gas and electric utilities, utility regulators, and other partner organizations. The National Action Plan Vision for 2025: A Framework for Change establishes a goal of achieving all cost-effective ESs measures by 2025. The American Recovery and Reinvestment Act, designed for 10 years, regulates a number of preferential mechanisms for economic incentives to save energy and increase EE. The program of its implementation provides US\$787 billion to implement ESs projects. In total, 34 new or updated standards concerning EE and RES have been introduced in the USA since 2009.

EE and RES services are the key driver in attracting investment in the EU energy infrastructure in order to achieve the Union's headline targets on EE of at least 32.5 %. For this, a package of ESs measures that include policy, energy savings obligation, obligation schemes, methods and principles for calculating their impact, rules for metering gas, electricity, heating and cooling, domestic hot water parameters were developed. In this context, measures, encompassing policies and individual actions that provide verifiable end-user energy savings, enfold responsibilities of each participating party, including public authority, and ensure monitoring of the results, were stipulated. It was pointed out that their economic analysis must take into account all relevant costs and energy savings due to increased flexibility in the supply, transportation and use of energy resources, including the optimization of operation, avoided costs and saving from reduced investment in infrastructure. In total, EU framework in regulating ESs sphere covers Directives that are binding on EU Member States and over 340 standards of International Electrotechnical Commission (IEC), 110 standards of International Organization for Standardization (ISO) and 300 European Standards EN (EU, 2018; EU, 2019).

A deeper analysis of legal and regulatory frameworks in developed countries aimed at stimulating ESs improvement can be found in (Callon, 1998; Grazer Energy Agency, 2016; Szomolanyiiova et al., 2018). It is noted that the growth of the ESs market provides a number of significant benefits for the sustainable economic growth of countries, reducing dependence on energy imports, increasing incomes and employment, improving the profitability and competitiveness of produced goods and services, developing the knowledge-intensive industries. Among the tools are actively used multi-level structures of ESs management, national, local and sectoral target-oriented programs, national standards and certification programs, as well as government subsidies and grants, tax benefits and preferential lending.

With regard to the development of the ESs markets in developing countries, Ukraine is a typical example. The Energy Saving Law of 1994 can be identified as a key starting point. As separate clauses of this Law, topics of the ESs contract,

sources of ESs financing, including the State Energy Saving Fund, clients' own and borrowed funds, state and local budgets, Energy Efficiency Fund are considered. Instruments for stimulation of energy saving have been identified by giving tax privileges, priority crediting of ESs measures, setting of high rates of depreciation of energy saving fixed assets, targeted state and other subsidies and irrevocable allocation, standardization, establishing a set of mandatory norms, rules and requirements. The main practical steps in the formation of the ESs market in Ukraine are the creation of 10 small private ESCOs under the US technical assistance, as well as creation of Ukrainian ESCO (UkrESCO) under the EBRD credit of US\$20 million in 1998.

The next decisive points are the Law of Ukraine “On Introduction of New Investment Opportunities, Guaranteeing the Rights and Legal Interests of Entrepreneurs for Large-Scale Energy Modernization” of 2015 and the “Energy Strategy of Ukraine till 2035: Safety, Energy Efficiency, Competitiveness” of 2017. The Law of 2015 defines the concept of energy services and energy service agreement, basic conditions to regulate the relationship between the clients and ESCOs, as well as mechanisms for tendering and securing payments for investors. Among the main objectives of the Energy Strategy in the EE sphere are the elimination of cost-based methodology of tariff formation, improving the framework for regulating energy markets, enhancing their competitiveness, marking household goods by energy indicators, conducting energy audits at enterprises and in buildings, expanding energy efficient transport, using the ESCOs contracts in the public and housing sectors, creating instruments of state financial and technical support (with foreign partners) to implement ESs measures. With regard to RES, a steady expansion of the use of all types of renewable energy is envisaged. Thus, by 2025, the Strategy plans to increase their share to 12% of total primary energy supply and to at least 25% by 2035.

### **3.3.3. Substantiation of the theoretical provisions of energy service markets**

Conducted literature survey confirms that ESs markets are starting to play a key role in the low-carbon transition of the global economy. At the same time, among theoretical studies, we can only see verbal models, – there are no

publications aimed at substantiating the theoretical provisions of ESs markets, even the basics of their formation and functioning remain vague and uncertain, except for the general knowledge that they are related to the monetary exchanges of goods, services and information (Callon, 1998; Jackson, 2007). And this situation adversely affects the capacity of ESs markets adequate research and impedes their further sustainable development (Nolden et al., 2016; Deshko et al., 2018).

To correct this, we first need to develop a framework based on appropriate regulatory, financial and organizational support mechanisms. And herewith, we should take into account the differences between core energy services and energy-related services (WTO, 1998; Energy Charter, 2016; Eutukhova et al, 2020), when developing a generalized model (structural-functional scheme) of the ESs markets formation, workable in a competitive energy-technological environment, as well as to formalize adequate basic equations. These requirements are the goal of our study, which consists of the following tasks to be solved:

1. To conduct a legal-based analysis comparing appropriate approaches to regulatory, financial and organizational support.
2. To develop a multi-level organizational structure of energy services market aimed at improving the efficiency of its operation by building a causal chain of energy use from production to end consumption.
3. To generate a multi-level system of basic equations formalizing the proposed organizational structure that correlates with the efficiency (energy, technology, economic, etc.) of converting sets of input variables into sets of output variables for any level of the proposed structure.
4. To develop the process flow diagram of the engineering level mechanism for supporting the functioning of the energy services market.

in order to implement the tasks and achieve the goal, we used the provisions of systems requirements analysis and set theory, exploring ES markets as an integral part of a multi-level organizational structure aimed at improving the efficiency of operation of the cause-and-effect chain of energy use from its production to end consumption. Organizational structure of the proposed model is represented in Fig.1.

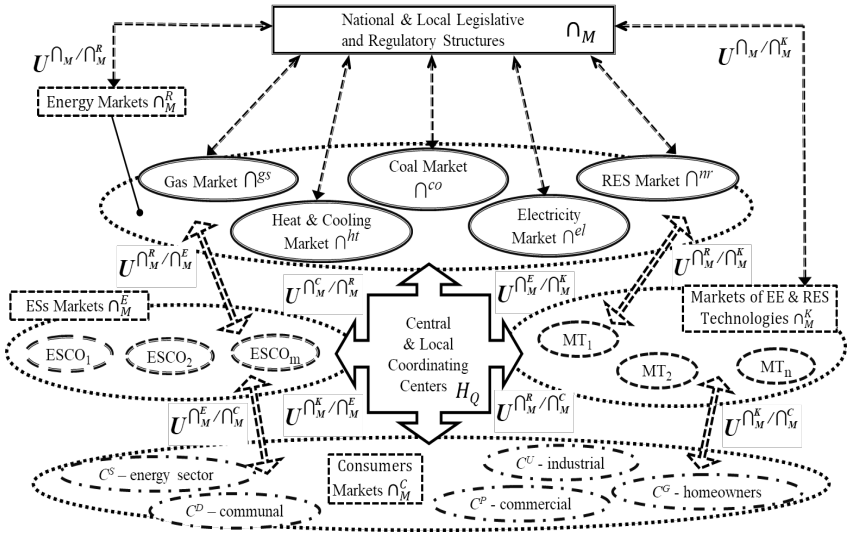


Figure 1. Object-oriented model of ESs market organization

As we can see, the focus position in the proposed organizational structure of the ESs market is occupied by national and local coordinating centers. The main task of these centers is to coordinate the activities of ES markets actors (participants) in the conditions of their legal and economic independence. Among the preferential mechanisms (instruments) of such coordination are the ESs contracts, as well as national and local target-oriented programs for economic stimulation to EE, energy saving and RES using.

The upper level of the proposed organizational structure is formed by the markets of energy resources (gas, oil, coal, renewables, heating and cooling, electricity). The next level integrated with others, constitutes by markets of EE and RES technological equipment and materials, where their manufacturers (also intermediaries) sell EE and RES goods, services and information to the end



consumers (ESs clients). Among the latter, you can see representatives of the energy markets (they usually simultaneously carry out the functions of energy resources suppliers and energy services consumers), industry, trade, urban communities, homeowners, etc. (Deshko et al., 2019; Eutukhova et al., 2020). To reflect in the modeling process the complexity of the interactions between ESs market actors, the mathematical sign ( $\cap$ ) of intersection of sets in families is used in Fig. 1.

As follows from the consideration of the arrows in Fig.1, the interactions of the ESs markets actors are reflected in the proposed model by an ordered set of an organizational-and-technological modules that have diamond-shaped structure (Eutukhova et al., 2020). Their formalization in the model is represented in Fig.1 by a combination of mathematical signs of intersection of sets in families, for example, between energy and ESs markets, like  $U^{\cap R_M} / \cap^E_M$ . In a more visual way, this interaction is displayed in the form of a Venn diagram (see Fig. 2), in which the interaction areas are highlighted in a darker color.

It is also necessary to add that, when modeling the ESs markets, all four interacting level (modules) of the considered organizational structure should be regarded as ‘immersed’ in the environment of national and local legal and regulatory frameworks. This implies that the functioning of ESs markets, as a part of integrated system, must strictly meet the requirements of these frameworks.

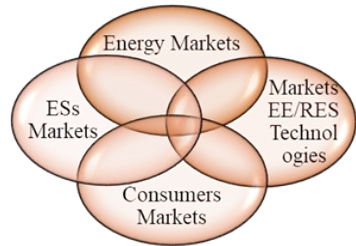


Figure 2. Venn diagram

Formatting the basic equations of the ESs model, the organizational structure of which, shown in Fig.1, is based on the set-theoretical approach, we will be carried out in the form of mappings (for example, this is  $U^{\cap R_M} / \cap^E_M$ ) of ordered sets of input variables (in our example this is  $\cap^R_M$ ) into sets of output variables (in our example this is  $\cap^E_M$ ) for each level of the model structure (these are R, E, K, C levels), with incorporating the impacts on these variables of managerial influences

(H\_Q) and feedback ( $F_j^i$ ) from i to j level. It is important that the formalized in this way mappings will have a strict correlation with the efficiency (energy, technology, economic, ecological, social, etc.) of converting sets of input variables into sets of output variables for any level of the model.

Acting like this, we generated system-level core equations (1), describing the procedures of the actor's interaction in the ESs markets, and a complementary system (2) of the two subsystems of mappings of output variables into managerial and feedbacks variables, where  $\mu$  and  $\eta$  (with the matching indexes) reflect the efficiencies of corresponding mappings.

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_M^{ER} : \cap_M^E \rightarrow H_Q^R; \\ \mu_M^{CR} : \cap_M^C \rightarrow H_Q^R; \\ \mu_M^{KR} : \cap_M^K \rightarrow H_Q^R; \\ \mu_M^{RE} : \cap_M^R \rightarrow H_Q^E; \\ \mu_M^{CE} : \cap_M^C \rightarrow H_Q^E; \\ \mu_M^{KE} : \cap_M^K \rightarrow H_Q^E; \\ \mu_M^{RK} : \cap_M^R \rightarrow H_Q^K; \\ \mu_M^{EK} : \cap_M^E \rightarrow H_Q^K; \\ \mu_M^{CK} : \cap_M^C \rightarrow H_Q^K; \\ \mu_M^{RC} : \cap_M^R \rightarrow H_Q^C; \\ \mu_M^{EC} : \cap_M^E \rightarrow H_Q^C; \\ \mu_M^{KC} : \cap_M^K \rightarrow H_Q^C; \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \eta_M^{ER} : \cap_M^E \rightarrow F_E^R \\ \eta_M^{CR} : \cap_M^C \rightarrow F_C^R \\ \eta_M^{KR} : \cap_M^K \rightarrow F_K^R \\ \eta_M^{RE} : \cap_M^R \rightarrow F_R^E; \\ \eta_M^{CE} : \cap_M^C \rightarrow F_C^E; \\ \eta_M^{KE} : \cap_M^K \rightarrow F_K^E; \\ \eta_M^{RK} : \cap_M^R \rightarrow F_R^K; \\ \eta_M^{EK} : \cap_M^E \rightarrow F_E^K; \\ \eta_M^{CK} : \cap_M^C \rightarrow F_C^K; \\ \eta_M^{RC} : \cap_M^R \rightarrow F_R^C; \\ \eta_M^{EC} : \cap_M^E \rightarrow F_E^C; \\ \eta_M^{KC} : \cap_M^K \rightarrow F_K^C. \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_M^{ER} : \cap_M^E \rightarrow H_Q^R; \\ \mu_M^{CR} : \cap_M^C \rightarrow H_Q^R; \\ \mu_M^{KR} : \cap_M^K \rightarrow H_Q^R; \\ \mu_M^{RE} : \cap_M^R \rightarrow H_Q^E; \\ \mu_M^{CE} : \cap_M^C \rightarrow H_Q^E; \\ \mu_M^{KE} : \cap_M^K \rightarrow H_Q^E; \\ \mu_M^{RK} : \cap_M^R \rightarrow H_Q^K; \\ \mu_M^{EK} : \cap_M^E \rightarrow H_Q^K; \\ \mu_M^{CK} : \cap_M^C \rightarrow H_Q^K; \\ \mu_M^{RC} : \cap_M^R \rightarrow H_Q^C; \\ \mu_M^{EC} : \cap_M^E \rightarrow H_Q^C; \\ \mu_M^{KC} : \cap_M^K \rightarrow H_Q^C; \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \eta_M^{ER} : \cap_M^E \rightarrow F_E^R \\ \eta_M^{CR} : \cap_M^C \rightarrow F_C^R \\ \eta_M^{KR} : \cap_M^K \rightarrow F_K^R \\ \eta_M^{RE} : \cap_M^R \rightarrow F_R^E; \\ \eta_M^{CE} : \cap_M^C \rightarrow F_C^E; \\ \eta_M^{KE} : \cap_M^K \rightarrow F_K^E; \\ \eta_M^{RK} : \cap_M^R \rightarrow F_R^K; \\ \eta_M^{EK} : \cap_M^E \rightarrow F_E^K; \\ \eta_M^{CK} : \cap_M^C \rightarrow F_C^K; \\ \eta_M^{RC} : \cap_M^R \rightarrow F_R^C; \\ \eta_M^{EC} : \cap_M^E \rightarrow F_E^C; \\ \eta_M^{KC} : \cap_M^K \rightarrow F_K^C. \end{array} \right. \quad (2)$$

Further (more deeper) detailing the variables in equations (1) and (2) to the level of energy (technology, economic, ecological, social, etc.) processes of the actors activities in ESs markets needs to take into account the actors capabilities to:

realize the ESs management system based on a continuous quality improvement model known as Deming or PDSA cycle, which consists of a logical sequence of four stages: plan, do, check, and act. In turn, this management system should include the complex of procedures such as: conducting the preliminary and investment level audits, analysis of energy saving measures potential, design validation of the ESs projects (due diligence), evaluating the scope of funding and selecting the potential investors, concluding a package of ESs contracts, purchase of goods and services from third parties, implementation of the ESs projects, loans repayment, etc.;

increase clients cost-effectiveness through the implementation of a turnkey package of ESs services that include EE, RES, distributed generation, heating, cooling, lighting, ventilation, building, etc., and by avoiding of the clients upfront costs through long-term third-party financing or on-bill repayment schemes;

arrange payment by results allowing transfer of technical risk from clients to ESCOs by using the specialized financial support mechanisms (FSMs) to

increase the scales of private funding and operating in coordination with local and international financing organizations;

guarantee that the energy and/or money savings resulting from the ESs projects implementation will be sufficient to cover the costs of projects financing throughout the consensual period of their exploitation;

make the ESs projects more attractive for state and local governments by ensuring that the main assets and services of these projects were recorded off governments balance sheets to restrict the impact on the budget deficit and allowing them to realize much more investment ESs projects.

In order to be mutually effective in the realization of these tasks, each of the ES market clients should have appropriate organizational and financing support mechanisms. Recall that among these clients there are central and local (municipal) authorities, ESCOs, commercial banks, private investors, international technical assistance programs, EE equipment manufacturers, primary energy suppliers, etc. Developed on the basis of international experience, the process flow diagram of the organizational mechanism for supporting the effective functioning of the ESs market is shown in Fig. 3.

The new structural elements in this flowchart, which distinguish it from the known verbally described procedures of ESs markets functioning, are: conducting pre-bid meetings with potential clients; organizing site visits at potential ESs objects, which in the future are planned to be put up for open bidding; formation and signing the mutual pre-contractual obligations between potential executors of ESs projects. In a generalized form, the proposed organizational structure of the ESs market consists of three main components (modules of the model): a market of pre-contractual obligations, trading platform (auctions) and a market of post-contractual obligations. Taken together, these modules represent a powerful mechanism for improving the functioning of ESs markets by creating a primary market for pre-contract ESs obligations, which ultimately allows the coordinated centers to enhance the multiplier effect by combining the efforts of several clients to implement the ESs projects pool.

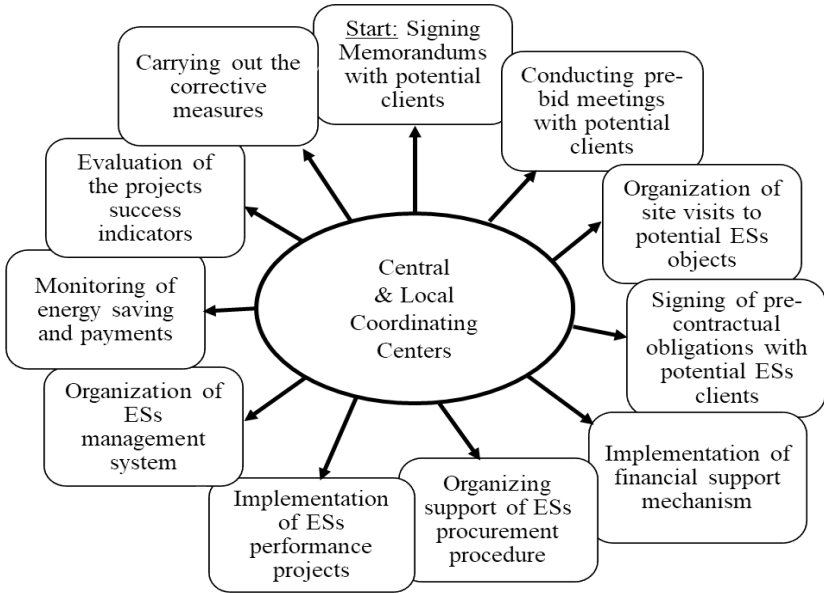


Figure 3. The stages of organizational mechanism for supporting the functioning of the ESs market

Inclusion in this mechanism the support functions of international technical assistance programs and grants (national and international) play a crucial role in the formation of the ESs market worldwide. By analyzing the allocation of ESs projects funding in developed and developing countries, we propose to use a special form of grants – an energy performance grant (EPG), which is up to 25-30 % of the total ESs project cost. The EPG payments should be made only if and after the grant recipient took over the commercial funding and signed the ES contract awarded through the public procurement. EPG payment amounts should be dependent on energy savings achieved by grant recipient for the periods stipulated by ESs contract. Among the directions of using the EPG grants, first of all we propose to consider the development of ESs markets in small and medium-sized cities, conducting energy audits and preparation of bidding documents, offering free of payment ESs management systems for municipalities that undertake ESs contracts on co-finance basis with the private sector, mitigation of

lending conditions by using the FSM, implementation of the economically unattractive but socially significant ESs measures.

Among the tools of FSM, we propose to consider first the leasing mechanism, demand side regulation by suppliers of primary energy-and-fuel resources, financing (lending) from the state and local budgets on a return basis, municipal ESCOs (MESCOs) mechanism, public-private partnership, revolving (multifold) use of cost savings, and local EE funds. MESCOs should be the official representatives of local authorities and budget institutions in ESs markets, assuming control and management functions as well as executing projects in cases requiring community input. This gives the community a number of benefits through targeting the interests of the city community, creating competition for private ESCOs, ensuring the return of savings to the community budget, expanding community lending through local guarantees and enhancing the institutional capacity of the community in the EE and RES fields.

With regard to the structure of ESs markets funding, the results of comparative analysis of EU and Ukraine ESs markets shows that, on average, financing the ESs projects in EU is carried out at the expense of ESs client's funds mostly (52 %) and bank credits (26 %), the share of ESCO's own funds is only 5 %. The public sector remains the most important client sector of ESs markets. The practically same picture is in Ukraine, where to the main ESs markets development problems are added the instability of national currency exchange rate, high level of inflation, lack of long-term credit resources, high interest rates on loans in local banks, lack of international ESs credit lines.

## Conclusions

1. Energy services (ESs) markets worldwide are now in their infancy and requires fundamentally new approaches for the development of methodological, organizational, financial and technological support for its evolution and sustainable functioning. Particular attention should be paid to improving the legal and regulatory framework, implementation of energy management systems, increasing the share of RES and cogeneration, as well as use of waste energy potential and attracting international technical assistance to switch to cheaper mix of fuels.

2. Synergistic combination of conceptual ideas of systems requirements analysis and set theory for the first time allowed to generate a system of equations, describing the interaction of ESs providers with participants of energy markets, markets of EE, RES technologies and final consumers of fuel and energy resources. This allowed creating a theoretical framework for further detailing the variables of these equations to the level of parameters of concrete energy-consuming equipment for optimization them by the criteria of energy, economic and environmental efficiency.

3. In general, the proposed structural-functional framework, as well as the organizational mechanism to support the efficient functioning of ESs markets, allow the researchers and engineers to define in more depth and more clearly the system-coordinated pathways of improving these markets functioning, as well as to expand the scope of energy services.

### **References**

[1]. Boza-Kiss, B., Bertoldi, P. and Economidou, M. (2017). Energy Service Companies in the EU - Status review and recommendations for further market development with a focus on Energy Performance Contracting. Luxembourg: Publications Office of the European Union, doi.org 10.2760/919473.

[2]. Callon, M. (1998). Introduction: The Embeddedness of Economic Markets in Economics. Malden: Blackwell Publishers, doi.org/10.1111/j.1467-954X.1998.tb03468.x.

[3]. Deshko, V. I. and Karpenko, D. S. (2018). Analysis of conditions for the creation of the local thermal energy market in Ukraine. Scientific and technical collection "Municipal economy of cities", №7 (146), pp. 68-76. ISSN 2522-1809.

[4]. Deshko, V., Shevchenko, O. and Shovkalyik, M. (2019). Approach to the energy evaluation of the social facilities of Ukraine at the time of the energy-efficiency measures implementation. Journal of New Technologies in Environmental Science, Vol. 3, No. 2, pp. 55-75. ISSN 2544-7017.

[5]. ECS. (2018). China Energy Efficiency Report. Brussels: Energy Charter Secretariat, ISBN: 978-905948-203-6.

- [6]. ECS. (2016). The International Energy Charter: Consolidated Energy Charter Treaty with Related Documents. Brussels: Energy Charter Secretariat.
- [7]. EU. (2018). Directive EU 2018/2002 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency. Official Journal of the European Union, No. L 328. pp. 210-230. ISSN 1977-0677.
- [8]. EU. (2019). Energy Efficiency Progress Report: 2018 assessment of the progress made by Members States towards the national energy efficiency targets for 2020 and towards the implementation of the Energy Efficiency Directive as required by Art. 24(3) of the Energy Efficiency Directive 2012/27/EU. Brussels: EU Commission.
- [9]. Eutukhova, T., Kovalko, O., Novoseltsev, O. and Woodroof, E. (2020). Energy Services: A Proposed Framework to Improve Results. Energy Engineering, Vol. 117, No. 3, pp. 99-110. doi.org 10.32604/EE.2020.010864.
- [10]. Grazer Energy Agency. (2016). Report on the European EPC Market. Graz: Grazer Energieagentur GmbH.
- [11]. IEA & IRENA. (2017). Perspectives for the Energy Transition: Investment Needs for a Low-Carbon Energy System. Berlin: IEA & IRENA Publications.
- [12]. IEA. (2019). Energy Efficiency 2018: Analysis and Outlook to 2040. Paris: IEA Publications.
- [13]. IRENA. (2019). Global energy transformation: A roadmap to 2050. Abu Dhabi: IRENA.
- [14]. Jackson, W.A. (2007). On the social structure of markets. Cambridge Journal of Economics, Vol. 31, Issue 2. pp. 235-253. doi.org 10.1093/cje/bel031.
- [15]. Kovalko, O. M., Kovalko, N. M. and Novoseltsev, O. V. (2018). Result-oriented Investment Management System for Targeted Energy Efficiency Programs. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, № 3(165). pp. 160-166. doi.org 10.29202/nvngu/2018-3/20.
- [16]. Kovalko, O.M., Novoseltsev, O.V. and Boublik, V.V. (2013). The Ricardian model of energy service companies transboundary cooperation. Socio-Economic Research Bulletin, Vol. 2(49), part 1, pp. 202-209. ISSN 1813-5420.



[17]. Lefebvre, G., Jiménez, E. and Cabañas, B. (2015). *Environment, Energy and Climate Change II: Energies from New Resources and the Climate Change*. Basel: Springer. ISBN 978-3-319-17100-5.

[18]. Nolden, C., Sorrell, S. and Polzin, F. (2016). Catalysing the energy service market: the role of intermediaries. *Energy Policy*, No. 98, pp. 420-430. doi.org 10.1016/j.enpol.2016.08.041.

[19]. Novoseltsev, O., Kovalko, O. and Evtukhova, T. (2013). Cross-border cooperation of energy service companies as a factor enhancing energy and economic safety, in book: *Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems*, G. Pivnyak, O. Beshta, M. Alekseyev (Ed). London: Taylor & Francis Group, CRC Press, pp. 37-46. ISBN 9780-3673-79216.

[20]. Stuart, E., Larsen, P. H., Carvalho, J. P., Goldman, C. A. and Gilligan D. (2016). *U.S. Energy Service Company (ESCO) Industry: Recent Market Trends*. Berkeley: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. LBNL 1006343.

[21]. Szomolanyiöva, J. and Keegan, N. (2018). *European Report on the Energy Efficiency Services Market and Quality*. Vienna: QualitEE,.

[22]. WTO. (1998). *Energy Services*. Background Note by the Secretariat. Geneva: World Trade Organization.

## **Глава 3.4. Орієнтований на результат механізм підтримки низьковуглецевої трансформації ринків енергосервісних послуг<sup>4</sup>**

На сьогодні ринки енергосервісних послуг (ESMs) охопили майже всі сфери виробництва та споживання товарів і послуг як для промислових, так і для громадських потреб, а також для домогосподарств, головним чином завдяки енергоефективності та відновлюваним джерелам енергії. Водночас незавершеність теоретично обґрунтованих основ значно знижує темпи розвитку цих ринків. Метою даного дослідження є представити основу для визначення напрямків та побудувати модель структурної організації та функціональної взаємодії учасників такого роду ринків. Такий підхід дозволяє, поєднуючи ресурси, можливості та інформацію, розширити сферу застосування та підвищити ефективність і продуктивність енергосервісних послуг. Представлено нову структурно-функціональну модель взаємодії учасників ESMs. Крім того, пропонується новий організаційний механізм для підтримки ефективного функціонування ESMs у формі циклу постійного покращення результатів енергосервісу. Практичне значення дослідження полягає у створенні концептуальної основи організації та функціонування ESMs, що дозволяє системно оцінити нові можливості таких ринків як у розвинених країнах, так і в країнах, що розвиваються.

