

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ

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

**ВЕРТИКАЛЬНО-ІНТЕГРОВАНІ СТРУКТУРИ
УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ
ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ
КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ**

Київ
2017

УДК 621.311:697.34
ББК 65.5:31

Рекомендовано до друку вченою радою
Інституту технічної теплофізики НАН України
(протокол № 15 від 15.12.2016 р.)

Р е ц е н з е н т и: Дубовський С.В., докт. техн. наук, с.н.с.
Нікітін Є.Є., докт. техн. наук, с.н.с.

А в т о р и: Ковалко О.М., Новосельцев О.В., Євтухова Т.О.

Вертикально-інтегровані структури управління ефективністю функціонування систем комунальної теплоенергетики / монографія – К.: Інститут технічної теплофізики НАН України, 2017. – 258 с.

ISBN 978-966-02-8159-2

У монографії розглянуто теоретичні та практичні питання підвищення ефективності функціонування систем комунальної теплоенергетики (КТЕ). Представлено результати розробки та застосування методів вертикально-інтегрованого організаційно-технологічного (BIOT) управління регіональними (місцевими) системами КТЕ, які базуються на системному поєднанні теоретико-множинного підходу, теорії ієрархічних багаторівневих систем та узгодженої оптимізації структури і параметрів управління технологічними підсистемами виробництва, транспортування і використання теплоти за критеріями енергетичної, економічної та екологічної ефективності. Розглянуто принципи побудови імітаційної моделі BIOT управління, реалізація якої охоплює моделі підпорядкованих їй підсистем, до яких входять вугільні котельні, котельні на природному газі, електричні котельні та когенераційні установки на природному газі та біодизельному пальному. Наведено результати оптимізації структури та параметрів розглянутої місцевої системи КТЕ, які підтверджують можливості суттєвого зменшення втрат паливно-енергетичних ресурсів, зменшення обсягів викидів CO₂ та збільшення прибутку господарюючих суб'єктів за рахунок оптимального BIOT управління.

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

ISBN 978-966-02-8159-2

© О.М. Ковалко
О.В. Новосельцев
Т.О. Євтухова, 2017

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЕС	– атомна електростанція
З-Е	– енергетика, економіка, екологія
ВІОТ	– вертикально-інтегроване організаційно-технологічне
ВВП	– валовий внутрішній продукт
ДТО	– дисконтований термін окупності
ЕЗЗ	– енергозберігаючий захід (проект)
ЕСКО	– енергосервісна компанія
ЖКГ	– житлово-комунальне господарство
ККД	– коефіцієнт корисної дії
КТЕ	– комунальна теплоенергетика
МЕА	– Міжнародна енергетична агенція
НВДЕ	– нетрадиційні та відновлювані джерела енергії
ОПР	– особа, яка приймає рішення
ПЕК	– паливно-енергетичний комплекс
ПЕР	– паливно-енергетичні ресурси
СП-ЦТ	– система помірно-централізованого тепlopостачання
СЦТ	– система централізованого тепlopостачання
ТЕС	– теплова електростанція
ТЕЦ	– теплоелектроцентрально
ЦПЕ	– центр промислового енергоаудиту

ПЕРЕДМОВА

У монографії розглядаються теоретичні та практичні аспекти загального підходу до підвищення ефективності функціонування складних енергетичних та енерготехнологічних систем, що базується на застосуванні вертикально-інтегрованого організаційно-технологічного управління (ВІОТ управління) цими системами.

Вертикальна інтеграція у цій роботі розглядається як процес системного охоплення управляючими структурами кожного з господарюючих суб'єктів складної системи КТЕ, які виконують окремі технологічні операції з виробництва кінцевих продуктів системи, з подальшим поєднанням цих управляючих структур під загальносистемним управлінням структурою більш високого рівня. Розглядаються також три “верхніх”, ієрархічно структурованих рівня, що й обумовлює необхідність залучення до аналізу такого роду систем теорії багаторівневого управління.

Під організаційно-технологічним управлінням будемо розуміти багатофункціональну систему, яка поєднує елементи організаційно-адміністративного, нормативно-правового, техніко-технологічного та техніко-економічного управління матеріально-технічними, паливно-енергетичними і фінансово-економічними ресурсами суб'єктів господарювання, спрямовану на підвищення ефективності функціонування та забезпечення умов її сталого розвитку.

Як ключова задача багаторівневого організаційно-технологічного управління вирішується задача вибору оптимального ступеня організаційно-функціональної самостійності елементів (об'єктів, суб'єктів господарювання) системи в межах внутрішньосистемних обмежень, що регулюються вище розташованими суб'єктами (об'єктами), де як критерії оптимальності слугують показники економічної, енергетичної, екологічної (З-Е) ефективності функціонування цих суб'єктів (об'єктів). Насамперед, це такі показники, як прибуток, рентабельність виробництва, ККД, рівень викидів забруднюючих речовин тощо.

Як енерготехнологічний об'єкт управління розглядається система комунальної теплоенергетики (КТЕ), яка є однією з визначальних складових паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) країни, що поєднує в собі підприємства централізованого теплопостачання, об'єднані в регіональні (обласні, районні, міські тощо) підсистеми, діяльність яких регулюється державними органами на національному та місцевому (регіональному) рівнях.

Ситуація з енергозбереженням та ефективністю використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), що склалася на сьогодні у системі КТЕ в Україні, на всіх рівнях державного управління визнана проблемно-критичною, такою, що створює загрозу енергетичній безпеці країни і потребує негайного розв'язання, а існуюча система управління енергоефективністю, яка саме і покликана розв'язати цю проблему, застарілою і неієднаною.

Сучасний підхід до вирішення проблем підвищення ефективності використання ПЕР в енергетичних та енерготехнологічних системах, який на сьогодні набув статусу визначального чинника розвитку світової економіки, базується на системі критеріїв сталого розвитку, що забезпечують рівновагу між енергетичною, економічною та екологічною складовими функціонування такого роду систем.

Запровадження цього підходу на рівні місцевих (регіональних) систем КТЕ не є простим, бо з точки зору теорії та практики управління системи КТЕ є багаторівневими, ієрархічно упорядкованими організаційно-технологічними системами, структура яких визначається підсистемами адміністративного керування, нормативно-правового регулювання та організаційного управління технологічними підсистемами виробництва, транспортування і використання теплоти.

Етапи розв'язання задачі ВІОТ управління шляхом підвищення ефективності функціонування систем комунальної теплоенергетики представимо в такій послідовності.

У першому розділі проведено порівняльний аналіз поточного стану ефективності використання ПЕР в Україні та ряді зарубіжних країн. Ситуацію, в якій перебуває КТЕ України, класифіковано як проблемно-кризову, таку, що посилюється вкрай загостреними протиріччями у соціально-економічній сфері та яка є прямою загрозою для існування і нормального функціонування галузі теп-

лопостачання. Проведено системний аналіз 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 КТЕ – обласних, районних, міських і т.п. Показано, що розв'язання проблеми потребує залучення формалізованих методів багаторівневого ВІОТ управління, які дають змогу системно поєднати означені аспекти виробництва, транспортування і використання теплоти, тим самим забезпечуючи отримання максимального ефекту при мінімальних витратах.

У другому розділі 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. Процедuru пошуку оптимального рішення 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), у межах яких останні мають свободу вибору власних рішень, що реалізовано за методом математичного програмування з варійованими лінійними обмеженнями.

У третьому розділі представлено результати формалізації методу чисельного дослідження ефективності функціонування систем КТЕ на місцевому (регіональному) рівні та його реалізації у вигляді пакета прикладних програм імітаційного моделювання, що

складається з таких 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 багатопверхових будинків; техніко-економічної оцінки привабливості залучення інвестицій у 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 та біодизельному пальному.

У четвертому розділі 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 цілому представлені в монографії результати вдосконалення і подальшого розвитку методів та засобів багаторівневого ВІОТ управління місцевими (регіональними) системами КТЕ вирішують проблеми підвищення ефективності функціонування цих систем за рахунок узгодженої оптимізації структури і параметрів технологічних підсистем виробництва, транспортування і використання теплоти за критеріями енергетичної, економічної та екологічної ефективності.

Автори монографії висловлюють щиру вдячність науковим рецензентам Дубовському Сергію Васильовичу та Нікітіну Євгенію Євгеновичу, чий зауваження і поради посприяли покращенню змісту публікації.

ВСТУП

У сучасних умовах глобалізації енергетичних ринків проблема підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, 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 КТЕ обумовлена негативними наслідками нераціонального 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, спричиненої 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].

Враховуючи актуальність, складність і комплексність проблеми, системним питанням підвищення ефективності використання ПЕР в КТЕ присвячено 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, Л.І. Абалкін, А.Г. Аганбегян, В.М. Аньшін, К.А. Багриновський, Е.М. Блех, В.Ю. Будавей, В.В. Бузирьов, А.А. Збріцький, А.Ю. Єгоров, В.Б. Зотов, Т.А. Івчик, Л.Е. Лимонов, Г.С. Поспелов, С.Л. Прузер, Б.А. Райзберг, В.А. Спектор, В.С. Чекалін, Г. Аарон, В. Гамільтон, Д. Кейнс, Г. Кассель, Д. Робертсон, Р. Страйк, Р. Харрод, Е. Хансен та інші. Проте 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 спроможні 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 у господарській діяльності присвячено значну кількість наукових публікацій (див., насамперед, [16–25]), де поряд з позитивними наслідками інтеграції відмічається необхідність ретельного обґрунтування доцільності застосування ВІОТ структур у кожному окремому випадку.

Серед позитивних рис вертикального інтегрування у 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 дає змогу більш високими темпами освоювати нові технології, підвищувати прибутковість підприємств та залучати стратегічних інвесторів до реалізації проектів їх розвитку.

У 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 поєднані в єдиний нерозривний ланцюг. При цьому поєднання сприяє підвищенню рівня спеціалізації і продуктивності та прибутку від господарської діяльності, оперативності й ефективності організаційно-технологічного управління.

Під системою комунальної теплоенергетики розглядається система тепlopостачання, насамперед, централізованого, 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 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 належить 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 самокупності, 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 та суб’єкти господарювання мали б 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 тепlopостачання” [11], має розглядатися Антимонопольним комітетом України під кутом зору запобігання

антиконкурентним узгодженим діям та зловживанню монопольним (домінуючим) становищем на ринку, де під узгодженими діями розуміють укладення суб'єктами господарювання угод та 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 невідгдане становище в конкуренції.

Одночасно узгоджені дії можуть бути дозволені Антимонопольним комітетом, якщо їх учасники доведуть, що ці дії сприяють вдосконаленню виробництва, придбання 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.

У цьому випадку 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 відносно організації-технологічної самостійності та спрямованості на узгоджену максимізацію консолідованого прибутку (мінімізацію середньозваженого тарифу на теплову енергію і т.п.), 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 такими 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.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

1.1. Аналіз поточного стану та перспектив розвитку систем комунальної теплоенергетики як складової енергетичної галузі

Аналіз багатьох публікацій з дослідження питань підвищення ефективності використання паливно-енергетичних та природних ресурсів у економіці різних країн світу показує, що Україна займає одну з лідируючих позицій у переліку найзатратніших 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. 1.1 представлено результати порівняльного аналізу змін за роками середньостатистичних значень енергоемності валового внутрішнього продукту (ВВП) України та країн Євросоюзу.

Показники енергоемності ВВП, представлені на рис. 1.1, виміряно за паритетом купівельної спроможності (ПКС, Purchasing Power Parity), 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 [38, 39].

Побудовані на рис. 1.1 за експоненціальним законом лінії трендів з наведеними рівняннями та величинами достовірності апроксимації показують, що за наявними в країнах, які порівнюються, темпами зменшення енергоемності, Україна в змозі досягти показники Євросоюзу десь на межі 50-х років 21 століття. При цьому

ситуація з ефективністю використання ПЕР у системі теплопостачання населення та господарюючих суб'єктів в Україні є ще гіршою, ніж в економіці країни у цілому [5, 9, 29, 40–43]. Розглянемо цю ситуацію більш детально.

За своїми розмірами та складністю система теплопостачання 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 близько 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 котелень в Україні на кінець 2013 року (міські поселення та сільська місцевість) склала 114,0 тис. Гкал/год, у 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 котелень, відпущено 89,1 млн. Гкал теплової енергії. Втрати теплової енергії за рік склали 13,2 млн. Гкал, а фактичні витрати умовного палива – 15,01 млн. т.

На рис. 1.2 відображена за роками динаміка змін кількості опалювальних котелень у міських поселеннях і сільській місцевості в Україні за видами використаного первинного палива (ліва вісь ординат) та сумарної потужності (права вісь ординат) цих котелень. Видно, що сумарна потужність котелень неухильно зменшується за роками, що пояснюється головним чином відмовою частини споживачів від послуг централізованого теплопостачання.

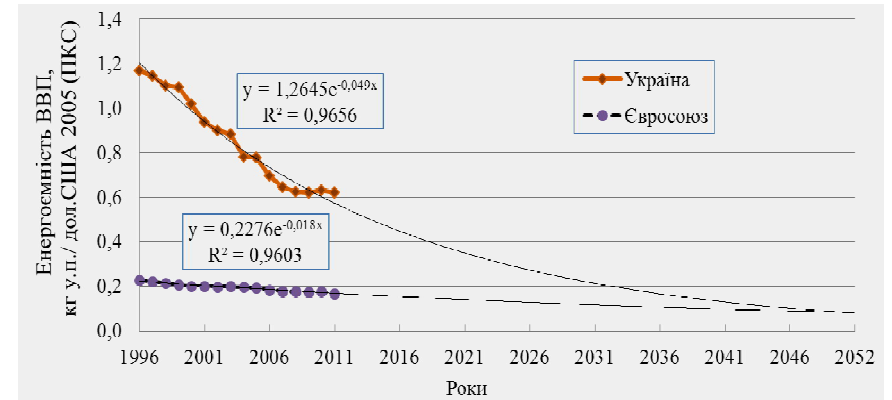


Рис. 1.1. Тенденції зміни енергоємностей ВВП України та Євросоюзу за роками. Джерело інформації: www.yearbook.enerdata.net, власні розрахунки

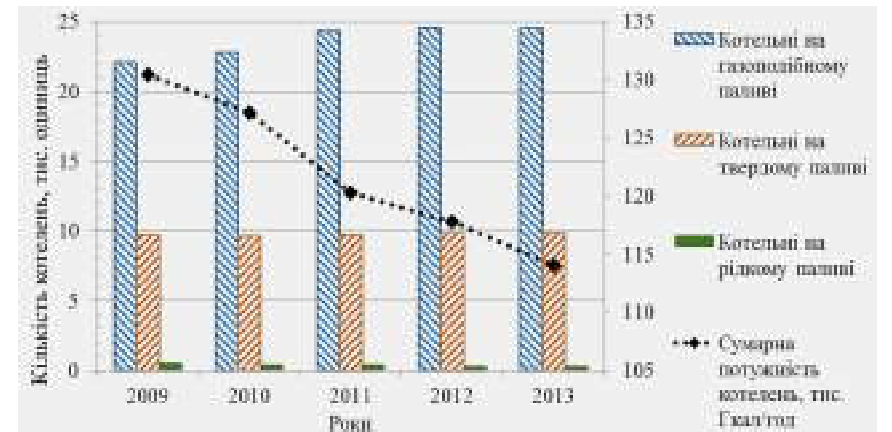


Рис. 1.2. Зміни кількості опалювальних котелень та їх сумарної потужності за 2009 – 2013 роки. Джерело інформації: <http://ukrstat.gov.ua/>

На рис 1.3. відображена за роками динаміка змін обсягів виробленої і відпущеної теплової енергії (права вісь ординат) та її витрат на власні потреби і витрат при виробництві й транспортуванні в міських поселеннях і сільській місцевості в Україні (ліва вісь ординат).

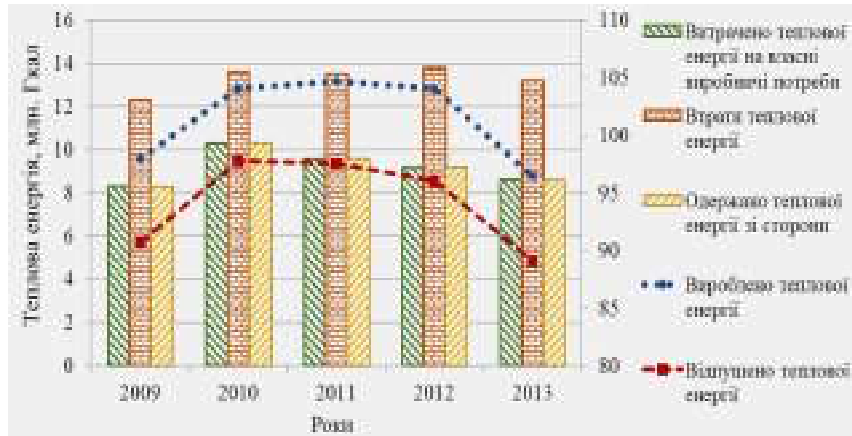


Рис. 1.3. Зміни показників роботи опалювальних котелень за 2009 – 2013 роки (міські поселення та сільська місцевість).
Джерело інформації: <http://ukrstat.gov.ua/>

Основну увагу приділено системам централізованого і по-мірно-централізованого теплопостачання, які надають комунальні послуги з опалення і гарячого водопостачання, насамперед, населенню та на комунально-побутові потреби. За даними 2013 року в Україні функціонують 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 водопостачанням – понад 40 % загальної площі житлового фонду країни. До складу КТЕ (з повною чи відокремленою частиною комунальної власності) входять: вісім ТЕЦ, понад 11 тис. опалювальних котелень, 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 системами централізованого теплопостачання (СЦТ) у цілому по країні становить 141,7 кг у.п. /МВт·год. (164,8 кг у.п./Гкал), у 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 сягає 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 наразі платоспроможності більшості верств населення країни, що обумовлює необхідність надання субсидій як споживачам, так і виробникам енергії й 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 розв'язання наукових і практичних задач підвищення ефективності функціонування і управління місцевими (регіональними) системами КТЕ як складними енергетичними системами, розробки методів їх дослідження, включаючи тепло- і електроенергетичні підсистеми, з урахуванням організаційних, техніко-економічних, екологічних, технічних і технологічних аспектів виробництва, тран-

спортування і використання теплоти та електричної енергії, спрямованих на підвищення енергоефективності та енергозбереження.

З точки зору управління виходом з кризи ситуація, що склалася, визначається такими основними факторами [36, 37, 43]: несприятливою державною політикою в галузі, відсутністю на державному і місцевому рівнях дієспроможності стратегії виходу з кризи; падінням рівня життя, низьким рівнем доходів більшої частини населення; зниженням попиту на продукцію підприємств СЦТ та одночасним зростанням попиту на продукцію підприємств-конкурентів; підвищенням цін на сировину і технічне оснащення; інноваційними розробками підприємств-конкурентів; старінням і погіршенням технічної бази підприємств СЦТ: знос, моральне старіння, використання технологій, що призводять до надмірних втрат і зниження якості продукції; недостатньою організацією управлінської структури; відсутністю програм з мінімізації втрат та виходу з кризи, що охоплюють питання використання більш дешевих енергетичних, матеріальних і сировинних ресурсів, впровадження ресурсозберігаючих технологій і т.п.

В Україні прийнято низку законодавчо-нормативних актів, урядових програм і планів, у тому числі закони України “Про тепlopостачання”, “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 як фінансово-економічні інструменти прямої дії, а логіка – ринок у всьому розбереться – не спрацьовує. При цьому заходи з підвищення 3-Е ефективності на місцевому рівні фактично вважаються витратними, а не такими, що стимулюють розвиток економіки регіону і дають змогу одержувати додаткові вигоди і прибуток.

3. Не розвинуто інфраструктуру ринків, спрямованих на підвищення 3-Е ефективності, що починається з діяльності спеціалізованих у першу чергу енергосервісних компаній, не створено передумов для розвитку приватного бізнесу в 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 тепlopостачання в Україні присвячено багато наукових праць, серед яких у першу чергу варто згадати 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 тепlopостачання [36, 47]. Спостерігається 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, серед відомих систем теплозабезпечення найменш шкідливий вплив на довкілля та здоров'я людини.

В аналітичних матеріалах [5, 30] досить повно проаналізовано стан та перспективи використання СЦТ в ряді розвинених країн світу. Наведено, що наприкінці 20-го 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 та інших, де кліматичні умови близькі до українських. При цьому зазначено, що автономні та децентралізовані системи теплозабезпечення – це системи, які працюють переважно на природному газі чи електроенергії. Отже, навіть у разі їх 100 % -вого застосування не вдасться заощадити більше ніж 3-5 % природного газу, що використовується в системі теплозабезпечення країни. Слід також взяти до уваги, що можливості розподільних газотранспортних та електричних мереж у містах не розраховані на покриття теплових навантажень і тому потребують модернізації, вартість якої буде не набагато меншою від модернізації теплових мереж.

Разом з тим можливості економії природного газу в СЦТ набагато ширші. Тому в згаданих зарубіжних країнах за останні десятиліття інтенсивно споруджуються і експлуатуються такі системи. Позитивний ефект досягається шляхом реструктуризації і приватизації підприємств КТЕ, монополізації та 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 і вторинних енергетичних ресурсів у когенераційних установках, що стає технічно можливим і економічно виправданим тільки у великих енергетичних системах. Окрім цього до переліку основних технологій стало розвинуто систем КТЕ мають входити сонячні колектори і вітроустановки, теплові насоси і термотрансформатори, інші нетрадиційні й відновлювані джерела енергії.

Серед об'єктивних передумов активного впровадження автономних (децентралізованих) систем теплопостачання слід відзначити такі: відсутність у ряді випадків вільних потужностей на централізованих джерелах та/або недостатня розвиненість інженер-

ної 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 зазначити, 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 з урахуванням пропускної спроможності 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: 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 повірки лічильника газу тощо, а також приєднання до газових мереж; не враховується реальна вартість модернізації газових розподільних мереж, пропускна 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 (внутрішньо-будинкового) та децентралізованого (потужність джерел від 1 до 3 Гкал / год) тепlopостачання в містах має складати до 10...15 % від ринку теплової енергії. Системи, оснащені сучасними котлами з коефіцієнтом корисної дії 92...95 %, з точки зору споживання природного газу є більш економічні, ніж з централізованими системами 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/м² і варіюється від 145 до 327 кВт·год/м² залежно від типу будівлі та кліматичної зони, в якій будівля розташована. У той же час, за даними ЄБРР, у Норвегії питоме енергоспоживання домашніх господарств поблизу м. Осло в середньому складає 140...170 кВт·год/м². У Болгарії, клімат якої відповідає 3–4 кліматичній зоні України, енергоспоживання житловим сектором у середньому складає 100...130 кВт·год/м².

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 CO₂, ресурсозбереження, зменшення питомого споживання природних ресурсів на одиницю виробленої продукції тощо.

1.2. Проблемні питання та особливості ВІОТ управління підвищенням ефективності функціонування систем КТЕ в Україні

Незважаючи на велику кількість фундаментальних публікацій, присвячених проблемам підвищення 3-Е 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, R.E. Kalman, R. Bellman, E.B. Lee, R. Tomovich, A.P. Sage та 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 Ψ 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 за відхиленням (розузгодженням).