### **3.4.1. Elements of structural transformation of energy services markets**

Pollutions from the burning of fossil fuels-and-energy resources are largely responsible for the dramatic changes in the behavior of the global ecosystem. They are increasingly affecting the socio-economic situation and human health. These, and especially recent events COVID-19 coronavirus pandemic, point to the urgent need to create and without delay to implement of a new methodological framework for large-scale realization of measures to improve energy efficiency (EE) and the use of renewable energy sources (RES). This study considers the implementation of such a framework based on the methodological provisions of the business

---

<sup>4</sup> Deshko V., Kovalko O., Novoseltsev O., Yevtukhova M. A Result-Oriented Framework to Support the Low-Carbon Transformation of Energy Services Markets // Journal of New Technologies in Environmental Science, No. 2, Vol. 4, 2020, pp. 65-75.

concept of "energy services market", the principles of the formation and functioning of which we determine by comparison with similar principles of an ecosystem, where stable equilibrium is achieved due to the balanced interaction of its components (elements) with environment. Therefore, when choosing a solution to the problem of pollutions from business activities, we should clearly understand that the natural reserves required for the functioning of business would be short-lived if these reserves were not renewed through a balanced exchange of energy and resources between the elements of eco- and business systems.

Business systems are complex; therefore, within the proposed framework we will consider them in a generalized form, which, however, should cover all the main market participants. Among them are manufacturers, suppliers, distributors and consumers, state and local authorities, regulators, etc., which are directly or indirectly involved in the creation (production, supply, use) and disposal of the products, goods or services.

The field of energy services covers all major branches of the global economy, where fuel and energy resources are used intensively. Primarily, these are energy, industry, transport, housing and communal sectors, agriculture etc. Since the beginning of the third millennium, global energy services markets are rapidly developing in two priority fields. These are EE and RES, where energy efficiency is considered as "a special type of fuel". According to the International Renewable Energy Agency, the cumulative investment in EE and RES in the world for 2016-2050 under different scenarios will be \$ (29.0-37.0) trillion and \$ (13.0-27.0) trillion, respectively.

Energy service companies (ESCOs) are some of the most efficient and most commonly used energy service providers that meet these challenges in practice around the world. Thanks to their joint efforts with national and local authorities, energy services markets are actively developing in the vast majority of countries, demonstrating high growth rates. However, despite their significant efforts, including those associated with the public and business, the volume of environmental pollution is constantly increasing in the world, and this is a global problem for our planet.

Our study shows a huge number of publications, including scientific ones, devoted to the formation and development of energy services markets at the national and local levels, but the structural and organization schemes of these markets are still unresolved and, no less important, there are still no formalized models and mechanisms of their operation.

In general, this requires a comprehensive development of theoretical and methodological foundations to support the low-carbon transition and improve the efficiency of energy services markets, and, as an initial step, it is necessary to develop a conceptual result-oriented framework for realization such support, first of all the legal framework.

The availability of an appropriate legal framework is a determining factor in the success of the transition to a low-carbon economy, the main strategic goals of which are determined as EE and RES. To succeed in this, a branched network of federal and local energy-saving agencies, as well as the programs for financing and promoting EE and RES technologies have been developed and implemented in all developed and in most developing countries. Among the major achievements in the USA, we have selected a special fund for investing in energy services activities in accordance with the Federal Energy Policy Act of 1992, the Energy Policy Act of 2005, Energy Independence and Security Act of 2007. The National Action Plan for Energy Efficiency of 2005 represents a private-public initiative to create a sustainable, aggressive national commitment to EE, the American Recovery and Reinvestment Act, designed for 10 years. In total, 34 new or updated standards concerning EE and RES have been introduced in the USA since 2009. As for European Union, EE and RES services are the key driver in attracting investment in energy infrastructure transformation in order to achieve the Union's headline targets on EE of at least 32.5 %. In total, EU framework in regulating EE and RES sphere covers tens binding directives for EU member states, over 340 standards of International Electrotechnical Commission, more than 110 standards of International Organization for Standardization (ISO) and 300 European Standards EN [1–3]. Among the major achievements in the Poland, we chose National Fund for Environmental Protection and Water Management, established in 1989, the

Polish National Energy Conservation Agency (KAPE), which operates since 1994, the Energy Law of 1997, National Energy Efficiency Action Plan of 2007, Act on Renewable Energy Sources of 2015, and the Energy Efficiency Law of 2016.

With regard to the development of the energy services markets in developing countries, Ukraine is a typical example [3]. The Law of Ukraine About Energy Saving of 1994 can be identified as a key starting point, the State Committee of Ukraine On Energy Saving of 1995 (State Agency for Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine since 2014). The decisive points are the National Action Plan for Renewable Energy for the Period Until 2020 of 2014, Law of Ukraine On Introduction of New Investment Opportunities, Guaranteeing the Rights and Legal Interests of Entrepreneurs for Large-Scale Energy Modernization of 2015, the Law of On Energy Efficiency Fund of 2017. The Energy Strategy of Ukraine till 2035: Safety, Energy Efficiency, Competitiveness” of 2017 as a most comprehensive act.

A comparative analysis of legal and regulatory frameworks in other developed countries aimed at stimulating energy services improvement can be found in [4, 5].

### **3.4.2. Energy services, energy services companies, energy services markets**

Over past few decades, the global economy is increasingly transforming from a manufacturing (product) economy to a service economy [6–8]. Among the models (mechanisms) of transformation, the most common are models based on the concepts of Service-Dominant Logic [9] and Product-Service Systems [10, 11]. The activity of economic entities of all forms of ownership and functional purpose has significantly intensified in the energy services markets due to the significant growth of the role of energy efficiency and renewable energy sources in the low-carbon restructuring of the modern economy [12–15]. It is important that in addition to energy service companies (ESCOs), other economic entities are actively involved in this activity, first of all, manufacturers of EE and RES equipment and materials, suppliers of primary fuel and energy resources, utilities, investors, representatives of trading platforms, state and local authorities and regulators [5, 16].

Up-to-date energy services consist of professional business (commercial) activities, including scientific and technical, as well as management and consulting services. The specifics of energy services are defined in EU legislation as “the physical benefit, utility or good derived from a combination of energy with energy efficient technology and/or with action, which may include the operations, maintenance and control necessary to deliver the service, which is delivered on the basis of a contract, and in normal circumstances has proven to lead to verifiable and measurable or estimable energy efficiency improvement and/or primary energy savings” [17–19].

The category of energy services by its purpose covers the activities, mechanisms and resources needed to improve the efficiency (productivity, quality, etc.) of production, transmission, distribution, supply and final consumption of energy. So, when we talk about efficiency, we have to classify this type of service as energy performance services or energy-related services [19–20]. These services provide additional added value (profitability, benefit, usefulness, etc.) by combining energy with energy efficient technology and / or operation, including maintenance and control procedures required to provide services [18, 21–23]. More detailed information on energy services can be found in [24–26].

A significant impetus for the implementation of energy services is the use of smart technologies that allow on a fundamentally new platform to integrate the capabilities of products, goods and services for further use to meet the end needs of consumers. Such integration of smart goods and services allows implementing their new properties when using services by consumers through, for example, smart measurement, verification and adjustment in real time [27].

Energy Services Companies (ESCOs) are one of the most efficient and widespread types of commercial organizations that provide energy-oriented services, including the implementation of measures (investment projects) for energy efficiency and renewable energy. Therefore, the task of combining and strengthening the efforts of ESCOs aimed at overcoming the problems of environmental pollution and improving the efficiency of natural resources use is more relevant today than ever before [7, 28–30].

ESCOs operate based on energy service contracts, providing a wide range of energy services that cover technical, economic, financial and legal aspects of design, engineering, installation, commissioning, monitoring and verification of the results achieved from the implementation of innovative projects in the areas of EE, RES and energy infrastructure improvement [29–33].

The energy services provided by ESCOs have the following fundamental differences:

(1) The energy service contractor (ESCO) shall guarantee that the savings of fuel, energy and other material and technical resources, stipulated in energy service contract and received as a result of implementation of turnkey energy service project, will exceed the payments to cover all project costs for the payback period;

(2) The energy service contractor invests its own funds (in whole or in part) in the implementation of energy service projects. If the savings guaranteed by him do not materialize, the difference is compensated at the expense of the contractor.

Different types of funding for ESCO projects may also include such as “funds, subsidies, tax rebates, loans, third-party financing, energy performance contracting, guarantee of energy savings contracts, energy outsourcing and other related contracts that are made available to the market place by public or private bodies in order to cover partly or totally the initial project cost for implementing energy efficiency improvement measures” [17–18].

Varieties of ESCO energy service contracts are discussed in detail in numerous publications, for example in [33–37], where the following main models are among the most common: Energy Performance Contracting (EPC), Energy Supply Contracting (ESC), Chauffage, and Full Management Contracting (FMC). It is noted that most of these contracts used in practice are mixed. The most widespread is the EPC, which sets out the ESCO's obligations to increase the productivity (efficiency) of energy service outcomes, which under this contract may cover both the supply side and the final energy consumption side. The customer in accordance with the achieved level of energy efficiency pays ESCO costs agreed under the contract [8].

The main components of energy service contracts in conjunction with the scheme of causal chains of ESCO interaction with the customer and other project participants (subcontractors, financial institutions and support funds, etc.) are presented in detail in [19]. It should be added here that the complexity of implementing ESCO projects significantly slows down their financing, mainly due to the need to ensure a guaranteed level of energy saving in an uncertain business environment.

The results of a comparative analysis of the properties of energy services projects under ESCO contracts with other type of services considered within the framework of the service-dominant logic and product-service systems show that they have many common features [25, 26, 38, and 39]. Their integrated use allows realizing the synergy of system interaction of these services, aimed at expanding the scope of their use and increasing the amount of systemically created benefits. This, of course, requires the improvement of the conceptual provisions of energy services, which will provide more favorable conditions for result-oriented framework to support the low-carbon transition by the way of ensuring mutually beneficial interaction between ESCOs and other market participants, in particular with customers and final consumers of goods and services.

Potential and development trends of energy services markets is largely determined by the size and growth rate of energy markets, as well as investments involved in their development. Analysis shows that, the consumption of fuel and energy resources in the world is constantly growing and is projected to grow until 2050. Thus, in 2040, compared to 2016, world oil consumption may increase by 10.3%, natural gas – by 31.9%, coal consumption will not change, nuclear energy production will increase by 35.1%, hydropower – by 26.7% and energy from other RES – by 80.1% [40]. The global crises certainly have a significant impact on the growth rates. So, the IEA expects global consumption and CO<sub>2</sub> emissions to decline by 8% in 2020 compared to 2019 through COVID-19 pandemic [41].

It is important for us that the proportions of the growth rates of the markets generally remain unchanged until 2050, demonstrating the outstripping growth of RES. In this vein, the transition to low carbon technologies opens up many new



investment opportunities that can support the development of energy services market, such as investments in energy efficiency, smart grids, building retrofits, and so on, as the cost of renewables and other green technologies has dropped sharply. For example, solar photovoltaics (PV) prices fell 90% between 2009 and 2018 and battery prices by 85% between 2010 and 2018 [42]. At the same time, global investments in clean energy increased 1.33 times over this period – to US\$ 322.5 billion in 2018.

The significantly faster development of energy services markets is driven by a number of additional factors, primarily significant changes in the complexity of EE and RES technologies, which require special techniques, equipment and knowledge from energy service providers to solve problems of both clean energy project development and commissioning. Among the main ones, they need to overcome the following obstacles: unsupported legal framework, incentive sharing dilemma, lack of best practices as well as standards, complex and lengthy procurement and time frames, resistance to outsourcing, etc [4, 43, 44].

For example, the analysis of the activities of Ukrainian ESCOs in the energy services market shows that the percentage of able to fulfill energy service contracts in 2018 - 2022 at lending rates 20-25, 15-20, 10-15 and 5-10% per annum in the national currency amount to 0, 7, 36 and 57%, respectively [45-47]. For comparison, the dominant form of financing energy service projects for EU countries is customers' own funds (52%), 26% of respondents use the services of banks and other borrowers, and by ESCO services – an average of 5% [4, 43].

### **3.4.3. Building a model and the cycle of continuous improvement of energy services results**

To succeed in the implementation of energy services, everyone needs to organize the energy services management cycle based on the Deming closed-loop model: a plan-do-check-act, which activates the process of continuous improvement of results [48–49]. The proposed energy services cycle includes the following main components, represented in Fig.1. Among them the key are: conducting marketing for the selection and evaluation of clients, providing the

and investment audits, as well as comprehensive financial and legal expertise of clients, necessary for fulfillment of guarantee and post-guarantee ESCOs obligations.

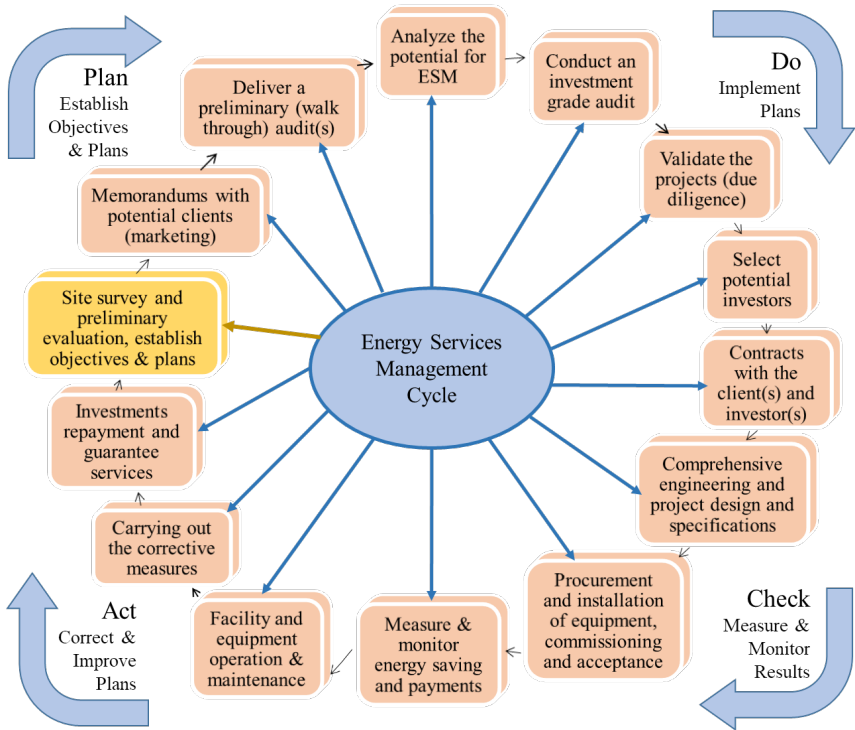


Figure 1. Deming closed-loop for the implementation of energy services projects

It should also be noted that the implementation of energy services projects today requires the involvement of cloud (virtual) technologies for monitoring, control and optimization of parameters and modes of operation of technological equipment [50]. The use of virtual technologies for providing services allows participants of energy services projects to use hardware and software, tools and methodologies that are not available for the technical possibilities of their own technological and computing base, not to spend significant funds on licensed software and not to monitor updates. However, of course, there are disadvantages to using virtual technology services. Thus, the storage of user data and their cybersecurity is usually provided by a third-party organization – a cloud

technology provider, the user does not have the actual ability to upgrade software, and access to "cloud" services requires a constant connection to the Internet.

The specifics of energy services market in this manuscript is reflected in the form of a conceptual model, the structural and functional elements of which are linked by the flows of energy, information, other resources (materials, equipment, etc.) used or affect the effectiveness of each element and the market as a whole. Such vision allows us break down the difficult to analyze problem into workable sub-blocks (elements).

The proposed structure-function model, where the main participants in the energy services market and their relationships, formalized based on set theory, is presented in Fig.2.

Among the participants of the energy services market are representatives of [3]:

- State and local governments and regulators, investors, trading platforms, etc.;

- Primary energy resources markets (natural gas, coal, biomass, portable water, wind, and solar radiation, etc.) And secondary energy resources markets (which operate with resources that have been converted or stored, for example electricity, heating and cooling);

  - Providers of energy services (ESCOs);

  - Manufacturers of energy-efficient and RES equipment and materials;

  - Consumers of services from different sphere of their business activity, which are the principal participants of the low-carbon transition.

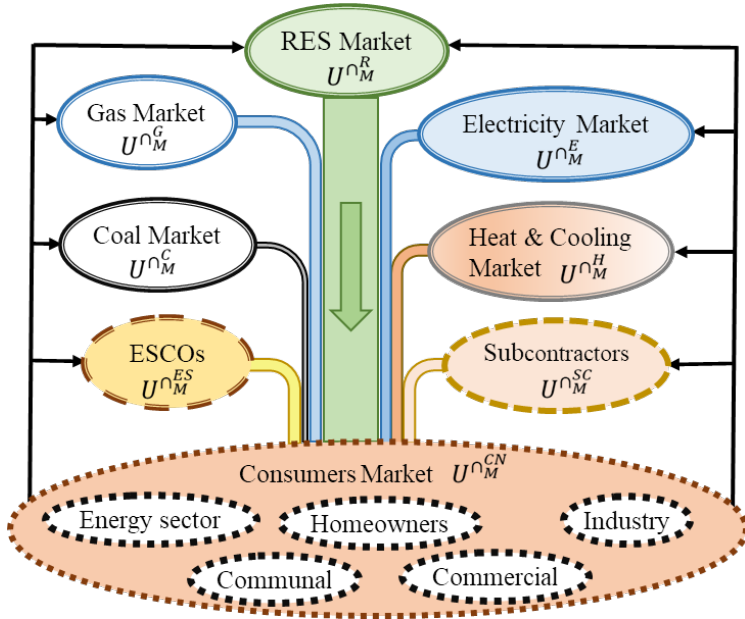


Figure 2. Structure-function model of the energy services market organization

ESCOs play a leading role in organizing the interaction of participants by implementing the energy services projects (see details in [3, 50]).

To formalize the interactions in such multipart system of the market participants, we use the theory of set, which allows reflecting correctly the scale and complexity of such interactions. In such a way, the ordered sets of notations  $\cap_M^R, \cap_M^G, \cap_M^C, \cap_M^E, \cap_M^H, \cap_M^{ES}, \cap_M^{SC}, \cap_M^{CN}$ , which correspond considered markets of RES, natural gas, coal, electricity, heat and cooling, ESCOs, subcontractors and consumers, shown in Fig. 2 based on the Sankey diagram. To do this, we calculate the areas of intersections of sets in families represented here by mathematical signs ( $\cap$ ). Likewise, the use of the “U” forms with indices allows us to denote direct and feedback links between different participants of the markets. For example,  $U^{\cap_M^R/\cap_M^E}$  will be denote direct links between RES and electricity markets in the form of mappings of ordered sets of input variables into sets of output variables. In our case these are  $\cap_M^R$  and  $\cap_M^E$  (see details in [3, 19]).

### **3.4.4. Conceptual provisions and specifics of energy services market in developing countries**

Among the main measures to ensure the result-oriented development of the energy services market, first of all, should be:

- Strengthen the legislative and regulatory framework through gradual harmonization with the EU's energy acquis;

- Implement an integrated approach to the national and local energy security through diversification of resources;

- Increase the share of renewable energy, cogeneration, low-potential sources and waste energy potential;

- Ensure the quality and availability of energy services, making them reliable, secure and affordable for consumers;

  - Reduce the ecological impact on the environment;

- Attract investments from international financial institutions and private investors;

- Strengthen and maintain the financial viability of energy services providers;

- Implement information and measurement systems for energy management.

Particular attention needs to be paid to solving the problem of attracting investment in energy service projects, the successful solution of which mainly depends on the coordinated efforts of the government, regulators and businesses.

The existing experience of building energy services markets in developed countries can be used in developing ones only partially and only to select strategic directions for their development, while the practical content of their implementation mechanisms requires restructuring of existing mechanisms taking into account fundamentally different economic and social conditions in these countries.

Among the main risks of formation and functioning of the energy services markets in developing countries, it is necessary to note the following:

*Policy:* There is a lack of policy measures to provide a favorable basis, requirements or incentives for energy service market participants to provide and/or purchase energy services, as well as to take other measures to improve EE and implement RES;

*Institutional:* High dependence on state and local governments support, fears of customers and contractors of energy services that state programs to support EE will not be implemented (dependence on subsidies);

*Financial:* Medium- and long-term cost planning remains in short supply and is exacerbated by weak discipline in the private and, in particular, the public sector in return on EE and RES investments;

*Investment:* Weak demand for investment in energy services due to the instability of the economic situation, high interest rates of local banks and low energy prices compared to prices for energy efficient equipment and materials;

*Executive:* The tendency to reduce outsourcing and increase customers' own capabilities due to high operating costs of energy service providers;

*Environmental:* Lack of an integrated approach to EE and RES, which leads to systematic violations of sanitary norms and environmental requirements;

*Information:* Lack of information and awareness of officials and business representatives about the real benefits of energy service, lack of trust in its performers and their level of qualification.

## Conclusions

1. Energy service is a fundamental instrument for putting energy efficiency and renewable energy technologies into practice worldwide. Energy services are particularly important for the well-being of any entity and community, as adequate heating, cooling, lighting and other energy and non-energy uses are essential services that guarantee a decent standard of living and health for people.

2. The proposed result-oriented framework for identifying the main components and stages of sustainable development of the energy services market is aimed at solving the complex tasks of low-carbon transition by systemically overcoming political, institutional, financial, economic, environmental and

information barriers based on the synergy of energy services market incentives and management.

3. The main strategic direction of the market development becomes the creation of a smart network of coordinated actions of energy services market participants, which is focused not on the procedures of purchase and sale of goods (products), but on the provision of energy-related services to meet the needs of consumers. Such services, when based on the systemic implementation of EE and RES measures and the closed cycle of energy management, as a powerful tool to manage this process, are becoming a fundamental unifying factor in realizing the benefits of energy services.

4. The transition to low-carbon production requires adapting existing energy services market legislation and regulations and changing the existing roles of market participants, making them transparent and fair, and unlocking many new opportunities for all customer groups – industrial, commercial, households, etc. Active involvement of state and local authorities and regulators creates new opportunities to increase using the EE and RES technologies.

5. The fundamentally different economic and social conditions for the functioning of energy services markets in developed and developing countries require special research when someone is going to transfer their rules and technologies from one country to another.

6. In general, the analysis conducted in this manuscript indicates the urgent need to develop mathematical models and perform numerical calculations to determine the optimal structure and parameters of the energy-related services market, which is a priority for further research.

## **References**

1. EU. (2018). Directive EU 2018/2002 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency. Official Journal of the European Union, No. L 328, 210-230. ISSN 1977-0677.

2. EU Commission. (2019). Energy Efficiency Progress Report: 2018 assessment of the progress made by Members States towards the national energy efficiency targets for 2020 and towards the implementation of the Energy

Efficiency Directive as required by Art. 24(3) of the Energy Efficiency Directive 2012/27/EU. Brussels: EU Commission.

3. Deshko V. I., Kovalko O. M., Novoseltsev O. V., Yevtukhova M. Y. (2020). Energy Services Market: Conceptual Framework and Mechanism of Forming. *International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science*, Vol-6, Issue-6, 48-55. ISSN: 2455-5304, <https://dx.doi.org/10.22161/ijemes.66.4>.

4. Grazer Energy Agency. (2016). Report on the European EPC Market. Graz: Grazer Energieagentur GmbH. <http://www.grazer-ea.at>.

5. Szomolanyi J., Keegan N. (2018). European Report on the Energy Efficiency Services Market and Quality. Vienna: QualitEE.

6. Alatorre Frenk C., Backhaus M., Bauer N., et al. (2017). Perspectives for the energy transition: Investment needs for a low-carbon energy system. Berlin: IEA & IRENA Publications.

7. Ritchie J., Lane K., Sung J, et al. (2019). Energy efficiency 2018: Analysis and outlooks to 2040. Paris: IEA Publications.

8. Novoseltsev O., Kovalko O., Evtukhova T. (2013). Cross-border cooperation of energy service companies as a factor enhancing energy and economic safety. *Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems*. London: Taylor & Francis Group. CRC Press.

9. Lusch R. F., Nambisan S. (2015). Service Innovation: A Service-Dominant Logic Perspective. *MIS Quarterly*, Vol. 39, No. 1, 155-175.

10. Tukker, A. (2015). Product services for a resource-efficient and circular economy – a review. *Journal of Cleaner Production*, Vol.97, 76-91.

11. Haase R. P., Pigosso D. C. A., McAloone T. C. (2017). Product/Service-System Origins and Trajectories: A Systematic Literature Review of PSS Definitions and their Characteristics. *Procedia CIRP* 64, 157 – 162.

12. IEA & IRENA. (2017). Perspectives for the Energy Transition: Investment Needs for a Low-Carbon Energy System. Berlin: IEA & IRENA Publications. [www.irena.org/remap](http://www.irena.org/remap).

13. IEA. (2019). Energy Efficiency 2018: Analysis and Outlooks to 2040. Paris: IEA Publications. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2018>.



14. IRENA. (2019). Global energy transformation: A roadmap to 2050. Abu Dhabi: IRENA. [www.irena.org/remap](http://www.irena.org/remap).
15. China Council. (2019). Energy Efficiency China 2018. Beijing: China Council for an Energy Efficient Economy. [https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/EERR/EER-China\\_ENG.pdf](https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/EERR/EER-China_ENG.pdf).
16. Grazer Energieagentur. (2016). Report on the European EPC Market. Graz: Grazer Energieagentur GmbH. [www.guarantee-project.eu](http://www.guarantee-project.eu).
17. EU. (2006). Directive 2006/32/EU of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on Energy end-use efficiency and energy services. Official Journal of the European Union, L 114, 64–85.
18. EU. (2012). Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on Energy efficiency. Official Journal of the European Union, L 315, 1–56.
19. Eutukhova T., Kovalko O., Novoseltsev O., Woodroof E. (2020). Energy Services: A Proposed Framework to Improve Results. Energy Engineering, Vol.117, No.3, 99-110.
20. World Trade Organization. (1998). Energy Services. Background note by the Secretariat. Geneva: World Trade Organization, No. S/C/W/52. [www.wto.org](http://www.wto.org).
21. International Organization for Standardization. (2017). Energy services – Guidelines for the assessment and improvement of the energy service to users (ISO 50007:2017). ISO/TC 301.
22. European Committee for Standardization. (2010). Energy efficiency services – Definitions and requirements (EN 15900:2010). Beuth Verlag GmbH.
23. Larsen P. H., Goldman C. A., Satchwell A. (2012). Evolution of the U.S. energy service company industry: market size and project performance from 1990–2008. Energy Policy, Vol. 50, 802–820.
24. Sorrell, S. (2007). The economics of energy service contracts. Energy Policy, 35(10), 507-521.

25. Benedetti M., Cesarotti V., Holgado M., Introna V., Macchi M. (2015). A proposal for Energy Services' classification including a Product Service Systems perspective. *Procedia CIRP*, 30, 251 – 256.
26. Nolden C., Sorrell S., Polzin F. (2016). Catalysing the energy service market: The role of intermediaries. *Energy Policy*, 98, 420–430.
27. Valencia A., Mugge R., Schoormans J. P. L., Schifferstein H. N. J. (2015). The Design of Smart Product-Service Systems (PSSs): An Exploration of Design Characteristics. *International Journal of Design*, Vol. 9(1), 13-28.
28. Yan L., Keay-Bright S., Antonenko O. (2019). *Energy efficiency China*. Brussels: Energy Charter Secretariat.
29. Stuart E., Larsen P. H., Carvallo J. P., Goldman C. A., Gilligan D. (2016). *U.S. energy service company (ESCO) industry: Recent market trends*. Ernest: Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
30. Boza-Kiss B., Bertoldi P., Economidou M. (2017). *Energy service companies in the EU - Status review and recommendations for further market development with a focus on energy performance contracting*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
31. Hansen S. J., Bertoldi P., Langlois P. (2009). *ESCOs around the world: Lessons learned in 49 countries*. Washington: The Fairmont Press.
32. Woodroof E. A., Thumann A. (2012). *How to finance energy management projects: Solving the "Lack of capital problem"*. Washington: Fairmont Press.
33. Hofer K., Limaye D., Singh J. (2016). *Fostering the Development of ESCO Markets for Energy Efficiency*. Washington: World Bank.
34. Kim J.-I., Jain N., Lee H., Nieto M. T., Husband D. et al. (2015). *Business models to realize the potential of renewable energy and energy efficiency in the Greater Mekong Subregion*. Manila: Asian Development Bank.
35. International Finance Corporation. (2011). *IFC energy service company market analysis*. Quebec: Econoler. <https://www.yumpu.com/en/document/read/4636985/ifc-energy-service-company-market-analysis>.

36. Carbonara N., Pellegrino R. (2018). Public-private partnerships for energy efficiency projects: A win-win model to choose the energy performance contracting structure. *Journal of Cleaner Production*, Vol.170, 1064-1075.
37. Il'chuk M., Reminska O., Shapovalenko V., Kyrychok O. (2015). *Energy Service Contracts: opportunities and prospects in Ukraine*. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
38. Mourtzis D., Boli N., Alexopoulos K., Rozycki D. (2018). A framework of Energy Services: from traditional contracts to Product-Service System (PSS). *Procedia CIRP*, 69, 746 – 751.
39. Nolden C., Sorrell S. (2016). The UK market for energy service contracts in 2014–2015, *Energy Efficiency*, 9, 1405–1420.
40. British Petroleum. (2018). *BP Energy Outlook*. London: British Petroleum. <http://www.bp.com/energyoutlook>.
41. IEA. (2020). *Global Energy Review 2020. The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO<sub>2</sub> emissions*. Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>.
42. Bloomberg. (2020). *Clean Energy Investment Trends 2020*. Stockholm: Bloomberg Finance L.P. Ltd. <https://webstore.iea.org>.
43. Boza-Kiss B., Toleikytė A., Bertoldi P. (2019). *Energy Service Market in the EU - Status review and recommendations 2019*. Luxembourg: European Commission. ISBN 978-92-76-13093-2, doi:10.2760/768, JRC118815.
44. EU Commission. (2017). *Energy Efficiency Progress Report: 2017 assessment of the progress made by Members States towards the national energy efficiency targets for 2020 and towards the implementation of the Energy Efficiency Directive as required by Art. 24(3) of the Energy Efficiency Directive 2012/27/EU*. Brussels: EU Commission.
45. UNDP-GEF Project. (2017). *Removing Barriers to increase investment in Energy Efficiency in Public Buildings in Ukraine through the ESCO modality in Small and Medium Sized Cities*. Kyiv: UNDP in Ukraine.
46. OECD. (2018). *Enhancing Competitiveness in Ukraine through a Sustainable Framework for Energy Service Companies (ESCOs)*. Kyiv: OECD.

47. Kovalko O., Novoseltsev O. (2018). Analysis of the State and Development Trends of Energy Service Market in Ukraine. Proc. of XIX International Scientific and Practical Conference “Renewable Energy and Energy Efficiency in the 21st Century”, Kyiv, September 26-28. Kyiv: Interservice, 31-34.

48. International Organization for Standardization. (2018). Energy Management Systems. Requirement with Guidance for Use (ISO 50001:2018), Geneva, ISO Central Secretariat.

49. Cosenza E., Devetta M., Rosa M., Zogla L., Barisa A., etc. (2018). Energy Management System (EnMS) Guidebook for Local Authorities. Freiburg: Local Governments for Sustainability.

50. Chupryna L., Kovalko O., Novoseltsev O., and Woodroof E. (2020). Virtual Organization of Energy Management: Service-Oriented Framework to Improve Results. International Journal of Energy Management, Vol.2, No. 6, 47-63. ISSN: 2643-6779 (Print), ISSN: 2643-6787 (Online).

## Глава 3.5. Енергетичні послуги як бізнес: логіка підтримки низько вуглецевої трансформації економіки<sup>5</sup>

Перехід на шлях низько вуглецевого розвитку признаний у всьому світі як один з найважливіших напрямків розвитку національних економік. На сьогодні можна виділити дві найбільш розповсюджені моделі такого розвитку. Це моделі сервіс-домінантної логіки (Service-Dominant Logic) та продуктово-сервісних систем (Product-Service Systems), на базі яких будується сервіс-орієнтована платформа для стимулювання бізнес активності у сфері енергосервісних послуг. Така платформа є потужним інструментом організації системно скоординованої взаємодії між усіма учасниками ринку енергосервісних послуг. Її реалізація, як правило, пов'язана із залученням енергосервісних компаній (ЕСКО) та створенням віртуально організованих об'єднань (центрів координування), які відкривають широкі можливості для впровадження крупних інвестиційних проєктів з енергоефективності та відновлюваних джерел енергії.

### 3.5.1 Business Logic of Eco-Transformation

Environmental pollution during the combustion of fossil fuels, which largely causes radical changes in the behavior of the global ecosystem, and which is increasingly affecting the socio-economic situation and human health, indicate the urgent need to engage service-oriented business to accelerate the large-scale implementation of measures in energy efficiency (EE), renewable energy sources (RES) and environmental protection. This task is relevant all over the world, but it primarily concerns countries with energy-intensive economies that emit significant amounts of CO<sub>2</sub>. The analysis shows that the top 10 emitting countries now collectively emit approximately 65 % of the world's total CO<sub>2</sub> emissions. They are: China – 9717 (10911) Mt, USA – 4405 (5083) Mt, India – 2191(2425) Mt, Russia – 1619 (1738) Mt, Japan – 979 (1199) Mt, Iran – 619 (650) Mt, Germany – 617 (777) Mt, Korea – 570 (655) Mt, Indonesia – 566 (532) Mt, Canada – 516 (578) Mt (data for 2020 and in brackets for comparison – for 2017) [1, 2].

---

<sup>5</sup> Kovalko O., Eutukhova T., Novoseltsev O. Energy-Related Services as a Business: Eco-Transformation Logic to Support the Low-Carbon Transition // Energy Engineering, Vol.119, No.1, 2022, pp.103-121.

The challenge of reducing CO<sub>2</sub> emissions is complex and needs to be addressed both globally and nationally. The actual situation with CO<sub>2</sub> emissions in the world confirms this, generally maintaining negative trends. According to IEA energy survey, the expected increase in coal consumption in 2021 exceeds the growth of renewable energy by almost 60%. More than 80% of the projected increase in coal consumption is expected to occur in Asia, led by China. In the same time, the share of coal in electricity generation in the European Union has declined almost three-percentage points from 2019 to 2021. In the US, the largest contribution to CO<sub>2</sub> emissions has the use of oil, which in 2021 will remain almost 6% below the level of 2019, and coal is expected to be almost 12% below 2019. Natural gas demand in the world is set to grow by 3.2%, propelled by increasing demand in Asia, the Middle East and the Russia [2].

To expand international cooperation in overcoming the climate crisis and strengthen support for the low-carbon transition, the US Department of Energy announced in April 2021 new initiatives to meet the ambitious national goals of 100% clean electricity by 2035 and net-zero carbon emissions by 2050, while creating new businesses, and puts millions of Americans to work. As an integral part of these initiatives, the creation of consolidating service mechanisms to coordinate and balance the efforts of the international community is declared. Such service mechanisms, in order to be successful, on the one hand, have to coordinate not only technological, but also financial, economic and social activities of their adherents. On the other hand, such activities should be based on the principles of economic incentives, that is, on a carrot-and-stick approach.

Service industry are a growing part of the global economy, where the share of services in GDP increased in 1980–2015 from 61% to 76% in developed countries and from 42% to 55% in developing countries (47% in Ukraine). Percentage added by service industry to the GDP of the USA in 2020 approached 77%, Germany – 71%, China – 55%, Ukraine – 47%. Services also prevalent in foreign green investment and, moreover, they have been growing faster than investment in the primary and manufacturing sectors for the last 10 years [3, 4]. Thus, the service type of economy predominates in developed countries, in contrast

to countries with economies in transition, where the production of raw materials and agricultural products prevails among the main types of business activity.

Energy services are paramount to supporting the low-carbon transition of economies and to social welfare. The scope of their application covers two main fields of engineering business: core energy services and energy-related (ER) services [5]. The core energy services are related to the transportation, transmission and distribution of energy resources. The scope of ER-services includes consulting in virtually all fields of energy use, especially in EE, energy conservation and RES, construction and maintenance of equipment, energy management, accounting and billing of saved energy, etc.

Despite the importance of ER-services for business, the pace of their implementation around the world is considered unsatisfactory. This is primarily due to technological complexity and diversity of types and forms of energy and goods, as well as the need for their long time use (repair, maintenance, modernization, etc.) during both the life cycle and utilization stage in order to mitigate the impact on the environment. Among the other obstacles to the development of ER-services market are low competitive pressures that stimulate innovation and performance, slow productivity growth, a shortage of cross-border investments, and low labor mobility [3, 6].

Concretizing the current situation with the creation of ER-services business on the basis of the dominants of low-carbon innovation-and-investment development, first identify the following obstacles:

- Lack of systemic interaction between ER-service providers, each of which operates in the market independently in its narrow field of business;
- Lack of coordination mechanisms aimed at achieving a systemically attractive consumer result, covering the entire chain of ER-services from manufacturers of equipment and materials (suppliers, etc.) to consumers;
- Uncertainty of policies, rules, regulations, etc. of the functioning of the modern market of ER-services to ensure its sustainable innovation-and-investment development.

It is clear that overcoming these obstacles requires, first, the development of a methodological platform (framework) to justify the creation of consolidating business mechanisms at the local and national levels and for determine their relationships to promote markets for goods and services. Such a platform should be based on harmonized national regulations, which allows for effective using the potential of local business contributions, involving national infrastructures and interconnections, as well as by creating ER-services markets that facilitate the cross-border cooperation.

Within the service-oriented business platform proposed for further consideration, mentioned above shortcomings are eliminated by establishing mutually beneficial interaction (coordination of interaction) between all organizationally involved participants in the service-oriented market, where customer relations are a priority. This approach requires expanding the scope of customer-centric or client-centric services. Such services should include measures, means and resources aimed at improving the efficiency (productivity, quality, etc.) of system-coordinated processes of production, transmission, distribution, supply and final consumption of service-oriented goods and services. This, in turn, will ensure the creation of a chain of additional added value (i. e., profitability, benefit, usefulness, etc.) by improving the consumer properties of goods and services in each link of this chain.

#### ***3.5.1.1 Fundamentals of the Business Ecosystem***

The scale of environmental pollution during the burning of fossil fuels has been steadily growing since the beginning of the industrial revolution and has already reached a critical level. Thus, the eco-logic of service-oriented business should be designed to minimize the damage caused to nature by economic entities, while creating new prospects for environmentally friendly interaction of business with the environment.

In this study, the implementation of such an approach is proposed to be carried out on the basis of methodological provisions of the fundamental concept "business ecosystem", the principles of formation and operation of which are determined by analogy with the biological ecosystem. With this approach, the



business ecosystem is viewed as an organizational-and-technological structure that connects the participants of the business ecosystem (producers, suppliers, distributors and consumers, state and local authorities, regulators, etc.), which are directly or indirectly involved in the creation (production, supply, use) and disposal of specific products, goods or services through competition and mutually agreed, flexible cooperation. Accordingly, the business ecosystem is actually a community, which, depending on the level of its consideration, can cover the global, national, sectoral, and local business levels. The latter can also be detailed at the technological level and even at the level of control of separate units of energy-intensive equipment. Among the main types of interaction between business ecosystem participants are the spheres of exchange of products, goods and services, money and loans, information, knowledge and intangible assets.

The main purpose of the business ecosystem of any level is to minimize the costs of each of its participants, which is carried out due to the overall synergy effect obtained by the system from the results of interaction between participants and the environment. In this case, the coordination of interaction is usually carried out by creating centers of coordination and balancing based on hierarchical, vertically integrated (or network, etc.) organizational-and-technological structures. These structures usually operate on the basis of market principles of mutually agreed (mutually beneficial, etc.) combination and use of resources of each system participant, and where the creation and realization of value added occurs at all levels of the structure [7-10]. In any case, this imposes special requirements on the organizers (coordinators) of the system, given the high level of their responsibility to ensure the economic profitability of all its participants in conditions of limited controllability of the system.

It can be stated that the business ecosystem from the point of view of management theory is a complex organizational-and-technological system that combines legally independent economic, managerial and regulatory entities (participants of the business ecosystem), each of which creates separate, but systemically consistent with all other entities, products, goods or services that together form a holistic solution. The business ecosystem formed by this approach

due to the flexibility and stability of its modular structure with clearly defined interfaces that allow easy scaling of the system, will function as a whole, providing competitive advantages to participants over other ways of structural-and-technological organization of production of complex products, goods or services (for details see [8]).

### ***3.5.1.2 Logic Models of Service-Oriented Transformation***

The economic feasibility of structural-and-functional transformation of global and national economies from commodity-production economy to service economy was realized by the business of developed countries several decades ago [11, 12]. Among the models (mechanisms) of such transformation the most common are models based on the concepts of Product-Service Systems (PSS) [13, 14] and Service-Dominant Logic (SDL) [15].

Within the PSS models, business conditions are created for innovative solutions, in which manufacturing companies add service components to their offerings and service companies integrate products into their services. Under these conditions, PSS establish closer and longer-term relationships with consumers, and thus achieve a better understanding of them and more profitable commodity-money transactions. With this, unlike traditional services that added to goods (for example, guarantees), services within PSS bring to all participants of system and, first of all, consumers, additional material profit (see, for example [13, 16-19]). This result is achieved through a systemically agreed set of services that reduces the amount of resources consumed to produce a unit of products, goods, services, etc., by meeting consumer demand through less resource-intensive goods, and encourages the service provider to reduce initial investment and operating costs.

The following types of PSS are often distinguished [20-22]:

- Product-oriented, where the tangible product plays a leading role, and the services provided are aimed at maintaining this product and guaranteeing its functionality;
- Use-oriented or shared utilization services, where products still play a more prominent role than services, and suppliers of which sell the availability and use of specific goods, for example, by leasing, renting, sharing, etc.;

- Result-oriented, when companies do not sell products, but the results of their use, combined with the professional knowledge (competence) of service providers. The synergy of this interaction is focused on the final needs of consumers, such as providing optimal technological parameters of lighting, heating, cooling, etc., and where the organizer (coordinator) of the PSS system becomes responsible for all costs aimed at achieving the result.

- Demand management services (low cost planning, integrated resource management, etc.), which originated in the US energy sector to implement the provision that it is often more economical to reduce energy demand than to increase generating capacity. The latter often involves switching to alternative fuels or purchasing energy from renewable sources.

A characteristic attribute of the application of SDL in the process of forming the service-oriented business is that the core role in this business is played by added value created by providing services, while goods (products) play a secondary role. This is in contrast to the "commodity" market, which is based on the paramount importance of the value created during the production process, and where the service is considered as a "secondary" (associated) value. As a result, under the SDL concept, service consumers are seen as full market participants together with producers and suppliers of goods and services, and goods become a means of providing services [23-26].

In this way, SDL shifts the focus of trade-and-exchange operations, operating on the number of units of sold (purchased) goods, to the procedures of providing comprehensive services, which, due to the interaction of participants, create value chains of marketable goods. To implement comprehensive services, an SDL-market is created, which facilitates the efficient exchange, coordination and distribution of resources, goods and services, reduce business costs, as well as supports competition and encourages investment, and therefore – is consumer-oriented, providing the necessary goods and services to customers at the right time.

Closely related to the SDL and PSS models, the Service Ecosystems Approach (SEA) is considered, whose participants also integrate their own resources, linked by the common institutional logic of the ecosystem and the

collective creation of added value, through the exchange of services. By combining the SEA approach with the provisions of SDL and PSS logic, it becomes a powerful tool for the development of marketing business, covering both domestic (national) markets for goods and services and international cooperation markets [9, 15].

### **3.5.2 Base Components of a Service-Oriented Business**

#### ***3.5.2.1 General Requirements to the Initiator of Service-Oriented Business***

The above logic models of business eco-transformation are inherently flexible and scalable, but their practical implementation requires the development of rules and mechanisms for organizing the interaction of service-oriented business participants with the surrounding business and eco-environments, which must be consistent, forming a holistic system-wide configuration [27, 28].

To do this, as the first step in building your own business you should find answers to the following questions, formulated based on the analysis of more than 100 business ecosystems [29]:

- What is the problem that you want to solve?
- Who needs to be part of your business?
- What should be the initial governance model of your business ecosystem?
- How can you capture the value of your business?
- How can you solve the chicken-or-egg problem during launch?
- How can you ensure evolutionary flexibility and the long-term viability of your business?

Another urgent issue that needs separate consideration is to take into account the impact of environmental taxes on the development of your business in the short and long term [30].

You need to understand that building own service-oriented business is a process of continuous improvement of business models and tools for their implementation. We suggest doing this based on a continuous quality improvement model known as Deming or PDSA cycle, which consists of a logical sequence of four stages: plan, do, check, and act [31, 32]. For practical use, we have developed a detailed model shown in Fig 1.

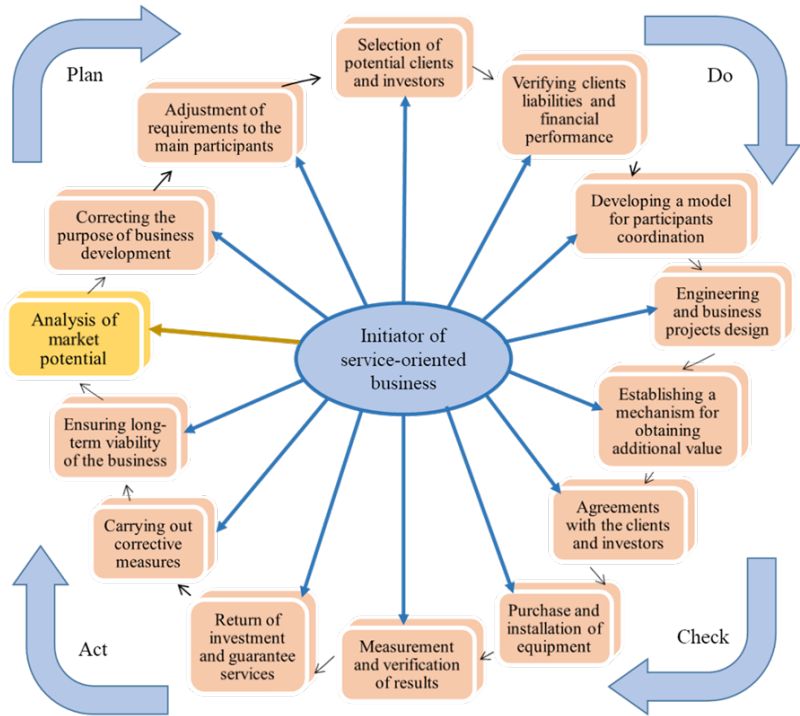


Figure 1: Model of continuous quality improvement of service-oriented business

As you can see, a decisive role in the development and implementation of a service-oriented business is played by the initiator (orchestrator), a potential applicant for which must meet the following basic requirements [29, 32]:

- Have a stable relationship with many other participants in the service-oriented market and occupy a central place in its organizational structure;
- Have a business need and the ability to coordinate effectively the interaction between its participants;
- Be able to control the resources needed to ensure market viability;
- Be perceived by other participants as a fair and neutral partner, and not as a threat to competition;
- Have a stable level of income during its business activities, which meets the criteria for attracting third-party investments;

- Have experience in overcoming the risks of joint innovations and risks of joint implementation of investment projects.

As for the involvement of other business participants, the main incentives for them are a relative increase in profit or reduce the risks of their loss due to participation, limited own investment opportunities and obstacles to self-development, etc.

### ***3.5.2.2 Services of Coordination and Balancing Centers***

Coordination is one of the main functions of ecosystem management, which ensures the unity of action and integration of system resources (human, logistical, financial, etc.) in order to use those most effectively to achieve common organizational and functional goals of the system. Herewith, the balancing of resources, tasks and activities between the constituent elements, participants, etc. of the business, which is an integral part of the coordination mechanisms, is defined as a process and / or procedure for maintaining dynamic equilibrium in a relatively independent and unstable over time species and parametric changes of its elements.

Accordingly, the services of the Center of coordination and balancing (further – the Center) are aimed at ensuring the unity of individual and group efforts of business ecosystem participants, growth of added value and profits of each of them, integration and optimal use of their resources. Provision of services is carried out based on appropriate methods and means of coordinating management by establishing stable bilateral communication channels and improving the technique of participant's cooperation with an effective format of their interaction [33, 34]. The interest of participants in purchasing service-oriented services of Center will be largely determined by the usefulness of these services, the provision and logistics of which must coincide in time with the process of its consumption, unlike products that can be stored or transported for a long time.

The role functions of coordination and balancing as a task of organizing joint work (cooperation) have been studied in many scientific papers. Among the closest to the service-oriented theme, we note [35, 36], where the tasks of cooperation are considered in three areas: exploration, experimentation and

execution. Among the main tasks of the Center in this publication is the creation of coalition (community) of participants taking into account their diverse interests, integrating the ideas of participants on a single platform, promoting joint projects in development and dissemination of best practices. In general, this creates favorable conditions for the implementation of multiplier effects of interaction of participants (chain reactions by domino effect).

In general, the Center should play a supportive role, without direct intervention in the management of innovation processes at the participants' sites, using the modular principle of project implementation, facilitate bilateral exchange of ideas and solutions, thus expanding the impact of multiplier effects. At the same time, system participants must subordinate their local purposes and production programs to achieve system-wide goals, even adapting their technologies, and the success of their activities should be assessed by contributing to the system-wide effect.

In this sense, the organizational-and-functional features of the business activities in the service-oriented markets can be compared with the corresponding functions of coordination and balancing in the markets of production and consumption of electricity, described in detail in many scientific papers, such as [34, 37]. Their use, by analogy with the results obtained in the field of energy management [38, 39], reflects the process of providing services for coordination and balancing of organizational, logistical and financial interests of participants. This is often implemented in the form of functionally integrated structural units, for which the continuous in time and space improvement of consumer properties of goods and services is carried out.

### **3.5.3 Features of Energy Services Business**

#### ***3.5.3.1 Energy Services and Energy Services Companies (ESCO)***

It should be reminded that the category of energy services (ESs) in the commonly used definition has a double interpretation. On the one hand, this includes activities, tools and resources related to energy supply to consumers. On the other hand, they are related to improvement of efficiency (productivity, quality, etc.) of any energy transformation processes at all or some stages of energy

production, transmission, distribution, supply and final consumption. In the introduction, we have indicated this field of activity as energy-related services [5, 40]. Their main future is to provide additional added value (profitability, benefit, utility, etc.) by combining energy with EE technology and / or operation, including maintenance and control procedures required to provide services [39, 41-43]. As a rule, ER-services include a range of turnkey activities such as marketing, energy analysis, due diligence and investment audits, project design and implementation, maintenance and operation, measurement and verification of savings, return on investment and guarantee services [5]. More detailed features of ER-services can be found in [44-46]. However, to be align with a common practice and given the fact that the ER-services are applicable on the supply side, we will use the term energy services in our further study for both interpretations considered.

ESCO is one of the most efficient, widespread commercial organizations focused on the provision of ESs that cover technical, economic, financial and legal aspects of design, engineering, installation, commissioning, monitoring, and verification of energy saving measures (projects) based on EE and RES [47-50]. The fundamental difference between ESCO services and the services of other service companies is as follows. (1) ESCO must guarantee the technical, economic, social and environmental parameters of the production processes required by customers in heating, lighting, ventilation, compressed air, etc., with less energy. (2) ESCO must ensure that the savings in fuel and other energy resources obtained by it as a result of the implementation of turnkey energy service projects exceed the payments to cover the project costs for the payback period. (3) ESCO invests its own funds (in whole or in part) in the implementation of ESs projects. If the savings guaranteed by him do not materialize, the difference is compensated at the expense of the ESCO.

### ***3.5.3.2 Energy Performance Contracting***

Energy service providers (ESCOs) operate under ESs contracts, the most common types of which are the Energy Performance Contract (EPC), the Energy Supply Contract (ESC), Chauffage and Full Management Contract(FMC), the



business content of which are discussed in detail in numerous publications [48, 51-54].

EPC in European legislation means a contractual arrangement between the beneficiary and the provider of an EE measure, verified and monitored during the whole term of the contract. Investments (work, supply or service) in that measure are paid for in relation to a contractually agreed level of EE improvement or other agreed energy performance criterion, such as financial savings [41]. Among the variety of EPC models are:

- Shared savings model, in which the ESCO assumes responsibilities for financing the capital expenditures of the project, i.e. assumes responsibility and risks for attracting and returning the funds provided by investors. A common modification of the Shared savings model is the First Out Contract model, according to which 100% of the savings resulting from the project remains in the ESCO until the payback of the project;

- Guaranteed savings model, in which the customer (client) assumes responsibility and risks for project financing, attraction and return of investments, and ESCO – all technical risks for project development and implementation, and guarantees the customer the level of savings provided by the contract. If the level of savings is lower, the ESCO must pay the difference to the client and, conversely, if the savings exceed the guaranteed level, then the client pays the ESCO the agreed percentage of savings.

Under “Chauffage” contracts, ESCOs typically cover both aspects of customer's EE management (energy supply and use), thereby systemically combining the provisions of Shared savings and Guaranteed savings models to achieve greater technical and economic impact. A feature of “Chauffage” contracts is the focus on providing quality characteristics of energy use, for example, to ensure a given level of temperature, humidity, comfort and more. Financing of ESs measures under this contract is usually provided by ESCO, which remains the owner of energy-saving equipment until the expiration of the contract. Contracts of this type work effectively under conditions of free choice of suppliers of energy resources, the prices of which are the subject of the contract between the supplier

and the client. Because of competition, suppliers have incentives to reduce prices, and ESCOs have incentives to reduce the client's energy costs by implementing energy saving measures.

Under Full Management Contracts, ESCOs are usually also aimed at improving the efficiency and quality of meeting the final needs of customers in lighting, heating, ventilation, air conditioning, water supply, drainage, etc. Under this contract, the ESCO usually acts as a management organization / company, which concludes contracts on behalf of the client with all other project participants, including energy supply organizations. Settlements between ESCOs and the client are made based on the volumes of energy consumption fixed at the time of concluding the contract, and between ESCOs and suppliers – based on the volumes of energy actually consumed. Herewith, ESCO income, which is determined by the difference between fixed and actual energy consumption, is used to implement energy saving measures, pay off debts under the project and generate own profit.