На жаль, розв'язати 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 відіграють 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 у 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 молодю, що почала активно розвиватися у 60-х роках минулого століття з появою потужної обчислювальної техніки зусиллями таких вчених: А.Г. Аганбегян, В.Н. Бурков, В.А. Волконський, Ю.М. Ермольєв, О.Г. Івахненко, В.С. Михалевич, М.М. Моїсєєв, Г.С. Поспєлов, Ю.М. Фаткін, Н.З. Шор, М.А. Adelman, К.І. Arrow, R. Bellman, W.E. Miller, D. Macko, M.D. Mesarovich, J.D. Pearson, Y. Takahara та ін.

На даний час достатньо розвинуто теорію одно- та багатопільових рішень в однорівневих системах. Наукових робіт, присвячених математичним аспектам теорії багаторівневих ієрархічних систем, значно менше. Серед останніх у першу чергу необхідно відзначити 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 цій 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 цей 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 зрештою – ВІОТ управління 3-Е ефективніс-

тю у системі КТЕ України є складною ієрархічно побудованою системою, організаційно-технічні заходи з управління в якій здійснюються на різних рівнях ієрархії. Тобто до основної мети управління, яка полягає в 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 таким 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). У 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 дає змогу ефективно і головне прозоро застосовувати методи математичного програмування.

На другому етапі розв'язання задачі екстремального управління можливо приступати до варіювання технологічних параметрів об'єкта управління. Задля вирішення цієї задачі потрібно залучення методів планування оптимального експерименту [58], оскільки зміна технологічних параметрів об'єкта управління, як правило, пов'язана з впровадженням нових енергоефективних та екологічно ощадливих технологій і обладнання. При цьому діапазони варіювання параметрів об'єкта управління доцільно розбивати на низку

піддіапазонів, де технологічні параметри об'єкта 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 цьому випадку реалізація розглянутого алгоритму розв'язання задачі екстремального управління шляхом її декомпозиції на ряд більш простих потребує проведення додаткових процедур кусково-лінійної апроксимації технологічних параметрів і параметрів управління.

Узагальнена структурно-функціональна схема системи ВІОТ управління 3-Е ефективністю в КТЕ України показана на рис. 1.4, з якого видно, що ієрархія системи складається з чотирьох рівнів (підсистем) управління, позначених нижніми індексами відповідно: загальнодержавного – D ; регіонального (обласного, районного, міського, селищного тощо) – M ; господарюючих суб'єктів системи КТЕ (підприємств) – H ; 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. 1.4, визначаються канали збурень Ψ оточуючого середовища, вхідного X , вихідного Y та регулюючого U впливів, прямих D та зворотних B зв'язків (останні позначено 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 дає змогу послідовно (зверху-вниз та знизу-вверх) проводити коригування їх діяльності та підвищувати ефективність системи управління за результатами контролю досягнутого рівня 3-Е ефективності на всіх рівнях ієрархії системи, включаючи і споживання житлово-комунальних послуг з опалення та гарячого водопостачання. Це є принциповим у ринкових умовах функціонування системи.

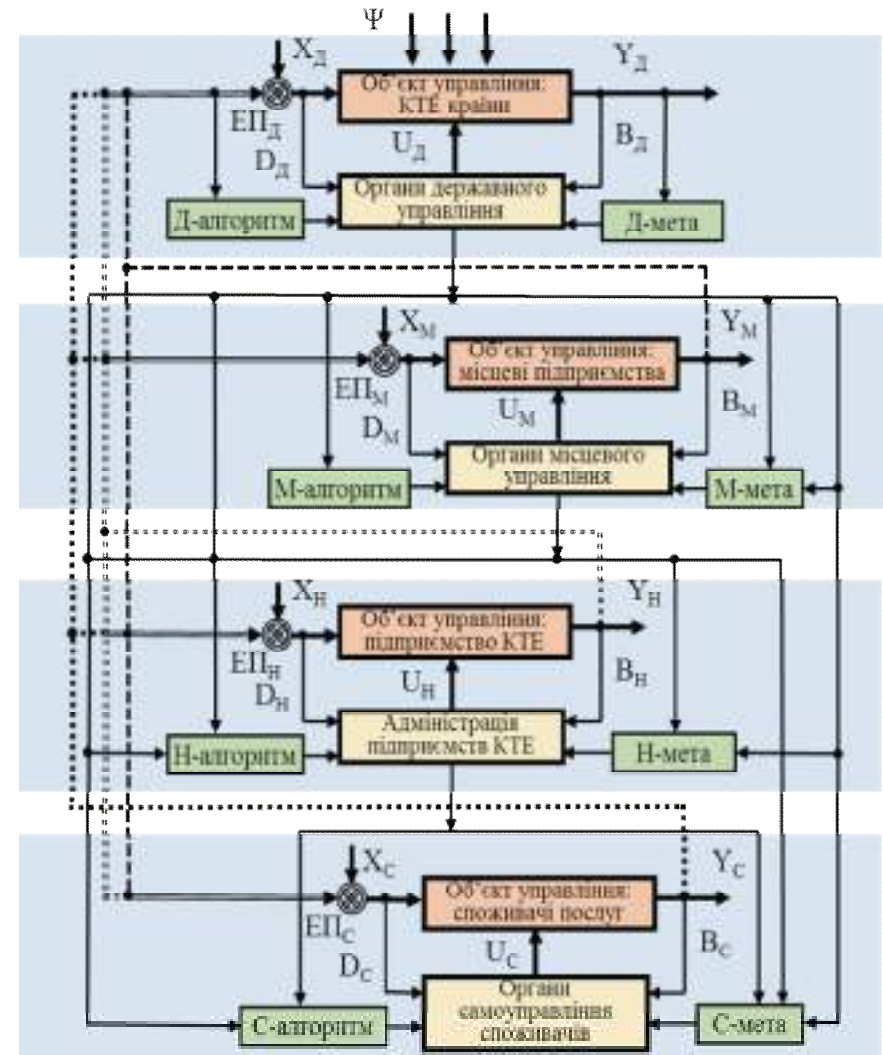


Рис. 1.4. Структурно-функціональна схема системи ВІОТ управління

Деталізовану на рівні підсистеми господарюючих суб'єктів (підприємств) частину структурно-функціональної схеми системи управління 3-Е ефективністю у КТЕ України представлено на рис. 1.5 [3].

Видно, що об'єкт управління підсистеми (господарюючий суб'єкт ЖКГ) під дією управляючих впливів U_Q , U_P і U_E споживає енергетичні та екологічні ресурси в обсязі X_{QR} і X_{QE} відповідно та виробляє обсяги Y_{QQ} житлово-комунальних послуг з опалення і гарячого водопостачання, за надання яких отримує кошти в обсязі X_{PQ} , частину Y_{PR} з них 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. 1.5 представлено чотирма колами зворотного зв'язку 33, позначеними 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 і елементи підсистеми.

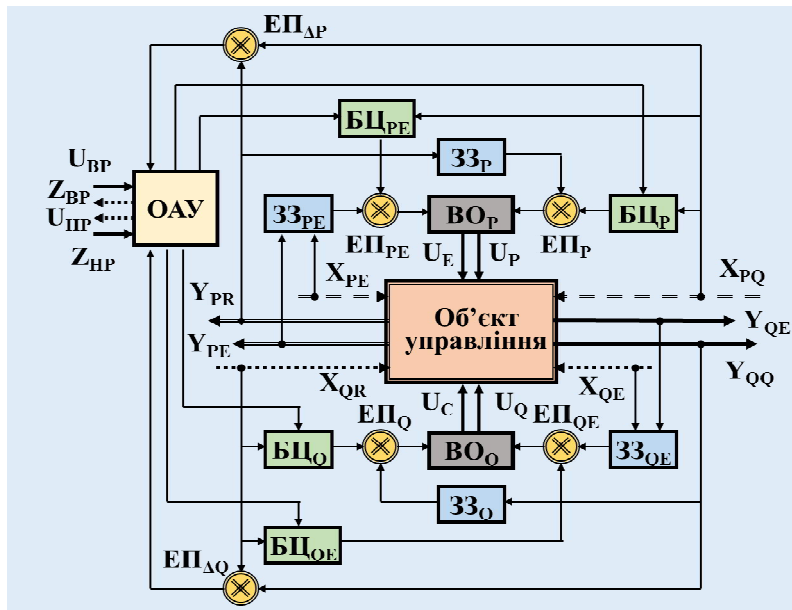


Рис. 1.5. Структурно-функціональна схема системи ВІОТ управління 3-Е ефективністю на рівні господарюючих суб'єктів

Принциповою відмінністю розглянутого механізму управління від відомих систем автоматичного регулювання за відхиленням 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 (позначені відповідними зворотним зв'язкам індексами); (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 такому механізмі пропонується розглядати п'ять різновидів стратифікаційних підсистем управління: адміністративно-організаційна, технологічна, економічна, екологічна та соціальна, які на рис. 1.5 представлено 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 і розглядати аналогічні елементи (блоки) та управляючі і зворотні зв'язки. За тим же принципом потрібно деталізувати і блоки інших ієрархічних рівнів управління, представлені на рис. 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 є багатопараметричним об'єктом типу “дуже складний ящик” з багатьма локальними екстремальними характеристиками. Значення показників ефективності та якості їх 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 математи-

чного моделювання таких систем стає нераціональним через складність та надмірні розміри об'єкта моделювання (через “прокляття розмірності”).

Пропонується наступний алгоритм ВІОТ управління 3-Е ефективністю функціонування КТЕ, що складається з поетапного проведення таких процедур:

а) верифікації (перевірки істинності, встановлення достовірності) параметрів управління за результатами натурного експерименту поведінки системи КТЕ до варіації управляючої дії (параметрів управління);

б) ідентифікації (ототожнення, прирівняння) параметрів управління 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 здійснюються 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 в), а також їх зв'язок з процедурою г 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:

$$ЦФ = ЦФ(X, U, G) \rightarrow opt, \quad (1.1)$$

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 дає можливість 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.

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, у декілька разів більших, ніж у 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 і 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 проектів, який забезпечує сприятливі умови для використання досягнутої економії паливно-енергетичних та природних ресурсів як 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 у 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.

Вирішенню цієї актуальної для економіки країни проблеми присвячені фундаментальні наукові праці багатьох українських вчених і дослідників, насамперед таких, як В.М. Геєць, 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 під-

ходи розглядаються також у 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 та для запобігання несприятливим явищам, а також їх припинення. У широкому значенні економічне регулювання включає в себе компоненти прогнозування, планування, фінансування, бюджетування, оподатковування, кредитування, інвестування, адміністрування, обліку і контролю.

У централізованій економіці регулювання здійснюється за допомогою переважно директивних розпорядничих методів, а в ринковій – шляхом використання в основному ринкових механізмів (економічних регуляторів). Відповідно до цього 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.

У 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 зменшенням 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. Багаторазове (“револьверне”) вкладання заощаджених коштів у нові 3-Е проекти дає змогу нарощувати ефективність і конкурентоспроможність 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 і створення необхідних для цього механізмів не є задовільною.

У роботі [4] констатується, що нормативно-правову базу в сфері державного управління енергоефективністю на сьогодні складають сім 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 залишається більшість задекларованих у 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 енергозбе-

реження 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 в 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].

Проте за 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 визначаються «як система заходів задля здійснення підтримуючої, компенсаційної та регулюючої діяльності держави, спрямованої на створення нормальних умов ефективного функціо-

нування 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 й автономного забезпечення населення якісними ПЕР та енергосервісними послугами, які стимулюють суб'єктів ринкових відносин до збалансованості та підвищення ефективності виробництва, транспортування, постачання і споживання ПЕР і 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 й 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 підяду (перфоманс-контрактинг); 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 державної діяльності господарюючих суб'єктів, яке здійснюється на договірній основі та стосується підвищення ефективності використання і зниження втрат паливно-енергетичних і природних ресурсів. Виходячи з цього посилення, основними напрямками щодо створення механізмів економічного стимулювання енергоефективності та енергозбереження на підприємствах КТЕ та у споживачів мають бути такі:

- 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.

- Пільгове кредитування інвестицій в енергоефективність та енергозбереження, тобто компенсація 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 таких завдань:

- Визначення ціни та потенційних обсягів виробництва “товару” (тобто обсягів досягнутої економії ПЕР та коштів на їх споживання), що пропонується для інвесторів як 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, яке 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, термін 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 доходності), 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 у процесі приватизації електропостачальних компаній та лібералізації ринку електроенергії, а з середини 1990-х років – у більшості країн Європи, 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 й 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].

У 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 у 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, термін використання яких обмежені річними рамками.

До недоліків і ризиків, властивих цьому методу регулювання, насамперед належать ризики застосування некоректних (нестійких та інш.) 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 згаданих вище економічних механізмів зазвичай здійснюють спеціалізовані посередники, які у світовій практиці називаються енергосервісними компаніями (ЕСКО, Energy Service Company) [71–74, 76, 77] та Центрами промислового енергоаудиту (Industrial Assessment Center, IAC) [70, 89, 90]. Останні беруть 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; забезпечення гарантованого рівня енергозбереження, який у цілому перевищує витрати на розробку й впровадження ЕЗЗ. На додаток до цих функцій ІАС здійснюють і підготовку необхідних для виконання цієї роботи професіональних кадрів.

Залучення ЕСКО, як генерального підрядника, який 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].

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 таких 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 роз-

різняти підприємства централізованого і децентралізованого (поквартирного і т.п.) тепло- та енергозабезпечення;

3. Управляючих компаній у сфері надання К-послуг, у тому числі житлово-експлуатаційних контор, які разом 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. 1.6 у вигляді діаграми Ісікави [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.

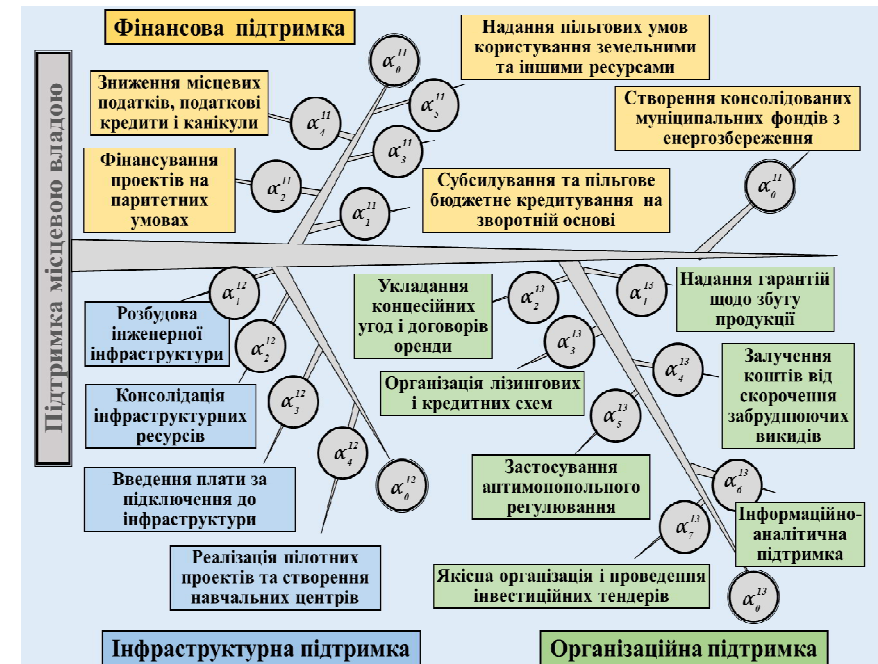


Рис. 1.6. Напрямки підвищення інвестиційної привабливості 3-Е заходів з боку місцевої влади

Джерелами фінансування 3-Е заходів можуть бути 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 з 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 ефективно організації ринків тепла необхідно створювати відповідну систему BIOT 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 теплопостачання знижується.

Комунальна теплоенергетика є підгалуззю системи теплопостачання країни, яка забезпечує споживачів комунальними послугами з опалення та гарячого водопостачання. 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 прийнятим визначенням системи централізованого і помірно-централізованого теплопостачання 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 і т.п.;
- 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 теплопостачання, 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 відновлюваних 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 чотирирівневою ієрархічною структурою. Вона 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 зі згрупованих споживачів теплової енергії (житлових та громадських будинків) на нижчому (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 налагодження, 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 енер-

гетичних, 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 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 таким 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 перестане змінюватися або не досягнуто межі обмежень; (4) з нової точки вираховується новий напрям і так далі до закінчення алгоритму. Включення до цього алгоритму штрафних (бар'єрних) функцій є обов'язковим у 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 дає змогу долати такі перешкоди, знаходячи “глобальний” екстремум цільової функції.

Розроблена за означеним підходом структурно-функціональна схема пропонованої моделі оцінки стану та напрямів підвищення 3-Е ефективності регіональної системи КТЕ в ринкових

умовах функціонування зображена на рис. 1.7. Модель включає такі 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 і т. ін.;

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 та 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 за напрямами і тенденціями 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 відповідно 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 за регіональною системою 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 та інш.), 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 та інш.;

8. Модуль систематизації, узгодження та ранжирування сукупності запропонованих інвестиційних проектів, 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) за-

пропонованих 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 діючому та новому обладнанні.

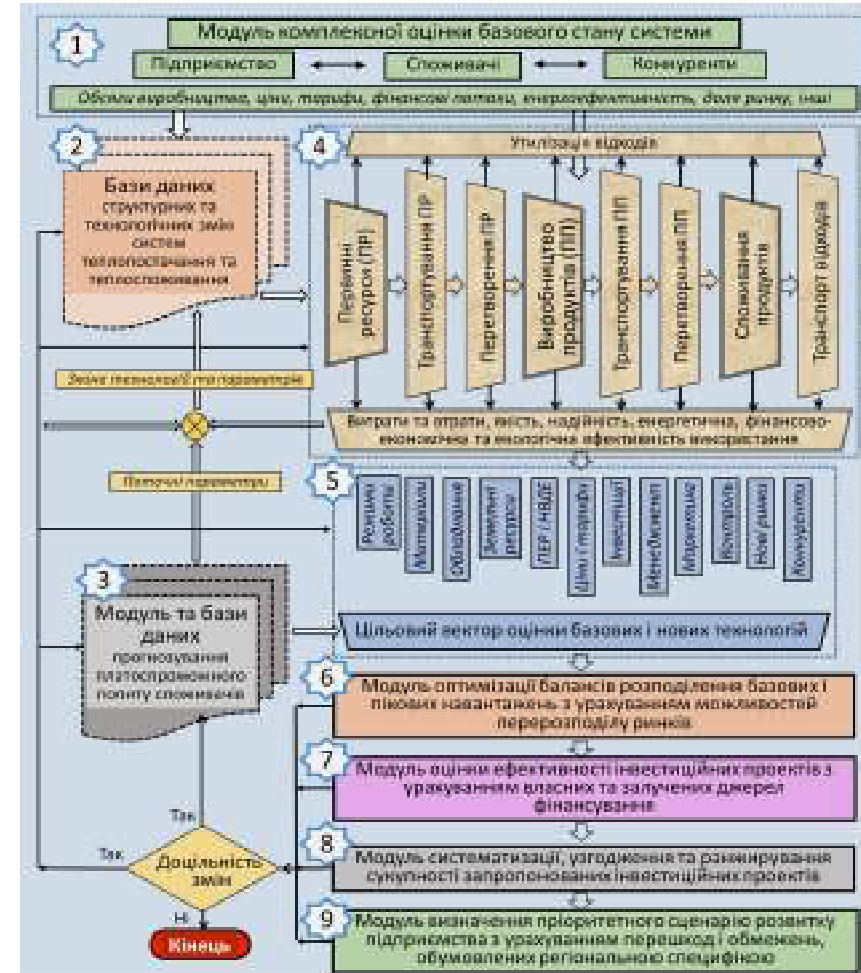


Рис. 1.7. Структурно-функціональна схема моделі оцінки стану та напрямів підвищення 3-Е ефективності регіональної системи КТЕ

Необхідно підкреслити, що проведення економічно обґрунтованого техніко-економічного аналізу за моделлю, представленою на рис. 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;
- структуру і пріоритети споживачів щодо використання природного газу, вугілля, НВДЕ, електро- та теплоенергії, структуру і технічний стан енергетичного обладнання та внутрішньобудинкових 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, щомісячні 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 та нормативні втрати при виробництві й транспортуванні;
- прогнозні 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. 1.7 є модуль системно узгодженої координації взаємодії суб'єктів господарювання на місцевому ринку теплової енергії, яка (координація) на верхньому, в цьому випадку регіональному рівні ієрархії здійснюється місцевою ЕСКО. На рис. 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. 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.

На рис. 1.8 позначено: X_i – кортежі вихідних параметрів пакетів початкових (базових) бізнес-пропозицій i -х суб'єктів господарювання; Y_i – кортежі цих параметрів, скориговані 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 -х 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; $ЗЦФ_i$ – модулі розрахунку вихідних значень цільової функції координації i -х суб'єктів господарювання; $ЕП_i$ – елементи порівняння даних i -х 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 -х 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 – позначення загальносистемного елемента. Пунктирними стрілками на схемі виділені можливі взаємозв'язки з іншими, крім позначених, суб'єктами ринку.

Організацію процедур координації взаємодії суб'єктів господарювання в таких ієрархічно побудованих системах і моделях

залежно від їх характеру пропонується здійснювати таким чином: за методом коригуючого впливу, спрямованого з вище розташованих систем на нижче розташовані для приведення у відповідність їх локальних оптимумів до глобальної мети системи; за ітеративним методом розв'язання протиріч; за методом вибору нижче розташованими підсистемами одного з декількох пропонуєваних вище розташованою системою варіантів (алгоритмів тощо) усунення розбіжностей.

Функціонування оптимізаторів у 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 теплопостачання, за означеними елементами якої (блочно-орієнтованими модулями, побудованими за принципом вхід – вихід) пропонується здійснювати формалізацію моделі, представлена на рис. 1.9.

На ній позначено:

$ПБ_{\bar{b}}^z$ – b -й місцевий постачальник паливно-енергетичних ресурсів (вузол підключення до магістрального газопроводу або електричної мережі тощо), $\bar{b} = \overline{I, B}$, до якого ПЕР надходять від зовнішнього (не позначеного на схемі) виробника або постачальника $ЗП_z$, $z = \overline{I, G}$;

$ВН_{\bar{v}}^{\bar{b}}$ – v -й виробник К-послуг з теплопостачання (джерело теплової енергії, районна котельня та інш.), $\bar{v} = \overline{I, B}$;

$ТМ_{\bar{m}}^{\bar{b}}$ – m -та тепла мережа, підключена до $\bar{b}$ -го джерела теплової енергії, $\bar{m} = \overline{I, M}$;

$СП_{\bar{c}}^{m, \bar{b}}$ – c -й споживач теплової енергії (житловий будинок тощо), $\bar{c} = \overline{I, C}$, підключений через m -ту мережу до $\bar{v}$ -го джерела теплової енергії.