It is not difficult to see that the basic components of all types of ES contracts correspond to the scheme of causal chains of interaction of ESCOs with the clients and other project participants (subcontractors, banks, support funds, etc.). In accordance, the difficulties in implementing ESCO projects, whose payback period is usually measured in years, are due to the need to ensure a guaranteed level of energy saving in an uncertain business environment. This, in turn is significantly slows down EE funding worldwide. One solution has been insurance services provided by specialized financial institutions and other private companies, such as equipment manufacturers, as a way to reduce the risks of ESCO projects, but such services have not yet become widespread. Other difficulties in implementing ESCO projects are compounded by the relatively high level of transaction costs that arise from the interaction of ESCOs with other project participants and although they are not directly related to the production of goods and services, they ensure their most efficient use [44, 46, and 55]. The list of ESCOs transaction costs also includes the costs of concluding contracts, measuring and verifying the results achieved, protection of property rights, compensation for

possible cases of opportunistic behavior of some clients and subcontractors, and so on.

Accounting for ESCO transaction costs are especially important in the case of international cooperation aimed at attracting foreign investment in the modernization and innovative development of client infrastructure. Transboundary cooperation of ESCOs is realized through their interaction with international and local financial institutions, national and foreign equipment manufacturers, state and local authorities. Herewith, the effectiveness of international cooperation largely depends on the ability of ESCOs to take into account the absolute and comparative advantages of participants located in different countries and economic zones [55, 56].

### ***3.5.3.3 The Logic of Energy Services Eco-Transformation***

As can be seen from the above analysis, the properties of ESs under ESCO projects have much in common with the services considered within the service-dominant logic and product-service systems. The closeness of these properties in a more or less explicit form is emphasized by several authors [45, 46, 57, 58]. It is important for energy services business to realize the synergy of system combination (interaction) of these services to expand the scope of their use and increase the volume of systemically created added value. This, of course, will require the improvement of the conceptual provisions for the implementation of ESs, which will provide more favorable conditions for ESCO interaction with other market participants, especially with clients and consumers of goods and services.

This can be done by identifying the main directions of such improvement, aimed at providing end users with comprehensive services to achieve a certain result or expand their functionality. In practice, this is realized primarily by improving comfort, mobility, environmental friendliness, reducing material consumption, etc., without the need for consumers to purchase equipment or materials (fuel, etc.) [22]. The end result of such modernization is achieved not only through the use of more energy-efficient equipment and environmentally friendly materials, but also by increasing the level of their load (using), for

example, by creating collective business centers (networks) of energy services. This reduces the amount of equipment and materials required and the costs of their operation and disposal. It is important that collective centers have the opportunity to use more efficient (and more profitable) methods and measures to provide comprehensive services to individual consumers (clients), for example, through the use of alternative fuels, the use of heat recovery, cogeneration plants and more. Under these conditions, services for maintenance, repair, reuse, disposal and recycling of used equipment and materials become widespread. The use of smart management in such systems is becoming one of the most promising fields of ESs business, which provides new content and meaning to existing methods and tools for EE and RES management, such as demand side management, least-cost analysis, integrated resource planning, etc.

#### ***3.5.3.4 Energy Services Markets***

Markets have always played (and continue to play) a central role in the formation and development of any business. However, the practical implementation of the mechanisms of their functioning based on well-known principles of market theory meets many uncertainties and requires further development of both the theoretical platform and applied tools for the implementation of these mechanisms in practice [25, 59, and 60].

A list of market types adapted for use as infrastructure for a low-carbon transition can be found in [5, 51, and 61]. The activities of economic entities of all forms of ownership and functional purpose in these markets have been significantly intensified due to the significant growth of the role of EE and RES in the low-carbon restructuring of the modern economy [11, 12, 62, and 63]. It is important that in addition to ESCOs, other economic entities are actively involved in this activity, first of all, manufacturers of EE and RES equipment and materials, suppliers of primary fuel and energy resources, utilities, investors, representatives of trading platforms, state and local authorities and regulators [64, 65].

In other words, we must consider the ESs market as an open business ecosystem, which is in a state of constant interaction (exchange) with the environment and improves EE at all stages of energy transformation – from

production (generation) to final consumption. Configuration of such a structure that integrates the markets of primary and secondary energy resources (oil, natural gas, renewables, electricity, heating and cooling) with markets of energy services, producers (suppliers) of energy efficient equipment and energy consumers of various forms of ownership (private, state, municipal, cooperative, etc.) is presented in [5, 32].

It should be added that the effective functioning of environmentally balanced business in the ESs markets requires the organization of closed cycles of continuous improvement of the quality of products and services realized, for example, according to the scheme presented in Fig. 1. Accordingly, the model of environmentally balanced functioning of such a market, adapted to the service-oriented business, is presented in Fig. 2.

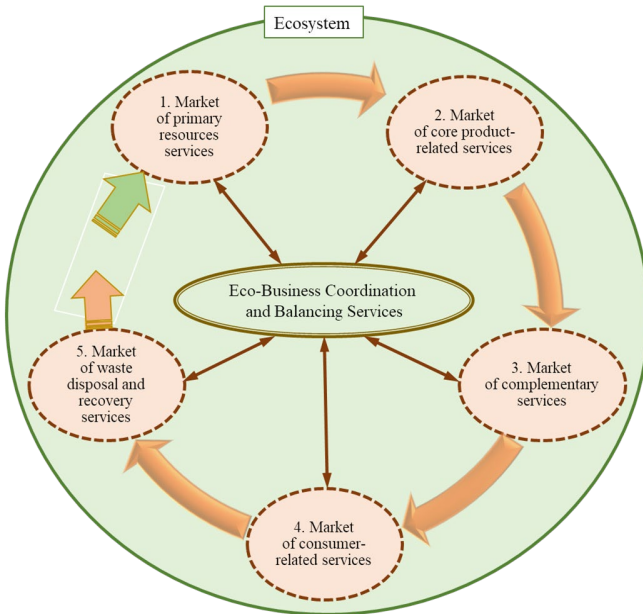


Figure 2: Closed cycle of environmentally balanced functioning of the ESs market

The business ecosystem, which is reflected in the proposed model, consists of a number of services sub-markets. 1) Primary fossil and renewable resources services market, 2) Core-product-related services market, 3) Complementary services market that accompany the core product (or service) and support its

acquisition, installation, use, maintenance and disposal, 4) Consumer-related services market, 5) Pre-contractual and post-contractual services market accompanying waste disposal and recovery services.

The combination of these sub-markets into an inseparable chain allows to organize a single technological process of providing services for the transformation of primary and secondary resources up to their final consumption and utilization (i.e. throughout the product life cycle), ensuring the maximum achievable efficiency of each service provider and the business system as a whole. Coordination and balancing services, related to the elimination of inconsistencies and imbalances in the process of improving the consumer properties of goods and services [10], occupy a central place in the model. It is important that closed cycles of continuous quality improvement (see Fig. 1) surround each of the sub-markets in Fig. 2.

Special attention should be given business activities in the sub-market of waste disposal and recovery services. Most importantly, the structural schemes and mechanisms that implement these activities remain the same as for the core service-oriented business described above. For example, waste resources obtained from the core activities in Stage 5 (Fig. 2) will also be sold on the market of primary resources services, but on a waste resources sub-market, which will form Stage 1 of a separate closed cycle, and so on up to Stage 5 of this cycle. However, the operating principles and technologies for the implementation of service-oriented projects in the field of waste disposal and recycling will be fundamentally different, which explains the need for the separate cycle. For example, the waste resources can be burned in a heating boiler or used to produce building materials or fertilizers and so on. Herewith, at every stage, where waste and pollutants cannot be disposed or recycled at this phase of development of the material-and-technical base of production, they will be subject to removal (burial), or today are even discharged into the environment.

### 3.5.4 Mathematical Model and Engineering Calculations

#### 3.5.4.1 Mathematical Model

The practical implementation of the above logic models of business eco-transformations requires the development of mathematical models adapted for engineering use in the energy services business. Such models must correctly represent the coordination procedures and balancing the joint efforts of the participants in energy services aimed at increasing the value added and profit of each of them by integrating and optimal use of their combined resources.

Difficulties in creating such models are associated with the need to take into account the different interests of the participants united on a single platform into a business coalition to realize the multiplier effects (advantages) of cooperation. At the same time, participants should subordinate their local goals and production programs to the achievement of system-wide goals and even adapt some of their technologies.

Over passing these challenges from a modeling perspective is not easy, since it requires solving the problem of finding the optimal management parameters for a hierarchically structured system center –participants in service-oriented business, where the center should ensure effective attraction, distribution and use of coalition resources. Herewith, do it based on objective differences in the target interests of participants (business entities). This requires the use of specialized computer simulation tool for system coherent management by energy services projects. Its software should provide a solution to a set of coordinated optimization problems with different target criteria that are input by each of the participants, and use them to determine a systemic solution based on iterative procedures and concessions between the cooperating parties. As a whole, the structure of such a tool is a hierarchically organized system with technical, economic and environmental sub-blocks.

The formulated problem is formalized as follows:

a) at the center level

$$\begin{cases} TF_C \rightarrow opt, & n = \overline{1, N} \\ (TF_C - \sum_n TF^n) \rightarrow min; \end{cases}$$

b) at the level of participants

$$\begin{cases} TF^n \rightarrow opt, & n = \overline{1, N}, \\ (TF_C^n - TF^n) \rightarrow min, \end{cases}$$

where:  $TF_C$  – system-wide target function (at the center level),  $TF^n$  – local target functions (at the level of participants),  $TF_C^n$  – component of the system-wide target function for the  $n$ th participant;  $N$  – number of participants.

The iterative process of coordination and balancing the interaction of the center with the participants is carried out by implementing the following steps. 1) Finding optimal solutions for the target functions  $TF_C$  and  $TF^n$ ; 2) Determination by the center of an acceptable range of interaction  $\pm\delta_C^n$ ; 3) Coordination of interaction at the level of participants  $(TF_C^n - TF^n) \leq \pm\delta_C^n$ ; 4) Returning, if necessary, to step 1 and finding corrected optimal solutions for target functions; And so on in an iterative loop.

Among the main factors that determine the efficiency and effectiveness of cooperation between the center and participants, the model first takes into account the following: Basic power of energy-consuming equipment; Energy efficiency and efficiency of its functioning; Limitations on the number of available types of fuel and energy resources, renewable energy sources as well; Prices (tariffs) for their actually used types; Prices (tariffs) for goods and services produced and provided to consumers; The rates of the main taxes and fees on emissions of pollutants and greenhouse gases.

Based on the numerical values of these factors, the modeling tool primarily calculates such indicators: Volumes of actually used energy resources and CO<sub>2</sub> emissions; Energy intensity and energy efficiency of fuel and energy use; Expenses of financial resources for used fuel, energy and CO<sub>2</sub> emissions; The volume of attracted investments in energy efficiency measures (EE-projects); Profitability and profit from their implementation. Note that the calculations of all economic indicators according to the model are based on the methods of discounting cash flows over time, since the payback period of EE-projects is, as a rule, several years.

#### **3.5.4.2 Calculations**



Considering investment activity is a priority for each of the participants in the energy services business, below shows the results of using the above-formalized iterative process of coordination and balancing the joint efforts of the participants aimed at integrating and making optimal use of the pooled investment resources.

Let the participants of business coalition submitted  $n$  ESs projects to the center for consideration, among which, taking into account the \$30.00 million cap on available investments, it is necessary to select  $m$  projects ( $m \leq n$ ), which will provide an optimally-integrated effect (energy, economy and ecology) from their implementation. Let the center selected and coordinated with participants 15 of them by optimizing the profitability index (PI), which measures the ratio between the present value of future cash flows (PV) and the initial investment (I) for each of these projects. The results of optimization calculations are presented in Tab. 1, where No is the number of the selected ESs project, S/A – their energy savings per annum:

Suppose that for the implementation of ESs projects, each of the participants took out a bank loan at 10% per annum. Then, pooled loan payments calculated under the annuity scheme will amount to \$38.25 million. That is, the overpayment on pooled loans will be \$8.25 million. For example, if the participants will be able to take a loan at 5% per annum, then the pooled loan payments will be \$33.97 million and the overpayment will be \$3.97 million.

Table 1: Results of calculating the profitability indexes of ESs projects

No.	7	5	9	10	6	8	4	1	15	3	2	12	11	13	14
I, \$ mln	1,57	0,94	1,89	1,89	1,89	1,57	1,89	5,04	1,89	1,26	3,15	1,57	1,89	1,89	1,67
S/A, \$ mln	0,59	0,35	0,69	0,69	0,68	0,56	0,68	1,71	0,61	0,39	0,96	0,45	0,54	0,54	0,42
PV, \$ mln	2,29	1,36	2,71	2,71	2,68	2,21	2,65	6,72	2,43	1,55	3,82	1,81	2,17	2,17	1,71
PI	1,46	1,45	1,43	1,43	1,42	1,41	1,40	1,33	1,29	1,23	1,21	1,15	1,15	1,15	1,02

The center usually offers participants additional options for improving these outcomes. For example, the following:

1. Using the economic and social benefits of implementing the participant's projects, united in a coalition one-piece design, the center can attract investments from various sources at lower interest rates. These are state and local budgets, international and local banks, technical assistance funds, etc. Detailed calculations

based on the optimization of the structure and volumes of attracted investment resources from various sources at various interest rates show that the estimated size of the annual interest rate of 10% can be reduced to 7.5%, and the amount of overpayment – to \$6.07 million. Thus, the total savings of the coalition on interest payments alone will amount to \$2.18 million in this case, and on the loan at 5% per annum – to \$0.82 million.

2. The center can receive discounts for wholesale purchases from manufacturers and suppliers of energy efficient equipment and materials in the form of both a deferred payment and a reduction in their cost, which allows participants to reduce the volume of initial investments and not take them for the entire payback period of projects. Let the center have agreed with manufacturers and suppliers a commodity loan for \$20.00 million at 2% per annum for a period of 6 months with monthly repayment. Then the monthly annuity payment on this loan will be \$3.35 million and the overpayment – \$0.12 million. Considering that the coalition's monthly energy savings amount to \$0.82 million, the center can take a loan from a commercial bank for \$14.86 million at 7.5% per annum for a period of 6 months to repay the commodity loan for \$20.00 million. The amount of overpayment on this loan will be \$0.33 million and the total overpayment – \$0.45 million (analogically, \$0.18 million and \$0.29 million on a loan from a commercial bank at 4% per annum). Thus, the total savings of the coalition on interest payments in this case will amount to \$1.73 million for the loan at 7.5% per annum and \$0.53 million on the loan at 4% per annum.

### **Conclusions and Recommendations**

The eco-transformation of ESs business is one of the priority targets in ensuring the low-carbon transition of the global economy. The logic of such a transformation, according to which the consumer (client) directly influences the production, distribution and further consumption of environmentally friendly goods and services, is presented in this study as a conceptual guide for current and potential ESs market participants to improve their EE and RES business results.

Our basic proposal for participants, both for current and potential, is to consider the eco-transformation of a service-oriented business as a complex,

systemically organized process, all components (stages) of which are to be built and operate according to the principles of a closed business ecosystem. Herewith, special attention should be paid to logical models of product-service and service-dominant systems, as well as to the formation of requirements for the initiator of the service-oriented business and the selection of services provided by the coordination and balancing centers.

It is also clear that ESCOs, operating on the basis of performance contracting, play and will play a key role in eco-transformation of the ESs business. In this case, potential participants in ESs market should first pay attention to such features of ESCO projects as obligations to guarantee the projects parameters (energy, economic, environmental), to ensure that the savings exceed payments to cover project costs, and to invest own funds (in whole or in part) in the implementation of ESs projects.

As seen, solving the formulated above issues of developing the ESs business requires a radical change in the business models of both manufacturing and service companies, taking into account the peculiarities of their virtual interaction and changes in consumer behavior, which are part of the value chain. System-wide integration of mechanisms and actions through which each value chain participant optimizes the process and, most importantly, the result of the use of systemically available resources, allows the expansion of service-oriented business, attracting new producers, service providers and consumers.

Recall that co-creation of value through interaction between the consumer and the service provider has always been (and remains) an integral part of the service sector. What is new in the energy service-oriented business is that total value is created and determined by joint efforts of producers, service providers and consumers, which are carried out regularly in exchange processes (transfer, sale) and subsequent use of goods and services, often throughout their life cycle. The main thing is that service-oriented business became the main and integral factor of successful promotion of complex (complementary) goods. Such a business is based on the systemic implementation of EE and RES measures, therefore, a closed cycle

of energy management as a tool to manage this process should become an integral part of realizing the benefits of service-oriented logic.

The practical implementation of such logic requires the development of simulation models, which correctly reflect the procedures for coordinating and balancing the joint efforts of participants in energy services, allowing them to test different strategies. The represented model is a productive instrument to inform management decisions as to the most cost-effective investments to be included in implementation of ESs projects, and the results of calculating the two scenarios clearly show this.

In completion, it should be stated that, despite the complexity of eco-transformation of the ESs business, there is no alternative to its replacement by other logic aimed at improving EE and the introduction of RES, as evidenced by the active efforts worldwide towards a low carbon economy.

## References

1. Gilfillan, D., Marland, G. (2021). CDIAC-FF: Global and National CO2 Emissions from Fossil Fuel Combustion and Cement Manufacture: 1751–2017. *Earth System Science Data*, 13(4), 1667–1680, DOI.org/10.5194/essd-13-1667-2021.
2. IEA. (2021). *Global Energy Review 2021: Assessing the Effects of Economic Recoveries on Global Energy Demand and CO2 Emissions in 2021*, France, IEA Publications, [www.iea.org](http://www.iea.org)
3. United Nations. (2017). *The Role of the Services Economy and Trade in Structural Transformation and Inclusive Development*. Conference on Trade and Development, Geneva, 18–20 July 2017, GE.17-09139(E).
4. Anderson, K., Ponnusamy, S. (2019). *Structural Transformation to Manufacturing and Services: What Role for Trade?* *Asian Development Review*, 36 (2), 32–71. DOI. org/10.1162/adev\_a\_00131.
5. Eutukhova. T., Kovalko. O., Novoseltsev. O., Woodroof. E. (2020). *Energy Services: A Proposed Framework to Improve Results*. *Energy Engineering*, 117(3), 99-110. DOI:10.32604/EE.2020.010864.

6. European Commission. (2017). European semester thematic factsheet: Services markets. Belgium: Publication Office of the European Union.
7. Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. USA: The Free Press.
8. Pidun, U., Reeves, M., Schussler, M. (2019). *Do You Need a Business Ecosystem?* USA: BCG Henderson Institute.
9. Akaka, M. A., Vargo, S. L., Lusch, R. F. (2013). The Complexity of Context: A Service Ecosystems Approach for International Marketing. *Journal of International Marketing*, 21(4), 1-20. ISSN: 1069-031X.
10. Kovalko, O. M., Kovalko, N. M., Novoseltsev, O. V. (2018). Result-Oriented Investment Management System for Targeted Energy Efficiency Programs. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 3(165), 160–166. DOI: 10.29202/nvngu/2018-3/20.
11. AlatorreFrenk, C., Backhaus, M., Bauer, N., Bazilian, M., Blank, T. K., Brand K., et al. (2017). *Perspectives for the Energy Transition: Investment Needs for a Low-Carbon Energy System*. Germany: IEA & IRENA Publications.
12. IEA. (2018). *Energy Efficiency 2018: Analysis and Outlooks to 2040*. France: IEA Publications. DOI.org/10.1787/9789264024304-en.
13. Tukker, A. (2015). Product Services for a Resource-Efficient and Circular Economy – A Review. *Journal of Cleaner Production*, 97, 76-91. DOI.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.049
14. Haase, R. P., Pigosso, D. C. A., McAloone T. C. (2017). Product/Service-System Origins and Trajectories: A Systematic Literature Review of PSS Definitions and their Characteristics. *Procedia CIRP* 64, 157–162. ISSN: 2212-8271.
15. Lusch, R. F., Nambisan S. (2015). Service Innovation: A Service-Dominant Logic Perspective. *MIS Quarterly*, 39(1), 155-175. DOI:10.25300/MISQ/2015/39.1.07
16. Diehl, J.C., Christiaans, H. (2015). Product Service Systems: The Future for Designers? The Changing Role of the Industrial Designer. *Proc. of International Design conference*, South Korea: Kwangju.

17. Beuren, F. H., Ferreira, M. G., Cauchick, M. (2013). Product–Service Systems: A Literature Review on Integrated Products and Services. *Journal of Cleaner Production*, 47, 222-231. DOI/10.1016/j.jclepro.2012.12.028
18. Gaiardelli, P, Resta, B, Martinez, V, Pinto, R., Albores, P. (2014). A Classification Model for Product-Service Offerings. *Journal of Cleaner Production*, 66, 507-519. DOI:10.1016/j.jclepro.2013.11.032
19. Pawar, K. S., Beltagui, A., Riedel J. (2009). The PSO Triangle: Designing Product, Service and Organization to Create Value. *International Journal of Operations & Production Management*, 29(5), 468-493. DOI/full/10.1108/01443570910953595
20. Tukker, A., Tischner U. (2006). Product-Services as a Research Field: Past, Present and Future. Reflections from a decade of research. *Journal of Cleaner Production*, 14(17), 1552-1156. DOI:10.1016/j.jclepro.2006.01.022
21. Martinez, V., Bastl, M., Kingston, J., Evans, S. (2010). Challenges in Transforming Manufacturing Organizations into Product-Service Providers. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21, 449-469. DOI:10.1108/17410381011046571.
22. Roy, R., (2000). Sustainable Product-Service Systems. *Futures*, 32(3), 289-299. DOI/10.1016/S0016-3287(99)00098-1
23. Vargo, S. L., Lusch, R. F. (2004). Evolving to a New Dominant Logic for Marketing. *Journal of Marketing*, 68(1), 1-17. DOI.org/10.1509/jmkg.68.1.1.24036.
24. Vargo, S. L., Lusch, R. F. (2008). Service-Dominant Logic: Continuing the Evolution. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 36(1), 1-10. ISSN: 1552-7824
25. Vargo, S. L., Lusch, R. F. (2015). Institutions and Axioms: an Extension and Update of Service-Dominant Logic. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 44, 5-23. ISSN: 1552-7824
26. Karpen, I. O., Bove, L. L., Lukas, B. A., Zyphur, M. J. (2015). Service-Dominant Orientation: Measurement and Impact on Performance

Outcomes. *Journal of Retailing*, Elsevier, 91(1), 89-108.  
DOI:10.1016/j.jretai.2014.10.002

27. Kindstrom, D., Kowalkowski, C. (2016). *Service-Driven Business Model Innovation Organizing the Shift from a Product-based to a Service-Centric Business Model*. UK: Oxford University Press.  
DOI/10.1093/acprof:oso/9780198701873.003.0010

28. Raddats, C., Kowalkowski, C., Benedettini, O., Burton, J., Gebauer, H. (2019). Servitization: A Contemporary Thematic Review of Four Major Research Streams. *Industrial Marketing Management*, 83, 207–223.  
DOI.org/10.1016/j.indmarman.2019.03.015

29. Pidun, U., Reeves, M., Schussler, M. (2020). How Do You “Design” a Business Ecosystem? USA: BCG Henderson Institute.

30. Kwilinski, A., Ruzhytskyi, I., Patlachuk, V., Patlachuk, O., Kaminska, B. (2019). Environmental Taxes as a Condition of Business Responsibility in the Conditions of Sustainable Development. *Journal of Legal, Ethical and Regulatory Issues*, 22 (2S), 1-6. ISSN: 1544-0036.

31. Deshko, V. I., Kovalko, O. M., Novoseltsev, O. V., Yevtukhova, M. Y. (2020). Energy Services Market: Conceptual Framework and Mechanism of Forming. *International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science*, 6(6), 48-55. DOI.org/10.22161/ijcmes.66.4.

32. Chupryna, L., Kovalko, O., Novoseltsev, O., Woodroof, E. (2020). Virtual Organization of Energy Management: Service-Oriented Framework to Improve Results. *International Journal of Energy Management*, 2(6), 47-63. ISSN: 2643-6779.

33. Osifo, O. C. (2013). The Effects of Coordination on Organizational Performance: An Intra and Inter Perspective. *Asian Journal of Business and Management*, 1(4), 149-162.

34. Schraeder, M., Self, D. R., Jordan, M. H. Portis R. (2014). The Functions of Management as Mechanisms for Fostering Interpersonal Trust. *Advances in Business Research*, 5, 50-62.

35. Nambisan S. (2009). Platforms for Collaboration. *Stanford Social Innovation Review*, 43-49.
36. Pylypiv, N., Piatnychuk, I., Halachenko, O., Maksymiv, Y., and Popadynets, N. (2020). Balanced Scorecard for Implementing United Territorial Communities' Social Responsibility. *Problems and Perspectives in Management*, 18(2), 128-139. DOI/10.21511/ppm.18(2).2020.12.
37. Van der Veen R. A. C., Hakvoort R. A. (2016) The Electricity Balancing Market: Exploring the Design Challenge. *Utilities Policy*, 43, 186-194. DOI.org/10.1016/j.jup.2016.10.008
38. ISO 50001:2018 (2018). Energy Management Systems. Requirement with Guidance for Use. ISO Central Secretariat, Geneva, Switzerland.
39. ISO 50007:2017. (2017). Energy services – Guidelines for the Assessment and Improvement of the Energy Service to Users. ISO/TC 301, Switzerland.
40. WTO. (1998). Energy Services: Background Note by the Secretariat. Switzerland: World Trade Organization, No. S/C/W/52.
41. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on Energy Efficiency. (2012). Official Journal of the European Union, L 315, 1-56.
42. EN 15900:2010. (2010). Energy Efficiency Services – Definitions and Requirements. Germany: Beuth Verlag GmbH.
43. Larsen, P. H., Goldman, C. A., Satchwell, A. (2012). Evolution of the U.S. Energy Service Company Industry: Market Size and Project Performance from 1990–2008. *Energy Policy*, 50, 802–820. DOI/ 10.1016/j.enpol.2012.08.035
44. Sorrell, S. (2007). The Economics of Energy Service Contracts. *Energy Policy*, 35(10), 507-521. DOI/10.1016/j.enpol.2005.12.009
45. Benedetti, M., Cesarotti, V., Holgado, M., Introna, V., Macchi, M. (2015). A proposal for Energy Services' classification including a Product Service Systems perspective. *Procedia CIRP*, 30, 251–256. DOI.org/10.1016/j.procir.2015.02.121



46. Nolden, C., Sorrell, S., Polzin, F. (2016). Catalysing the Energy Service Market: The Role of Intermediaries. *Energy Policy*, 98, 420–430. DOI.org/10.1016/j.enpol.2016.08.041
47. Stuart, E., Larsen, P. H., Carvallo, J. P., Goldman, C. A., Gilligan, D. (2016). U.S. Energy Service Company (ESCO) Industry: Recent Market Trends. USA: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
48. Boza-Kiss, B., Bertoldi, P., Economidou, M. (2017). Energy Service Companies in the EU - Status Review and Recommendations for Further Market Development with a Focus on Energy Performance Contracting. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
49. Hansen, S. J., Bertoldi, P., Langlois, P. (2009). ESCOs around the World: Lessons Learned in 49 Countries. USA: The Fairmont Press.
50. Hofer, K.; Limaye, D.; Singh, J. (2016). Fostering the Development of ESCO Markets for Energy Efficiency. USA: World Bank.
51. Kim, J.-I., Jain, N., Lee H., Nieto, M. T., Husband, D. et al. (2015). Business Models to Realize the Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency in the Greater Mekong Subregion. Philippines: Asian Development Bank.
52. Econoler. (2011). IFC Energy Service Company Market Analysis. Canada: Econoler.
53. Carbonara, N., Pellegrino, R. (2018). Public-Private Partnerships for Energy Efficiency Projects: A Win-Win Model to Choose the Energy Performance Contracting Structure. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1064-1075. DOI/10.1016/j.jclepro.2017.09.151
54. Il'chuk, M., Reminska O., Shapovalenko V., Kyrychok O. (2015). Energy Service Contracts: Opportunities and Prospects in Ukraine. Germany: Publication of Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.
55. Novoseltsev, O., Kovalko, O., Evtukhova, T. (2013). Cross-Border Cooperation of Energy Service Companies as a Factor Enhancing Energy and Economic Safety. Great Britain: Taylor & Francis Group, CRC Press.

<https://www.amazon.com/Energy-Efficiency-Improvement-Geotechnical-Systems/dp/1138001260>

56. Kovalko, O. M., Novoseltsev, O. V., Boublik, V. V. (2013). The Ricardian Model of Energy Service Companies Transboundary Cooperation. *Socio-Economic Research Bulletin*, 2(49/1), 202-209. ISSN 2313-4569

57. Mourtzis, D., Boli, N., Alexopoulos, K., Rozycki, D. (2018). A Framework of Energy Services: From Traditional Contracts to Product-Service System (PSS). *Procedia CIRP*, 69, 746-751. DOI.org/10.1016/j.procir.2017.11.118

58. Nolden, C., Sorrell, S. (2016). The UK Market for Energy Service Contracts in 2014–2015. *Energy Efficiency*, 9, 1405–1420. DOI.org/10.1007/s12053-016-9430-2

59. Jackson, W.A. (2007). On the Social Structure of Markets. *Cambridge Journal of Economics*, 31(2), 235-253. DOI.org/10.1093/cje/bel031

60. Diaz Ruiz, C.A. (2012). Theories of Markets: Insights from Marketing and the Sociology of Markets. *The Marketing Review*, 12(1), 61-77. DOI.org/10.1362/146934712X13286274424316

61. Hofer, K., Limaye, D., Singh, J. (2016). *Fostering the Development of ESCO Markets for Energy Efficiency. USA: World Bank.*

62. IRENA. (2019). *Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050. United Arab Emirates: IRENA. ISBN: 978-92-9260-121-8*

63. Energy Charter Secretariat. (2019). *China Energy Efficiency Report. Belgium: Spotinov print Ltd. ISBN: 978-905948-203-6*

64. Grazer Energieagentur. (2016). *Report on the European EPC Market. Germany: Grazer Energieagentur GmbH.*

65. Szomolanyiiova, J., Keegan, N. (2018). *European Report on the Energy Efficiency Services Market and Quality. Austria: QualitEE.*

## **Глава 3.6. Орієнтована на результат система управління інвестиціями у цільові програми з енергоефективності<sup>6</sup>**

Вдосконалено методологію управління інвестиційними ресурсами цільових програм з енергоефективності, що забезпечує підвищення ефективності залучення та використання інвестицій за рахунок оптимізації їх структури і параметрів на кожному з етапів реалізації програм. Застосовано єдиний підхід до формалізації системно узгоджених етапів розробки та реалізації цільових програм, що базується на імітаційному моделюванні ітераційних процедур оптимального управління інвестиційними ресурсами такого роду програм, реалізованих за принципом відносної організаційно-функціональної самостійності учасників. Побудовано економіко-математичну модель управління інвестиційними ресурсами цільових програм, проведено ранжування проектів з енергоефективності, визначено обсяги економічно доцільного залучення інвестицій в такі проекти, розроблено алгоритм управління непередбаченими витратами. Показано можливості підвищення ефективності реалізації цільових програм шляхом оптимізації структури і обсягів інвестиційних ресурсів, залучених з різних джерел за різними відсотковими ставками, та застосування системи економічного стимулювання учасників програм. Розроблена модель є інструментом підтримки управлінських рішень щодо визначення та цілеспрямованого забезпечення інвестиціями найбільш ефективних напрямків реалізації цільових програм.

### **3.6.1 Investment models and mechanisms of energy efficiency projects**

Energy efficiency is one of the key factors that ensure the sustainable development of advanced world economies for several past decades [1]. This is due to the following reasons:

---

<sup>6</sup> Kovalko O. M., Kovalko N. M., Novoseltsev O. V. Result-oriented Investment Management System for Targeted Energy Efficiency Programs // *Naukovyi Visnyk NHU*, 2018. – № 3(165). – P. 160-166.

(1) Costs of energy and monetary resources during the life cycle of obsolete equipment exploitation typically exceed the cost of purchase and operation of modern energy efficient equipment;

(2) Investments in energy efficiency are more profitable than increasing production capacity to achieve the same development goals;

(3) Emissions of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) into the atmosphere are reduced almost proportionally to increase energy efficiency.

Investments are crucial to improve the operating efficiency of any business. Especially for energy-intensive industries such as mining and mineral processing (coal, oil, natural gas, peat, etc.), and those that produce, transport, distribute and/or sell electricity and heat energy, energy efficiency can be the determining factor as to their survival in a market economy.

However, the current system for investing in EE is outdated and not functional [2], leading to regular difficulty in securing investments in energy efficiency and energy saving (EE) projects. This is a critical problem everywhere and in Ukraine in particular, the lack of available investment threatens national energy security. An immediate solution is needed.

Given the timeliness and complexity of the problem, there are a number of researchers who study investment models and mechanisms of EE projects implementation in Ukraine and around the world [see, for example, 1-3].

The researchers have identified tools such as development and implementation of national and regional (sectoral, municipal, etc.) energy efficiency programs, establishing EE funds, creation of vertically integrated companies and use of energy service companies (ESCOs). Most of these tools focus on possible combinations (financial, economic, energy, environmental, administrative, etc.) of public (national or regional government) and private funding, which provide upfront investment into technologies that reduce system-wide energy use.

The monograph [4] looks at development of a management model for vertically integrated business structures using a case study of a mining and metallurgical facility, as well as interactions between various integrated business

units. The publication [5] discusses the role of the national targeted EE programs in harmonizing cooperation between state, industry and investors to promote economic growth and enhance energy efficiency.

The method for classifying the environmental aspects of investment projects as compared to multi criterion alternatives considers in [6]. The monograph [7] uses a case study of high-tech companies and companies with non-implemented innovations in order to highlight the factors that stimulate vertical acquisitions and integration.

The publication [8] considers regulatory models that are harnessed by various countries to attract investments into energy supply sector to increase efficiency of final energy use. Another paper [9] shows a model of multilevel energy use management in complex production systems with a hierarchical structure, as well as principles of this model building based on the theories of sets and optimal control. Models and mechanisms for attracting investments in EE projects using ESCOs mechanism are analyzed in [3, 10].

The results of a comparative analysis these studies show that the most productive tools of managing investments in energy efficiency are the models and mechanisms of task-motivated (task-force) management. These tools are aimed at ensuring consistency of goals and measures in order to improve productive efficiency of business entities (objects of management). Firstly, such models and mechanisms are used in the national (regional, sectoral, etc.) targeted programs.

It should be noted that targeted programs play a key role in attracting investments in energy efficiency improvement of business entities in advanced economies. They allow, besides own resources of the entities, involve resources of state and local budgets, as well as large strategic investors, including foreign ones, in EE projects financing.

### **3.6.2 Economic-and-mathematical model of investment resources management**

Despite the global need to solve the problem of energy efficiency improvement and presence of a significant number of government authorities that manage budget resources of energy efficiency programs in almost every country of

the world (in Ukraine these are, above all, the Ministry of Finance, local financial authorities, the Treasury, etc.), results of these programs implementation are still insufficiently attractive to investors. This situation is largely due to unsolved scientifically methodical and organizational-economic issues of coherent optimization of investment management parameters that should provide efficiency improvement of investment attraction and use process throughout life cycle of energy efficiency programs.

Research goal is improving the methodological framework and building the economic-and-mathematical model of investment resources management for targeted energy efficiency programs that provide increasing efficiency the investment attraction and use by the way of coherent optimizing their structure and parameters at each stage of these programs implementation.

Achieving the goal was carried out in this research by the way of:

- Coordination of interaction between programs participants (business entities and governments), where each participant has their own business interests, which do not always coincide with program goals;
- Ranking EE projects submitted by business entities in order that identify opportunities and feasibility of their funding within the program;
- Defining economically viable amounts of investments attracted in ee projects as well as parameters of managing by unanticipated expenditures;
- Targeted focusing the efforts of all participants to the improving efficiency of attracted investments use.

Investing in targeted energy efficiency programs associated with the need to overcome certain difficulties, among them, above all, should note the following:

1. Verification of the program effect needs complex calculations of indicators, especially specific costs of fuel and energy resources (FER) associated with production of goods and services;
2. Profit of business entities increases by reducing the expenditure side of their budgets, rather than increasing revenue side;
3. Schedule return on investments depends on the volumes of money saved through reducing the volume and / or structure of FER consumed;

4. EE projects of separately taken business entity usually are not attractive for foreign investor through their small size (scale);

5. Managing the investment resources of targeted energy efficiency programs requires coherent solutions of strategic and operational management tasks, as well as problems of tariff and normative regulations, due to specific conditions of implementation and different payback periods of each EE project.

Overcoming the aforementioned difficulties is not easy and methodologically, and practically because each targeted program is multilevel hierarchically structured system of contractual relationships between legally independent business entities, united by a management center (hereinafter - Center) within the program contractual terms.

Combination own resources of business entities with other possible sources of EE projects financing and their targeted use for implementing the most productive projects is one of the Center priorities. Herewith, the Centre should ensure effective attraction, distribution and use of investment resources based on objective differences targeted interest of business entities. These require from the Centre primarily determine the total needs in investment resources and possibilities of their formation by various sources, as well as developing a simulation model of system coherent management by projects.

Given the size and complexity of building the model of managing the investment resources targeted programs, its realization has been held within the methodology of project-targeted approach.

A main task of such approach oriented for achieving overall program goals is development of algorithms and procedures for managing just EE projects (project management), rather than production systems of business entities – program participants. This allows firstly, not to interfere in business activity of participants, and secondly – to concentrate the program resources on to improving management efficiency of EE projects.

Let targeted energy efficiency program comprises  $n$  participants - legally independent business entities. In energy, it can be extracting and concentrating

companies, as well as companies for production, transport and distribution of electricity and heat. Let them produce  $h$  different goods (products).

Participation in the program requires from each participant achievement of performance targets concerning the volumes and qualities of production aforementioned goods  $\hat{Y}^e = \hat{Y}^1, \hat{Y}^2, \dots, \hat{Y}^h$ , as well as targets on volumes and qualities of achieved effects  $\hat{E}^e = \hat{E}^1, \hat{E}^2, \dots, \hat{E}^h$ .

The efforts effectiveness of program participants at each stage of its realization (for each time period  $t$ ) and for each good will determine by the system of normalized indicators  $r_{Y,E}^e(t) = (r_Y^e(t), r_E^e(t))$ , where  $r_Y^e(t) = Y^e(t) / \hat{Y}^e(t)$ ;  $r_E^e(t) = E^e(t) / \hat{E}^e(t)$ ;  $e = \overline{1, h}$ .

Let for the program realization, the Center is able to attract the capital investments (CI) from different types of funding sources: (1) State  $I^{KD}(t)$  and (2) local  $I^{KM}(t)$  budgets, (3) commercial banks  $I^{KA}(t)$ , (4) ESCOs  $I^{KE}(t)$  and (5) manufacturers of energy efficient equipment  $I^{KP}(t)$  funds:

$$I^K = I^{KD} + I^{KM} + I^{KA} + I^{KE} + I^{KP}, \quad (1)$$

as well as investment funds from other sources (additional funds, AF) that denote further by index  $G$

$$I^L = I^{LD} + I^{LM} + I^{LE} + I^{LP} + I^{LG}. \quad (2)$$

Resources (2) are usually aimed at other than (1) aims, primarily at an increase in payroll, compensation of interest rates on commercial banks credits, conducting research and development activities, personnel training, social events and more.

In addition to resources (1)-(2), budget of targeted program is offered to fill by contributions of participants that they pay from income obtained as results of realizing the program measures to improve the efficiency and quality of EE projects realization. Among such contributions, we will distinguish, first of all, special contributions (SC) of participants from their own funds for development and improving efficiency

$$B^{\Xi} = B^K + B^L + B^Q, \quad (3)$$



where:  $B^K = \sum \lambda^{Kj} V^{Kj}$  – amount of deductions paid to the Center from own capital investment funds of program participants,  $V^{Kj}$  – amount of capital investments received by j-th participant;  $B^L = \sum \lambda^{Lj} V^{Lj}$  – amount of deductions paid by participants for credits received for other goals than capital investments,  $V^{Lj}$  – amount of credits received by j-th participant;  $B^Q = \sum \lambda^{Qj} E^{Qj}$  – amount of deductions paid by participants that depends on the value of energy savings  $E^{Qj}$  they have achieved under the program, as well as other quantitative, qualitative and environmental improvements achieved due to realization of program measures; here  $\lambda$  with relevant indices determine weight ratios (partial, valuable, etc.) that are calculated on the investigated periods (month, quarter, year).

Herewith, it is necessary to note that economically attractive types of funding sources are usually have limited and insufficient volumes for implementation of program activities that requires participants to take participation in partial financing of EE projects.

As a result, the revenue side  $I^{\Xi}$  of the total budget  $W^{\Xi}$  to the program realization will consist of the following contributions and deductions participants

$$I^{\Xi} = I^K + I^L + B^{\Xi}, \quad (4)$$

and the expenditure side  $V^{\Xi}$  of the budget will be determined as

$$V^{\Xi} = V^K + V^L + V^V + V^{\varphi}, \quad (5)$$

where:  $V^K(t) = \sum V^{Kj}(t)$ ;  $V^L(t) = \sum V^{Lj}(t)$ ;  $V^V(t) = \sum V^{Vj}(t) = \sum v^{Qj} E^{Qj}(t)$  – the amounts of deductions to fund of economic stimulation of the Center staff, which depend on results achieved under the program activities;  $V^{\varphi}(t) = \sum \varphi^{Qj} E^{Qj}(t)$  – costs for economic stimulation of other participants (or possible revenues from penalties), which depend on results of their activities. The size of the economic stimulation fund (rewards and penalties) should be limited:  $V^V + V^{\varphi} \leq \delta$ .

Taking into account the contribution of participants' own resources (capital, labor, materials, technologies, etc.) to manufacturing planned volumes and types of products (services)  $Y^{Hej}$  assured quality  $E^{Hej}$ , revenue part  $I^{\Xi H j}$  of the program's

participant total budget, which he forms for the period of time investigated, will be filled up the following revenues

$$I^{\Xi H_j} = V^{K_j} + V^{L_j} + E^{Q_j}, \quad (6)$$

and expenditure part will be defined as

$$V^{\Xi H_j} = V^{HK_j} + V^{H\Omega_j} + V^{HL_j}, \quad (7)$$

where:  $V^{HK_j}$  – total cost on j-th EE project for logistic support of the technological process (purchasing energy-efficient equipment, consumable materials, spare parts, FER, etc.);  $V^{H\Omega_j}$  – remuneration the Centre for use centralized credit resources by participants (with account the amount of rewards or fines);  $V^{HL_j}$  – cost of additional wages, taxes and more.

Difference  $\Delta^{W_j} = (I^{\Xi H_j} - V^{\Xi H_j})$  between revenue and expenditure parts of the total budget of the j-th program participant determines its profit, which due to attracting investment resources  $\Delta^{W_j^{**}}$  should become more, than without their involving  $\Delta^{W_j^*}$ . It means that under conditions of effective program management  $\Delta^{W_j^{**}} - \Delta^{W_j^*} > 0$ . Often, it is profit growth of participants after implementation of EE projects is the main purpose of their participation in the program

$$\Theta^{H_j} = (\Delta^{W_j^{**}} - \Delta^{W_j^*}) \rightarrow \max. \quad (8)$$

According to the conditions noted by abovementioned balance equations (1)-(8), the task of improving efficiency the program investment management will consist in selecting numerical values of parameters and coefficients of management influences

$$(I^{K_j}, I^{L_j}, E^{Q_j}, \lambda^{K_j}, \lambda^{L_j}, \lambda^{Q_j}, V^{V_j}, V^{K_j}, V^{L_j}, \Delta^{W_j}),$$

at which the program is realized as best way. Herewith, it is offered that the Center, which is not take participation in production of goods directly, will be carry out such management based on one of the following target functionals:

$$\begin{aligned} \Theta_1 &= \min_e \min_t (\delta^e(t)r^e(t)) \rightarrow \max; \\ \Theta_2 &= (\sum_e (\delta^e(t)r^e(t))) \rightarrow \max; \\ \Theta_3 &= \sqrt{\sum_e (\delta^e(t)r^e(t))^{(2)}} \rightarrow \max, \end{aligned} \tag{9}$$

where  $\delta^e$  – weight coefficients that are set at conditions of non-equivalence production (consumption) goods by EE projects in different time periods.

Let us remind that the system of equations (1)-(9) is determined by multilevel, hierarchically organized structure: Center - program participants - EE projects. Finding solution of this system of equation and its use for optimal program management is complicated and requires the use of specialized computer tool (model). Herewith, such tool has to solve a set of coordinated optimization problems with different target criteria, which are set by each of the participants that requires using iteration procedures and concessions between the cooperating parties at every structural level of model.

Because a general method for solving the optimization problem (1)-(9) for multilevel systems does not currently exist, we apply numerical approach solving this problem by using simulation modeling with variables that are measured in energy and monetary units. This allows, based on the principle of superposition, get the numerical solution of the problem (1)-(9) in the form of an ordered set of coordinated each other partial solutions, by operating with information presented in the form of financial-and-economic, fuel-and-energy and environmental balances drawn up for EE-projects. In the generalized kind, these balances recorded in the form:

$$\sum_j \sum_i Z^{j,i} = \sum_j \sum_i \Psi_z^{j,i} \cdot P_z^{j,i} \cdot T^{j,i}, \tag{10}$$

where:  $Z^{j,i}$  – amount of the i-th production resource (money, energy, emissions, etc.) on the projects of j-th program participant;  $\Psi_z^{j,i}$  – capacity utilization rate of ith resource;  $P_z^{j,i}$  – capacity of i-th resource;  $T^{i,j}$  – period of time of the resource use.

Methodological approach to improve investment management efficiency of the targeted energy efficiency programs specified by equations (1)-(10) was

implemented in an original computer model. Coordination of the program participants' interaction has been made through iterative procedures to minimize the difference between the values of the respective components of the global (at the Center level) and local (at the level of participants) targeted functionals (9). Herewith, the procedure for finding the optimal solution is implemented based on principle of organizational-and-functional autonomy of participants by establishing the ranges of allowable by the Center changes parameters of interaction, within which participants are free to choose their own decisions.

The coordination is based on systematic and previously agreed by the parties information on the implementation of EE projects, namely about: primary energy and material resources used, prices and tariffs for them; volumes of electrical and heat energy produced, prices and tariffs for them; types and values of installed capacity of power equipment, their actual efficiency at rated load, efficiency ratios of primary fuel use, volumes of consumed fuel for their own needs, losses in the electrical and heating networks, heat transfer coefficients of buildings etc.; revenue and profitability, volumes of compensation and additional payments; emissions of pollutants into the environment; other information agreed by the parties.

Based on the information received, the Center conducts calculations to determine the optimal structure and parameters of the program realization and defines permissible limits of changing the values of efficiency and quality indicators of EE projects implementation for each participant that have to be achieved under the global targets of the program.

Having this information, participants carry out their optimization calculations, trying to meet the requirements set by the control center. If successful, the process of coordination (reconciliation) ends and the Center goes to implementation stage of the program. If not, the participants substantiate identified differences and submit adjusted proposals to the Center again. It allows through iterative procedures and adjustments of the parties' standpoints to find a compromise solution.

### 3.6.3 Results of implementation of the proposed methodology

Consider the results of implementation of the proposed methodology of investment management for targeted energy efficiency programs that is based on cash flow discounting method (dynamic method) in more detail.

Let to the Center were submitted  $n$  EE projects, among them at the first step it is necessary to select  $m$  projects ( $m < n$ ) that provide the maximum economic benefit from the program realization under the conditions (1)-(9) and restrictions on the amount of available investments.

By use the proposed algorithm, which is carried out in a computer model, it is done by the way of systemizing and further ranking the results of calculation of the values of net present value and internal rate of return, profitability index and discounted payback period for each of EE project and for the program as a whole.

For example, in Figure 1 a bar chart shows the results of calculations feasibility of investment (selection procedure) in 15 most effective from 36 submitted to the Center EE projects, ranked by the profitability index (PI). Volumes of necessary investments that indicated in Figure 1 by triangular markings are measured by right ordinate axis.

From the data presented in Figure 1 is not difficult to calculate that the total volume of investments required implementing 15 selected EE projects equal to 30.00 million monetary units, and the total net present value of the selected projects – 9.00 million monetary units.

Herewith, the value of interest payment on credits, calculated by annuity payment schedule, amount to 9.63 million monetary units at an annual interest rate of 12 %.

Such size of the rate was achieved by potential participants of the program through their direct negotiations with creditors. The size is not optimal and can be reduced through systemic management by investment resources of the program. Under the proposed algorithm this is achieved by optimizing the structure and parameters of all available funding sources (1)-(3) under the criterion of minimizing the total amount of the cost of servicing credit obligations within existing restrictions on available funding for each of the sources.

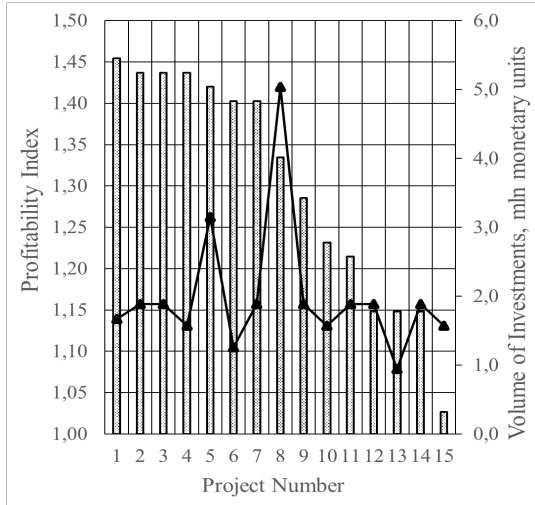


Fig. 1. Ordered set of EE projects ranked by the profitability index

The results of optimization the structure and volumes of investment resources attracted from different sources at different interest rates, and the size of payments for each borrowing are presented in Figure 2. The borrowings denoted in Figure 2 by an additional symbol "+", others explanation see in formulas (1)-(3).

From the data in Figure 2 is not difficult to calculate that the estimated size of annual interest rate is reduced and amounts to 10.5 %, and the amount of interest payments – 8.32 million monetary units. Thus, using systemic management of investment resources attracted by the Centre within the program framework, savings through economies of scale reached to 1.31 million monetary units only on interest payments.

At the same time, at the level of Center managing investment resources of program are resolved operational issues of economic stimulation (using of rewards and penalties) of participants.

The need for stimulation because in the process of realizing the program for various reasons, there is a demand for additional financing of some projects to achieve the program objectives on the volumes and qualities of reached effects and/or for additional remuneration of participants, performance indicators of which exceed targets.

Let the additional costs were incurred in the implementation of the 1st, 2nd, 9th, and 12th EE projects, efficiency of which measured by PI-index decreased in comparison with the planned accordingly by 20.0 %, 15.5 %, 9.8 % and 29.8 %, while as the performance of the 7th and 14th projects increased by 19,9 % and 10,1 % (see. bar chart in Figure 3 ).

Under the proposed management methodology, additional costs incurred should be compensated or from the reserve fund of the Center, or covered by own funds of the participants, as well as additional revenues should be reallocated according to the expressions (3) - (7), in order to provide balancing the interests of the Center and participants under the conditions (8).

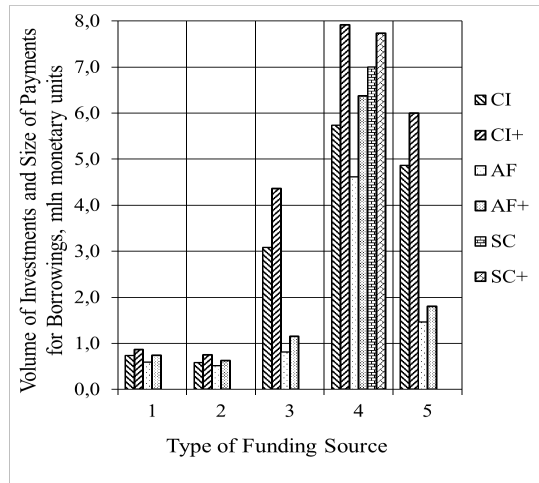


Fig. 2. Optimized structure of funding sources

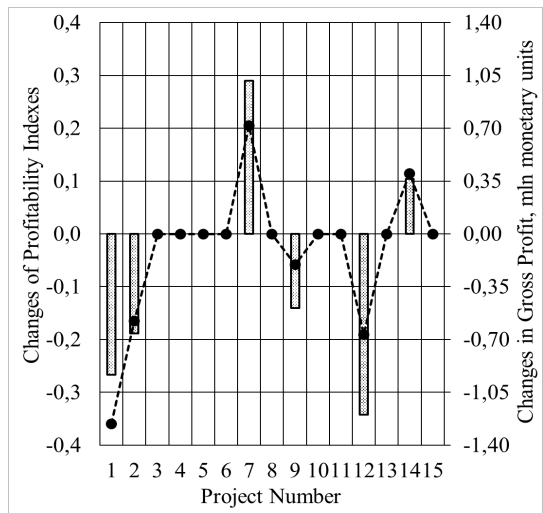


Fig. 3. The results of optimization the operational management indicators

The results of the operational management by additional costs of investment resources received by optimizing their volumes are presented in Figure 3 as changes in the volumes of the gross profit that are achieved on the relevant EE projects. Under the whole program, these costs increased by 2.30 mln monetary units, and gross profit decreased by 1.60 mln monetary units.

For comparison, in the absence of operational management by additional costs the total gross profit decrease by 2.91 mln monetary units. That is, the operational management by investment resources of the program allows reducing the loss in gross profit by 1.31 mln monetary units.

The total gain from realization the proposed methodology of investment resources management on the case study of 15 typical EE projects reaches  $(1.31 + 1.31) = 2.62$  mln monetary units, or 8.7 % of the planned investments under the program.

## **Conclusions**

1. Creating conditions for investment attraction in targeted energy efficiency programs is a priority for sustainable economic development of any country, the successful solution of which depends on the coordinated efforts of public authorities, regulators and business entities. For the last ones this problem is particularly important because the lack of investment for them means a loss of income and reduces the competitiveness of products.

2. The proposed methodological approach to the management of investment resources achieves the goal and receives results provided by the targeted programs through systemic coherent optimization of investment costs. In order to achieve success, these costs should take into account the financial, economic and energy indicators of efficiency using the capital investment funds of all program participants proportional the investment resources they receive from the Center, and applying the functions of economic incentives and resource management depending on way of these funds use.