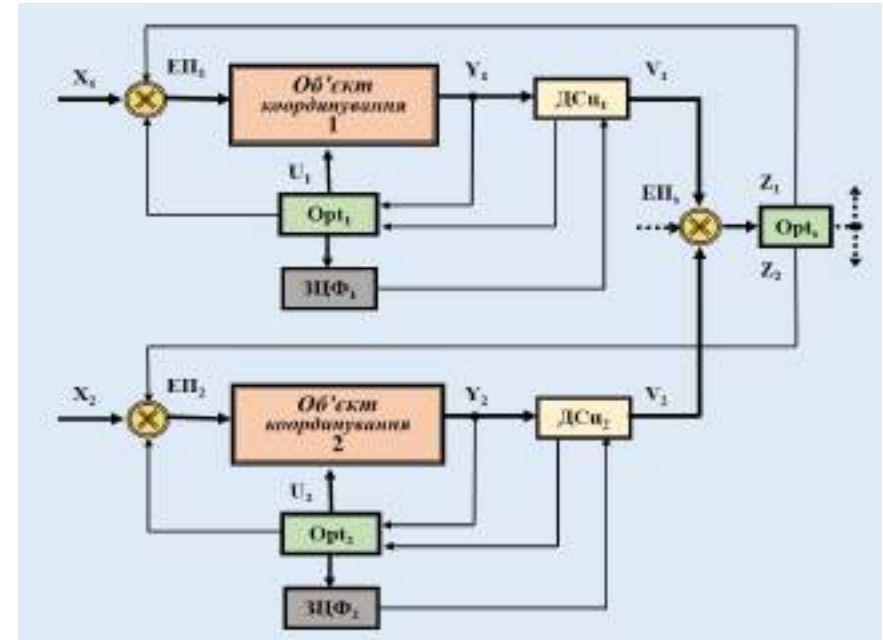


Рис. 1.8. Структурно-функціональна схема модуля координації взаємодії двох суб'єктів господарювання на ринку тепла

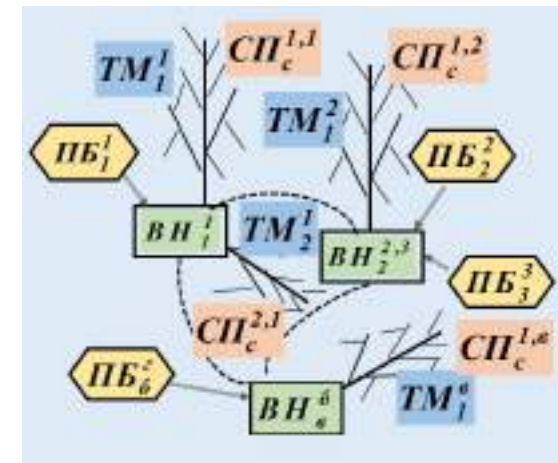


Рис. 1.9. Узагальнена структурна схема централізованої системи теплозабезпечення

Для подальшої деталізації схеми, зображеної на рис. 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 конкурентоспроможність К-послуг на ринку тепла, тобто забезпечувати надання споживачеві якісних К-послуг за найменшими витратами та втратами.

За досвідом розвинутих країн [105], конкурентоспроможна 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) сміттє-спалювальні заводи; 5) відновлювані джерела для виробництва теплової енергії (теплові насоси, сонячні колектори, геотермальні станції тощо);

- *серед видів використовуваного первинного палива та енергії*: 1) природний газ; 2) вугілля; 3) торф; 4) електроенергію; 5) нетрадиційні та відновлювані джерела енергії (сонячна, вітрова, геотермальна, сміття, відходи деревини, біогаз тощо);

- *серед видів наданих послуг*: 1) опалення; 2) гаряче водопостачання; 3) постачання пари для промисловості; 4) кондиціювання 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 задовольняє вимогам конкурентоспроможності системи.

РОЗДІЛ 2

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ БАГАТОРІВНЕВОГО ВІОТ УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ КТЕ

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, наведених 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 ступеня організаційно-функціональної самостійності технологічно зв'язаних (вертикально-інтегрованих) елементів (об'єктів, суб'єктів) системи КТЕ в межах внутрішньосистемних обмежень, які регулюються вище розташованими суб'єктами (об'єктами), а як критерії оптимальності слугують показники економічної, енергетичної, екологічної, соціальної та іншої ефективно-

сті функціонування суб'єктів і об'єктів КТЕ (прибуток, рентабельність виробництва, рівень життя тощо). Принципово важливо, що в такій постановці за своєю метою ринкова 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 та іншої конкуренції), що припускає усередині системи обмін “товарів” між елементами за системно узгодженими “внутрішніми цінами” (об'єктивно обґрунтованими економічними оцінками).

Зазначимо, 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 такої задачі потребує введення ряду понять, які дають змогу провести класифікацію й 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.

Відповідно 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 цю 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 BIOT управління підвищенням 3-Е ефективності дає змогу 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 у 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_{II})), 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_{II}), 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) всіх 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 відповідни-

ми управляючими і зворотними зв'язками (див. рис. 1.5). За допомогою їх 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 найбільшою мірою ним пасують. У представленій на рис. 1.5 схемі формалізація багаторівневої ієрархічної системи BIOT управління підвищенням 3-Е ефективності забезпечується за рахунок введення п'яти стратифікаційних підсистем, а саме: адміністративно-організаційної підсистеми, позначеної блоком ОАУ та відповідними зв'язками; економічної підсистеми (блоки з відповідними зв'язками, позначені індексом P); технологічної підсистеми (блоки з відповідними зв'язками, позначені 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 та 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 BIOT 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 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 розглядаються, 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 таким 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 α, β та будь-якого вектора $e \in U$ визначається вектор $\alpha e \in U$ (добуток вектора e на число α), 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 зі співвідношень умови (3) є ключовим для подальшого аналізу, оскільки за фізичним змістом визначає принцип суперпозиції енергії. Дія цього фундаментального принципу в цій роботі поширюється на економічну категорію грошей та грошових потоків, які за своїм головним призначенням є загальним еквівалентом (товаром), за допомогою якого виражається вартість всіх інших товарів та економіко-математичні операції з якими також підпорядковуються умовам (1)–(3). Це дає змогу 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 -ї 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 -ї підсистеми (системи), що вимірюються у грошових одиницях. При цьому з'являється можли-

вість 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 3-Е на основі запропонованого підходу дає змогу виявити ще один принципово важливий ефект, а саме наявність осі симетрії між фізичними та економічними змінними системи, що у свою чергу свідчить про можливості використання певної нової сукупності властивостей системи, які підпорядковуються узагальненому принципу енергоекономічної суперпозиції. Так, за цим принципом обсяги (потoki) ресурсів, продуктів, послуг системи у фізичних та грошових одиницях будуть визначатися ідентичними за структурою виразами [111]:

$$Q_{\text{вих}} = \eta_1 \eta_2 \dots \eta_n Q_{\text{вх}}, \quad P_{\text{вих}} = \mu_1 \mu_2 \dots \mu_n P_{\text{вх}}.$$

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, коригування 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 та інш., здійснюється шляхом впровадження енергозберігаю-

чих заходів у 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 співпадатимуть 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 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, позначених на рис. 1.4 індексами M та N відповідно. Така локальна система, що має один вище розташований елемент $ОАУ_M$ (місцеву раду з її виконавчим комітетом) та n підпорядкованих йому нижче розташованих елементів $ОАУ_N$ – регіональних підприємств КТЕ, є типовою для системи управління енергозбереженням у ЖКГ України, яка у цілому складається з позначених 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 у 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 (у 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 коригує свої рішення з урахуванням досягнутих системою результатів, застосовуючи за необхідністю штрафні санкції або засоби заохочення.

Параметри інформації, що циркулює за системою зверху вниз, і навпаки, також змінюються у часі та просторі. При цьому сигнали, що надходять з гори, покликані конкретизувати задачі, які підлягають рішенням на рівні нижче розташованих елементів, а сигнали, що йдуть у зворотному напрямі — нести інформацію про стан функціонування елементів системи. У 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, у даному випадку – “ресурсів” підвищення 3-Е ефективності (потенціалів енергозбереження тощо).

Оптимальна послідовність та динаміка управління “ресурсами” у системі проявляються в такий постановці задачі на етапах стикування 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. 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. 1.4 і 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].

Як теоретичну базу 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. 1.4, 1.5, представлено на рис. 2.1.

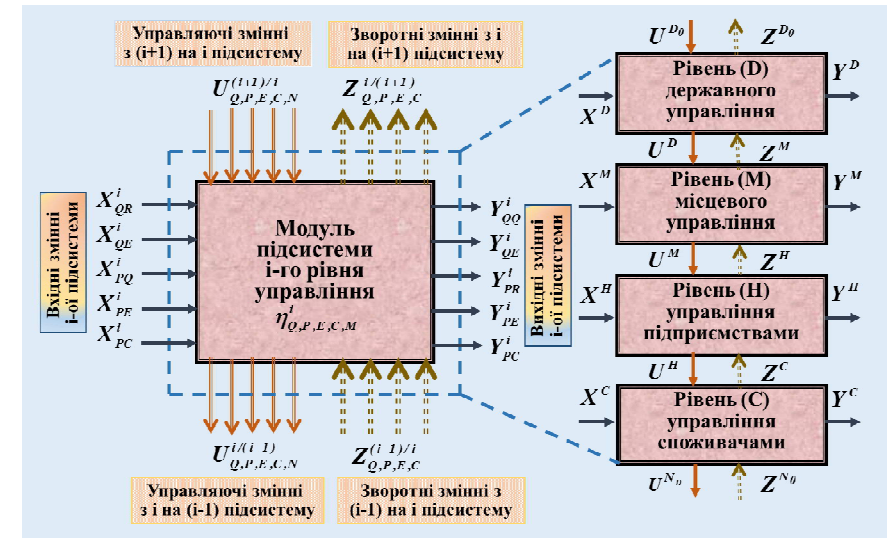


Рис. 2.1. Базовий структурно-функціональний модуль моделі багаторівневої системи ВІОТ управління 3-Е ефективністю

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

$$X^i = \{X_{QR}^i, X_{QE}^i, X_{PQ}^i, X_{PE}^i, X_{PC}^i\}, \quad (2.1)$$

які складають відповідні п'ятиелементні кортежі змінних, а до множини змінних вихідного впливу i -ї підсистеми на зовнішнє середовище (множини вихідних змінних підсистеми управління i -го рівня) – змінні

$$Y^i = \{Y_{QQ}^i, Y_{QE}^i, Y_{PR}^i, Y_{PE}^i, Y_{PC}^i\}, \quad (2.2)$$

які також складають відповідні п'ятиелементні кортежі.

У виразах (2.1), (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 (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 $(i+1)$ -ї 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 -ї 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 $(i-1)$ -ї підсистеми) відносяться змінні $Z_{Q,P,E,C}^{(i-1)/i}$, а до множини змінних зворотного зв'язку з i -ї підсистеми на підсистему $(i+1)$ -го ієрархічного рівня (множини зворотних змінних i -ї 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 позначені зовнішні, для наведеного на рис. 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 модуля 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, представлену на рис. 2.2 [3, 35], де позначено: BP_j – місцеві виробники К-послуг, $j = \overline{1, n}$; PC_j – місцеві постачальники К-послуг, $j = \overline{1, m}$; $СП_j$ – 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 також показано межу належності права власності на К-послугу, до якої права (і відповідальність за належне використання також) належать постачальнику, а до 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:

$$Y_{QQ}^B = X_{QR}^C \text{ та } Y_{PR}^C = X_{PQ}^B. \quad (2.3)$$

Цільовими орієнтирами щодо вибору економічно доцільних обсягів і цін К-послуг є нормативно-цільові показники їх споживання, які визначаються за прогресивними нормами та показниками технічно досяжних у КТЕ України на даний період часу.

Узагальнюючи 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 базуються на принципах гармонійного поєднання адміністративно-командних та ринкових методів управління 3-Е ефективністю.

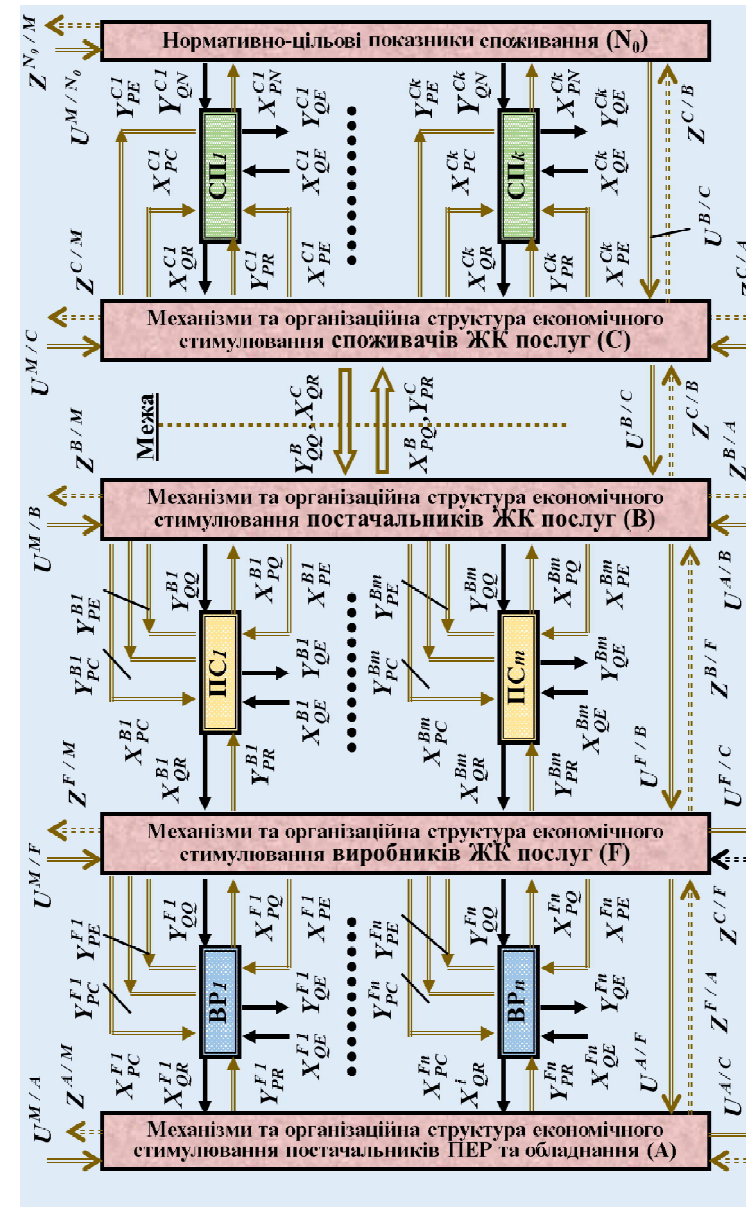


Рис. 2.2. Структурно-функціональна схема дворівневої системи управління підвищенням 3-Е ефективності на рівні підприємства КТЕ – споживач

Враховуючи складність цієї задачі будемо здійснювати її формалізацію на основі теоретико-множинного підходу [34, 51, 53, 109], який дає змогу 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 $x^i \in X^i$ у 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) у множини вихідних змінних для підсистем будь-якого рівня ієрархії, що має принципове 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 , де для кожного $x^i \in X^i$ існують $y^i \in Y^i$ 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 визначених на рис. 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]:

$$\begin{aligned} \mathcal{H}^D : X^D \times U^{D_0} \times Z^M &\rightarrow Y^D; \\ \mathcal{H}^M : X^M \times U^D \times Z^H &\rightarrow Y^M; \\ \mathcal{H}^H : X^H \times U^M \times Z^C &\rightarrow Y^H; \\ \mathcal{H}^C : X^C \times U^H \times Z^{N_0} &\rightarrow Y^C \end{aligned} \quad (2.4)$$

та додаткову систему наступних двох підсистем відображень вихідних змінних у змінні управляючих і зворотних зв'язків між рівнями ієрархічної системи управління:

$$\begin{aligned} \chi^{D_0} : Y^{D_0} &\rightarrow U^{D_0}; \quad \xi^M : Y^M \rightarrow Z^M; \\ \chi^D : Y^D &\rightarrow U^D; \quad \xi^H : Y^H \rightarrow Z^H; \\ \chi^M : Y^M &\rightarrow U^M; \quad \xi^C : Y^C \rightarrow Z^C; \\ \chi^H : Y^H &\rightarrow U^H; \quad \xi^{N_0} : Y^{N_0} \rightarrow Z^{N_0}, \end{aligned} \quad (2.5)$$

яку визначено таким чином, що для кожного елемента $x \in X^i$ та $y = \mathcal{H}^i(x)$ маємо

$$\begin{aligned} y^D &= \mathcal{H}^D(x^D, \chi^{D_0}(y^{D_0}), \xi^M(y^M)); \\ y^M &= \mathcal{H}^M(x^M, \chi^D(y^D), \xi^H(y^H)); \\ y^H &= \mathcal{H}^H(x^H, \chi^M(y^M), \xi^C(y^C)); \\ y^C &= \mathcal{H}^C(x^C, \chi^H(y^H), \xi^{N_0}(y^{N_0})), \end{aligned} \quad (2.6)$$

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 $y^{N_0} \in Y^{N_0}$ – є 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 розбиття системи $\bar{H}^i$ на ієрархічно підпорядковані підсистеми, та відображеннями χ^i та ξ^i , які встановлюють зв'язки між цими підсистемами.

З урахуванням ринкових умов (2.3) балансування потоків продуктів, ресурсів і послуг у фізичних та грошових одиницях, структура та механізми функціонування внутрішніх (місцевих) ри-

нків енергоефективного обладнання і енергосервісних послуг (див. рис. 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 (2.4)...(2.6) основною та додатковими підсистемами відображень множин вхідних і управляючих змінних у 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 та інших 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 (див. рис. 2.1) визначається функціональним відображенням π^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 (β^M, α^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 коригування можливих невідповідностей (неузгодженостей) між діями β^M та очікуваним результатом $y^M \in Y^M$, а саме:

$$\pi^M : \mathcal{B}^M \times \mathcal{A}^M \rightarrow Y^M. \quad (2.7)$$

При цьому функція оцінки Θ досягнутого результату за різними стратегіями управління на рівні M може бути представлена відображенням

$$\Theta^M : \mathcal{B}^M \times Y^M \rightarrow V^M, \quad (2.8)$$

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. 2.1) ієрархії системи ефективність механізмів (засобів) управління визначається функціональним відображенням

$$\pi^D : \mathcal{B}^D \times \mathcal{A}^D \rightarrow Y^D. \quad (2.9)$$

Тоді добуток $\pi^M \pi^D$ відображень π^M та π^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]:

$$\pi^M \pi^D : \mathcal{B}^M \times \mathcal{A}^M \rightarrow Y^D. \quad (2.10)$$

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 формалізуватиметься у такому вигляді: знайти такий елемент $\bar{\beta} \in \mathcal{B}$, для якого співвідношення

$$\Theta(\bar{\beta}, \pi(\bar{\beta})) \leq \Theta(\beta, \pi(\beta)) \quad (2.11)$$

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 таких вихідних функцій: (2.12) – функцій і величин оцінки ефективності функціонування системи, (2.13) – функцій і величин оцінки ефективності реалізації різних стратегій управління та (2.14) – їх взаємозв'язку з цільовими функціями управління:

$$\pi^i : \mathcal{B}^i \times U^i \rightarrow Y^i; \quad (2.12)$$

$$\theta^i : \mathcal{B}^i \times U^i \times Y^i \rightarrow V^i; \quad (2.13)$$

$$G^i(x^i, u^i) = \theta^i(x^i, u^i, \pi^i(x^i, u^i)), \quad (2.14)$$

де у загальному випадку множина U^i управляючих змінних залежно від рівня абстрагування (оператор, функціонал, функція) може відображати як структурні, так і параметричні фактори впливу на вихідний результат.

З рівнянь (2.6)...(2.14) видно, що 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.

2.3. Координація взаємодії елементів багаторівневої системи ВІОТ управління 3-Е ефективністю в КТЕ України

Відкритим у 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 повинні 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). У ринкових умовах ця процедура складається з двох взаємопов'язаних процесів – вироблення власних рішень (пропозицій) локальними управляючими підсистемами (підприємствами КТЕ) та їх узгодження (коригування) 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 розв'язання 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 різноманітних та внутрішньо 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 еле-

менти (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 і т.д. Система має розрізняти взаємопов'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 зображено на рис. 2.3.

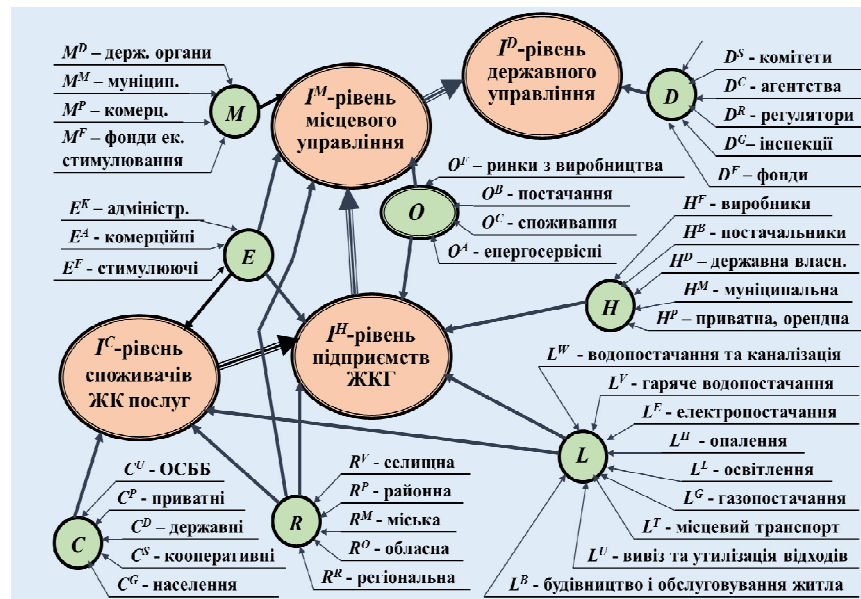


Рис. 2.3. Схематичне поле структурно-функціональних класифікаційних ознак системи управління 3-Е ефективністю в КТЕ України

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 муніципальних 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, електро- та 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, позначені на схематичному полі структурно-функціональних класифікаційних ознак системи ВІОТ управління 3-Е ефективністю в КТЕ України (рис. 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. 2.1) визначаються упорядкованими за правилами (2.1), (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, позначених на рис. 2.3 і за текстом великими літерами, будуть визначатися відповідними до них малими літерами. 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

$$\begin{aligned} c &= d, p, s, u, g; & m &= d, p, m, f; \\ f &= d, m, k; & d &= m, s, c, r, g, f; \\ b &= d, m, k; & o &= f, b, c, a, \end{aligned} \quad (2.15)$$

а четвертий – у вигляді кортежу індексів (r, l) , деталізованих за територіальною і видовою належністю цих об'єктів:

$$\begin{aligned} r &= v, m, p, o, r; \\ l &= h, v, w, b, e, g, t, l, u. \end{aligned} \quad (2.16)$$

І на завершальному п'ятому рівні запропонованої системи розташовуються індекси, що визначають форми управління 3-Е ефективністю

$$e = k, a, f. \quad (2.17)$$

За правилами (2.15)...(2.17) побудови системи індексації легко формалізуються також індекси змінних управляючих і зворотних зв'язків між елементами системи за допомогою типового позначення a/b , де a відноситься до об'єкта (елемента), 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'єкта нижнього рівня ієрархії системи індексації (2.15)...(2.17) 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 адміністра-

тивно-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 дає змогу 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 такі 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;

- надання 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 $\bar{D}^s(u) = \{D^1(u^1), \dots, D^n(u^n)\}$ є сукупністю локальних задач, яка потребує окремого від D^s рішення, а $\bar{x}(D^s) = \{x^1(D^1), \dots, x^n(D^n)\}$ – рішення задачі $\bar{D}^s(u)$. Тоді задача координації управляючих дій системи формалізується у вигляді

$$\Phi(x(D^s) - \bar{x}(D^s)) \rightarrow \min, \quad (2.18)$$

розв'язання якої у більшості випадків здійснюється за умов визначення у явній чи неявній формі відображення (функції, функціоналу тощо)

$$\varphi: \bar{x}(D^s) \rightarrow x(D^s), \quad (2.19)$$

а глобальна задача оптимізації D^s , яка реалізує загальносистемну мету управління, представляється за теоретико-множинним підходом парю (G^s, U^s) , де G^s – задана цільова функція.