Prospect for further development of research in this area is to develop methodical guidelines for public authorities, regulators and business entities to improve the efficiency of investment management for targeted programs.



## References

1. Ковалко О. М. Вступ до теорії енергоефективності багаторівневих систем: методи та моделі енергетичного менеджменту в системі житлово-комунального господарства / О. М. Ковалко, О. В. Новосельцев, Т. О. Євтухова – К.: НАН України, Інститут технічної теплофізики, 2014. – 252 с.
2. The National Action Plan on Energy Efficiency for the period 2020 (2015), Decree of Cabinet of Ministers of Ukraine of 25.11.2015 № 1228-р.
3. Taylor R. P., Govindarajalu C., Levin J., Meyer A. S., Ward W. A. (2008), Financing Energy Efficiency. Lessons from Brazil, China, India, and Beyond, Washington, The World Bank, 306 p.
4. Пилипенко А. А. Організація управління інтегрованими структурами бізнесу в контексті збалансованої системи показників / А. А. Пилипенко, І. В. Ярошенко. – Харків: ВД «ІНЖЕК», 2007.– 152 с.
5. Schiller S. R. (2012), Energy Efficiency Program Impact Evaluation Guide, Golden, Colorado, National Renewable Energy Laboratory, 180 p.
6. Швець В. Я. Агрегована методика багатокритеріальної економіко-екологічної експертизи екологоорієнтованих інвестиційних проєктів / В. Я. Швець, Е. В. Роздобудько, Г. В. Соломіна // Науковий вісник НГУ. – №3. – 2013. – С. 139 - 144.
7. Fresard L., Hoberg G., Phillips G. (2015), Innovation Activities and the Incentives for Vertical Acquisitions and Integration, Baltimore, University of Maryland, 62 p.
8. Swanson S. (2012), Regulatory Mechanisms to Enable Energy Provider Delivered Energy Efficiency, Montpelier, RAP Publications, 72 p.
9. Ковалко О. М. Теоретико-множинна модель багаторівневої системи організаційно-технологічного управління енерговикористанням у системах з ієрархічною структурою / О. М. Ковалко, Т. О. Євтухова // Енергетика: економіка, технології, екологія, 2010. – №2. – С.42-49.
10. Novoseltsev O., Kovalko O., Evtukhova T. (2013), Cross-border cooperation of energy service companies as a factor enhancing energy and economic safety, in book: Energy Efficiency Improvement of Geotechnical

Systems – G. Pivnyak, O. Beshta, and M. Alekseyev (eds), London, Taylor & Francis Group, CRC Press, pp.37-46.

### **Глава 3.7. Транскордонне співробітництво енергосервісних компаній як фактор підвищення енергетичної та економічної безпеки<sup>7</sup>**

У дослідженні проведено порівняльний аналіз енергоекономічної ефективності та продуктивності валового внутрішнього продукту у різних країнах, визначено умови порівняльної переваги та порядок транскордонного співробітництва енергосервісних компаній (ЕСКО) для забезпечення їх рентабельності на базі принципів перфоманс-контрактингу. Узагальнено значення складових (чинників) енергоекономічної взаємодії у вигляді альтернативної винагороди замовника послуг ЕСКО, платежів для ЕСКО за перфоманс-контрактами, альтернативних витрат замовників. Наведено результати чисельних розрахунків, що підтверджують ефективність та результативність запропонованого підходу до підвищення енергоекономічної безпеки підприємства.

#### **3.7.1 Main factors and directions of energy-economic safety increasing**

Persistent tendency to the growth of energy consumption in the world, due to the objective needs of countries' economic development on the one hand, and the limited and inhomogeneous placement of natural ore and energy resources on the planet on the other hand, put the issues of natural resources extraction, transformation and use efficiency on the first place among the problems of economic, energy and ecological safety of the countries, which today have to be solved in conditions of the active and even aggressive energy markets redistribution in the direction of their globalization and diversification of supply sources, use of nuclear energy and alternative energy sources, mitigating the impact of energy on the environment, etc.

The level of Ukraine's energy security has abruptly deteriorated since 1991 as a result of the USSR disintegration, because Ukraine is not among the former Soviet republics such as Azerbaijan, Kazakhstan, Russia, Uzbekistan and Turkmenistan, which are self-sufficient in energy resources. The situation is

---

<sup>7</sup> Novoseltsev O., Kovalko O., Evtukhova T. Cross-border cooperation of energy service companies as a factor enhancing energy and economic safety / In book: Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems – G. Pivnyak, O. Beshita, M. Alekseyev (eds), London: Taylor & Francis Group, CRC Press, 2013, p. 37-46.

complicated by the uneven allocation of generation capacities, factories for the production of energy equipment and repair facilities. Thus, Ukraine has the excess potential of basic electricity capacities, while the hunting (maneuvering) capacities, mainly hydropower, located mostly in Russia and Kyrgyzstan.

Among the main factors for energy-economic safety increasing, the reliability of energy supply to the economy and population, the timely substitution of exhaustible energy resources by other energy sources, the diversification of fuel-and-energy species, the prevention of inefficient use of fuel-and-energy resources, the requirements of ecological safety and environmental protection taking into account, the use of production wastes as alternative energy sources, the creation of economic conditions for balanced gains getting from energy resources and energy equipment cross-border interchange between domestic and foreign markets, the structure of import and export streamlining, and so on should be determined at first place.

The problem of energy-economic and environmental safety is global and is refer to each country and the world community as a whole. Its solution is in the plane of mutually beneficial partnership between all participants: producing, transit and consumer countries, based on common organizational and management structures taking into account technological, economic and environmental risks of such cooperation. Thus, economies that cooperate should not be overly specialize in the production or consumption of one type of equipment or energy source.

Main directions of this cooperation should be the creation of infrastructure and management systems of joint cross-border markets which comprise the transportation networks of energy goods and services (gas and oil pipelines, power lines, transshipment terminals and so on), integrate domestic markets of different types of energy goods and services, radically reduce barriers on the way of energy goods and services flows between countries and regions, and improve the investment climate. This cooperation greatly enhances energy security, provides economy of scale, provides access to competitive energy sources and new technologies, and improves the reliability of supply.

So, additional organizational and material costs for the establishment and operation of cross-border markets should be paid off by lower costs of energy and equipment cross-border trade, and the risks that arise and are able to result in more deep differentiation of the world on technologically developed countries and countries with raw products export orientation, should be mitigated by coordinative regulation of these markets.

The energy services sphere of is an obligatory part of mutual cross-border markets, which is oriented towards solving of complex problems of efficiency, quality and reliability of energy supply and energy use improvement, and is aimed to coordinate the interests of producers, suppliers and consumers of energy goods and services as in energy and in a number of related sectors and sub-sectors of national economies. If we consider the sphere of energy services from this point of view, it becomes clear that the issues which are closely related to technical and technological components of identifying the reasons of inefficiency of cross-border markets functioning and focused on development of methods and measures for their prevention and / or elimination are only part of energy services which in the system formulation should include economic and environmental aspects of cross-border cooperation.

It is also clear that the international (transboundary, cross-border, etc.) cooperation, which gives new possibilities and creates new challenges in the area of energy services, in today's conditions of energy market globalization have to be solved through interaction (cooperation, coepetition, etc.) of energy service companies that compete with each other, taking into account differences in levels of countries' economic development, differences in exchange rates, existing customs barriers, etc.

Mining industry of any country in its primary mission is the raw material industry, which is characterized by complicated complex resource-and-energy intensive technologies of extraction and processing of mineral resources and requires modern control and optimization systems of mining production, is a branch of economy, which are also related to all the above mentioned benefits and

risks regarding the creation and operation of joint cross-border markets in the sphere of energy services.

The energy intensity of gross domestic product (GDP) is one of the most acceptable in the world practice the basic energy-economic indicator (index) of the country's economy performance efficiency, the dynamics of which change tracks trends of economic development. The energy intensity is the ratio of primary energy consumption to meet the manufacturing and non-manufacturing needs of the country over GDP. It measures the total amount of energy necessary to generate one unit of GDP [1].

Energy component (numerator) of this index is a physical quantity that accurately recorded by the statistics, while the GDP determination is realized through calculations of the total value of final goods and services produced by the country's economy during the year. The results of GDP calculations are at current, i.e. actual, prices (nominal GDP), and at comparable to the selected base year constant prices (real GDP), and their values for several years usually are presented at constant prices of the base year by using a chain of index-deflators, calculated as a ratio of GDP at current prices over GDP at constant prices.

Difficulties in comparison of the countries interaction efficiency on the cross-border markets are take place as the GDP of each country which is expressed in national currency should be converted before comparison into international currency, so far as the national exchange rates cannot be used for such converting due to the neglect of a number of factors related to the internal turnover of goods and services, capital flows, intrusions and interventions to the foreign exchange market and so on. If this is not done, the numerous indicators that are defined in connection with GDP will be distorted. For example, if we compare the energy intensities of poor countries they will be reflected very wasteful and it will lead to biased forecast values of future energy use up.

It should be added that the difficulties related to the use of energy intensity index for countries' economies international comparison is complex not only due to exchange rates and technical efficiency of energy use, but also the structure of industrial production, the level of commonwealth, development of the transport

system, the country's geographical location, climatic conditions, the level of the shadow economy, etc., on which are superimposed the instabilities of exchange rates and the disparity between prices and tariffs on goods and services to real costs for their production that are particularly noticeable for the countries with economies in transition. In general, it is necessary to use the systemic approach for the correct comparative analysis and development of effective measures for improving the energy efficiency of the national economy.

In international practice, the comparison of energy intensity of GDP in different countries is done, as a rule, with the help of purchasing power parity (PPP), which value is calculated for many countries and regularly published by a number of international organizations, especially the United Nations, the World Bank and International Energy Agency (IEA) in terms of artificial monetary units - international dollars [2,3]. Herewith, the national exchange rate at PPP is determined by the amount of national currency that is spent in the country for the purchase of the same basket of equal in quality consumer goods and services that buys a resident of the United States for 1 USD.

For example, the changes in production and consumption of primary energy in Ukraine over 1992-2011 years are calculated and presented in Figure 1 in million (mln.) tons of oil equivalent (toe), GDP at constant 2005 year prices in billions (bn.) of Hryvnias (UAH) and in billions of USD 2005 (PPP), and Ukraine's energy intensity of GDP in kg of oil equivalent per USD 2005 (PPP).

It can be seen that since 1996 energy intensity of GDP in Ukraine is steadily improving (decreasing), but a more deeper analysis of the economy shows that it is largely achieved not by increasing energy efficiency, but by attempts to ensure the competitiveness of domestic goods and services by reducing costs for wages, cutback of enterprises' circulating capital, freezing funds for the modernization of production, by using other negative means and instruments, etc.

More comprehensively investigate the energy-economic efficiency of national economies allows taking into account the environmental component of GDP, among the common indicators (indexes) of which the most accepted in the world practice is the carbon intensity of GDP, which is defined by the ratio of the total volume of equivalent emission of CO<sub>2</sub> from burning fossil fuels (coal, oil and gas, etc.) over the value of GDP.

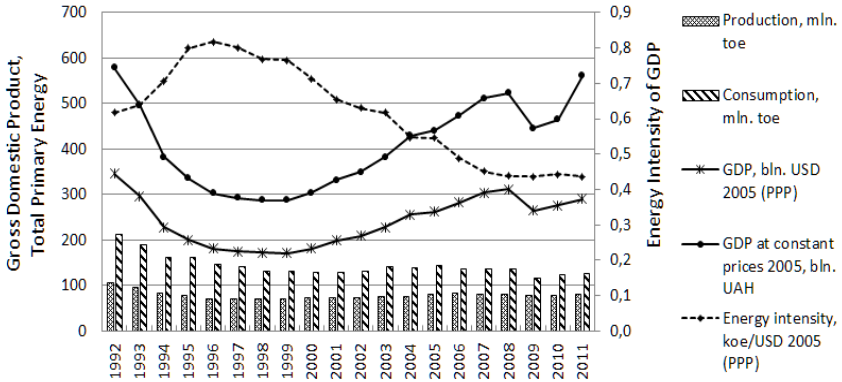


Figure 1. Total primary energy production and supply, GDP, energy intensity of GDP. *Data source: www.yearbook.enerdata.net, www.ukrstat.gov.ua, authors' calculations*

The carbon intensities of real GDPs at PPPs for Ukraine and for comparison – for Poland as its nearest neighbor, and in average for the EU countries are shown in Figure 2. You can see the Ukraine's indicator is far behind Europe.

The results of comparative analysis of GDP's energy-economic effectiveness for several countries, which are potential (and actual, too) participants of cross-border cooperation with Ukraine at energy services markets, are reflected in the Cartesian coordinate system relatively to productivity of living labor needed to produce GDP in these countries, are presented in Figure 3. The values of energy-economic efficiency of GDP in 2009 for each country measured in thousands of USD 2000 at PPP per 1 toe of energy used are represented on the horizontal axis in Figure 3, and at the vertical axis of which – the productivity of GDP's living labor in 2009 in these countries, measured in thousands of USD 2000 at PPP per capita (GDP / population of the country). It can be seen that countries with developed economy and advanced technologies are placed at a great distance



from Ukraine and in the upper right corner of this coordinate system.

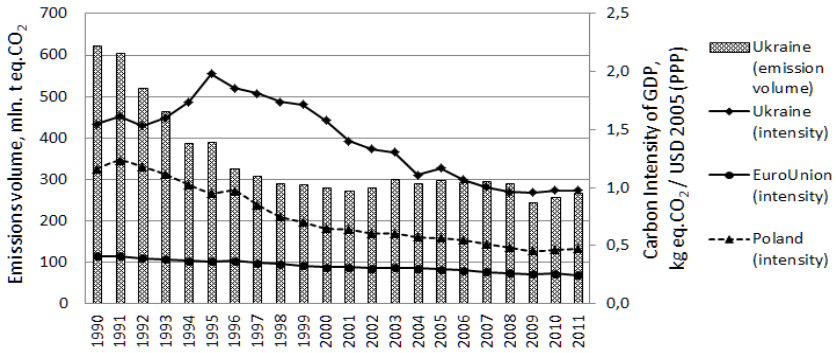


Figure 2. Carbon emissions and carbon intensity of GDP in Ukraine compared to some other countries. *Data source: www.yearbook.enerdata.net*

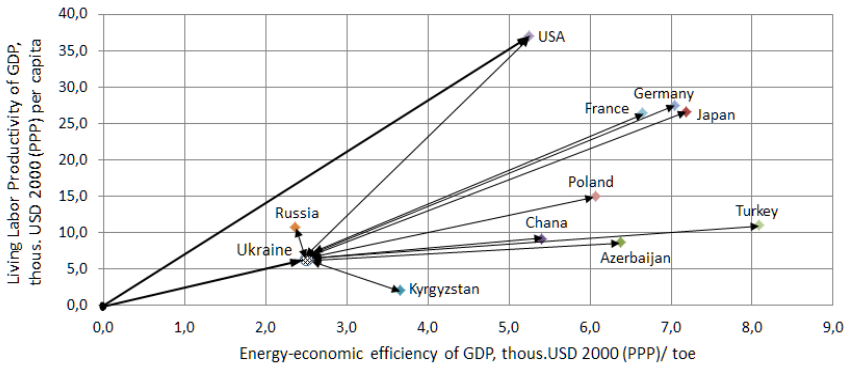


Figure 3. Comparison of the efficiency and productivity of the GDP of some countries. *Data source: www.iea.org*

### 3.7.2 Energy service companies and energy performance-contracting model

Energy Service Companies (ESCOs) are one of the most effective and most widespread in the world organizational forms of energy-economic efficiency improvement of national economies, capacity and capabilities of which is proved in practice in developed and in developing countries. Shirley Hanson is the author of most modern conceptual provisions of ESCO model, and the ideologist of its distribution in Europe – Paolo Bertoldi, who together have published more than a dozen books on the subject, sufficiently complete list of which can be found in publications [4, 5].

ESCOs are commercial organizations (companies, enterprises), acting on the basis of the energy-service contract and providing a wide range of complex energy services that cover technical, economic, financial and legal aspects of design, engineering, installation, commissioning, monitoring and verification of the results achieved from the implementation of innovative projects in the area of energy savings and energy infrastructure development at the industrial, communal and social facilities, based on the principles of energy management, performance-contracting, outsourcing, project financing, taking into account transaction costs and risk management, etc., through using their own and attracting external sources and resources including financial, legal, material, technical, energy and labor ones.

Energy performance-contracting is the main form of providing complex "turnkey" services by ESCO, which offers their clients a full set of business-projects to improve energy efficiency and energy conservation, the results of which are monitored (measured and verified) during the conditions of the contract, and provides guarantees that the savings achieved as a result of the projects implementation will be sufficient enough to cover the projects total costs [4-6]. Manufacturers of energy-efficient equipment, energy supply companies, energy engineering and energy maintenance companies often operate as effective energy service companies. However, the energy services of ESCOs are fundamentally different from other types of energy service companies – suppliers.

Most of the problematic issues related to the specific features of the ESCOs activities on the domestic energy resources, energy-efficient equipment and energy services markets are already solved in theory and in practice of ESCO-approach implementation. First of all, you should apply to the publications of such researchers as P. Bertoldi, J. Bleyl-Androschin, C. Bullock, G. Caraghiaur, J. Ellis, M. Evans, C. Goldman, S. Hansen, N. Hopper, B. Knox, M. Kolarik, P. Langlois, M. Lee, V. Lew, M. Magee, A. Marino, C. Murakoshi, H. Nakagami, N. Okay, J. Osborn, J. Painuly, H. Park, S. Rezessy, D. Schinnerl, S. Sorrell, A. Thumann, W. Turner, E. Vine, H. Zhao, and others. Among the researchers in Ukraine and on post-soviet space the publications of I.A. Bashmakov, S.V. Golikova, V.A. Zhovtyanskiy, M.P. Kovalko, E.E. Nikitin, A.V. Novoseltsev, A.V. Prakhovnik,

S.B. Sivaev, V.A. Stepanenko, O.M. Sukhodolia, Y.I. Shulga, and others, should be mentioned in which the conceptual basis of foundation and the basic principles of ESCOs performance are considered.

Regarding the specific features of the ESCOs concerning their costs, first of all, the major role of transaction costs should be noted. The latter incur both inside the companies and outside it, as a result of their interactions in the energy services market and include any necessary costs that are not connected directly to the production of goods and services (production costs), but provide the successful implementation of cross-border cooperation. The concept of transaction costs was introduced into economics by R. Coase in the 30-s of the last century for substantiating the existence of firms and companies on the market, which in its essence are hierarchically-structured systems with the administratively-command management. Among many fundamental publications on the theory of transaction costs we should first mention the works of such researchers as K. Arrow, U. Asan, P.J. Buckley, M. Chapman, S. Cheung, R.H. Coase, N. Foss, C. Kadaifci, A. Kutlu, D.C. North, J.Ju, S. Sorrell, E. Wang, O.E. Williamson.

Despite the fundamental achievements in the theory and practice in the abovementioned areas of research, the problem of quantitative evaluation of the effectiveness and efficiency of cross-border cooperation among ESCOs on domestic and international markets, first of all, evaluation and realization of comparative advantage potential still remains unsolved.

The purpose of this research is to justify the selection of comparative advantage and performance-contracting energy-economic models, in the task of effectiveness improvement of ESCOs cross-border cooperation, formalization of system model equations on this basis, calculations providing and presentation of results, confirming the efficiency of the proposed model used in this task.

Taking into account the Sorrell's methodical approach in constructing a performance-contracting model [7], we can define generalized conditions of profitability (more accurately, self-supporting) of ESCO approach in the following form: (1) the client's total cost savings, before and after signing the contract, should exceed the client's payments under the contract with ESCO (contract

payments) in the amount of potential gain of the client under the contract; (2) the income of ESCO under the contract should be more than the total amount of expenses, incurred by ESCO, by the amount of its gain; (3) the client and ESCO overall production cost savings should exceed the overall increase in the transaction costs by the opportunity costs of the client.

Formalizing the above conditions we can write the generalized system of equations of ESCO interaction with the client as:

$$\sum_{k=1}^n \hat{C}_k^0 - \sum_{k=1}^n \check{C}_k^0 \geq \check{P}^0; \quad \sum_{k=1}^n \hat{C}_k^0 - \sum_{k=1}^n \check{C}_k^1 \geq \check{C}_1^0 - \sum_{k=2}^n \check{C}_k^0; \quad \sum_{k=1}^n \check{C}_k^1 \leq \check{P}^0 - \check{B}^1, \quad (1)$$

where: the upper indexes 0 and 1 determine the client and ESCO;  $\hat{C}_k^0$ ,  $\check{C}_k^0$  – the client’s costs before and after contract signing (this is indicated by superscripts ^ and ˇ), the lower index  $k = \overline{1, n}$  lists the variety of cost types, and n – their quantity;  $\check{C}_k^1$  – corresponding ESCO costs;  $\check{P}^0$  – the client’s contract payments (ESCO income);  $\check{B}^1$  – ESCO’s bonus according to the contract;  $k = (\text{pr}, \text{tr}, \text{ds}, \dots)$  is a cortege of indexes; *pr* – production costs; *tr* – transaction costs; *ds* – distribution costs.

In case of client's cooperation with several ESCOs or ESCO with several clients, for each case there are similar equation systems (1). Also note that the presented equations are some kind of economic balance equations. It is clear that to complete mathematical description of the interactions between the client and ESCO, these equations have to be supplemented by the relevant equations of energy balances which restrict the acceptable modes of energy equipment operation and adjust the rules of mutual payments between the client and ESCO, caused mainly by changes in production amounts, and the corresponding decrease in the consumption of fuel and energy resources, and loading of the energy equipment which are the objects of ESCO services contract.

### 3.7.3. Economic model of comparative analysis

While choosing the economic model of comparative advantage we should notice that ESCO by its main function is a service-oriented, and not a production company, so the bulk of its expenses are expenditures on intellectual work and

other types of costs are usually taken by client, manufacturers of energy-efficient equipment and suppliers of fuel and energy resources. Therefore, the use of the Ricardian model [8], where the only factor of production is labor and which assumes that each technology can be only characterized by one coefficient of labor productivity – by laboriousness, in our case, is justified and allows conducting a quantitative evaluation of the effectiveness and efficiency of cross-border cooperation between ESCOs.

Let's consider the peculiarities of the Ricardian model application on the example of two ESCOs, located in different countries, which intend to cooperate with each other, in buying and selling goods and services. We will define each ESCO by top index  $j$  (in this case  $j=1,2$ ). Suppose that each of the ESCOs, using existing technology, is able to provide two types of services, which can be defined by the lower index  $i=1,2$ . Then, the production of each of these services according to the Ricardian model will be characterized by its own factor of labor productivity  $\tau_i^j$ , and the existing limits of production opportunities and options for the use of labor resources can be put in the form of :

$$\sum_i (\tau_i^1 \cdot Q_i^1) \leq L^1; \quad \sum_i (\tau_i^2 \cdot Q_i^2) \leq L^2, \quad (2)$$

where:  $Q_i$  – the amount of the service production during the working hours which are considered;  $L^j, j = \overline{1,2}$  – limited amount of labor resources, which the ESCO possesses.

In conditions of constant labor costs, as well as the amount of available labor resources, production opportunity curves are straight lines (frontier), which equations assume the following form in coordinate axes  $Q_1, Q_2$  :

$$Q_2^1 = \frac{L^1}{\tau_2^1} - \frac{\tau_1^1}{\tau_2^1} \cdot Q_1^1; \quad Q_2^2 = \frac{L^2}{\tau_2^2} - \frac{\tau_1^2}{\tau_2^2} \cdot Q_1^2. \quad (3)$$

Equations (3) showing that opportunity costs of the first service production, expressed in units of the second one, or costs of substitution (substitution costs) of the first service by another one, is defined by the ratio between labor costs on the first and second services production ( $\tau_1^j / \tau_2^j$ ) by each of the companies. Remember

that the amount of losses incurred by the company in connection with refuse from production of one service due to increased production of another service on 1 unit defines the opportunity costs of existing resources used. Adding these costs to the amount of the actual (explicit) production costs that are fixed in accounting book allows the company to specify the amount of lost profit, related to irrational distribution of available resources, refuse from other possibilities of their use in production of alternative services, etc.

To select from a number of possible combinations of a particular kind and amount of each of the two services, those which are profitable for ESCO to produce, the comparison criterion of relative price of one of the service measured per unit of the other service (the price of the substitution of one service by the other) is used in the Ricardian model. Let  $p_1^j$  and  $p_2^j$  be the prices of the first and the second services of the ESCO, then the labor costs per hour  $\lambda_i^j$  will be equal to the costs of the first and the second services produced per hour:  $\lambda_i^j = (p_i^j / \tau_i^j)$ . If  $(p_1^j / p_2^j) > (\tau_1^j / \tau_2^j)$ , i.e. the substitution price of the first service by the second one is more than alternative production costs of these services, then labor costs per hour will be higher in the production of the first service, and under the condition of  $(p_1^j / p_2^j) < (\tau_1^j / \tau_2^j)$  – the same but for the second service. Taking into account the natural need of employees to receive higher payment for their labor, ESCOs according to the Ricardian model will specialize in production of one of the services and only under condition of equal payment for both of them – both services.

Let's assume that:

$$(\tau_1^2 / \tau_2^2) > (\tau_1^1 / \tau_2^1), \text{ or the same as } (\tau_2^1 / \tau_2^2) > (\tau_1^1 / \tau_1^2). \quad (4)$$

The first inequality of two in (4) is called the formula of relative advantage, which shows that the labor costs for the substitution of one unit of the first service by the second service for ESCO1 are lower than in ESCO2. In this case, ESCO1 turns out to be more effective in production of the first service than the second one

(the second inequality), i.e. has comparative advantage over ESCO2 in production of this service.

Thus, to select a more beneficial company for production of the first service in conditions of cross-border cooperation is not enough just to compare labor costs of both ESCOs necessary for production of one unit of this service and to make a decision on starting its production on the basis of such absolute advantage. According to Ricardo's theory, company should rely on the principle of comparative advantage, taking into account production costs of each of the services that both companies are potentially able to produce (provide to the market).

Prices for these services, which under the principle of absolute advantage depended solely on the internal factors of production, under conditions of cross-border cooperation should also take into account market supply and demand factors for the services that now are exported or imported, because the ESCO, which has lower prices, in market conditions begins to compete with other companies for the cross-border market share, that in turn stimulates the relative price equalization (equilibrium) for these services. The final result of equilibrium is that market prices are somewhere between the existing relative prices, and their definite level will be conditioned by the amount of mutual demand and supply. That is, the price of imported services will depend on the price of the service that company want to export, to pay for the import, and the ratio of these prices will depend on domestic demand for these services in the sphere of influence of each of the ESCOs.