При цьому слід пам'ятати, що задача координації за виразами (2.18), (2.19) 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 $\{\hat{x}^1(D^1), \dots, \hat{x}^n(D^n)\}$ вважається ефективним, якщо не існує будь-якого іншого рішення $\{\bar{x}^1(D^1), \dots, \bar{x}^n(D^n)\}$, яке було б “кращим” хоча б для одного з локальних елементів системи, тобто

$$\begin{aligned} G^j(\bar{x}^1, \dots, \bar{x}^n) &\geq G^j(\hat{x}^1, \dots, \hat{x}^n), \forall j = \overline{1, n}; \\ G^k(\bar{x}^1, \dots, \bar{x}^n) &> G^k(\hat{x}^1, \dots, \hat{x}^n) \end{aligned} \quad (2.20)$$

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 не вигідно передусім “відступнику”, тобто

$$\begin{aligned} G^k(\hat{x}^1, \dots, \hat{x}^{k-1}, \hat{x}^k, \hat{x}^{k+1}, \dots, \hat{x}^n) = \\ = \max_{x_k} G^k(\hat{x}^1, \dots, \hat{x}^{k-1}, \hat{x}^k, \hat{x}^{k+1}, \dots, \hat{x}^n). \end{aligned} \quad (2.21)$$

Як можна побачити, результати формалізації задачі координації управляючих дій багаторівневої системи за виразами (2.18), (2.19) 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’єкта управління” $x(D^s)$ і різниця (відхилення) після перетворення Φ по ланцюгах зворотних зв'язків подаватися на органи управління для коригування управляючих впливів у потрібний бік. Така аналогія є продуктивною для розв’язання проблеми координації взаємодії підсистем багаторівневої системи, яка у цьому 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 ВІ-ОТ 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 (2.12)...(2.14).

За цими виразами рішенням глобальної задачі D^s будуть управляючі впливи $\bar{u}^s$, що забезпечують

$$G^s(x^s, \bar{u}^s) = \min \Theta^s(x^s, u^s, \Pi^s(x^s, u^s)), \quad (2.22)$$

де

$$\Pi^s : U^s \rightarrow Y^s; \Theta^s : U^s \times Y^s \rightarrow V^s.$$

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

$$\bar{G}^j(\bar{x}^j, \bar{u}^j) = \min \bar{\Theta}^j(x^j, u^j, \bar{\Pi}^j(x^j, u^j)), \quad (2.23)$$

де

$$\bar{\Pi}^j = \Pi^j; \bar{\Theta}^j : \mathcal{B}^j \times U^j \times Y^j \rightarrow V^j.$$

Як можна бачити з наведених виразів (2.22), (2.23), за визначеними (заданими) величинами V на кожному рівні ієрархії можливі два способи розв’язання задачі координації – через зміни локальних функцій якості (ефективності) Θ^{ij} та/або множин допустимих рішень (стратегій тощо) $\mathcal{B}^{ij}$. 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 дає змоги іншому елементу досягати власних мінімальних витрат.

З точки зору координації розв’язання такого роду конфліктів потребує формалізації залежностей цільових функцій глобальних (2.24) та локальних (2.25) витрат від відповідних управляючих впливів та функцій якості (ефективності) функціонування системи, а також залежностей (2.26) між цими функціями якості на різних рівнях ієрархії системи управління:

$$G^{Ls} : U^{Ls} \rightarrow V^{Ls}; \quad (2.24)$$

$$G^{Lj} : U^{Lj} \rightarrow V^{Lj}; \quad (2.25)$$

$$g^{Ls} : U^{Lj} \rightarrow V^{Ls}. \quad (2.26)$$

У ринкових умовах управління системою до залежностей (2.24)...(2.26) додаються функції оцінки глобальних G^{Ls^e} витрат у системі та локальних G^{Lj^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).

2.4. Ринкові моделі та механізми економічного стимулювання взаємодії елементів ієрархічної системи ВІОТ управління 3-Е ефективністю

Як показано у попередніх параграфах, 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 має 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 таких 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. 2.4.

Зі схеми видно, що модель управління системоутворюючою енерготехнологічною підсистемою КТЕ складається з моделей трьох технологічних підсистем (виробництва BP , постачання $ПС$ і споживання $СП$ К-послуг розмірами n , m , k відповідно), які взаємодіють між собою на місцевих ринках $\cap_F$, $\cap_B$, $\cap_C$ К-послуг.

На рис. 2.4 також представлені органи (підсистеми) місцевого M рівня управління 3-Е ефективністю в КТЕ України, а саме – органи місцевої державної адміністрації МД і виконавчого комітету місцевої ради МР, структура (орган, департамент тощо) $\cap_M$ 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 $\cap_A$ (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 ВІОТ управління 3-Е ефективністю в КТЕ України – C , H , M .

Центральне місце у цій схемі 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

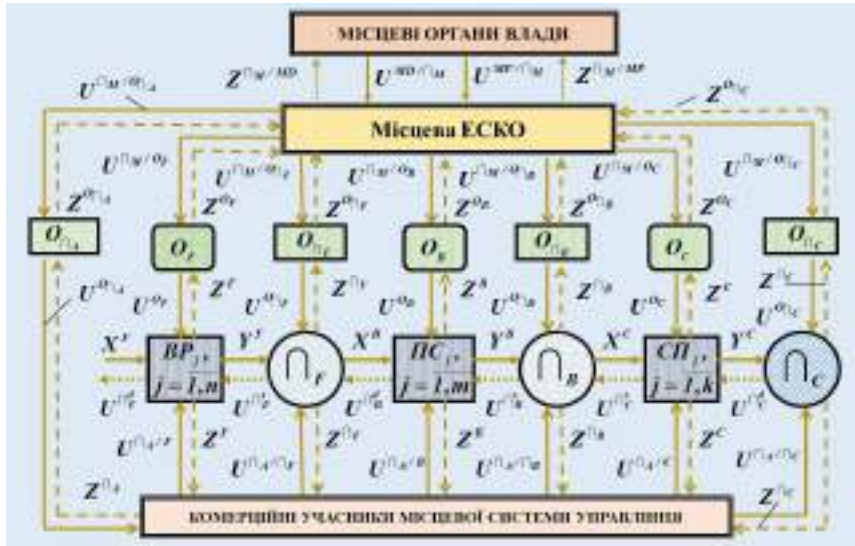


Рис. 2.4. Структурно-функціональна схема місцевої системи BIOT управління 3-Е ефективністю

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 $\cap_M$, як і інших ринкових елементів системи управління на рис. 2.4 умовно позначені 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 позначень 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. 2.1, 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. 2.4, 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 $Y^F = (Y^{Ff}, Y^{Fw})$ стратифікованих за правилами розбивки підмножин змінних Y^{Ff} та Y^{Fw} , де $Y^{Ff} = (y^{Ff_1}, \dots, y^{Ff_n})$, $j = \overline{1, n}$ буде відображати ту частину продуктів і послуг, склад і обсяги яких визначаються кожним j -м виробником самостійно, а $Y^{Fw} = (y^{Fw_1}, \dots, y^{Fw_n})$, $j = \overline{1, n}$ – ту частину їх продуктів і послуг, що виз-

начається процесами взаємодії виробників на ринку.

При цьому будемо вважати, що продукти і послуги, які визначаються кожним j -м виробником самостійно, характеризуються l_f , а процеси їх взаємодії l_w – стратифікованими компонентами:

$$y_i^{Ff} = (y_i^{Ff}, \dots, y_i^{Ff}), i = \overline{1, l_f}; y_i^{Fw} = (y_i^{Fw}, \dots, y_i^{Fw}), i = \overline{1, l_w}.$$

Тоді взаємодії $U_i^{\cap F}$ між виробниками ВР і споживачами ПС, що здійснюються на ринку $\cap_F$ та коригують 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 $\cap_F$:

$$\begin{aligned} u_i^{\cap Ff} &= \mathcal{H}_i^{Ff}(y_i^{Ff}), i = \overline{1, l_f}; \\ u_i^{\cap Fw} &= \mathcal{H}_i^{Fw}(y_i^{Fw}), i = \overline{1, l_w}, \end{aligned} \quad (2.27)$$

або за умов лінійної апроксимації функції взаємодії виробників:

$$\begin{aligned} u_i^{\cap Ff} &= \sum_{j=1}^n \alpha_i^f y_i^{Ff}, i = \overline{1, l_f}; \\ u_i^{\cap Fw} &= \sum_{j=1}^n \alpha_i^w y_i^{Fw}, i = \overline{1, l_w}, \end{aligned} \quad (2.28)$$

де $\mathcal{H}_i^{Ff}$, $\mathcal{H}_i^{Fw}$ – функції ефективності взаємодії виробників за i -ми компонентами, а α_i^f , α_i^w – координуючі параметри.

З іншого боку, взаємодії $U_i^{\cap B}$ між виробниками ВР і споживачами ПС, які визначають сукупний попит підсистеми ПС на продукти і послуги виробників ВР на ринку $\cap_F$, також потрібно виразити через множину вхідних змінних $X^B = (X^{Bf}, X^{Bw})$, розподілену на стратифіковані системи рівнянь за компонентами f і w :

$$\begin{aligned} u_i^{\cap Bf} &= \mathcal{H}_i^{Bf}(u_i^{Bf}(x_i^{Bf}), u_i^{\cap Ff}(y_i^{Ff})), i = \overline{1, l_f}; \\ u_i^{\cap Bw} &= \mathcal{H}_i^{Bw}(u_i^{Bw}(x_i^{Bw}), u_i^{\cap Fw}(y_i^{Fw})), i = \overline{1, l_w}. \end{aligned} \quad (2.29)$$

Для проведення оцінки якості (ефективності) функціонування об'єднаної підсистеми виробництва К-послуг потрібно задати функцію якості Θ , що, як це прийнято в класичній теорії ринкових відносин, у першу чергу має бути орієнтованою на споживача [106, 107, 113], у нашому випадку – підсистему ПС. 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

$$\Theta(x^{Bf}) \rightarrow \max \quad (2.30)$$

шляхом варіювання множини її управляючих змінних $(U^{OF}, U^{\cap A/F}, U^{O\cap F}, U^{\cap A/\cap F})$, що знаходяться під впливами $U^{\cap M}$ вище розташованої структури управління (рис. 2.4).

За наявності 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, розв'язання задачі (2.30) 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 Θ якості (ефективності) функціонування j -х елементів системи, у даному випадку n управляючих підсистем виробництва К-послуг:

$$\Theta_{\beta}^{F_j}(u^{O_{F_j}}, u^{\cap_{A/F_j}}) = \sum_{i=1}^{l_f} \beta_i^f y_i^{F_j^f} + \sum_{i=1}^{l_w} \beta_i^w y_i^{F_j^w}, \quad (2.31)$$

де β_i^f, β_i^w – координуючі параметри. Внаслідок цього функції якості, які визначають попит споживачів на ринку виробництва К-послуг, будуть скоординовані з (2.31), якщо

$$\Theta_{\beta}^{B_j}(u^{O_{\cap F}}, u^{\cap_{A/\cap F}}) = \Theta(x^{B_j^f}) - \sum_{i=1}^{l_f} \beta_i^f u_i^{\cap_{F^f}} - \sum_{i=1}^{l_w} \beta_i^w u_i^{\cap_{F^w}}. \quad (2.32)$$

За цих умов управляючі елементи нижнього, в даному випадку виробничо-технологічного, рівня мають намагатися максимізувати свої функції якості (ефективності) як за локальними управліннями, так і за взаємодіями, тоді як управляючі елементи верхнього (в нашому випадку місцевого) рівня мають вибирати параметри координації (β_i^f, β_i^w) таким чином, щоб збалансувати взаємодії:

$$\hat{u}^{\cap_{F^f}^s} = \sum_{i=1}^{l_f} \hat{y}_i^{F_j^f}; \quad \hat{u}^{\cap_{F^w}^s} = \sum_{i=1}^{l_w} \hat{y}_i^{F_j^w}, \quad (2.33)$$

де $\hat{u}^{\cap_{F^f}^s}, \hat{u}^{\cap_{F^w}^s}$ – 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 (2.31), (2.32), 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) є різницею 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 (2.27)...(2.33) 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 дають змоги 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 М.М. Моїсєєвим в галузі чисельних методів теорії оптимального управління ієрархічними системами [52]. За термінологією М.М. Моїсєєва, сутність цих результатів полягає у такому: (1) у необхідності проведення апроксимації “нерефлекторних” ієрархічних систем, до яких відносяться системи економіко-соціального спрямування (у тому числі системи КТЕ), рефлекторних систем, поведінка яких однозначно визначається закономірно-рефлекторними реакціями на зовнішні впливи та які описуються принципово визначеними моделями і методами їх аналізу і оптимізації; (2) розробці 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. 2.4, що складається з n місцевих виробників $BP_j, j = \overline{1, n}$ та ринку товарів і послуг $\cap_F$, на якому ці виробники взаємодіють з m постачальниками $ПС_j, j = \overline{1, m}$. Нехай цільова функція $\Theta_{\cap}^F$ (функція якості, ефективності тощо) функціонування цієї об'єднаної підсистеми виробництва товарів і послуг,

як і у випадку (2.31), буде залежати від вихідних змінних підсистеми виробництва, де ці товари і послуги виробляють та надають,

$$\Theta_{\cap}^F = \Theta_{\cap}^F(Y^{F_1}, Y^{F_2}, \dots, Y^{F_n}) \rightarrow \max, \quad (2.34)$$

а взаємозв'язки між факторами виробництва та величинами товарів і послуг для кожного j -го виробника визначатимуться виробничими функціями Кобба-Дугласа [106, 107, 123]:

$$Y^{F_j} = q^{F_j} (K^{F_j})^{(k_{F_j})} (L^{F_j})^{(1-k_{F_j})}, \quad k \in [0,1], \quad (2.35)$$

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 $\Theta_{\cap}^{F_j}$ j -го виробника визначається функцією доходу D^{F_j} виробництва у вигляді

$$D^{F_j} = c^{F_j} Y^{F_j} - w^{F_j} L^{F_j} \rightarrow \max, \quad (2.36)$$

де c^{F_j} – вартість одиниці товару (послуги), а w^{F_j} – ставка заробітної плати j -го виробника, а у якості фактора впливу, яким розпоряджається вище розташований (у даному випадку місцевий) орган управління, будемо розглядати інвестиційний ресурс

$$U^{\cap M} = \sum_{j=1}^n U^{M_{F_j}}, \quad (2.37)$$

спрямований на підвищення ефективності використання факторів виробництва.

За умов отримання у своє розпорядження ресурсу $U^{M_{F_j}}$ кожен j -й виробник буде мати можливість поставити на ринок товари і послуги в обсязі

$$Y^{F_j} = q^{F_j} (K^{F_j} + U^{M_{F_j}})^{(k_{F_j})} (L^{F_j})^{(1-k_{F_j})}. \quad (2.38)$$

При цьому кінцевий результат розподілення інвестиційного ресурсу (2.37) буде залежати не тільки від місцевого органу управління, але і від того, які значення параметрів L^{F_j} будуть вибрані виробниками. Саме розв'язання цієї задачі з апіорі невизначеними умовами і потребує залучення гіпотези поведінки виробників.

Слід відразу ж зазначити, що пряме застосування гіпотез поведінки є неприйнятним для енергетичних і енерготехнологічних систем, де на момент прийняття рішень стан та поведінка системи мають 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 (2.36). 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

$$\hat{L}^{F_j} = (\hat{c}^{F_j})^{(1/k_{F_j})} (K^{F_j} + U^{M_{F_j}}), \quad (2.39)$$

де $\hat{c}^{F_j} = (c^{F_j} q^{F_j} (1-k_{F_j}) / w^{F_j})$. Як результат, за процедурою (2.34)...(2.39) апіорі невизначена задача координації (2.31)...(2.34) зводиться до пошуку максимуму функції (2.34) при лінійному обмеженні (2.37) та за умови

$$Y^{F_j} = \alpha_m^{F_j} + \beta_m^{F_j} U^{M_{F_j}}, \quad (2.40)$$

що визначається за виразом (2.38), $\alpha_m^{F_j} = q^{F_j} (\hat{c}^{F_j})^{(1-k_{F_j})} K^{F_j}$, а $\beta_m^{F_j} = q^{F_j} (\hat{c}^{F_j})^{(1-k_{F_j})}$.

У деяких випадках коефіцієнт q^{Fj} виробничої функції Кобба-Дугласа залежить від ставок заробітної плати для всіх або частки виробників $q^{Fj} = q^{Fj}(w^{Fj})$, загальний фонд якої $Q^F = \sum_{j=1}^n Q^{Fj}$

розподіляється між виробниками за правилами, які встановлюються вище розташованими органами управління (місцевими і державними). За цієї умови процедуру координації (2.34)...(3.40) потрібно буде доповнити обмеженням $w^{Fj} L^{Fj} \leq Q^{Fj}$.

Розглянемо інший підхід до визначення функцій поведінки, який дає змогу органу управління координувати взаємодію з виробниками шляхом застосування функцій штрафу (або винагороди). Прийемо, що показники ступеня виробничих функцій (2.35) $k^{Fj} = 1/2$, $j = \overline{1, n}$, тоді цільові функції виробників $\Theta_{\cap}^{Fj}$ представимо у вигляді

$$\Theta_{\cap}^{Fj} = c^{Fj} q^{Fj} (K^{Fj})^{(1/2)} (L^{Fj})^{(1/2)} - w^{Fj} L^{Fj} + \varphi^{Fj} \rightarrow \max, \quad (2.41)$$

де $\Theta_{\cap}^{Fj} = \Theta_{\cap}^{Fj}(L^{Fj})$, а $\varphi^{Fj} = \varphi^{Fj}(Y^{Fj})$ – функція штрафу (або винагороди) виробників, що залежить від результатів їх діяльності.

Гіпотезу поведінки виробників будемо формувати на базі цільових функцій (2.41), де структуру штрафу (винагороди), яка встановлюється органом управління, будемо вважати відомою виробникам. За цих умов чисельними методами принципово можливо розрахувати значення $\hat{L}^{Fj} = \hat{L}^{Fj} \langle \varphi^{Fj}(Y^{Fj}) \rangle$, яке доставляє максимум функціоналу (2.41). Зі свого боку, задачею (ціллю) органу управління є встановлення таких величин штрафів (винагород), які забезпечують екстремальне значення власного функціоналу:

$$\Theta_{\cap}^F = \Theta_{\cap}^F \langle Y^{F1}(\varphi^{F1}), Y^{F2}(\varphi^{F2}), \dots, Y^{Fn}(\varphi^{Fn}) \rangle \rightarrow \max. \quad (2.42)$$

У такій постановці задача (2.41), (2.42) стає більш складною задачею координації, оскільки функціонали $Y^{Fj}(\varphi^{Fj})$ визначаються рішенням оптимізаційної задачі (2.41) зі складовими

$\varphi^{Fj}(Y^{Fj})$. Тобто вирішення сформульованої задачі координації зі штрафними функціями у загальному випадку потребує визначення виду функцій $\varphi^{Fj}(Y^{Fj})$ з подальшою можливістю застосування алгоритмів покрокової оптимізації [54] для наборів значень функцій $\varphi^{Fj}(Y^{Fj}) = \text{const}$.

Припустимо, що $(\hat{Y}^{F1}, \hat{Y}^{F2}, \dots, \hat{Y}^{Fn})$ – обсяги продукції (товарів і послуг) виробників, які доставляють максимальне значення функції цілі (2.42) органу управління. Якщо штрафні функції представити у вигляді [52]

$$\varphi^{Fj}(Y^{Fj}) = \lambda^{Fj} (Y^{Fj} - \hat{Y}^{Fj})^{(2)} - c^{Fj} q^{Fj} (K^{Fj})^{(1/2)} + w^{Fj} L^{Fj}, \quad (2.43)$$

де $\lambda^{Fj} > 0$ – довільні числа, то функції цілі виробників набудуть форми

$$\Theta_{\cap}^{Fj} = \lambda^{Fj} (Y^{Fj} - \hat{Y}^{Fj})^{(2)} \rightarrow \min, \quad (2.44)$$

за якою виробники будуть зацікавлені розпоряджатися своїми ресурсами так, щоб обсяги їх продукції становили $\hat{Y}^{Fj}$.

Якщо ж штрафні функції представити у вигляді

$$\varphi^{Fj}(Y^{Fj}) = -\lambda^{Fj} (Y^{Fj} - \hat{Y}^{Fj})^{(2)} + e^{Fj} Y^{Fj}, \quad (2.45)$$

то відповідно до (2.42) з урахуванням (2.35) цільові функції виробників набудуть виду

$$\Theta_{\cap}^{Fj} = \alpha^{Fj} (L^{Fj})^{(1/2)} - w^{Fj} L^{Fj} - \lambda^{Fj} (\beta^{Fj} (L^{Fj})^{(1/2)} - \hat{Y}^{Fj})^{(2)}, \quad (2.46)$$

де $\alpha^{Fj} = (c^{Fj} + e^{Fj}) \beta^{Fj}$, $\beta^{Fj} = q^{Fj} (K^{Fj})^{(1/2)}$. За умов (2.45), (2.46) управління, що визначається функцією поведінки виробників, при заданих K^{Fj} та $\hat{Y}^{Fj}$ можна отримати у явному вигляді з умови $\partial \Theta_{\cap}^{Fj} / \partial L^{Fj} = 0$:

$$\hat{L}^{Fj} = ((\alpha^{Fj} / 2 + \lambda^{Fj} \beta^{Fj} \hat{Y}^{Fj}) / (w^{Fj} - \lambda^{Fj} (\beta^{Fj})^{(2)}))^{(2)}. \quad (2.47)$$

Як наслідок, цільова функція вищого органу управління буде функцією потрібних йому обсягів $\hat{Y}^{Fj}$ товарів і послуг виробників та коефіцієнтів винагороди e^{Fj} і штрафу λ^{Fj} , величини яких він може коригувати, 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 (2.31), (2.32)] та гіпотезами поведінки [формули (2.42), (2.43)], є однотипною, що за умов непротилежності інтересів взаємодіючих сторін дає змогу розробляти узагальнені правила (алгоритми, математичні прийоми тощо) їх формування, залучаючи обидва підходи.

Наприкінці стисло розглянемо можливості координації взаємодії підсистем у динамічних системах з ієрархічною структурою [51, 52]. Припустимо, що зміна у часі капіталу (основних фондів) виробників K^{Fj} відображається диференціальними рівняннями

$$dK^{Fj} / dt = -A^{Fj} K^{Fj} + U^{Fj}(t) + V^{Fj}(t), \quad (2.48)$$

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

$$Y^{Fj}(t) = \Phi^{Fj}(K^{Fj}(t), L^{Fj}(t), w^{Fj}(t)), \quad (2.49)$$

де кількість робочої сили і ставки заробітної плати, які знаходяться у розпорядженні виробників, підпорядковуються обмеженням зверху:

$$L^{Fj} \geq \bar{L}^{Fj} \geq 0; w^{Fj} \geq \bar{w}^{Fj} \geq 0; w^{Fj} L^{Fj} \leq Q^{Fj}. \quad (2.50)$$

Чистий дохід виробників за період часу $D^{Fj}(t)$ будемо визначати аналогічно виразу (2.36) у вигляді

$$D^{Fj}(t) = c^{Fj}(t)Y^{Fj}(t) - Z^{Fj}(t), \quad (2.51)$$

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 $U^{Fj}(t)$, функції штрафу $\varphi^{Fj}(t)$ та фонди заробітної плати $Q^{Fj}(t)$ є відомими (заданими), то у розпорядженні виробників залишаються можливості управління змінними $V^{Fj}(t)$, $w^{Fj}(t)$, $L^{Fj}(t)$. Це дає змогу в якості цільових функціоналів виробників $\Theta_{\cap}^{Fj}$ застосовувати класичні функціонали виду

$$\Theta_{\cap}^{Fj} = \int_0^T D^{Fj}(t) dt \quad (2.52)$$

або мінімаксні форми

$$\Theta_{\cap}^{Fj} = \min_{t \in [0, T]} D^{Fj}(t) \rightarrow \max, \quad (2.53)$$

які забезпечують максимізацію мінімального розміру чистого доходу виробників. При цьому цільову функцію органу управління доцільно визначати у формі (2.42), що враховує штрафні функції у вигляді

$$\varphi^{Fj}(Y^{Fj}, t) = a_1^{Fj}(t)Y^{Fj}(t) + a_2^{Fj}(t)(Y^{Fj} - \hat{Y}^{Fj})^{(2)}, \quad (2.54)$$

де перша складова – це винагорода за випуск продукції ($a_1^{Fj} \geq 0$), а друга – покарання за зрив обумовлених завдань $\hat{Y}^{Fj}$.

2.5. Формалізація моделі програмно-цільової координації взаємодії елементів на рівні місцевої системи ВІОТ управління 3-Е ефективністю

У попередньому параграфі було розглянуто моделі координації взаємодії технологічних та організаційних елементів ієрархічної системи ВІОТ управління 3-Е ефективністю на місцевому (регіональному) рівні, де як орган управління верхнього рівня розглядався місцевий (регіональний) орган адміністративно-організаційного управління 3-Е ефективністю $\cap_M$ (див. рис. 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” у межах методології програмно-цільового підходу (Task-Motivated, Task Force Approach). В основу підходу, орієнтованого на досягнення глобальних цілей програми взаємодії, ставиться не організаційна структура системи КТЕ, а алгоритми (процедури) управління елементами програми (програмними діями), що дає змогу залежно від рівня місцевої програми (обласна, районна, міська тощо) послідовно розглядати всі рівні ієрархічної системи управління 3-Е ефективністю в КТЕ України.

Припустимо, що на такому місцевому рівні ієрархічної системи управління діє місцева програма підвищення 3-Е ефективності, яка охоплює $(n + m + k)$ технологічних учасників, у тому числі n виробників, котрі 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 $\hat{Y}^e = \hat{Y}^1, \hat{Y}^2, \dots, \hat{Y}^h$ і програмних завдань щодо обсягів та якості досягнутого ефекту $\hat{E}^e = \hat{E}^1, \hat{E}^2, \dots, \hat{E}^h$ – основних продуктів місцевої програми під-

вищення 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 такої сукупності [108]:

$$\begin{aligned} \bar{r}_I^e &= \min_{t \in (0, T)} r_{Y,E}^e(t); \quad \bar{r}_{II}^e = \left(\sum_{e=1}^h r_{Y,E}^e(t) \right); \\ \bar{r}_{III}^e &= \sqrt{\sum_{e=1}^h (r_{Y,E}^e(t))^2}. \end{aligned} \quad (2.55)$$

Врахуємо також, що програмно-цільове управління технологічними підсистемами виробництва ВР, 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 $\cap_M^{rl}$ (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. 2.3 та вирази (2.16)).

У ринкових умовах функціонування КТЕ одним з основних завдань цих структурних підрозділів за місцевою програмою підвищення 3-Е ефективності є координація зусиль інвесторів з розподілення капітальних інвестиційних ресурсів (у формі товарних кредитів і т. п.)

$$I_{\cap_M}^K = I_{\cap_M}^{K_D} + I_{\cap_M}^{K_M} + I_{\cap_M}^{K_A} + I_{\cap_M}^{K_E} + I_{\cap_M}^{K_P}, \quad (2.56)$$

залучених на її реалізацію на платній і безоплатній 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

$$I_{\cap M}^L = I_{\cap M}^{LD} + I_{\cap M}^{LM} + I_{\cap M}^{LE} + I_{\cap M}^{LP} + I_{\cap M}^{LG} \quad (2.57)$$

на інші цілі, наприклад, на збільшення фондів заробітної плати, компенсацію відсотків за кредити комерційних банків, на проведення енергоаудитів, науково-дослідних і конструкторських робіт, розробку бізнес-планів, навчання персоналу, соціальні заходи і т. д.

Окрім згаданих надходжень, означених виразами (2.56), (2.57), в ринкових умовах функціонування КТЕ загальний бюджет місцевого органу управління $\cap_M$ має також наповнюватися за рахунок відрахувань $B_{\cap M}$ учасників програми, які вони сплачують з доходів, отриманих внаслідок реалізації включених до програми заходів з підвищення 3-Е ефективності. Відрахування, що здійснюються за період виконання програми, у складі загального бюджету місцевого органу управління поділяються на відрахування учасників програми з фондів розвитку та підвищення 3-Е ефективності, створених ними за програмою

$$B_{\cap M}^{\Sigma} = B_{\cap M}^K + B_{\cap M}^L + B_{\cap M}^Q, \quad (2.58)$$

де $B_{\cap M}^K = \sum_r \lambda^{Kr} \sum_l \lambda^{Kl} \sum_j (\lambda^{Kj} V_{\cap M}^{Krlj})$ – сума відрахувань з фондів ка-

пітальних вкладень учасників, де $V_{\cap M}^{Krlj}$ – розмір отриманих rlj -м учасником програми капітальних інвестиційних ресурсів;

$B_{\cap M}^L = \sum_r \lambda^{Lr} \sum_l \lambda^{Ll} \sum_j (\lambda^{Lj} V_{\cap M}^{Lrlj})$ – сума відрахувань учасників за

отримані кредити на інші крім капітальних вкладень цілі, де $V_{\cap M}^{Lrlj}$ – обсяг кредиту, отриманого rlj -м учасником;

$B_{\cap M}^Q = \sum_r \lambda^{Qr} \sum_l \lambda^{Ql} \sum_j (\lambda^{Qj} E_{\cap M}^{Qrlj})$ – сума відрахувань учасників від вартості досягнутих ними за програмою обсягів енергозбереження $E_{\cap M}^{Qrlj}$ за покращення інших, обумовлених програмою, якісних та екологічних показників продукції, послуг і т. д.

Нагадаємо, що всі процедури та операції за формулами (2.56)...(2.58), де λ з відповідними індексами визначає вагові (долю, 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. Це потребує безумовного вкладання власних коштів (часткової участі у фінансуванні проектів з підвищення 3-Е ефективності) учасників – підприємств КТЕ і споживачів К-послуг.

У результаті приходна частина $I_{\cap M}^{\Sigma}$ загального бюджету $W_{\cap M}^{\Sigma}$ місцевого органу управління, призначеного для виконання програми, буде складатися з таких внесків і відрахувань учасників програми:

$$I_{\cap M}^{\Sigma} = I_{\cap M}^K + I_{\cap M}^L + B_{\cap M}^{\Sigma}, \quad (2.59)$$

а видаткова частина $V_{\cap M}^{\Sigma}$ загального бюджету буде визначатися у вигляді

$$V_{\cap M}^{\Sigma} = V_{\cap M}^K + V_{\cap M}^L + V_{\cap M}^V + V_{\cap M}^Q, \quad (2.60)$$

де $V_{\cap M}^K(t) = \sum_r \sum_l \sum_j V_{\cap M}^{Krlj}(t)$; $V_{\cap M}^L(t) = \sum_r \sum_l \sum_j V_{\cap M}^{Lrlj}(t)$;

$V_{\cap M}^V(t) = \sum_{rlj} V_{\cap M}^{Vrlj}(t) = \sum_r v^{Qr} \sum_l v^{Ql} \sum_j (v^{Qj} E_{\cap M}^{Qrlj}(t))$ – сума відрахувань до фонду економічного стимулювання працівників мі-

сцевого органу управління, що залежить від досягнутих за програмою результатів їх діяльності;

$$V_{\cap M}^{\varphi}(t) = \sum_r \varphi^r \sum_l \varphi^l \sum_j (\varphi^{Qj} E_{\cap M}^{Qlj}(t)) - \text{сума витрат на еко-}$$

номічне 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 (2.56)...(2.60) запишуться таким рівнянням:

$$dW_{\cap M}^{\Sigma} / dt = I_{\cap M}^{\Sigma}(t) - V_{\cap M}^{\Sigma}(t) - \Delta W_{\cap M}^{\Sigma}(t), \quad (2.61)$$

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, $\Delta W_{\cap M}^{\Sigma}(t) = \sum_r \sum_l \sum_j \Delta W_{\cap M}^{rlj}(t)$.

За цих умов задача програмно-цільового управління бюджетом буде полягати у виборі чисельних значень параметрів і коефіцієнтів управляючих впливів $I_{\cap M}^{Krlj}, I_{\cap M}^{Lrlj}, E_{\cap M}^{Qrlj}, \lambda^{Krlj}, \lambda^{Lrlj}, \lambda^{Qrlj}, V_{\cap M}^{Vrlj}, V_{\cap M}^{Krlj}, V_{\cap M}^{Lrlj}, \Delta W_{\cap M}^{\Sigma}$, 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 (2.62), визначених на базі нормованих показників (2.55):

$$\begin{aligned} \Theta_{\cap M1}^{rl} &= \min_e \min_t (\delta^e(t) r^e(t)) \rightarrow \max; \\ \Theta_{\cap M2}^{rl} &= \left(\sum_{e=1}^h \delta^e(t) r^e(t) \right) \rightarrow \max; \\ \Theta_{\cap M3}^{rl} &= \sqrt{\sum_{e=1}^h (\delta^e(t) r^e(t))^2} \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (2.62)$$

де δ^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

$$dW_H^{rlj} / dt = -\kappa^{rlj} W_H^{rlj} + I_H^{rlj} + V_{\cap M}^{Krlj} + V_{\cap M}^{Lrlj}, \quad (2.63)$$

за яким процес виробництва буде визначатися виробничими функціями типу (2.35) і де I_H^{rlj} – самостійно залучені технологічним учасником інвестиційні ресурси; κ^{rlj} – коефіцієнт пропорційності.

Зазначимо, 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 $I_H^{\Sigma rlj}$ загального бюджету $W_H^{\Sigma rlj}$ технологічного учасника програми, яку він формує на

період часу, що розглядається, буде складатися з таких надходжень:

$$I_H^{\Sigma rlj} = C_H^{rlj} + I_H^{rlj} + V_{\cap M}^{Krlj} + V_{\cap M}^{Lrlj}, \quad (2.64)$$

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 $V_H^{\Sigma rlj}$ загального бюджету rlj -го технологічного учасника програми визначається як

$$V_H^{\Sigma rlj} = V_H^{Krlj} + V_H^{\cap Mrlj} + V_H^{Vrlj} + V_H^{Lrlj} + V_H^{Drlj}, \quad (2.65)$$

де 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 $\Delta_W = (I_H^{\Sigma rlj} - V_H^{\Sigma rlj})$ приходної і видаткової частин загального бюджету технологічного учасника програми визначає його чистий прибуток, який після проведення заходів з підвищення 3-Е ефективності Δ_W^{**} має бути більшим, ніж до їх реалізації Δ_W^* , тобто $\Delta_W^{**} - \Delta_W^* \geq 0$ 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:

$$\Theta_H^{rlj} = (\Delta_W^{**} - \Delta_W^*) \rightarrow \max. \quad (2.66)$$

На рис. 2.5 показано розглянуту вище у формі рівнянь структурну схему моделі програмно-цільового розподілення інвестиційних ресурсів на рівні місцевої системи управління 3-Е ефективністю.

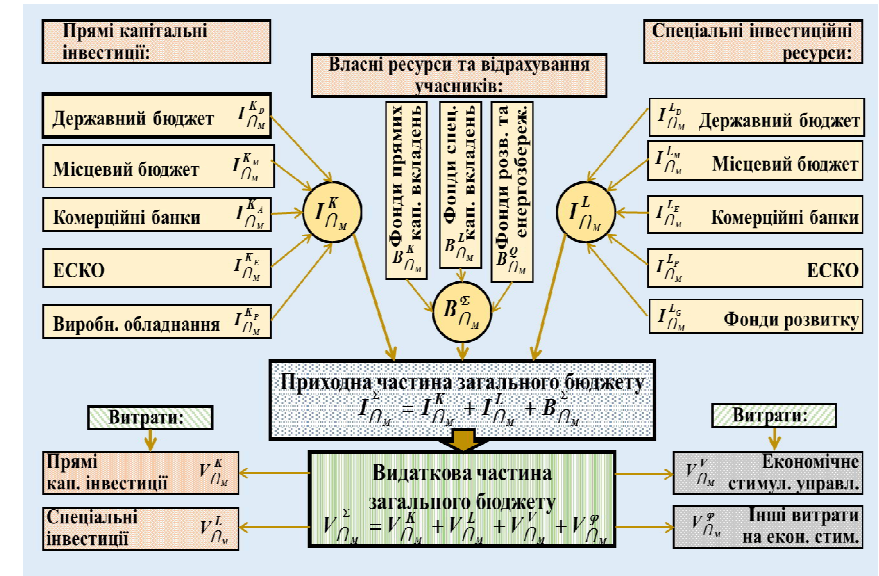


Рис. 2.5. Структурна схема програмно-цільового розподілення інвестиційних ресурсів на рівні місцевої системи

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 мають встановлювати порядок взаємодії учасників програми з урахуванням можли-

востей створення вертикально-інтегрованих компаній та використання монопольного становища окремими її учасниками.

Нехай учасники програми є інформованими щодо намірів і виду цільової функції $\Theta_{\cap_M} = \Theta_{\cap_M}(\hat{h}_{\cap_M}, \hat{h}_H)$ вищого органу управління (у даному випадку місцевого), який розпоряджається розподіленням спрямованих на виконання програми ресурсів $\hat{h}_{\cap_M} = (\hat{h}_{\cap_M}^1, \dots, \hat{h}_{\cap_M}^n)$ та намірів і виду цільових функцій $\Theta_H = \Theta_H^{rlj}(\hat{h}_{\cap_M}, \hat{h}_H)$ технологічних учасників програми, які розпоряджаються розподіленням власно залучених на ці цілі ресурсів $\hat{h}_H = (\hat{h}_H^1, \dots, \hat{h}_H^m)$. Тоді правила програмно-цільової координації взаємодії елементів багаторівневої системи управління за умов, що технологічні учасники оберуть управління, яке максимізує їх прибуток, а функції поведінки органу управління будуть визначатися за виразами (2.47)...(2.54), формалізуються такими алгоритмами [52]:

I. Алгоритм прямого розподілення ресурсів:

Крок 1. Орган управління задає параметри вектора $\hat{h}_{\cap_M}$;

Крок 2. На основі отриманої інформації учасник визначає параметри вектора $\hat{h}_H$ як функцію від $\hat{h}_{\cap_M}$ за умови, що $\Theta_H(\hat{h}_{\cap_M}, \hat{h}_H) \rightarrow \max$;

Крок 3. Орган управління коригує значення $\hat{h}_{\cap_M}$ за умови

$$\Theta_{\cap_M}(\hat{h}_{\cap_M}, \hat{h}_H) \xrightarrow{\hat{h}_{\cap_M}} \max. \quad (2.67)$$

II. Алгоритм управління розподіленням ресурсів із застосуванням функцій економічного стимулювання (штрафів і винагород):

Крок 1. Орган управління задає функцію $\hat{h}_{\cap_M}(\hat{h}_H)$;

Крок 2. Учасник вибирає параметри функціоналу управління $\hat{h}_H[\hat{h}_{\cap_M}(\hat{h}_H)]$ за умови $\Theta_H(\hat{h}_{\cap_M}(\hat{h}_H), \hat{h}_H) \rightarrow \max$;

Крок 3. Орган управління коригує значення $\hat{h}_{\cap_M}$ за умови

$$\Theta_{\cap_M}(\hat{h}_{\cap_M}(\hat{h}_H), \hat{h}_H[\hat{h}_{\cap_M}(\hat{h}_H)]) \xrightarrow{\hat{h}_{\cap_M}(\hat{h}_H)} \max. \quad (2.68)$$

III. Алгоритм управління розподіленням ресурсів залежно від способу їх використання:

Крок 1. Орган управління задає функціонал $\hat{h}_{\cap_M}[\hat{h}_H(\hat{h}_{\cap_M})]$;

Крок 2. Учасник вибирає параметри функціоналу управління $\hat{h}_H[\hat{h}_{\cap_M}[\hat{h}_H(\hat{h}_{\cap_M})]]$;

Крок 3. Орган управління коригує значення $\hat{h}_{\cap_M}$ за умови

$$\Theta_{\cap_M}(\hat{h}_{\cap_M}[\hat{h}_H(\hat{h}_{\cap_M})], \hat{h}_H[\hat{h}_{\cap_M}[\hat{h}_H(\hat{h}_{\cap_M})]]) \xrightarrow{\hat{h}_{\cap_M}[\hat{h}_H(\hat{h}_{\cap_M})]} \max. \quad (2.69)$$

З розглянутих алгоритмів (2.67)...(2.69) можна бачити, що в рамках загальнопрограмних обмежень, обумовлених функціями поведінки, всі $h = (n + m + k)$ технологічних учасників програми стають умовно рівноправними і умовно вільними з точки зору встановлення власних критеріїв Θ_H^{rlj} якості та ефективності використання власних ресурсів $\hat{h}_H^{rlj} = (\hat{h}_H^{rlj_1}, \dots, \hat{h}_H^{rlj_m})$, оскільки частину $\hat{h}_{H_0}^{rlj} = (\hat{h}_{H_0}^{rlj_1}, \dots, \hat{h}_{H_0}^{rlj_m})$ цих ресурсів кожен з них має виділяти на досягнення загальнопрограмної мети, яка, у свою чергу, стає залежною від вибору технологічних учасників програми:

$$\begin{aligned} \Theta_{\cap_M} &= \Theta_{\cap_M}(\Delta \hat{h}_H^{rl1}, \dots, \Delta \hat{h}_H^{rlh}), \\ \Delta \hat{h}_H^{rlj} &= (\hat{h}_H^{rlj} - \hat{h}_{H_0}^{rlj}), \quad j = \overline{1, h}. \end{aligned} \quad (2.70)$$

За аналогією з процедурами коригування взаємодії виробників за виразами (2.27), (2.28) досягнення загальносистемного компромісу між величинами $\hat{h}_H^{rlj}$ і $\hat{h}_{H_0}^{rlj}$ потребує узгодження

параметрів цільових функцій технологічних учасників програми, наприклад, за процедурою [52]

$$\Theta_H^{rlj} = \min \left\{ \Theta_H^{rlj}(\hbar_{H_0}^{rlj}); \alpha_H^{rlj} \Theta_{\cap M}(\Delta \hbar_H^{rl1}, \dots, \Delta \hbar_H^{rlh}) \right\}, \quad j = \overline{1, h}, \quad (2.71)$$

яка забезпечує врахування інтересів органу управління шляхом переходу з “кривої” цільової функції $\Theta_H^{rlj}(\hbar_{H_0}^{rlj})$ на “криву”

$\alpha_H^{rlj} \Theta_{\cap M}(\hbar_{H_0}^{rlj})$ у “точці”, розташування якої залежить від параметра α_H^{rlj} , який характеризує ступень зацікавленості j -го технологічного учасника у досягненні загальнопрограмної мети.

Як зазначалось і раніше (див. вирази (2.20), (2.21), процедура координування параметрів цільових функцій (2.71) є задачею багатокритеріальної оптимізації, розв’язання якої потребує узгодженого застосування принципів ефективності та рівноваги. Теорему, яка дає змогу визначати розміри відрахувань технологічних учасників на реалізацію загальнопрограмних заходів, доведено 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 такої системи рівнянь:

$$\alpha_H^{rlj} \Theta_H^{rlj}(\hbar_H^{rlj} - \Delta \hbar_H^{rlj}) = \Theta_{\cap M}(\Delta \hbar_H^{rl1}, \dots, \Delta \hbar_H^{rlp}, 0, \dots, 0). \quad (2.72)$$

Зазначимо, що частина технологічних учасників з $j \geq p$, яка не бере участі у реалізації загальнопрограмних заходів, як правило, не володіє достатніми ресурсами (замалі $\hbar_H^{rlj}$) чи застосовує не-ефективні технології (замалі $\Theta_H^{rlj}(\hbar_{H_0}^{rlj})$) або не досить зацікавлені у реалізації програми (замалі α_H^{rlj}).

Таким чином, розглянуто підхід до розв’язання проблеми координації взаємодії у багаторівневих системах ВІОТ управління у вигляді задачі вибору оптимального ступеня організаційно-функціональної самостійності елементів (об’єктів, суб’єктів) системи в межах внутрішньосистемних обмежень, що дає змогу застосовувати до розв’язання цієї проблеми методи та алгоритми математичного програмування з варійованими обмеженнями, які мають класичні розв’язки.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ БАГАТО-РІВНЕВОГО ВІОТ УПРАВЛІННЯ ПІДВИЩЕННЯМ 3-Е ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ КТЕ НА МІСЦЕВОМУ РІВНІ

3.1. Принципи та напрями управління ефективністю функціонування систем комунальної теплоенергетики

У попередніх розділах було визначено, що за обсягами споживання ПЕР, 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 належить 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, проте досить 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 у системах КТЕ, слід зазначити, що скількись значущі результати не були досягнуті за причин, серед яких відмітимо такі:

Розділ 3

1. Не було створено дієспроможної 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 дають змогу одержувати додаткові вигоди і прибуток.

3. Не було розвинуто інфраструктуру 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 в сфері підвищення 3-Е ефективності та залучення інвестицій.

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 знаходяться на місцевому рівні, де і виникає 3-Е ефект економії від підвищення ефективності використання ПЕР, розглянемо показану на рис. 3.1 структурно-функціональну схему взаємодії учасників конкурентних ринків К-послуг саме на місцевому рівні. Як можна бачити, представлена на рис. 3.1 схема з позначеними основними ринковими елементами і взаємозв'язками між ними, є чотирирівневою. На цій схемі на нижньому (споживчому) рівні знаходяться 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 $\cap_M^C$.