For the calculations of cross-border cooperation values are proposed to apply the following formulas:

$$\begin{aligned} \bar{Q}_1^1 &= (1 + \delta_1^1) \cdot Q_1^1; \quad p_{2/1}^1 = ((p_1^2 / p_2^2) \cdot p_2^1 - p_1^1) \cdot d_{2/1}^1; \\ \Delta_1^1 &= \delta_1^1 \cdot Q_1^1; \quad R_{2/1}^1 = p_{2/1}^1 \cdot \Delta_1^1, \end{aligned} \tag{5}$$

where:  $\bar{Q}_1^1$  – amount of service 1 enlarged production by ESCO1;  $\delta_1^1 = (\tau_2^1 / \tau_1^1 - \tau_2^2 / \tau_1^2)$  – coefficient of service 1 enlarged production;  $p_{2/1}^1$  – price of cross-border substitution of service 2 by service 1;  $\Delta_1^1$  – amount of alternative

service 1 production;  $R_{2/1}^1$  – amount of alternative revenue from the substitution of service 2 by service 1;  $d_{2/1}^1 = \exp(-\tau_1^1 \cdot (\tilde{Q}_1^1 - Q_1^1) / (\tau_1^1 \cdot Q_1^1 + \tau_2^1 \cdot Q_2^1))$  – cross-border demand curve equation.

On the basis of equations and formulas (1) – (5) the computer model of comparative advantage of ESCO cross-border cooperation has been realized in tabulated Excel-processor with the use of Solver optimizing tool, which allows to make series of parametric calculations and presents the results of calculations in table and graphic forms. For example, the results of the model calculations of the amount of alternative service 1 production (a/service 1) as well as ESCO1 production possibilities lines before and after cooperation with ESCO2 are presented in Figure 4.

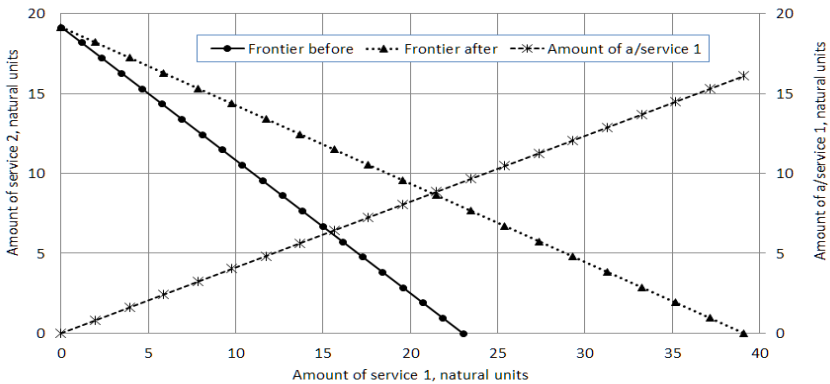


Figure 4. ESCO1 growth in amount of service 1 production (provision). *Data source: authors' research*

In Figure 5 you can see the calculated amount of alternative revenue  $R_{2/1}^1$  (a/revenue 2/1), which are measured by the right hand vertical axis in foreign currency 1 (the currency of ESCO1), from the price of cross-border substitution  $p_{2/1}^1$  (t/substitution price 2/1 in currency 1), calculated by the exponential curve  $d_{2/1}^1$  of cross-border demand (t/demand 2/1) and from the amount  $\Delta_1^1$  of



alternative service 1 production (a/service 1), necessary for cross-border substitution, and all that – is the result of change in the amount  $\tilde{Q}_1^1$  of service 1 production by ESCO1.

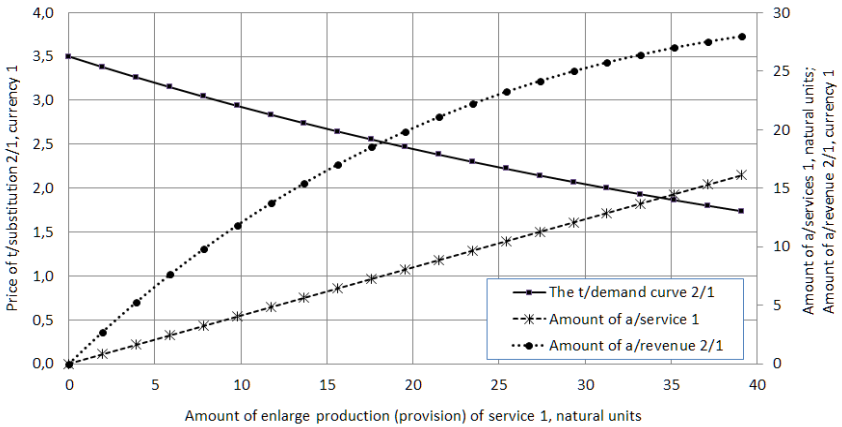


Figure 5. ESCO1 dependences of the alternative revenue amount from the price of cross-border substitution and from the amount of alternative service 1 production (provision). *Data source: authors' research*

It is seen that in the considered range of enlarged production (provision) of service 1 the amount of alternative revenue of ESCO1 from its cross-border cooperation with ESCO2 has been steadily growing, and by amount of 39.1 natural units of service 1 production and the price of cross-border substitution of 1.74 monetary units in currency 1 is 28.0 monetary units in currency 1. At the same time, the amount of alternative revenue of ESCO2 from its cross-border cooperation with ESCO1 is 15.45 monetary units in currency 2, which is received as a result of production (provision) of 73,7 natural units of service 2 by the price of cross-border substitution of service 1 by service 2 in the amount of 0.39 monetary units in currency 2.

Thus, the improved energy-economic model of ESCOs cross-border cooperation is developed. The model is based on a systemic conjunction of theoretical statements of performance contracting, which is one of powerful tools to improve energy efficiency of industrial private and public enterprises, with the provisions and principles of economic comparative advantage, application of which allow ESCOs to expand the spheres of their activities and to increase

energy-efficient goods and services production. As a result, the new opportunities to improve energy efficiency and energy conservation by the use of ESCO approach are found, and the new, not previously available, mechanism of obtaining economic and environmental gains from cooperation between ESCOs, which is a powerful factor in increasing the energy and economic safety, is developed. It is important that the model of ESCOs cross-border cooperation can be applied to definite areas, regions, and other administrative-territorial divisions and units, in one or in different countries.

The prospects for further research in the field of energy services are primarily conditioned by the need to supplement the model with the equations of energy balances that will give a chance to use this extended model in technical and economic calculations of benefits from investments attraction in mining industry' equipment upgrading, taking into account comparative advantages that arise as a result of use of the saved energy volumes as a substitution product.

## References

1. Економіка України: Стратегія і політика довгострокового розвитку / За ред. В.М. Гейця. – Київ: Інститут економіки та прогнозування: Фенікс, 2003. – 1008 с.
2. Froot K.A., Rogoff K. Perspectives on PPP and Long-Run Real Exchange Rates. – Cambridge: National Bureau of Economic Research, 1994. – 55 p.
3. Eurostat-OECD Methodological Manual on Purchasing Power Parity / Chaired by S. Stapel and drafted by D. Roberts. – Paris: OECD PUBLICATIONS, 2006. – 280 p.
4. Hansen S.J. ESCOs Around the World: Lessons Learned in 49 Countries / S.J. Hansen, P. Bertoldi, P. Langlois. – Lilburn: The Fairmont Press, 2009. – 377 p.
5. Сиваев С.Б. Создание и деятельность энергосервисных компаний и перфоманс-контрактов в России. Том 1: Энергосервис и перфоманс контракты: возможности и проблемы их реализации в России / С.Б. Сиваев. – М.: WWF, 2011. – 111 с.

6. Bachmann J. Partnership and Incentives: Making Performance Contracting Work in Ukraine / J. Bachmann, A. Novoseltsev // *Energy Engineering*. – 2004. – Vol.101, No.6. – P. 49-70.

7. Sorrell S. The Economics of Energy Service Contracts / S. Sorrell // *Energy Policy*. – 2007. – Vol.35, No.10. – P. 507-521.

8. Krugman P.R. *International Economics: Theory and Policy* / P.R. Krugman, M. Obstfeld. – Boston: Pearson Education, 2003. – 782 p.

## **Глава 3.8. Енергоекономічна оцінка сценаріїв трансграничної взаємодії енергосервісних компаній на ринках ріпаку та біодизелю<sup>8</sup>**

Шляхом розгляду енергоекономічних аспектів реалізації різних сценаріїв трансграничної взаємодії енергосервісних компаній на ринках ріпаку та біодизелю у дослідженні демонструються нові можливості оригінального підходу до підвищення енергоекономічної ефективності складних систем, взаємодіючі підсистеми яких розташовані в різних трансграничних зонах (країнах тощо), що зі свого боку дозволяє виявляти нові можливості запровадження енергозберігаючих інноваційних проектів та підвищувати конкурентоздатність енергоємних технологій, розширюючи границі та посилюючи масштаби залучення інвестицій в сектор відновлюваної енергетики.

### **3.8.1 Енергоекономічний аналіз ринків ріпаку та біодизелю**

В Україні станом на 2014 рік щорічно вироблялося 110÷120 млн. тонн сировини біомаси (солома зернових та інших відходів рослинництва та агропромислового виробництва), близько 65 млн. тонн яких йшли на переробку, 1,1÷1,2 млн. тонн використовувалися для виробництва електроенергії і тепла, і решта, а це практично половина – втрачалася. Україна виробляла понад 100 тис. тонн/рік біодизельного палива, близько 60÷70 тис. тонн якого виробляється на дрібномасштабних установках потужністю 0,3÷5,0 тонн/рік і використовувалося сільгоспвиробниками для власних транспортних і теплових потреб. Так, у 2011 році в Україні функціонували 84 установки малої потужності та 10 великих заводів, які при повному завантаженні могли виробляти понад 500 тисяч тонн біодизелю на рік [1].

Що стосується ринку українського ріпаку, то статистичні дані за 2014 рік свідчать, що 80-90% його обсягів експортувалося в країни ЄС за нульовим акцизним податком, внаслідок чого власне виробництво біодизелю

---

<sup>8</sup> Ковалко О.М., Новосельцев О.В., Євтухова Т.О. Енергоекономічна оцінка сценаріїв трансграничної взаємодії енергосервісних компаній на ринках ріпаку та біодизелю // Відновлювана енергетика, 2015. – №1(40). – С. 74-80.

з ріпаку в Україні було менш вигідним, ніж прямий продаж його насіння на світових ринках, де ціни на українську сировину є порівняно високими. В країнах же ЄС, навпаки, виробництво біодизельного палива субсидується урядами.

Окрім нульової ставки акцизного податку, іншою визначальною причиною втрати Україною помітної частки внутрішнього ринку паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) власного виробництва є низькі якість та ефективність вирощування ріпаку і виробництва біодизелю.

Досвід зарубіжних країн показує, що системна реалізація інноваційних технологій, які гарантовано забезпечують енергозберігаючий ефект на всіх стадіях технологічного ланцюжку від вирощування ріпаку до виробництва біодизелю, з організацією економічно доцільного використання вторинних продуктів і ресурсів, що виникають у процесах вирощування і переробки ріпаку, дозволяє значно підвищити енергоекономічну ефективність виробництва біодизелю [2–13].

Зрозуміло, що для реалізації таких технологій необхідні стратегічні інвестори, яких на сьогодні вкрай бракує в Україні, а також виконавці енергозберігаючих інноваційних проєктів, які здатні гарантовано забезпечувати їх прибутковість. Тому питання розробки моделей і механізмів, що сприяють залученню внутрішніх і зовнішніх інвестицій у сферу енергозберігаючих інноваційних проєктів та гарантовано забезпечують їх повернення, є актуальними для України.

Відповідальними виконавцями такого роду проєктів в світовій практиці, як правило, є енергосервісні компанії (ЕСКО), які забезпечують взаємодію замовників енергозберігаючих інноваційних проєктів (клієнтів ЕСКО) зі стратегічними інвесторами, постачальниками паливно-енергетичних ресурсів та виробниками енергоефективного інноваційного обладнання [14].

Відомо також, що реалізація механізмів міжнародної кооперації та трансграничної взаємодії з залученням ЕСКО дозволяє суттєво розширити границі та посилити масштаби запровадження енергозберігаючих

інноваційних технологій, однак потребує проведення більш складного техніко-економічного обґрунтування, яке має враховувати інтереси всіх взаємодіючих сторін, розташованих в різних країнах або в різних економічних зонах (сферах) економічної діяльності тощо однієї країни [14–16].

Поняття енергоекономічної ефективності (energy-economic efficiency) є саме тим системним поняттям, що дозволяє об'єктивно оцінювати виявлені резерви підвищення ефективності (результативності, продуктивності тощо) виробничої діяльності підприємства чи організації, пов'язаної з постачанням, перетворенням та використанням ПЕР шляхом знаходження компромісу між енергетичною та економічною доцільністю ведення підприємством (організацією, компанією) бізнес-діяльності. Це призводить до необхідності розширення традиційних функцій ЕСКО, комплексна енергоекономічна оцінка ефективності бізнес-проектів яких має враховувати не тільки енергетичні, а й економічні показники діяльності не тільки клієнтів ЕСКО, а й можливих споживачів їх продукції і послуг, постачальників різних видів ПЕР та різних виробників енергоефективного обладнання [14, 20, 21].

### **3.8.2. Аналіз сценаріїв взаємодії ЕСКО з іншими учасниками виробництва біодизелю, розташованими в різних економічних зонах**

У разі проведення техніко-економічної оцінки інвестиційних проектів з підвищення енергоекономічної ефективності виробництва сировини та біодизелю на основі ріпаку в однієї з країн (позначимо її як Країну 1) це призводить до необхідності порівняння декількох сценаріїв взаємодії ЕСКО з виробниками сировини і енергоефективного обладнання для її переробки, розташованими, як мінімум, у двох різних країнах (економічних зонах тощо), за проектами, пов'язаними, насамперед, з реалізацією виробленої продукції в цих країнах (зонах) за наступними техніко-економічними умовами:

**Сценарій I:** вирощування ріпаку в Країні 1 без проекту ЕСКО;

**Сценарій II:** виробництво біодизелю в Країні 1 без проекту ЕСКО з купленої в Країні 1 сировини ріпаку за оптовою ціною;

**Сценарій III:** виробництво біодизелю в Країні 1 без проекту ЕСКО з власно вирощеної сировини ріпаку (за собівартістю);

**Сценарій IV:** вирощування ріпаку в Країні 1 за проектом ЕСКО на обладнанні, виготовленому в Країні 1;

**Сценарій V:** виробництво біодизелю в Країні 1 за проектом ЕСКО на обладнанні, виготовленому в Країні 1, з купленої в Країні 1 сировини ріпаку за оптовою ціною;

**Сценарій VI:** виробництво біодизелю в Країні 1 за проектом ЕСКО на обладнанні, виготовленому в Країні 1, з власно вирощеної сировини ріпаку (за собівартістю);

**Сценарій VII:** вирощування ріпаку в Країні 1 за проектом ЕСКО на обладнанні, виготовленому в Країні 2;

**Сценарій VIII:** виробництво біодизелю в Країні 1 за проектом ЕСКО на обладнанні, виготовленому в Країні 2, з купленої в Країні 1 сировини ріпаку за оптовою ціною;

**Сценарій IX:** виробництво біодизелю в Країні 1 за проектом ЕСКО на обладнанні, виготовленому в Країні 2, з власно вирощеної сировини ріпаку (за собівартістю);

**Сценарій X:** вирощування ріпаку в Країні 1 за проектом трансграничної взаємодії ЕСКО на обладнанні, виготовленому в Країні 2;

**Сценарій XI:** виробництво біодизелю в Країні 1 за проектом трансграничної взаємодії ЕСКО на обладнанні, виготовленому в Країні 2, з купленої в Країні 1 сировини ріпаку за оптовою ціною;

**Сценарій XII:** виробництво біодизелю в Країні 1 по проекту трансграничної взаємодії ЕСКО на обладнанні, виготовленому в Країні 2, з власно вирощеної в Країні 1 сировини ріпаку (за собівартістю).

З метою конкретизації подальших розрахунків, будемо орієнтуватися на середньостатистичні енергетичні та економічні показники вирощування ріпаку та виробництва біодизелю на його основі в Україні (Країна 1) та Німеччині (Країна 2). При цьому, кожен з 12 означених сценаріїв взаємодії будемо розглядати як в умовах існуючого стану виробництва, тобто без запровадження енергозберігаючих інноваційних заходів (проектів), так і за умов реалізації таких заходів з використанням найбільш ефективного обладнання, яке виробляється в країнах, що взаємодіють в рамках трансграничної кооперації.

На рис.1 представлено узагальнену технологічну схему вирощування ріпаку та виробництва біодизелю на його основі. З точки зору оцінки енергоекономічної ефективності різних технологій вирощування ріпаку та виробництва біодизелю, у першу чергу, потрібно визначити такі їх показники, як продуктивність (урожайність та вміст олії в насінні ріпаку тощо), витрати і втрати паливно-енергетичних, матеріально-технічних і трудових ресурсів, ціни і тарифи на вхідні ресурси, а також на основний (біодизель) і побічні (солома, рапсовий шрот, гліцерин) продукти виробництва біодизелю (див. рис.1).

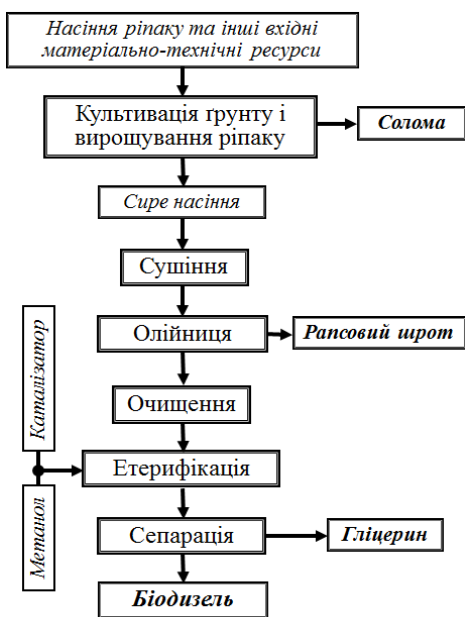


Рис.1. Типова технологічна схема виробництва сировини та біодизелю на основі ріпаку.

За цією технологічною схемою з урахуванням даних, наведених в роботах [1-19], а також в ряді інших публікацій, визначимо усереднені питомі значення технологічних показників вирощування ріпаку та

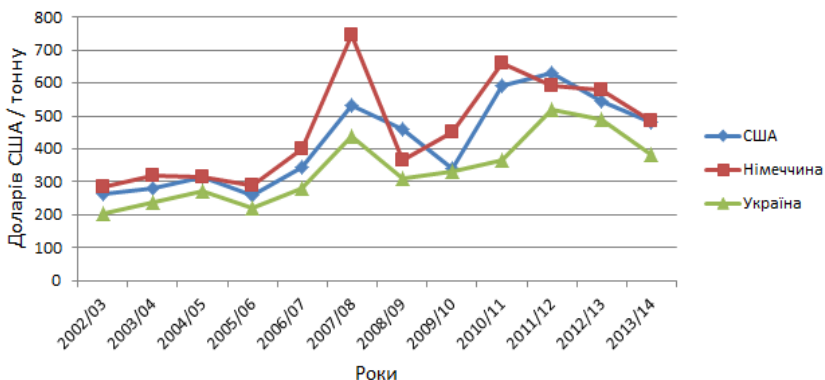


виробництва біодизелю в країнах 1 і 2, основні з яких формалізуємо у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1. Питомі технологічні показники вирощування ріпаку та виробництва біодизелю в країнах 1 і 2

Найменування	Країна 1		Країна 2	
	Основний продукт	Супутні продукти	Основний продукт	Супутні продукти
	т/га	т/га	т/га	т/га
Витрати посадкового насіння	0,0063		0,0053	
Урожайність ріпаку	2,400		3,400	
Обсяг отриманої соломи		2,022		3,385
Обсяг виробництва сирової олії	0,784		1,313	
Обсяг виробництва шроту		1,145		1,917
Обсяг виробництва гліцерину		0,073		0,121
Обсяг виробництва біодизелю	0,727		1,216	

Окрім технологічних параметрів за запропонованим енергоекономічним підходом необхідно розглянути і основні економічні параметри. Динаміку зміни закупівельних цін на насіння ріпаку в США, Німеччині та Україні представлено на рис.2.



Джерела інформації: [www.fas.usda.gov](http://www.fas.usda.gov), [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua), власні розрахунки

Рис.2. Ціни на насіння ріпаку в США, Німеччині та Україні

Як показано в роботах [18-19], ціна на експортоване з України (СРТ Україна) насіння ріпаку йде слідом за світовою ринковою ціною (СІР Hamburg) у достатньо строгої відповідності до зміни світових цін на сирю нафту. Відмітимо помітне на рис.2 скорочення розриву між провідними і внутрішнім ринками ріпаку за останні чотири роки за рахунок зменшення операційних і трансакційних витрат в Україні, покращення інвестиційного

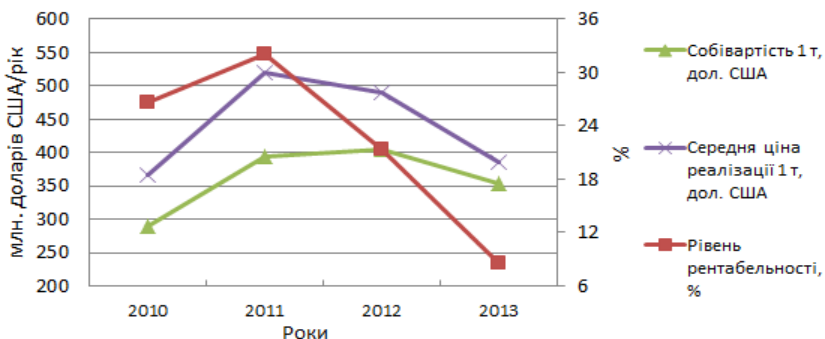
клімату та портової логістики тощо. При цьому, середня ціна на насіння ріпаку за ці роки складала у США – 560 дол. США/тонну, у Німеччині – 580 дол. США/тонну, а в Україні – 440 дол. США/тонну.

Більш детальну інформацію по Україні, систематизовану за даними Державної служби статистики про середньостатистичні економічні результати реалізації насіння ріпаку в Україні, наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Економічні результати реалізації насіння ріпаку в Україні за 2010–2013 роки

Показники	Роки				
	2010	2011	2012	2013	Σр/4
Кількість реалізованої продукції, тис. тонн	1182	1018	1182	2022	1350
Повна собівартість реалізованої продукції, млн. дол. США	342,4	401,2	477,8	716,4	485
Чистий дохід (виручка), млн. дол. США	433,4	530,0	579,9	778,2	580
Прибуток, млн. дол. США	91,0	128,8	102,1	61,82	95
Собівартість 1 тонни, дол. США	289,7	394,2	404,4	354,4	360
Середня ціна реалізації 1 тонни, дол. США	366,7	520,7	490,9	385,0	430
Рівень рентабельності, %	26,6	32,1	21,4	8,6	19,4

Як можна бачити з наведених в таблиці 2 даних та представлених на рис.3 кривих, вирощування ріпаку в Україні за всі роки було рентабельним.



Джерело інформації: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua)

Рис. 3. Порівняльний аналіз зміни собівартості, середньої ціни та рентабельності реалізації насіння ріпаку

При цьому, помітне зменшення рентабельності у 2013 році на фоні суттєвого зростання кількості реалізованої продукції, пояснюється

зменшенням її собівартості та стрімким падінням середньої ціни, яке відбувалося швидше в 1,74 рази, ніж зменшення собівартості продукції.

Спируючись на усереднені дані, представлені в крайній правій колонці таблиці 2, а також на цінові характеристики, наведені на рис.2 та 3, за допомогою розробленої на базі табличного процесору Microsoft Excel імітаційної економіко-математичної моделі виконаємо багатоваріантні чисельні розрахунки техніко-економічних показників вирощування ріпаку та виробництва біодизелю.

### **3.8.3. Розрахунок техніко-економічних показників вирощування ріпаку та виробництва біодизелю**

Визначення складових повної собівартості за моделлю будемо здійснювати на основі звітних даних Державної служби статистики України за такими статтями витрат, як прямі матеріальні витрати (насіння і посадковий матеріал, мінеральні добрива, паливно-енергетичні ресурси, оплата послуг і робіт сторонніх організацій, інші), прямі витрати на оплату праці, загальновиробничі витрати, амортизація необоротних активів, відрахування на соціальні заходи, решту прямих та загальновиробничих витрат.

Результати розрахованих за моделлю питомих значень економічних показників вирощування ріпаку за існуючих умов в Країні 1 (без проекту ЕСКО), отримані після проведення тестування та калібрування імітаційної моделі на масиві наведених вище вихідних даних, представлені у таблиці 3.

Таблиця 3. Економічні показники вирощування ріпаку в Країні 1

Питомі показники	Значення
Собівартість, дол. США/тонну	359,99
Середня ціна реалізації, дол. США/тонну	430,00
Прибуток, дол. США/тонну	70,01
Рівень рентабельності, %	19,45

Не важко перевірити, що розраховані за моделлю результати відрізняються від наведених у таблиці 2 у другому знаку після коми.

Застосування моделі показує, що в разі реалізації в Країні 2 вирощеного в Країні 1 насіння ріпаку за середньою ціною 580 дол. США/т (див. дані на рис.2 за останні чотири роки), обсяг прибутку дилера (другої

сторони тощо) складе 36 тис. дол. США за умов витрат у розмірі 120 дол. США/т на закупівлю в Країні 1, транспортування та збут продукції в Країні 2. Величина прибутку виробника в Країні 1 (див. таблицю 3) помітно зростає (до 112,14 дол. США/тонну), якщо в розрахунку врахувати не тільки вартість реалізації основного продукту (насіння ріпаку), а й вартість реалізації соломи ріпаку за ціною 50 дол. США/тонну.

Таким чином, проведені розрахунки за сценарієм I підтверджують, що виробництво ріпаку в Країні 1, а також його доставка та реалізація в Країні 2 є прибутковими як для виробника, так і для дилера.

Тепер розрахуємо економічну доцільність виробництва біодизелю в Країні 1 без проекту ЕСКО з купленої в Країні 1 сировини ріпаку за оптовою ціною, для реалізації в Країні 1 і в Країні 2 (сценарій II). З урахуванням даних, наведених в таблицях 1 і 3, отримуємо наступні результати, представлені в таблиці 4.

Таблиця 4. Економічні показники реалізації біодизелю, виробленого з сировини ріпаку за оптовою ціною

Питомі показники, дол. США/тонну	Ціна реалізації	
	Країна 1	Країна 2
Оптова ціна біодизелю	1120	1900
Обсяг виручки з реалізації біодизелю і супутніх товарів	1468	1900
Витрати на виробництво, транспортування та збут біодизелю і супутніх товарів	1807	1370
Прибуток (збиток) виробника	-339	530

У проведених розрахунках, у структурі витрат на виробництво, транспортування та збут біодизелю і супутніх товарів в Країні 1, вартість сировини складала 75,4%, хімічних реактивів 10,4%, амортизація 6,9%, заробітна плата 4,0% і решта – всі інші статті витрат.

Як видно з результатів, представлених в таблиці 4, за поточним рівнем оптових цін на ресурси і сировину ріпаку, виробництво біодизелю в Країні 1 не є прибутковим без субсидій з боку державного бюджету (саме як і в усіх інших країнах-виробниках [1, 5, 10, 18]), навіть за умов реалізації супутніх продуктів виробництва. Так, для сценарію II розрахункова собівартість виробництва біодизелю в Країні 1 (без урахування вартості вироблених

супутніх продуктів) складає 1807 дол. США/тонну, у той час, як оптова ціна на нього – 1120 дол. США/тонну.