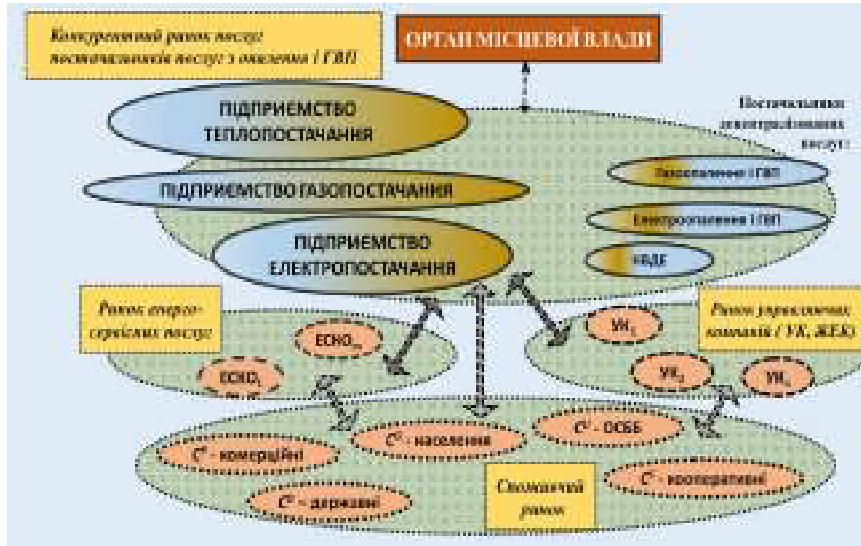


Рис. 3.1. Структурно-функціональна схема взаємодії учасників конкурентних ринків К-послуг

На другому знизу (сервісному) рівні розміщено:

- управляючі компанії у сфері надання К-послуг (у тому числі житлово-експлуатаційні контори), які у сукупності утворюють місцевий ринок управляючих компаній $\mathcal{N}_M^K$, 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 та енергоконсалтингові компанії (ЕСКО), які конкурують на місцевому ринку енергосервісних послуг $\mathcal{N}_M^E$ 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 розміщені підприємства і організації з постачання первинних ПЕР (газу, вугілля, торфу, нетрадиційних і відновлюваних енергоресурсів (НВДЕ) та інші) і вироблення та 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 у сукупності утворюють місцевий ринок постачання енергетичних ресурсів $\mathcal{N}_M^R$.

На верхньому (управлінському) рівні пропонованої системи управління 3-Е ефективністю будуть розміщені:

- органи ($\mathcal{N}^{MD}$, $\mathcal{N}^{MP}$) 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 дають їй змогу 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 та 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 (2.64)...(2.66) 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 додатко-

вих 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 $\Delta_W^j = (I_H^{\Sigma j} - V_H^{\Sigma j}) \geq 0$ прибуткової 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 прибуткової частини бюджету по відношенню до його видаткової частини:

$$(\Delta I_H^{\Sigma j} - \Delta V_H^{\Sigma j}) \rightarrow \max \text{ або } (\Delta I_H^{\Sigma j} / \Delta V_H^{\Sigma j}) \rightarrow \max. \quad (3.1)$$

Зрозуміло, що потрібно слідкувати за змінами факторів, які визначають залежність прибутку енергопостачальних організацій від обсягів витрачання енергоресурсів, наприклад, шляхом диференціювання за складовими багатоставкових тарифів, які врегульовують залежність величини прибутку не тільки від обсягу реалізації товарної продукції, а й від якості й 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 (2.35) [106, 107, 123]:

$$Y^{F_j} = q^{F_j} (K^{F_j})^{(k_{F_j})} (L^{F_j})^{(1-k_{F_j})}, k \in [0,1], \quad (3.2)$$

де q^{F_j} буде характеризувати якість товарної продукції, а k^{F_j} та $(1 - k^{F_j})$ – ефективність використання енергоресурсів залежно від обсягу реалізації товарної продукції K^{F_j} та величини, наприклад, приєднаної потужності L^{F_j} . Зазначимо, 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 дає змогу 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 добуток 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]:

$$i^W = i^Y \cdot i^C \cdot i^P. \quad (3.3)$$

У цьому виразі 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:

$$\text{від обсягу реалізації} - \text{як } i^Y = (c^0 Y^P - p^0 Y^P) / (c^0 Y^0 - p^0 Y^0);$$

$$\text{ціни реалізації одиниці} - \text{як } i^C = (c^P Y^P - p^0 Y^P) / (c^0 Y^P - p^0 Y^P);$$

$$\text{собівартості одиниці} - \text{як } i^P = (c^P Y^P - p^P Y^P) / (c^P Y^P - p^0 Y^P).$$

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

$$C_C^j = \sum_e c_H^{ej} Y_C^{ej} \rightarrow \min, \quad (3.4)$$

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 несплатежами, 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 у 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 невигідними застосування “тіньових” схем досягнення результатів, подібних (3.1).

Щодо категорії споживачів, то при всій їх різноманітності (бюджетні організації, управляючі компанії, промислові підприємства, населення тощо) (див. рис. 2.3), всі вони зацікавлені у зниженні платежів, доступності підключення, забезпеченні якості і надійності енергопостачання, можливостях незалежного регулювання (зниження або збільшення) обсягів 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 та збільшення кількості встановлених приладів обліку спожитих енергоресурсів і послуг у сферах енергозабезпечення та теплопостачання та багато інших.

Слід зазначити, 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 сформульовані, автори не визначають. Отже, 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 й проведення оптимізаційних розрахунків з підвищення 3-Е енергоефективності та енергозбереження, виникають складні проблеми, що 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 та 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 теплопостачання 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 наводяться численні форми їх графічного відображення у вигляді діаграм Ісікава, Ганта, Парето, формі дому якості, кривої Лоренца тощо.

Проведений у цій публікації аналіз таких 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 дає змогу визначати сукупність різноманітних факторів впливу, проводити структурування ієрархічної системи їх побудови та фор-

малізувати 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 дають можливість систематизувати та класифікувати множини ієрархічно підпорядкованих факторів впливу, представлених у вербальній формі, що є практично унікальною властивістю такого роду діаграм.

У задачі, що розглядається в цьому розділі, за правилом “М” Ісікава пропонується розрізняти 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;
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. $T_{O_{S^e}^p}^{ji} = (T_{O_{S_p^e}^p}^{ji})$, $v = \overline{1, b}$ – структурних і $T_{O_{F^h}^r}^{ji} = (T_{O_{F_r^h}^r}^{ji})$,

(3.5)

$q = \overline{1, d}$ – 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, 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 деталізованих факторів у p -му структурному факторі; d – кількість деталізованих факторів у r -му функціональному факторі.

Тут і далі у цьому розділі для поіменної формалізації та деталізації системи факторів впливу встановимо таке правило індексації: перший верхній індекс буде вказувати на ранжируваний за важливістю номер глобального фактора (у даному випадку j -го), якому підпорядкований поіменно визначений фактор, а другий верхній індекс – ранжируваний за важливістю номер відповідного локального фактора, до якого належить визначений фактор; перший нижній індекс структурного чи функціонального фактора буде вказувати на ранжируваний за важливістю номер цього фактора. 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 фактора, а нижній – на ранжируваний за важливістю номер відповідного об’єктного фактора і т. д. за необхідністю деталізації факторів на технологічному рівні.

Методи та засоби конкурентної взаємодії та боротьби займають особливе місце у системі 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 (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 спромож-

ність постачальників диктувати свої умови; інтеграцію зі споживачами (інтеграція на виході) та право споживачів товарів і послуг визначати свої умови.

За правилами (2.4)...(2.6) теоретико-множинних перетворень структурно-функціональних елементів і зв'язків система відображень ефективності (якості) міжрівневого взаємовпливу для ієрархічної системи факторів (3.5) формалізується у такому вигляді:

$$\begin{aligned}
 \pi_{L^{ji}}^{G^j} : L^{j1} \times L^{j2} \times \dots \times L^{jl} &\rightarrow G^j, \quad j = \overline{1, g}, \quad i = \overline{1, l}; \\
 \pi_{S_e^{ji}}^{L^{ji}} : S_1^{ji} \times S_2^{ji} \times \dots \times S_s^{ji} &\rightarrow L^{ji}, \quad e = \overline{1, s}; \\
 \pi_{F_h^{ji}}^{L^{ji}} : F_1^{ji} \times F_2^{ji} \times \dots \times F_f^{ji} &\rightarrow L^{ji}, \quad h = \overline{1, f}; \\
 \pi_{O_{S_p^e}^{ji}}^{S_e^{ji}} : O_{S_1^e}^{ji} \times O_{S_2^e}^{ji} \times \dots \times O_{S_n^e}^{ji} &\rightarrow S_e^{ji}, \quad p = \overline{1, n}; \\
 \pi_{O_{F_p^h}^{ji}}^{F_h^{ji}} : O_{F_1^h}^{ji} \times O_{F_2^h}^{ji} \times \dots \times O_{F_k^h}^{ji} &\rightarrow F_h^{ji}, \quad r = \overline{1, k}; \\
 \pi_{O_{S_p^e}^{ji}}^{S_p^e} : T_{O_1^{S_p^e}}^{ji} \times T_{O_2^{S_p^e}}^{ji} \times \dots \times T_{O_b^{S_p^e}}^{ji} &\rightarrow O_{S_p^e}^{ji}, \quad v = \overline{1, b}; \\
 \pi_{O_{F_p^h}^{ji}}^{F_r^h} : T_{O_1^{F_r^h}}^{ji} \times T_{O_2^{F_r^h}}^{ji} \times \dots \times T_{O_d^{F_r^h}}^{ji} &\rightarrow O_{F_r^h}^{ji}, \quad q = \overline{1, d},
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

де індекси визначаються за встановленим вище правилом індексації.

Повертаючись до виразу (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. 3.2 зображено комплексну діаграму, що узагальнює розглянуті раніше методичні підходи до структуризації причинно-наслідкових факторів впливу у системі управління 3-Е ефективністю. На цій діаграмі нумерація арабськими цифрами від 1 до 7 по-іменно 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 позначено основні рушійні сили W^j , які формують поле впливу оточуючого середовища на вирішення j -ї глобальної проблеми, що розглядається.

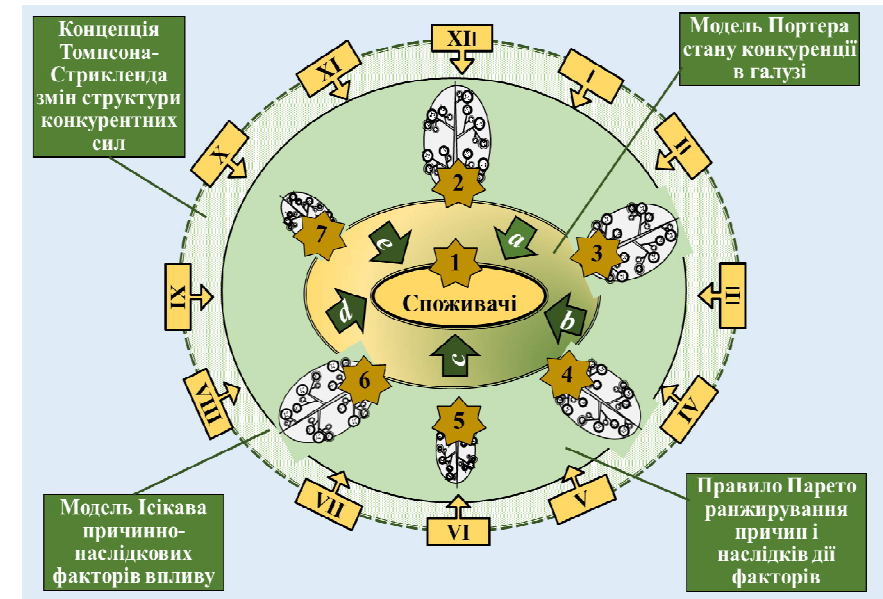


Рис. 3.2. Узагальнена діаграма структуризації причинно-наслідкових факторів впливу

Серед останніх, за концепцією Томпсона-Стрикленда, розрізняють такі 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 зводяться 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 політиці й 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 треба залучати більш формалізовані моделі та 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), розміщених на площині X діаграми, може бути представлена як відображення множини X у саму себе [108, 109].

За таким визначенням граф G вважається заданим, якщо ця 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, визначених виразом (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 цей 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 [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, переведення 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 розв'язання

задач підвищення 3-Е ефективності найбільш доцільним є 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 й можливість прозорого коригування кожного з параметрів, за яким здійснюється управління підвищенням 3-Е ефективності та енергозбереженням на таких об'єктах.

При цьому системи рівнянь (2.4), (2.5) і (3.6), за якими задача багаторівневого управління підвищенням 3-Е ефективності розв'язується на теоретико-множинному рівні шляхом застосування прямих (декартових) добутоків множин, у моделях лінійного і нелінійного програмування відображаються відповідними множинами кортежів n -ї довжини з дійсних чисел (n -мірними арифметичними векторами), що є рішеннями лінійної (нелінійної) системи рівнянь з n невідомими. Аналогічний приклад використання упорядкованих послідовностей (кортежів) дає аналітична геометрія, де кортежі дійсних чисел n -ї довжини відображаються координатами точок у n -мірному просторі.

3.2. Формалізація багаторівневої імітаційної моделі оптимального управління системами КТЕ за критеріями 3-Е ефективності

Розглянуті у попередніх розділах монографії 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, різноманітності та суперечливого характеру

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 пропонованої моделі багаторівневого управління, побудованої за аналогією зі структурно-функціональною схемою ВІОТ управління (рис. 1.4), представлено на рис. 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 функціонуватиме за таких умов: узгодження локальних критеріїв з глобальним критерієм ефективності функціонування системи; наявності додаткових рівнянь для урахування процедур координації взаємодії між рівнями управління; побудови прямих і зворотних зв'язків, призначених для мінімізації відхилень поведінки системи за наявних неузгодженостей між глобальною і локальними цілями управління.

Відмінністю пропонованої 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 через високу розмірність мають застосовуватися укрупнені моделі підсистем, параметри яких деталізуються та поглиблюються по мірі зниження рівня.

Пропонована ієрархічна структура розміщення диспетчерських пунктів багаторівневого ВІОТ управління системою КТЕ, що

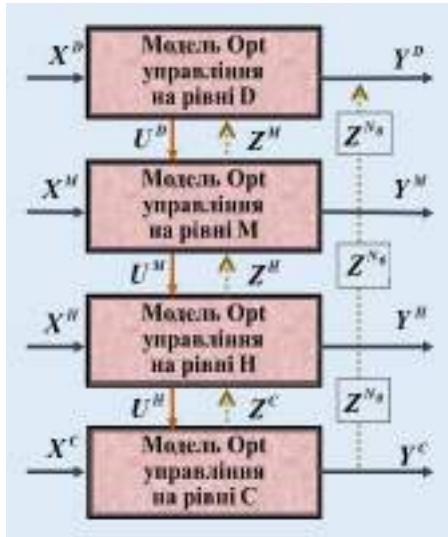


Рис. 3.3. Блок-схема моделі BIOT управління системою КТЕ

охоплює рівні споживачів (житлові та громадські будинки), підприємств КТЕ (котельні й теплові мережі) та місцевий (регіональний) і загальнодержавний рівні управління, представлена на рис. 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 відновлюваних видів енергії, оптимізації, зменшення викидів тощо, представлені у роботі [95].

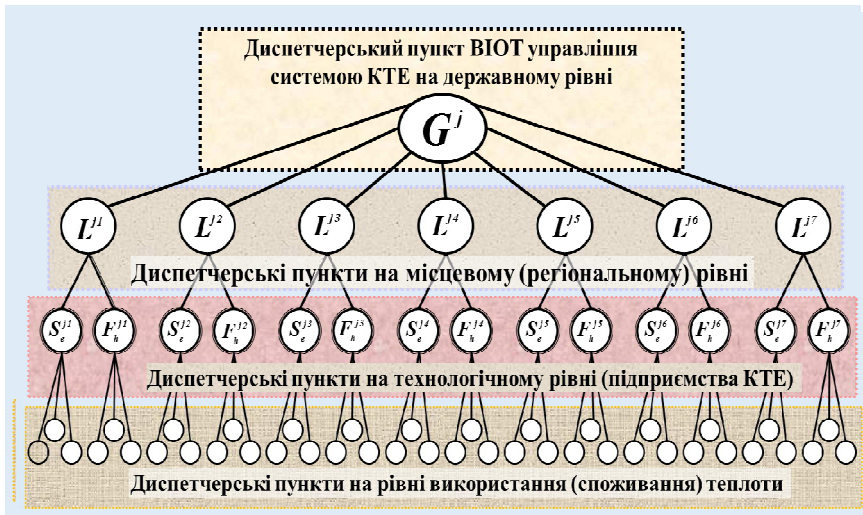


Рис. 3.4. Структура диспетчерських пунктів BIOT управління системою КТЕ

Аналіз цих моделей показує, що великі розміри і складність систем КТЕ практично виключають можливість використання для їх аналізу і особливо оптимального управління аналітичних моделей оптимізації та потребують застосування інструментів прикладного системного аналізу. Вони 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 дають змогу адекватно відтворювати (імітувати) процеси функціонування системи на комп'ютері за багатфакторних 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, які 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. У 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 таких 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 та калібрування моделі, проведення багатоваріантних експериментів (прогін імітаційної моделі), перевірка її валідації;

5. Обговорення результатів моделювання, встановлення довіри до моделі осіб, які приймають рішення, реалізація ітераційних процедур удосконалення характеристик моделі.

За структурно-функціональною схемою моделі багаторівневої системи управління підвищенням 3-Е ефективності, показаною на рис. 3.3, ієрархічна структура прикладного програмного комплексу, що пропонується до подальшого розгляду і формалізації, на кожному рівні управління складається з таких програмних модулів (підсистем) імітаційного моделювання: модуля урахування погодо-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 та модуля структурно-параметричної оптимізації систем транспортування теплової енергії на рівні підприємств КТЕ; модуля мінімізації витрат і втрат теплової енергії на опалення та гаряче водопостачання житлових і громадських будинків; модуля техніко-економічної оцінки привабливості залучення інвестицій у проекти з підвищення 3-Е ефективності систем КТЕ.

Імітаційна модель багаторівневого ВІОТ управління ефективністю функціонування системи КТЕ працює за наведеним далі 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 відбувається крок 5.

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 коригування позицій сторін знаходиться компромісне рішення.

Алгоритм координації міжрівневої взаємодії підсистем імітаційної моделі, що розглядається, працює таким 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, зважаючи на наявність та види доступних первинних ПЕР для кожної з підсистем, ціни і тарифи на ці ресурси, природно-кліматичні умови цього 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.

Зазначимо, що значення показників ефективності функціонування системи КТЕ визначаються на верхньому рівні пропонованої 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, причому за власними критеріями оптимальності, де показники, встановлені на верхніх рівнях моделі, використовуються в якості обмеження. Зазвичай оптимізаційні задачі на нижніх рівнях, як і задача оптимізації системи КТЕ у цілому, не розв'язуються з першої спроби і потребують коригування 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 відповідно до розробленої у попередніх розділах концептуальної моделі управління підвищенням ефективності функціонування системи КТЕ, з урахуванням складності її побудови та розмірів, здійснено в середовищі табличного процесора шляхом формування багаторівневої ієрархічно-структурованої системи логіко-математичних балансово-оптимізаційних рівнянь, лінеаризованих на j -х інтервалах ($j = \overline{I, J}$) 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 процесора за допомогою просторово-часової їх дискретизації, причому можливості навіть класичних пакетів Microsoft Excel далеко не обмежуються розмірами дискретизації у 1000 стовпчиків $\times$ 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, дає змогу моделювати процеси функціонування складних систем КТЕ погодинно за весь опалювальний період у цілому, з деталізацією до окремих енергетичних блоків (котлів) і навіть мережних насосів. При цьому для просування модельного часу можуть застосовуватися як покроковий, так і постанововий 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,

рів, закладених у 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 відіграє істотну роль у імітаційному моделюванні, особливо у разі проведення багатоваріантних розрахунків 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 таким чином:

- це квазидинамічна, 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 залежно 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 двовимірного температурно-часового простору та розміщення на площині табличного процесора. Покажемо це.

Для урахування просторово-часових факторів і погоднокліматичних 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 $\bar{t}_{\text{баз}}^o$ (усередненої на цьому інтервалі фактичної або розрахункової середньої температури внутрішнього повітря опалюваної будівлі тощо), °C, над усередненим значенням температури зовнішнього повітря $\bar{t}_{\text{зовн}}^o$, °C, за формулою

$$Dh_z^j = (\bar{t}_{\text{баз}}^{o,j} - \bar{t}_{\text{зовн}}^{o,j}) \cdot z, \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{год.} \quad (3.7)$$

Нагадаємо, що відповідну градусо-добу опалювального періоду $Dh_{\text{оп}}^j$ визначатимуть за формулою $Dh_{\text{оп}} = (\bar{t}_{\text{вн}}^o - \bar{t}_{\text{зовн}}^o) \cdot Z_{\text{оп}}$, де $\bar{t}_{\text{вн}}^o$ – розрахункова середня температура внутрішнього повітря об'єкта (будівлі), °C; $\bar{t}_{\text{зовн}}^o$ – середня температура зовнішнього повітря, °C, і $Z_{\text{оп}}$ – тривалість опалювального періоду, діб.

Для оптимізації параметрів інтенсивності використання виробничих потужностей систем КТЕ на площині табличного процесора в якості основного варійованого параметра 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 цьому 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 процесора, де перша складова розміщується по рядках, а друга – по стовпцях на відповідних листах табличного процесора.

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 й будуть розглядатися у відповідних блоках моделі.

Оптимізаційні розрахунки по кожному з цих параметрів проводяться на окремих листах табличного процесора, де роль синхронізуючої функції на кожному листі виконує незалежна змінна Dh_z^j , яка розміщується на рядках цих листів.

Як залежні змінні 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 визначати 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 і т. д.) 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 $i = \overline{I, I}$ підсистем нижнього рівня, наприклад, юридично самостійних місцевих підприємств тепlopостачання.

Серед основних типів підсистем S_i (наприклад, підприємств тепlopостачання) системи КТЕ, призначених для покриття графіка навантаження системи, будемо розрізняти, але ж не обме-

жуватися 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, що визначають 3-Е ефективність функціонування теплоенергетичної системи, будемо враховувати такі:

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 дає змогу враховувати як обов'язкові (нижні), так і фактично допустимі (верхні) границі використання обладнання системи КТЕ, $KB_{S_i}^{u,j} \leq KB_{S_i}^j \leq KB_{S_i}^{e,j}$;

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'єкта (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 визначати 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 -х 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 -х 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 (дол./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, дол./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, $q = \overline{1, Q}$, дол./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 такі 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 викорис-

таних 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 виробле-

ної за визначений інтервал часу електричної енергії S_i -ю 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, ви-

траченої 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_2 підсистемою

S_i , тис. тонн за визначений інтервал часу, де $\beta_{S_i}^j$ – питоми викиди CO_2 , 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. дол.;

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. дол.;

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_2 на визначеному інтервалі часу, млн. дол.;

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. дол.;

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. дол.;

19. Прибуток $Pr_{S_i^h}^{f,j} = (Y_{S_i^{H,h}}^{f,j} - F_{S_i^{H,h}}^{f,j}) + (Y_{S_i^{E,h}}^{f,j} - F_{S_i^{E,h}}^{f,j})$ від

реалізації теплової та електричної енергії, виробленої підсистемою S_i за визначений інтервал часу, млн. дол.;

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 $\Pi\Phi_{\text{КТЕ}}$ системи КТЕ на верхньому рівні побудови моделі формалізуємо у вигляді

$$\Pi\Phi_{\text{КТЕ}}^{U^c} = \mathcal{H}_{\text{КТЕ}}^c(X_{\text{КТЕ}}^c, Y_{\text{КТЕ}}^c, TX_{\text{КТЕ}}^c, U_{\text{КТЕ}}^c, Dh_z) \rightarrow opt, \quad (3.8)$$

де $\mathcal{H}_{\text{КТЕ}}^c$ – множина функцій ефективності (якості) функціонування системи КТЕ; $U_{\text{КТЕ}}^c$ – множина координуючих (регулюючих) впливів на підсистеми з боку системи; $c = \overline{0, C}$ – варіант (номер) стратегії поведінки системи, де нуль відповідає базовій (вихідній) стратегії.

У виразі (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 упо-

рядкованих множин вхідних X , вихідних Y і технологічних TX параметрів системи КТЕ.

З точки зору теорії оптимізації математична модель, сформована виразами (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 (3.8) вимірювальних шкал, конкретніше – шкал відношень, що дають змогу проведення кількісного аналізу (порівняння, еквівалентування, розподілення тощо) властивостей і характеристик різних видів ПЕР та обладнання, які використовуються у технологічних процесах у 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, у 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 традиційно для України будемо розраховувати за нижчою тепловою згорання палива, тобто за вирахуванням теплоти пароутворення водяної пари, що утворюється при горінні, хоча немає і труднощів в урахуванні частки енергії, що утворюється за умов конденсації водяної пари в продуктах згорання, 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 спроможності палива (коефіцієнта перерахування, калорійного еквівалента 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 такими розрахунковими формулами:

$$B_y = E_y \cdot B_n, \quad E_y = Q_n^p / Q_y^3, \quad B_y^{np} = k_y \cdot B_y, \quad (3.9)$$

де B_y – маса еквівалентної кількості умовного палива, кг; B_n – маса натурального палива, кг (тверде та рідке паливо) або м³ (газоподібне); E_y – калорійний еквівалент умовного палива; Q_n^p – нижча теплота згорання натурального палива, ккал/кг або ккал/м³; $Q_y^3 = 7000$ ккал/кг у.п. – теплота згорання 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 розподілу складають: для енергетичного вугілля 1,065; для мазуту 1,107; для природного газу 1,167.

Представлені у (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. Оскільки 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 нездійсненно. Аналогічний, чисто теоретичний результат, отримуємо і для електроенергії: 1 МВт·год = 0,123 т у.п.

Зважаючи на те, що ККД електроенергетичних установок знаходиться в межах 0,35...0,45, а теплоенергетичних – в межах 0,84...0,96, ближчими до дійсності будуть наступні перевідні коефі-

цієнти: $1 \text{ Гкал} = (0,149...0,170) \text{ т у.п.}$, а $1 \text{ МВт}\cdot\text{год} = 0,273...0,351 \text{ т у.п.}$ І це без урахування втрат у розподільних мережах. Що стосується електроенергії, яка виробляється на атомних станціях і гідроелектростанціях, то тут також застосовуються обидва підходи. Відповідно до першого $1 \text{ МВт}\cdot\text{год} = 0,123 \text{ т у.п.}$, а за другим $1 \text{ МВт}\cdot\text{год} = 0,273...0,351 \text{ т у.п.}$ У комп'ютерній моделі, що розглядається, реалізовано обидва підходи, які застосовуються за вибором особи, яка 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 залежно від ККД енергетичних установок, рівня їх навантаження, виду і марки палива, місця його видобутку і виробництва, погодних факторів тощо. Якщо відсутні дані вимірювань цих коефіцієнтів для конкретних установок і режимів їх роботи, то використовуються усереднені значення питомих викидів забруднювальних речовин в атмосферу. Виміряні у тоннах викидів на 1 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_2 від спалювання енергетичного вугілля, топкового мазуту та природного газу в енергетичних установках питоми викиди за цією методикою складають відповідно 2,74, 2,25 та 1,72 т 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.

У результатах практичних розрахунків за моделлю, наведених у роботі, всі енергетичні одиниці відповідно до рекомендацій МЕА представлені у $\text{МВт}\cdot\text{год}$ ($\text{ГВт}\cdot\text{год}$), розрахованих за тепловим еквівалентом. Прийнято: калорійність енергетичного вугілля – 5500 ккал/кг , природного газу – 8000 ккал/м^3 , а біодизельного пального – 9000 ккал/кг .

Відповідно до цієї системи змінних та рівнянь на рис. 3.5 зображено 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 (центральный) модуль включає блоки варійованих параметрів, розрахунку коефіцієнтів ефективності та розрахунку прибутків (рентабельності). Лівий (енергетичний) модуль моделі на рис. 3.5 призначений для проведення розрахунків енергетичних параметрів, а правий – для економічних і екологічних параметрів.

Для прикладу на рис. 3.6 представлено фрагмент реалізації двох центральних блоків моделі, показаних на рис. 3.5 (блоків варійованих параметрів та розрахунку коефіцієнтів ефективності), здійсненої на платформі табличного процесора Excel.

Рядки блоків встановленої потужності та розрахунку коефіцієнтів ефективності використання теплоти палива (КЕВП) у цій моделі відповідають параметрам, які характеризують (1) вугільні, (2) електричні та (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.

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]. У цій роботі для розрахунків 3-Е ефективності функціонування когенераційних установок у складних системах КТЕ за моделлю структурно-функціонального регулювання місцевих ринків теплової енергії (3.8) використано усереднені значення коефіцієнтів КЕВП, що наведені у технічних паспортах на ці установки. Такий підхід дає змогу проводити розподілення витрат первинного палива на виробництво теплової та електричної енергії, яке може бути названо “тепловим еквівалентуванням”. За результатами розрахунків він наближається до відомого “фізичного” підходу [160, 161].

Проте слід додати, що у нашій роботі розглядаються однопродуктові системи з когенераційними установками, тобто системи, які виробляють і надають (продають) послуги з тепlopостачання, а власно вироблену або куповану ззовні електричну енергію використовують як таку, що супроводжує процес надання цих послуг.



Рис. 3.5. Блок-схема імітаційної моделі управління системою КТЕ

Рис. 3.6. Фрагмент реалізації імітаційної моделі управління на рівні регіональної системи КТЕ

Внаслідок цього за “тепловим еквівалентуванням” однозначно вирішується і проблема визначення ціни на вироблену в 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 фактора управління енергетичною системою [161].

Формули розрахунку основних 3-Е показників функціонування системи КТЕ за моделлю, представленою виразами (3.8) і обмеженнями до нього, мають вигляд

$$\begin{aligned}
 R_{S_0}^f &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K R_{S_{i,n}^k}^{f,j}; \\
 W_{S_0^H}^f &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K W_{S_{i,n}^k}^{f,j}; \\
 W_{S_0^E}^f &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K W_{S_{i,n}^k}^{f,j}; \\
 \Delta W_{S_0^K}^f &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \Delta W_{S_{i,n}^k}^{f,j}; \\
 O_{S_0^{CO_2}}^f &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K O_{S_{i,n}^k}^{f,j}; \\
 Pr_{S_0}^f &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H Pr_{S_{i,n}^h}^{f,j},
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

де $R_{S_0}^f$ – обсяги фактично використаних системою КТЕ видів ПЕР за період часу, що розглядається (за проведеними далі 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_2 системою КТЕ за рік, тис. тонн;

$Pr_{S_0}^f$ – прибуток від реалізації теплової та електричної енергії, виробленої системою КТЕ за рік, млн. дол.

Зрозуміло, що вид використаного ПЕР є одним з важливих факторів, який 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 монографії [162–163], показав, що насіння ріпаку може стати одним з основних видів рослинної сировини для виробництва біодизеля 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 біодизеля на його основі. При цьому сумнівів та розбіжностей щодо екологічних переваг біодизеля 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 еквівалента факторів, спричинених фізичною працею людей, амортизацією обладнання та споруд, податками і зборами на зарплату та іншими неврахованими вище витратами, автори роботи оцінюють у розмірі 40...50 МДж/кг (коефіцієнтом енергетичної ефективності $E_e = 0,8...1,0$). За іншими методиками (див. огляди [165–166]), значення коефіцієнта корисного виходу енергії біодизельного палива

на досягнутому рівні розвитку технологій вирощування та переробки ріпаку знаходяться в діапазоні 1,5...4,0, що показує енергетичну доцільність виробництва біодизеля на його основі та його використання в системі КТЕ.

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 CO₂:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{КТЕ}}^{(1)} &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H Pr_{S_{i,n}^h}^{f,j} \rightarrow \max; \\ \Phi_{\text{КТЕ}}^{(2)} &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \Delta W_{S_{i,n}^k}^{f,j} \rightarrow \min; \\ \Phi_{\text{КТЕ}}^{(3)} &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K O_{S_{i,n}^k}^{f,j} \rightarrow \min, \end{aligned} \quad (3.11)$$

де позначення відповідають наведеним у виразі (3.8) та обмеженням 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 як цільова функція 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 отримають від регулятора збиткові підприємства.

Нехай вихідна ціна на енергетичне вугілля складає 80,0 дол./т, на природний газ – 360,0 дол./м³, біодизельне паливо – 900,00 дол./т, електроенергію – 80,00 дол./МВт·год., а на вироблену теплову енергію – 48,50 дол./Гкал. Нехай до наведених на рис. 3.5 значень інших параметрів кількість годин опалювального періоду за календарний рік складає 3720 год, 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 тепlopостачання, підпорядкованими єдиному регулятору, буде характеризуватися показниками, представленими на рис. 3.7 – 3.18.

На рис. 3.7 – 3.10 представлені розраховані за моделлю обсяги наданої споживачам теплової енергії кожною з підсистем у базовому режимі роботи системи КТЕ з розбивкою за типами генеруючого устаткування: вугільні котельні, котельні на природному газі, когенераційні установки на природному газі та електричні котельні.

Розрахунки проведено 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, наведена у дужках, визначено за допомогою побудованого графіка навантаження системи за тривалістю.

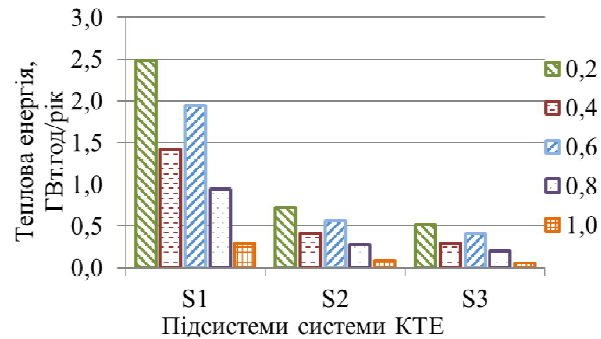


Рис. 3.7. Обсяги теплової енергії, наданої споживачам за рік вугільними котельнями

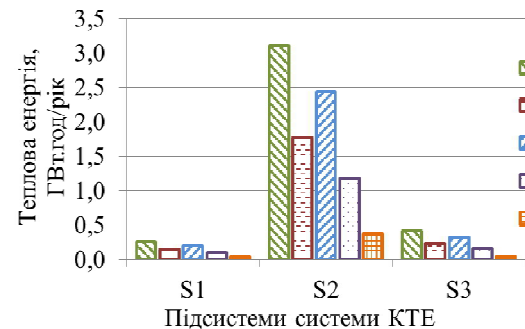


Рис. 3.8. Обсяги теплової енергії, наданої споживачам за рік котельнями на природному газі

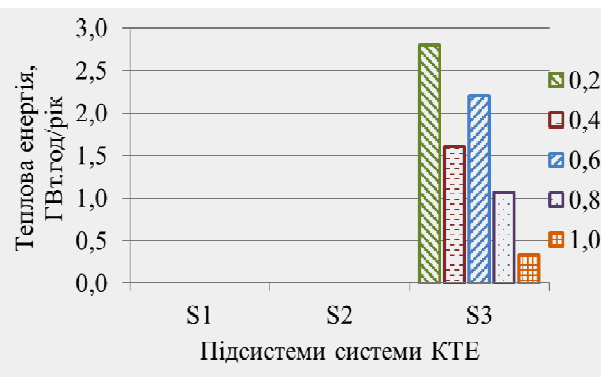


Рис. 3.9. Обсяги теплової енергії, наданої споживачам за рік когенераційними установками на природному газі

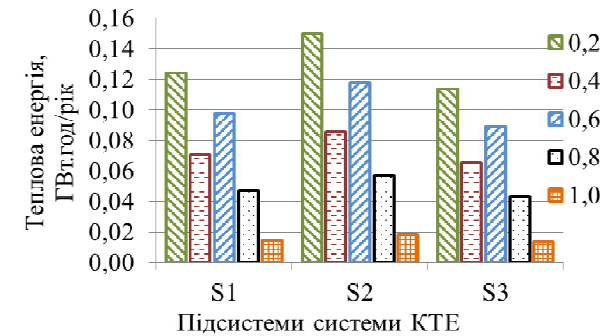


Рис. 3.10. Обсяги теплової енергії, наданої споживачам за рік електричними котельнями

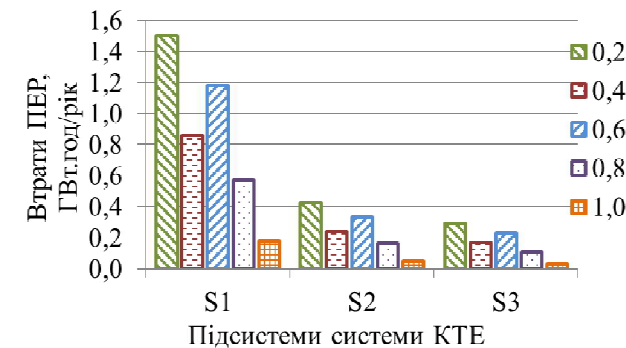


Рис. 3.11. Втрати ПЕР у системі КТЕ за рік на вугільних котельнях

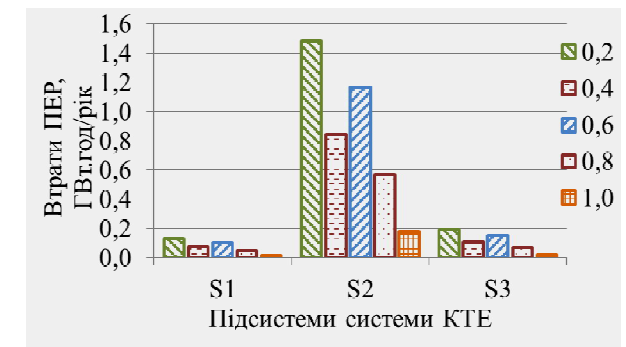


Рис. 3.12. Втрати ПЕР у системі КТЕ за рік на котельнях на природному газі

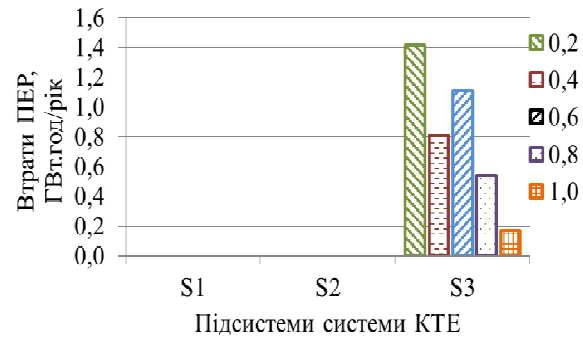


Рис. 3.13. Втрати ПЕР у системі КТЕ за рік на когенераційних установках на природному газі

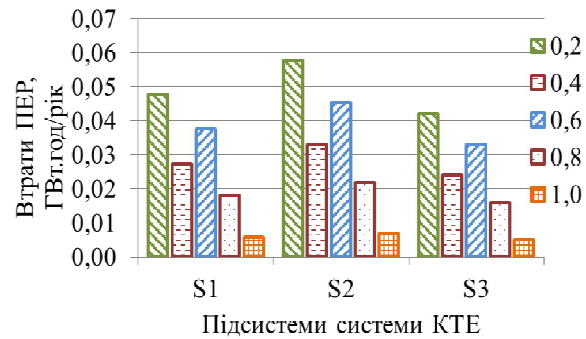


Рис. 3.14. Втрати ПЕР у системі КТЕ за рік на електричних котельнях

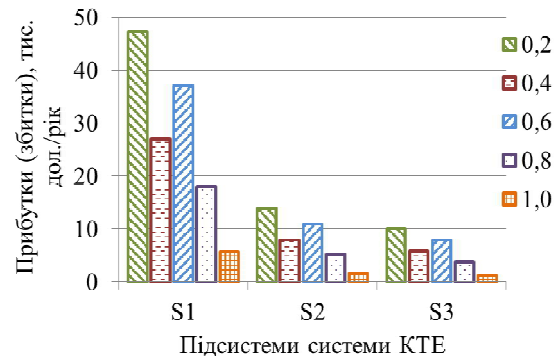


Рис. 3.15. Прибутки (збитки) у системі КТЕ за рік від діяльності вугільних котельень

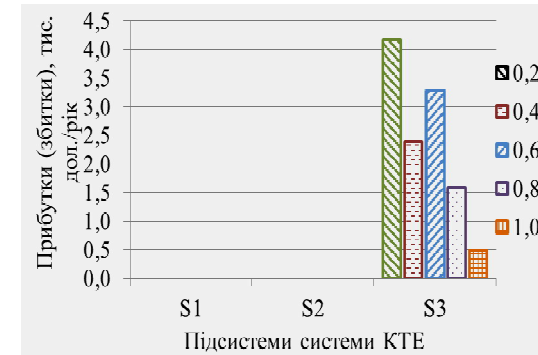


Рис. 3.16. Прибутки (збитки) у системі КТЕ за рік від діяльності котельень на природному газі

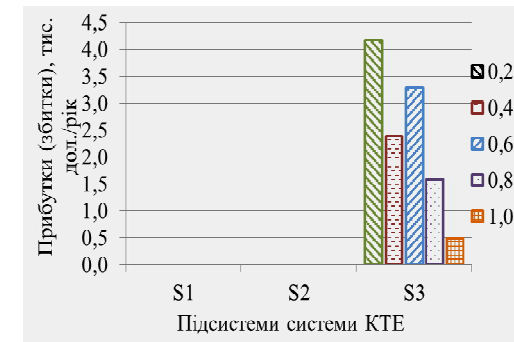


Рис. 3.17. Прибутки (збитки) у системі КТЕ за рік від діяльності когенераційних установок на природному газі

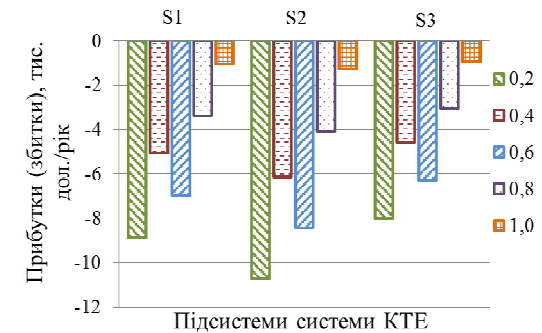


Рис. 3.18. Прибутки (збитки) у системі КТЕ за рік від діяльності електричних котельень

Зазначимо, що проведення цих розрахунків з прив'язкою до зміни градусо-годин і відповідних температурних графіків, які призводять до зміни обсягів виробленої теплової енергії, з дванадцяти-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 природному газі в підсистемі S3 були згенеровані 3,99 ГВт·год електричної енергії за рік.

На рис. 3.11 – 3.14 представлені розраховані за моделлю втрати ПЕР по кожній з підсистем у базовому режимі роботи системи КТЕ з розбивкою за типами генеруючого устаткування для п'яти значень КНС при обсягах наданих послуг з опалення та гарячого водопостачання за системою КТЕ у цілому в обсязі 43,6 ГВт·год/рік (за максимально можливих за встановленою потужністю енергетичних блоків у 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 % витрат теплової енергії в теплових мережах складають: $КЕВП_{S1} = 61,8 \%$, $КЕВП_{S2} = 65,5 \%$; $КЕВП_{S3} = 71,8 \%$; $КЕВП_{S0} = 67,1 \%$.

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_2 , 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 $O_{S1}^{CO_2} = 132$ дол./рік, $O_{S2}^{CO_2} = 126$ дол./рік, $O_{S3}^{CO_2} = 104$ дол./рік.

На рис. 3.15 – 3.18 представлено 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.

Можна бачити, що 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 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 $Pr_{S1}^{rik} = 95,85$ тис.дол., $Pr_{S2}^{rik} = -150,92$ тис.дол., $Pr_{S3}^{rik} = -2,74$ тис.дол. та по системі КТЕ у цілому $Pr_{S0}^{rik} = -57,80$ тис.дол., з рентабельністю $Ec_{S0}^{rik} = -3,68$.

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 дані, представлені на рис. 3.15 – 3.18, не складно підрахувати, що за методом компенсаційних виплат їх величина для котелень на природному газі складає 206,9 тис.дол./рік, яку має сплачувати регулятор. Зазвичай це робиться шляхом зниження цін на первинні ПЕР для збиткових підприємств. Розрахунки показують, що в цьому випадку це потребує зниження ціни на природний газ для котелень на природному газі з 360 дол./тис.м³ до 239 дол./тис.м³.

Компенсаційні виплати це не єдиний спосіб, який застосовується в практиці адміністративно-командного регулювання систем КТЕ. Ще одним 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 до 70,85 дол./Гкал. Різниця між цими способами полягатиме у тому, що в першому випадку виплати будуть надходити з дер-

жавного 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 %.

У 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 за системою 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 дол./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 дол./т, на природний газ – 360,0 дол./м³, біодизельне паливо – 900,00 дол./т, електроенергію – 80,00 дол./МВт·год., а на вироблену теплову енергію – 48,50 дол./Гкал. Нехай до системи представлених на рис. 3.5 значень енерготехнологічних параметрів у кожну з підсистем системи КТЕ введено когенераційні установки на біодизельному пальному з такою базовою встановленою потужністю: $P_{S1}^b = 0,22$ МВт; $P_{S2}^b = 0,44$ МВт; $P_{S3}^b = 0,22$ МВт. Для 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 (3.11) отримуємо результати, наведені на рис. 3.19 – 3.21.