Розрахунки показують, що за даних вихідних умов точка безбитковості за зростанням оптової ціни реалізації біодизелю знаходиться для Країни 1 на рівні 1343 дол. США/тонну, а для Країни 2 – на рівні 2089 дол. США/тонну. Відповідна точка безбитковості за поточним рівнем оптових цін на ресурси і біодизель досягається для Країни 1 також за умов підвищення урожайності вирощування ріпаку до рівня 3,0 т/га (з урахуванням відповідного зниження оптової ціни на сировину ріпаку).

За аналогічним підходом, результати розрахунку економічної доцільності виробництва біодизелю в Країні 1 за сценарієм III з власної вирощеної сировини (сировини за собівартістю) і призначеного як для власних потреб, так і для реалізації в Країні 2, представлені в таблиці 5.

Таблиця 5. Економічні показники реалізації біодизелю, виробленого з власної сировини ріпаку

Питомі показники, дол. США/тонну	Ціна реалізації	
	Країна 1	Країна 2
Оптова ціна біодизелю	1120	1900
Обсяг виручки з реалізації біодизелю і супутніх товарів	1607	1900
Витрати на виробництво, транспортування та збут біодизелю і супутніх товарів	1585	1370
Прибуток (збиток) виробника	22	530

На відміну від попереднього сценарію, представлені в таблиці 5 результати свідчать про невеличку, але ж прибутковість виробництва біодизелю в Країні 1 за умов реалізації всіх супутніх продуктів виробництва. При цьому, розрахункова собівартість виробництва біодизелю (без урахування вартості вироблених сукупних продуктів) за Сценарієм III складає 1585 дол. США/тонну.

За результатами проведеного аналізу, з точки зору економічного розвитку сільгосп підприємств виробництво біодизелю для власних потреб слід визначити економічно доцільним, якщо при цьому ще й врахувати такий важливий фактор як виплата заробітної плати працівникам (створення додаткових робочих місць тощо) позитивним результатом діяльності

підприємства (за бухгалтерським звітом ця стаття включається до витрат на виробництво, транспортування та збут біодизелю і супутніх товарів). При цьому позитивний мультиплікативний ефект, який визначається заміщенням імпортного пального на екологічно чисте пальне власного виробництва, досягається і з точки зору енергетичної та екологічної безпеки держави.

Однак, до наведених у таблицях 3–5 результатах слід відноситися обережно, оскільки вони досягнуті за умов існуючої матеріально-технічної бази і на морально та технічно застарілому обладнанні, яке значною мірою відпрацювало свій термін служби, що створює великі ризики з точки зору економічної доцільності подальшого залучення зовнішніх інвестицій у виробництво біодизелю в Україні 1.

Розв'язання цього протиріччя слід шукати у сфері підвищення енергоекономічної ефективності виробництва шляхом запровадження енергозберігаючих інноваційних проєктів, які дозволяють підвищувати конкурентоздатність енергоємних технологій, розширюючи границі та посилюючи масштаби залучених інвестицій [2 – 4, 11, 19]. Можливості такого підходу покажемо на результатах техніко-економічного аналізу інвестиційних проєктів за сценаріями IV – XII.

У проведених розрахунках за сценарієм IV об'єм первинних інвестицій складав 400 тис. дол. США (посівний комплекс плюс комбайни), отриманих під 11% річних у валюти на термін 5 років, а сума щорічних виплат по кредиту – 108,2 тис. дол. США/рік. При цьому, урожайність ріпаку зростала до 3,0 т/га, а витрати первинного пального зменшилися на 20% у порівнянні з сценарієм I.

За сценаріями V і VI об'єми первинних інвестицій склали 168 тис. дол. США на кожний, отриманих під 11% річних у валюти на термін 5 років, а сума щорічних виплат по кожному кредиту – 45,5 тис. дол. США/рік. ККД установок по виробництву біодизелю зросли на 7%, а вихід біодизелю збільшився до 0,972 т/га у порівнянні з 0,727 т/га посівної площі за сценаріями II і III.

За сценарієм VII об'єм первинних інвестицій склав 920 тис. дол. США, отриманих під 11% річних у валюти на термін 5 років, а сума щорічних виплат по кредиту – 248,9 тис. дол. США/рік. Урожайність ріпаку зростала до 3,4 т/га, а витрати первинного пального зменшилися на 30% у порівнянні з сценарієм I.

За сценаріями VIII і IX об'єми первинних інвестицій склали 386,4 тис. дол. США на кожний, отриманих під 11% річних у валюти на термін 5 років, а сума щорічних виплат по кожному кредиту – 104,5 тис. дол. США/рік. У порівнянні з сценаріями II і III ККД установок по виробництву біодизелю зросли на 18%, а вихід біодизелю збільшився до 1,216 т/га посівної площі.

За сценарієм X у порівнянні з сценарієм VII змінилася процентна ставка кредиту на 4% річних у валюти. При цьому сума річних виплат по кредиту склала 206,7 тис. дол. США/рік. Аналогічно, за сценаріями XI і XII сума річних виплат по кожному з кредитів, отриманих під 4% річних у валюти на термін 5 років, склала 86,8 тис. дол. США/рік.

На рис.4 у графічній формі представлені результати порівняльного аналізу економічної ефективності розглянутих вище 12 сценаріїв

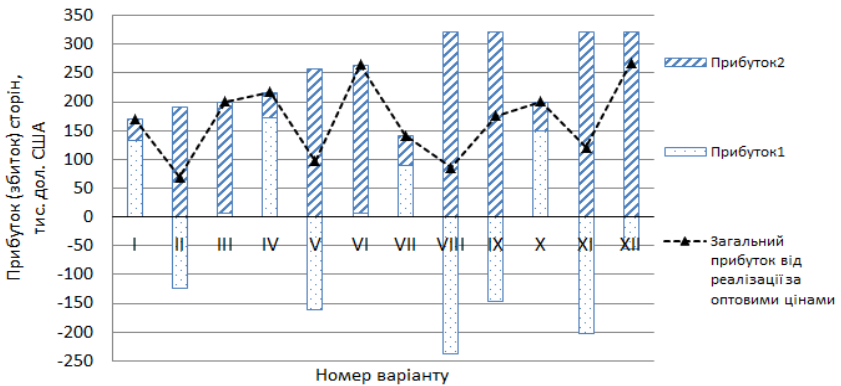


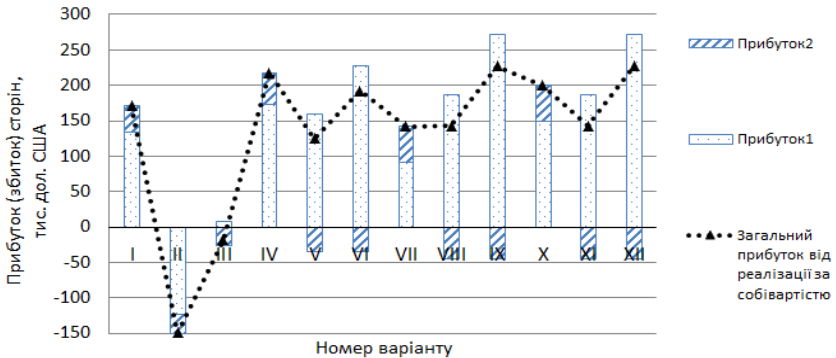
Рис. 4. Порівняльний аналіз економічної ефективності різних варіантів енергозберігаючих інноваційних проектів з вирощування ріпаку та виробництва біодизелю в Країні 1 в умовах реалізації виробленої продукції за оптовими цінами

біодизелю в Країні 1 в умовах реалізації виробленої продукції за оптовими цінами, де Прибуток 1 визначає частину загального прибутку, отриманого в Країні 1, а Прибуток 2 – частину загального прибутку, отриманого при подальшій реалізації виробленої продукції в Країні 2.

Як можна бачити, залучення інвестицій у звичайні проекти з виробництва біодизелю (без трансграничної взаємодії), за всіма розглянутими сценаріями є неприйнятним (див. негативні значення Прибутків 1 на рис.4).

В той же час, не зважаючи на збитки від виробництва біодизелю в Країні 1, реалізація механізмів трансграничної взаємодії у сфері запровадження енергозберігаючих інноваційних проектів за всіма розглянутими сценаріями дозволяє отримувати позитивний загальний прибуток від взаємодії ЕСКО, розташованих в різних країнах, і тим самим, суттєво розширювати границі та посилювати масштаби залучення інвестицій в такого роду проекти.

На відміну від рис.4, на рис.5 у графічній формі представлені



**Рис. 5. Порівняльний аналіз економічної ефективності різних варіантів енергозберігаючих інноваційних проектів з вирощування ріпаку та виробництва біодизелю в Країні 1 в умовах реалізації виробленої продукції за собівартістю**



результати порівняльного аналізу економічної ефективності розглянутих вище 12 сценаріїв енергозберігаючих інноваційних проектів з вирощування ріпаку та виробництва біодизелю в Країні 1 в умовах реалізації продукції за цінами, що визначаються собівартістю її виробництва.

Не складно помітити, що по відношенню до попередньо розглянутого сценарію трансграничної взаємодії ЕСКО за оптовими цінами, картина розподілу Прибутків 1 і 2 за сценарієм оцінки енергоекономічної ефективності інвестиційних проектів за собівартістю змінюється на протилежну.

Тут слід зазначити, що сценарій оцінки за собівартістю є більш реалістичним, оскільки за середньостроковий період повернення залучених кредитів (в нашому випадку це 5 років) різниця в цінах на вироблену продукцію в Країнах 1 і 2 буде поступово зменшуватися внаслідок посилення взаємодії. Особливо швидко цей процес протікатиме в умовах вступу до різного роду політичних і економічних міждержавних об'єднань, наприклад, до Європейського або Митного Союзу. При цьому, як показують наведені на рис.4 і 5 результати розрахунків, енергоекономічні вигоди (загальні прибутки) від трансграничної взаємодії зростають у міру укріплення відносин між ЕСКО, розташованими в країнах, що взаємодіють.

## **Висновки**

1. На прикладі системи вирощування насіння ріпаку та виробництва біодизелю на його основі у роботі демонструються нові можливості оригінального підходу до підвищення енергоекономічної ефективності складних енерготехнологічних систем, взаємодіючі підсистеми яких розташовані в різних трансграничних зонах (країнах тощо), які розрізняються рівнем економічного та технологічного розвитку, що дозволяє виявляти принципово нові можливості запровадження енергозберігаючих інноваційних проектів і таким чином підвищувати конкурентоздатність енергоємних технологій, розширюючи границі та посилюючи масштаби залучення інвестицій в енергозбереження.

2. Проведено комплексні багатоваріантні розрахунки енергоекономічної ефективності вирощування насіння ріпаку та виробництва біодизелю, які показують, що за умов трансграничної взаємодії досягається позитивний енергоекономічний баланс інтересів (прибутковість) кожної з сторін, навіть за умов можливої збитковості (негативності) окремих його складових. І це без урахування ефекту підвищення рівня енергетичної, економічної та екологічної безпеки держави, який визначається позитивним мультиплікативним ефектом від створення додаткових робочих місць та заміщення імпортного пального на екологічно чисте пальне власного виробництва.

3. З точки зору економічного розвитку сільгоспідприємств виробництво біодизелю для власних потреб слід признати економічно доцільним, якщо при цьому ще й врахувати такий важливий фактор як створення додаткових робочих місць та виплата заробітної плати цим працівникам (тощо) позитивним результатом діяльності підприємства.

4. Не зважаючи на те, що залучення інвестицій у звичайні проекти з виробництва біодизелю в Україні 1 (без трансграничної взаємодії) за всіма 12 розглянутими сценаріями є неприйнятним (збитковим), реалізація механізмів трансграничної взаємодії у сфері запровадження енергозберігаючих інноваційних проектів дозволяє отримувати позитивний загальний прибуток від взаємодії ЕСКО, розташованих в різних країнах, і тим самим розширювати границі та посилювати масштаби залучення інвестицій в такого роду проекти.

### **Список літератури**

1. Bioenergy & Biobased Opportunities in Ukraine / Tebodin Ukraine CFI: Report Number: 71834-B-R, 2013. – 80 p.

2. Комунальна теплоенергетика України: Стан, проблеми, шляхи модернізації: У 2-х томах / За ред. А.А. Долінського, Б.І. Баска, С.Т. Базєєва, І.А. Пироженко. – К.: Поліграф-Сервіс, 2007. – Т.1. – 394 с.

3. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації: У 2-х томах / За ред. А.А. Долінського, Б.І. Баска, Є.Т. Базєєва, І.А. Пироженко. – К.: Поліграф-Сервіс, 2007. – Т. 2. – 828 с.

4. Шевцов А.І., Бараннік В.О., Земляний М.Г., Рязова Т.В. Стан та перспективи реформування системи теплозабезпечення в Україні: Аналітична доповідь. – Дніпропетровськ: Регіональний філіал Національного інституту стратегічних досліджень, 2010. – 66 с.

5. Hill J., Nelson E., Tilman D., Polasky S., Tiffan D. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. – Proc. of National. Academy of Science the USA, 2006. – V.103, №30. – P. 11206-11210.

6. Білодід В.Д., Тарасенко П.В. Деякі розрахунки щодо енергетичної ефективності біопалив // Проблеми загальної енергетики. – 2008. – №18. – С. 32-39.

7. Dohy M., Poitrat E. Energy and GhG balances of biofuels and conventional fuels - Convergences and divergences of main studies. – Paris: ADEME / Ecobilan, 2006. – 18 p.

8. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Дроздова О.І. Енергетичний та екологічний аналіз технологій виробництва енергії з біомаси. – К.: Біоенергетична асоціація України, 2014. – 25 с.

9. Elsayed M.A., Matthews R., Mortimer N.D. Carbon and energy balances for a range of biofuels options. – Sheffield: Sheffield Hallam University, 2003. – 341 p.

10. Mortimer N.D., Cormack P., Elsayed M.A., Horne R.E. Evaluation of the comparative energy, global warming and socio-economic costs and benefits of biodiesel. – Sheffield: Sheffield Hallam University, 2003. – 132 p.

11. Переосмислення ступеня відповідальності перед майбутнім: Національна доповідь з питань реалізації державної політики у сфері енергоефективності за 2009 рік / М. Пашкевич, В. Григоровський, В. Гавриленко, Л. Гальперіна, Д. Гулевець [та ін.] – К.: НАЕР-НАУ, 2010. – 254 с.

12. *Nussbaumer Th., Oser M.* Evaluation of Biomass Combustion based Energy Systems by Cumulative Energy Demand and Energy Yield Coefficient. – Zurich: Verenum, Swiss Federal Office of Energy, 2004. – 47 p.

13. *Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies to 2050.* – Paris: International Energy Agency, 2010. – 458 p.

14. *Ковалко О.М., Новосельцев О.В., Євтухова Т.О.* Вступ до теорії енергоефективності багаторівневих систем: методи та моделі енергетичного менеджменту в системі житлово-комунального господарства – К.: НАН України, Інститут технічної теплофізики, 2014. – 252 с.

15. *Kovalko A.M., Evtukhova T.A., Novoseltsev A.V.* ESCOs and cross-border energy services: ideas for international cooperation / Proceedings of World Energy Engineering Congress, Washington, 25-27 Sept., 2013, Atlanta: AEE, Ch.75. – P. 1-9.

16. *Novoseltsev O., Kovalko O., Evtukhova T.* Cross-border cooperation of energy service companies as a factor enhancing energy and economic safety / In book: Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems – G. Pivnyak, O. Beshta, M. Alekseyev (eds), London: Taylor & Francis Group, CRC Press. – 2013. – P. 37-46.

17. *Oilseeds: World Markets and Trade / United States Department of Agriculture Report, World Agricultural Outlook Board/USDA, July 2014.* – 35 p.

18. *Agriculture, Bioenergy, and Food Policy in Ukraine – Analysis, Conclusions and Recommendations / Edited by Strubenhoff H., Movchan V., Burakovsky I.* – Kyiv: Institute for Economic Research and Policy Consulting, 2008. – 352 p.

19. *Політика України у сфері сільського господарства, біоенергетики та харчової промисловості — дослідження, висновки та рекомендації / За ред. Штрубенхоффа Х., Мовчан В., Бураковського І.* – К.: Інститут економічних досліджень та політичних консультацій, 2008. – 386 с.

## ЗМІСТ

<b>Науково-організаційна діяльність О.М. Ковалко</b>	5
<b>Передмова</b>	7
<b>Розділ 1. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БАГАТОРІВНЕВИХ СИСТЕМ: МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ</b>	
<b>Глава 1.1. Енергетичний менеджмент як інструмент підвищення ефективності управління складними багаторівневими системами</b>	13
1.1.1. Базові поняття та визначення проблеми організаційно-технологічного управління у системі ЖКГ	13
1.1.2. Методичні підходи до визначення показників енергетичної ефективності складних систем	20
1.1.3. Позичування показників енергоефективності у системі енергетичного менеджменту	28
1.1.4. Енергоефективність як фактор підвищення рівня енергетичної та екологічної безпеки держави	39
<b>Глава 1.2. Аналіз та структуризація теоретичних положень енергетичного менеджменту складних багаторівневих систем</b>	
1.2.1. Концептуальні засади енергоефективного функціонування та розвитку складних багаторівневих систем	51
1.2.2. Структурно-функціональні компоненти системи енергетичного менеджменту виробничого підприємства	62
1.2.3 Засади побудови багаторівневої загальнодержавної системи енергетичного менеджменту	71
1.2.4. Методичні основи заохочувального регулювання та економічного стимулювання підприємств і установ до енергозбереження	83
<b>Глава 1.3. Основоположні методи та механізми енергетичного менеджменту складних багаторівневих систем</b>	
1.3.1. Механізми заохочувального регулювання та економічного стимулювання підприємств і установ до енергозбереження	96
1.3.2. Введення до методології інтегрованого ресурсного планування	103
1.3.3. Концептуальні основи діяльності ЕСКО у системі енергетичного менеджменту	112
1.3.4. Особливості функціонування муніципальної системи енергетичного менеджменту в бюджетних установах	123
<b>Глава 1.4. Принципи побудови та структуризація елементів системи енергетичного менеджменту багаторівневих енерготехнологічних систем</b>	
1.4.1. Поле факторів системи енергетичного менеджменту	140

багаторівневих енерготехнологічних систем	
1.4.2. Методика структуризації причинно-наслідкових зв'язків у системах енергоменеджменту з багаторівневою ієрархічною структурою	150
1.4.3. Категорії та базові пріоритети урахування факторів впливу у системах енергоменеджменту з багаторівневою ієрархічною структурою	161
1.4.4. Структуризація системи глобальних факторів ефективності енерговикористання	173
1.4.5. Базові принципи координування взаємодії елементів системи з багаторівневою ієрархічною структурою	179
<b>Глава 1.5. Формалізація задач енергоменеджменту в межах загальної теорії управління багаторівневими системами</b>	
1.5.1. Структурно-функціональні особливості побудови ієрархічних багаторівневих систем управління	189
1.5.2. Основні етапи та процедури формалізації моделі системи екстремального управління	198
1.5.3. Формалізація задач енергоменеджменту у дворівневої системі підприємства – споживачі ЖК послуг	203
1.5.4. Формалізація задач енергоменеджменту у ЖКГ України на місцевому та державному рівнях	213
<b>Глава 1.6. Теоретичні основи координування взаємодії елементів багаторівневої системи енергетичного менеджменту</b>	
1.6.1. Введення до проблеми координування взаємодії елементів у багаторівневих системах	224
1.6.2. Формалізація моделі програмно-цільового координування елементів місцевої системи енергоменеджменту	235
1.6.3. Кластерний механізм координування взаємодії складних елементів організаційно-технологічних систем	241
1.6.4. Ефективність взаємодії на трансграничних ринках: принципи і модель порівняльної переваги	246
1.6.5. Урахування впливу цінового фактору у моделі порівняльної переваги	261
Список літератури	272
<b>Розділ 2. ВЕРТИКАЛЬНО-ІНТЕГРОВАНІ СТРУКТУРИ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО (ВІОТ) УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ (КТЕ)</b>	
<b>Глава 2.1. Оцінка стану та перспектив підвищення ефективності систем комунальної теплоенергетики в Україні</b>	
2.1.1. Аналіз поточного стану та перспектив розвитку систем комунальної теплоенергетики як складової енергетичної галузі	287
2.1.2. Проблемні питання та особливості ВІОТ управління	303

підвищенням ефективності функціонування систем КТЕ в Україні	
2.1.3. Засоби та механізми нормативно-правового забезпечення заохочувального регулювання та економічного стимулювання підприємств КТЕ до підвищення 3-Е ефективності	313
2.1.4. Концептуальні засади побудови моделі управління ефективністю функціонування систем КТЕ	325
<b>Глава 2.2.</b> Формалізація задачі багаторівневого ВІОТ управління ефективністю функціонування систем КТЕ	
2.2.1. Базові принципи формалізації задачі ВІОТ управління ефективністю функціонування систем КТЕ	340
2.2.2. Формалізація задачі управління підвищенням 3-Е ефективності на рівні підприємства КТЕ – споживачі ЖК послуг	349
2.2.3. Координація взаємодії елементів багаторівневої системи ВІОТ управління 3-Е ефективністю в КТЕ України	360
2.2.4. Ринкові моделі та механізми економічного стимулювання взаємодії елементів ієрархічної системи ВІОТ управління 3-Е ефективністю	370
2.2.5. Формалізація моделі програмно-цільової координації взаємодії елементів на рівні місцевої системи ВІОТ управління 3-Е ефективністю	385
<b>Глава 2.3.</b> Методологічні аспекти побудови багаторівневого ВІОТ управління підвищенням 3-Е ефективності систем КТЕ на місцевому рівні	
2.3.1. Принципи та напрями управління ефективністю функціонування систем КТЕ	398
2.3.2. Формалізація багаторівневої імітаційної моделі оптимального управління системами КТЕ за критеріями 3-Е ефективності	414
2.3.3. Метод та засіб оптимального управління системою КТЕ за критерієм максимізації прибутку	438
2.3.4. Метод та засіб оптимального управління системою КТЕ за критеріями мінімізації витрат ПЕР та викидів CO <sub>2</sub>	450
<b>Глава 2.4.</b> Методи та програмні засоби багаторівневого управління підвищенням 3-Е ефективності систем централізованого теплозабезпечення споживачів	465
2.4.1. Загальні питання управління підвищенням 3-Е ефективності систем помірно-центрального теплопостачання	465
2.4.2. Метод та засіб мінімізації витрат і витрат теплової енергії на опалення і гаряче водопостачання житлових і громадських будинків	474
2.4.3. Метод та засіб реалізації потенціалу енергозбереження в розподільних теплових мережах системи централізованого теплопостачання	492
2.4.4. Метод та засіб управління підвищенням 3-Е ефективності виробництва теплової енергії в системі централізованого	513

теплопостачання	
Список літератури	534
<b>Розділ 3. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЕНЕРГОСЕРВІСУ ТА ЕНЕРГОСЕРВІСНИХ ПОСЛУГ, РИНКИ ТРАНСГРАНИЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ</b>	
<b>Глава 3.1.</b> Енергосервісні послуги: методологія покращення результатів	554
3.1.1. Складові енергосервісних послуг, ринки та енергосервісні компанії	554
3.1.2. Класифікація енергосервісних послуг, особливості їх надання та взаємодії учасників	563
3.1.3 Структурно-функціональні особливості ринків енергосервісних послуг та концептуальна модель їх організації	567
Список літератури	572
<b>Глава 3.2.</b> Віртуальна організація сервіс-орієнтованого енергоменеджменту	575
3.2.1. Специфіка діяльності віртуальних організацій та енергетичний менеджмент як їх базовий інструмент	575
3.2.2. Енергосервісні компанії, віртуальна координація та балансування на ринку послуг	580
3.2.3. Фінансування проектів енергоменеджменту та механізм транскордонного співробітництва	585
Список літератури	590
<b>Глава 3.3.</b> Ринок енергосервісних послуг: концептуальна основа та механізми формування	594
3.3.1. Сучасні тенденції розвитку ринків енергосервісних послуг	594
3.3.2. Основні напрямки низьковуглецевого розвитку національних економік	596
3.3.3. Обґрунтування теоретичних положень ринків енергосервісу	598
Список літератури	607
<b>Глава 3.4.</b> Орієнтований на результат механізм підтримки низьковуглецевої трансформації ринків енергосервісних послуг	610
3.4.1. Елементи структурної трансформації ринків	610
3.4.2. Енергетичні послуги, енергосервісні компанії, оцінка розмірів ринків енергосервісу	613
3.4.3. Побудова циклу неперервного покращення результатів енергосервісу	617
3.4.4. Концептуальні положення та специфіка енергосервісних ринків у країнах, що розвиваються	621
Список літератури	623
<b>Глава 3.5.</b> Енергетичні послуги як бізнес: логіка підтримки низько вуглецевої трансформації економіки	629
3.5.1. Бізнес логіка еко-трансформації	629



3.5.2. Базові компоненти сервіс-орієнтованого бізнесу	636
3.5.3. Властивості енергосервісного бізнесу	639
3.5.4. Математична модель та інженерні розрахунки	647
Список літератури	652
<b>Глава 3.6.</b> Орієнтована на результат система управління інвестиціями у цільові програми з енергоефективності	659
3.6.1. Моделі і механізми реалізації інвестиційних проектів з енергоефективності	659
3.6.2. Економіко-математична модель управління інвестиційними ресурсами	661
3.6.3. Оцінка результатів впровадження пропонованої методології	669
Список літератури	673
<b>Глава 3.7.</b> Транскордонне співробітництво енергосервісних компаній як фактор підвищення енергетичної та економічної безпеки	675
3.7.1. Основні фактори та напрями покращення енергоекономічної безпеки	675
3.7.2. Енергосервісні компанії та модель енергетичного перфоманс-контракту	681
3.7.3. Економічна модель порівняльного аналізу	684
Список літератури	690
<b>Глава 3.8.</b> Енергоекономічна оцінка сценаріїв трансграничної взаємодії енергосервісних компаній на ринках ріпаку та біодизелю	692
3.8.1. Енергоекономічний аналіз ринків ріпаку та біодизелю	692
3.8.2. Аналіз сценаріїв взаємодії ЕСКО з іншими учасниками виробництва біодизелю, розташованими в різних економічних зонах	694
3.8.3. Розрахунок техніко-економічних показників вирощування ріпаку та виробництва біодизелю	699
Список літератури	706

Наукове видання

Національна академія наук України  
Інститут загальної енергетики

**КОВАЛКО Олександр Михайлович**  
**КОВАЛКО Наталія Миколаївна**  
**ЄВТУХОВА Тетяна Олександрівна**  
**НОВОСЕЛЬЦЕВ Олександр Вікторович**

**КОМУНАЛЬНА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА:  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ,  
СТРУКТУРА УПРАВЛІННЯ,  
ЕНЕРГОСЕРВІСНІ ПОСЛУГИ**

Редактор Л.В. Чуприна  
Комп'ютерна верстка Л.П. Ходаківської

Підп. до друку 15.06.2023. Формат 60x80/16. Офс. друк.  
Папір офс. № 1. Гарн. Таймс. Ум. друк. арк. 45,5  
Обл.-вид. арк 44,9. Тираж 100 прим.  
Віддруковано у друкарні ТОВ «Наш формат»,  
м. Київ, пр-т Миру, 7, оф. 45.