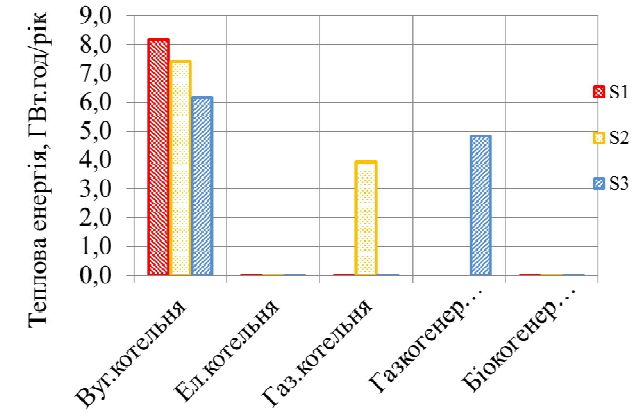


Рис. 3.19. Обсяги теплової енергії наданої споживачам за рік

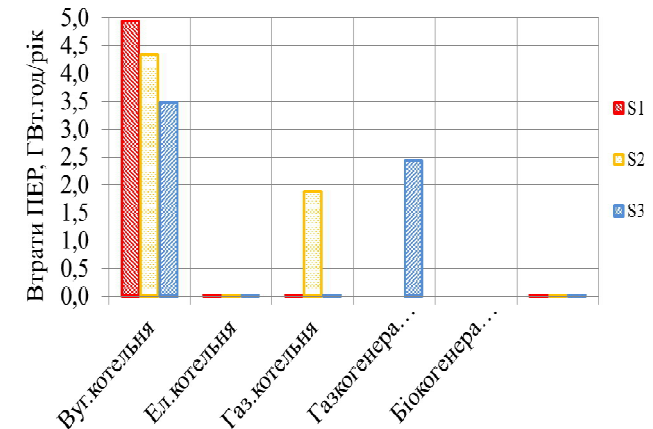


Рис. 3.20. Втрати ПЕР у підсистемах КТЕ за рік

На рис. 3.19 представлено розраховані за моделлю обсяги наданої споживачам теплової енергії кожною з підсистем з розбиттям за типами генеруючого устаткування: вугільні, електричні котельні, котельні на природному газі та когенераційні установки на природному газі й 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) та 1,0

(5 діб), визначених за допомогою графіка навантаження системи КТЕ за тривалістю.

З наведених на рис. 3.19 результатів можна бачити, що повністю завантаженими у всіх трьох підсистемах, тобто найприбутковішими серед встановленого теплогенеруючого устаткування, виявилися вугільні котельні. Когенераційні установки на природному газі були підключені до теплозабезпечення тільки в підсистемі S3 (у підсистемах S1 і S2 вони відсутні). 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 конкурентоспроможними і лишилися не підключеними до теплозабезпечення.

Розраховані за сценарієм максимізації прибутку системи величини втрат за рік паливно-енергетичних ресурсів у підсистемах КТЕ представлені на рис. 3.20. Їх порівняння з втратами ПЕР у базовому стані системи КТЕ, наведеними на рис. 3.11 – 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 призводить до підвищення ефективності використання ПЕР, а як правило, навпаки – до зниження енергетичної ефективності системи.

Що стосується обсягів викидів CO₂, 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 складають $O_{S1}^{CO_2} = 143$ дол./рік, $O_{S2}^{CO_2} = 168$ дол./рік, $O_{S3}^{CO_2} = 146$ дол./рік.

На рис. 3.21 наведені економічні результати функціонування системи КТЕ за сценарієм максимізації прибутку системи. При цьому прибуток підсистеми S1 складає 155,86 тис.дол./рік, підсистеми S2 – 71,85 тис.дол./рік, а підсистеми S3 – 127,36 тис.дол./рік. Тобто система КТЕ із збиткової (збиток у базовому режимі функціонування складає -57,80 тис.дол./рік) за сценарієм максимізації прибутку системи стає прибутковою (прибуток 355,17 тис.дол./рік). Це означає, що за таким сценарієм частину досягнутої економії система КТЕ в змозі вкладати у реалізацію інвестиційних проектів з підвищення енергоефективності та енергозбереження.

Результати розрахунків величин питомого прибутку (ПР) на одиницю наданої теплової енергії, дол./Гкал, для кожної з підсистем представлені на рис. 3.22 (права вертикальна вісь координат) залежно 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 осі координат на рис. 3.22 відображені результати розрахунків досягнутих кожною з підсистем за сценарієм максимізації прибутку системи коефіцієнтів ефективності використання теплоти палива (КЕВП) залежно від зміни КНС. Нагадаємо, що ці результати отримані з урахуванням 3 %-вих витрат на власні потреби та 21 %-вих втрат теплової енергії в теплових мережах підсистем. При цьому порівняння з базовим сценарієм функціонування системи КТЕ дає такі 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 складає: вугільними котельнями у середньому 182,9; газовими – 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 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, зрештою, до прийняття неоптимального управлінського рішення з точки зору залучення інвестицій у підвищення 3-Е ефективності системи.

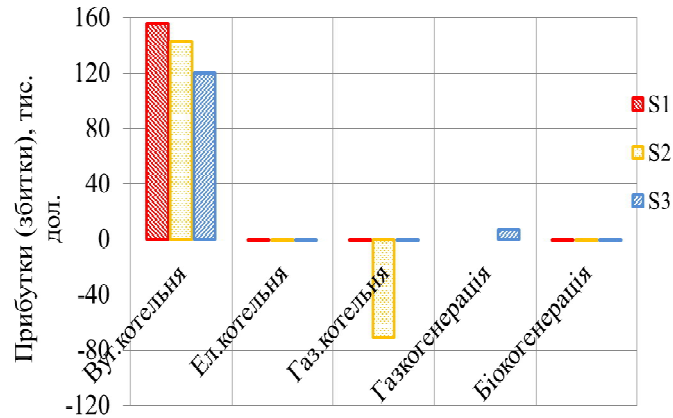


Рис. 3.21. Прибутки (збитки) від діяльності з виробництва та надання послуг з опалення та гарячого водопостачання у системі КТЕ

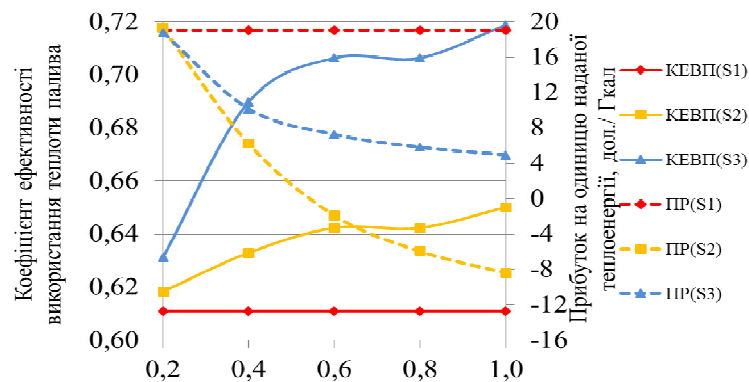


Рис. 3.22. Залежності КЕВП та отриманого прибутку підсистемами КТЕ від зміни навантаження системи

3.4. Метод та засіб оптимального управління системою КТЕ за критеріями мінімізації втрат ПЕР та викидів CO₂

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. Отримаємо такі результати, наведені на рис. 3.23 – 3.26.

Як можна бачити, розподілення навантажень між котельнями, як і розподілення втрат ПЕР, наведені на рис. 3.23 – 3.24, суттєво відрізняються від аналогічного розподілення, представленого на рис. 3.19 – 3.20. Так, за сценарієм мінімізації втрат ПЕР у системі КТЕ найбільш завантаженим у всіх трьох підсистемах виявилось теплогенеруюче устаткування з більш високими коефіцієнтами ефективності використання теплоти палива (КЕВП), включаючи електричні котельні та когенераційні установки на природному газі й біодизельному паливі (див. рис. 3.23). При цьому останніми були згенеровані 2,70 ГВт·год електричної енергії за рік. На 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. 3.24. Їх порівняння з втратами ПЕР у базовому стані системи КТЕ, наведеними на рис. 3.11 – 3.14, свідчить, що втрати у підсистемі S1 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 CO₂, 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 випла-

ти за податком на викиди $O_{S1}^{CO_2} = 85$ дол./рік, $O_{S2}^{CO_2} = 97$ дол./рік, $O_{S3}^{CO_2} = 89$ дол./рік.

На рис. 3.25 представлені економічні результати функціонування системи КТЕ за сценарієм мінімізації величини втрат ПЕР. При цьому збитки підсистеми S1 складають 165,26 тис.дол./рік, підсистеми S2 – 300,84 тис.дол./рік, а підсистеми S3 – 174,26 тис.дол./рік. Тобто система КТЕ за цим сценарієм стає набагато більш збитковою, ніж у базовому режимі функціонування, де збитки за системою КТЕ у цілому склали 57,80 тис.дол./рік. Це означає, що підвищення ефективності використання ПЕР, пов'язане зі структурно-параметричними змінами, не завжди призводить до підвищення економічної ефективності функціонування системи КТЕ.

Результати розрахунків величин питомого прибутку (ПР) на одиницю наданої теплової енергії (дол./Гкал) за сценарієм мінімізації величини втрат ПЕР для кожної з підсистем представлено на рис. 3.26 (права вертикальна вісь координат) залежно від зміни КНС. Зрозуміло, що ці показники, як і прибутки підсистем, погіршуються (стають від'ємними).

За допомогою лівої вертикальної осі координат на рис. 3.26 відображені результати розрахунків досягнутих кожною з підсистем за сценарієм мінімізації величини втрат ПЕР коефіцієнтів ефективності використання теплоти палива (КЕВП) залежно 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 за надану споживачам теплову енергію складають 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. Отримаємо результати, представлені на рис. 3.27 – 3.30.

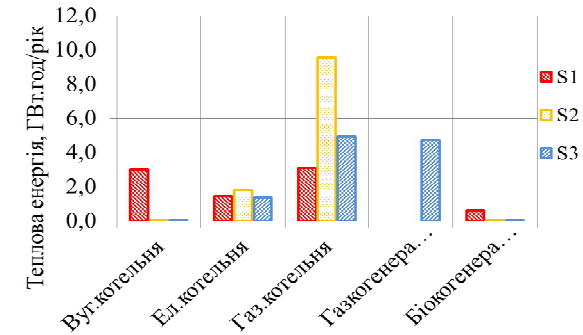


Рис. 3.23. Обсяги теплової енергії, наданої споживачам за рік

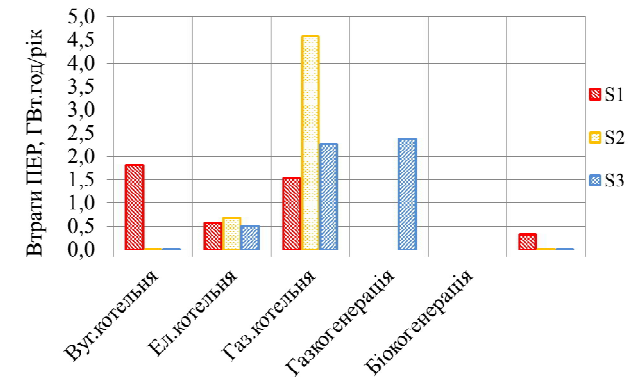


Рис. 3.24. Втрати ПЕР у підсистемах КТЕ за рік

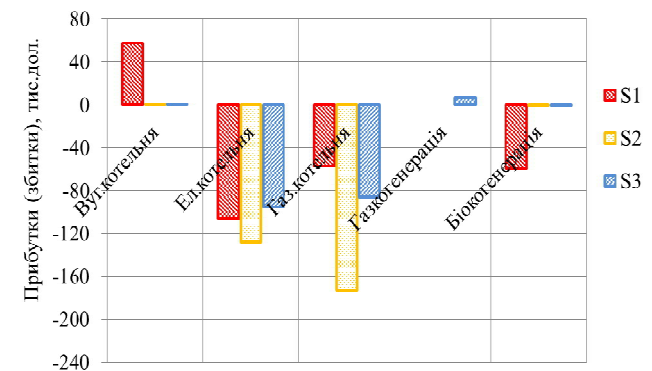


Рис. 3.25. Прибутки (збитки) від діяльності з виробництва та надання послуг з опалення та гарячого водопостачання у системі КТЕ

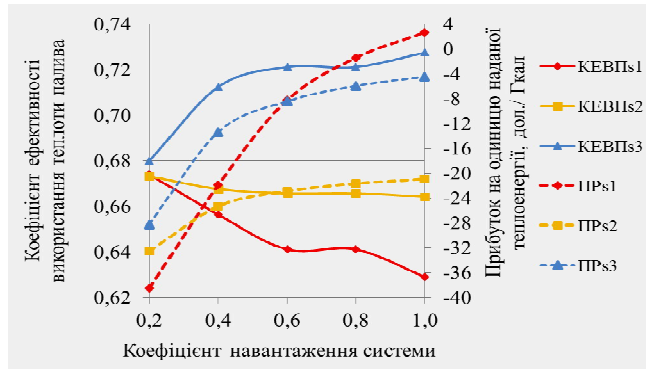


Рис. 3.26. Залежності КЕВП та отриманого прибутку підсистемами КТЕ від зміни навантаження системи

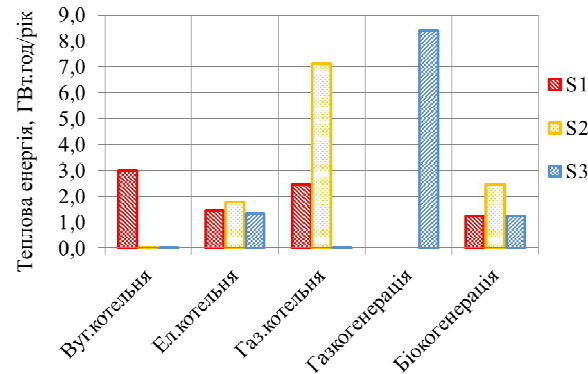


Рис. 3.27. Обсяги теплової енергії, наданої споживачам за рік

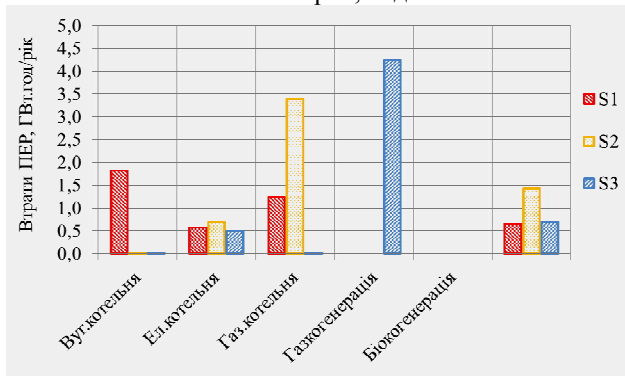


Рис. 3.28. Втрати ПЕР у підсистемах КТЕ за рік

Як можна бачити, розподілення навантажень між котельнями, як і розподілення втрат ПЕР, наведені на рис. 3.27, 3.28, суттєво відрізняються від аналогічних картин, представлених на рис. 3.23, 3.24. Так, за сценарієм мінімізації викидів CO_2 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. 3.15). При цьому останніми за рік були згенеровані вже 5,21 ГВт·год електричної енергії. На 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. 3.28. Їх порівняння з втратами ПЕР у базовому стані системи КТЕ, представленими на рис. 3.11 – 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_2 , то за сценарієм мінімізації викидів CO_2 у системі КТЕ вони також зменшуються по відношенню до базового сценарію і складають $F_{S1}^{\text{CO}_2} = 2,43$ тис. т/рік, $F_{S2}^{\text{CO}_2} = 2,28$ тис. т/рік, $F_{S3}^{\text{CO}_2} = 2,20$ тис. т/рік, а відповідні виплати за податком на викиди $O_{S1}^{\text{CO}_2} = 79$ дол./рік, $O_{S2}^{\text{CO}_2} = 74$ дол./рік, $O_{S3}^{\text{CO}_2} = 71$ дол./рік.

На рис. 3.29 показано економічні результати функціонування системи КТЕ за сценарієм мінімізації викидів CO_2 . При цьому збитки підсистеми S1 складають 211,72 тис.дол./рік, підсистеми S2 – 500,73 тис.дол./рік, а підсистеми S3 – 202,84 тис.дол./рік. Тобто система КТЕ за цим сценарієм стає ще більш збитковою, ніж за сценарієм втрат ПЕР. Це означає, що мінімізація викидів CO_2 , пов'язана зі структурно-параметричними змінами, не завжди призводить до підвищення економічної ефективності функціонування системи КТЕ.

Результати розрахунків величин питомого прибутку (ПР) на одиницю наданої теплової енергії (дол./Гкал) за сценарієм мініміза-

ції викидів CO_2 для кожної з підсистем наведені на рис. 3.30 (права вертикальна вісь координат) залежно від зміни КНС. Зрозуміло, що ці показники, як і прибутки підсистем, стають від'ємними.

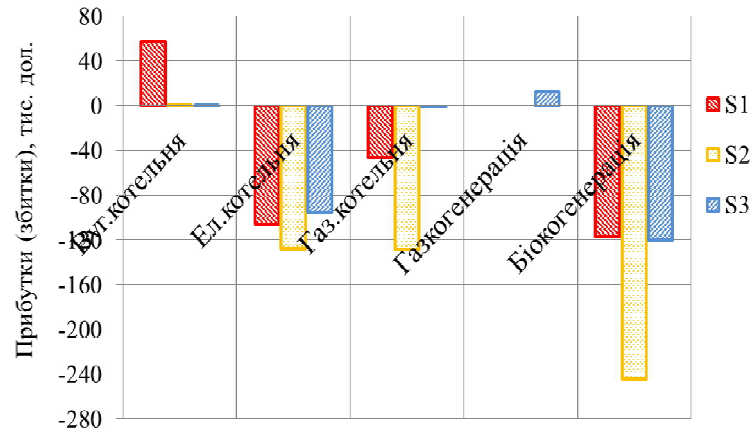


Рис. 3.29. Прибутки (збитки) від діяльності з виробництва та надання послуг з опалення та гарячого водопостачання у системі КТЕ

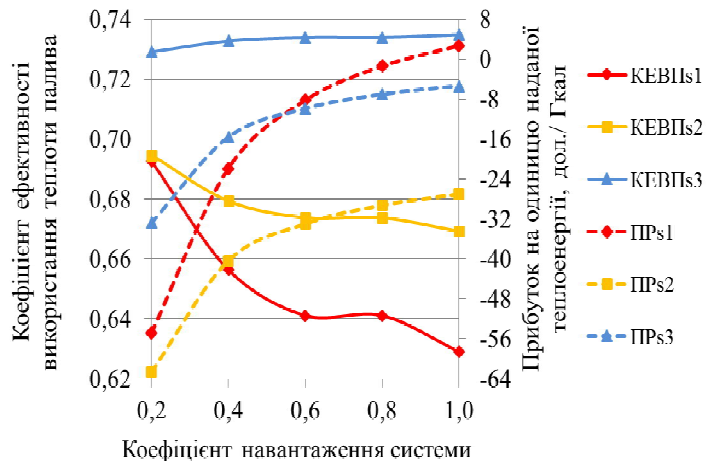


Рис. 3.30. Залежності КЕВП та отриманого прибутку підсистемами КТЕ від зміни навантаження системи

За допомогою лівої вертикальної осі координат на рис. 3.30 відображені результати розрахунків досягнутих кожною з підсистем за сценарієм мінімізації викидів CO_2 коефіцієнтів ефективності використання теплоти палива (КЕВП) залежно від зміни КНС. При цьому їх усереднені значення складають: $\text{КЕВП}_{S1} = 65,2\%$; $\text{КЕВП}_{S2} = 67,8\%$; $\text{КЕВП}_{S3} = 73,3\%$. $\text{КЕВП}_{S0} = 69,4\%$ (за базовим сценарієм $\text{КЕВП}_{S0} = 67,1\%$) при питомих витратах первинного палива за надану споживачам теплову енергію складають: 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 аналіз структурно-параметричних змін системи КТЕ за сценаріями мінімізації втрат ПЕР і мінімізації викидів CO_2 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 цією метою проведемо системний аналіз трьох розглянутих у попередніх розділах сценаріїв оптимального управління системою КТЕ.

Результати цього аналізу з деталізацією на рівні підсистем $S1$, $S2$, $S3$ системи КТЕ, включаючи сценарій функціонування за базовим станом системи, представлені на рис. 3.31 у координатах: втрати ПЕР (вісь абсцис); прибуток (ліва вісь ординат) та втрати ПЕР (та сама вісь абсцис); обсяги викидів CO_2 (права вісь ординат). На рисунку позначено: БАЗ – базовий сценарій; OptПР – сценарій за максимізацією прибутку системи; OptВТ – сценарій за мінімізацією втрат ПЕР у системі; OptВК – сценарій за мінімізацією викидів CO_2 у системі КТЕ.

Вузловими точками зображених на рис. 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 дає змогу одночасно розглядати тривимірну систе-

му показників функціонування системи КТЕ на площині рис. 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 (позначено стрілкою з безперервним окантуванням) не співпадає з напрямом зниження обсягів викидів CO₂, означеним штрихпунктирною стрілкою.

Як показник енергетичної ефективності у моделі використовується коефіцієнт ефективності використання теплоти палива (КЕВП), як показник економічної ефективності – рентабельність, а показник екологічної ефективності – запропонований у роботі показник $KEF_{S_i^{CO_2}}^j$, який розраховується за формулою

$$KEF_{S_i^{CO_2}}^j = (O_{S_i^{CO_2}}^{nor,j} - O_{S_i^{CO_2}}^{f,j}) / O_{S_i^{CO_2}}^{nor,j}, \quad (3.12)$$

де $O_{S_i^{CO_2}}^{nor,j}$, $O_{S_i^{CO_2}}^{f,j}$ – відповідно нормалізоване і фактичне значення обсягів викидів CO₂ від діяльності i -ї 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. 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 CO₂ у формулі (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 CO₂ визначатиме нульову позначку 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 найнеефективніших у світі.

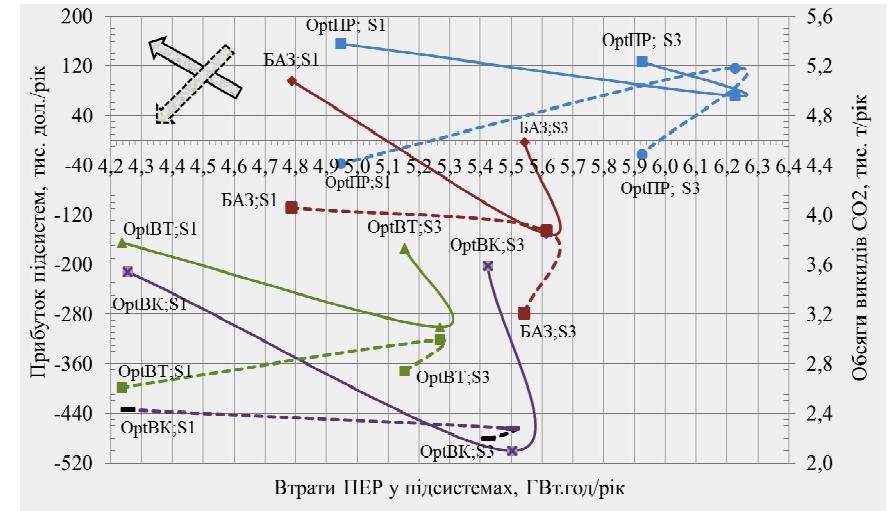


Рис. 3.31. Результати системного аналізу сценаріїв функціонування підсистем системи КТЕ в координатах прибуток-втрати ПЕР-викиди CO₂

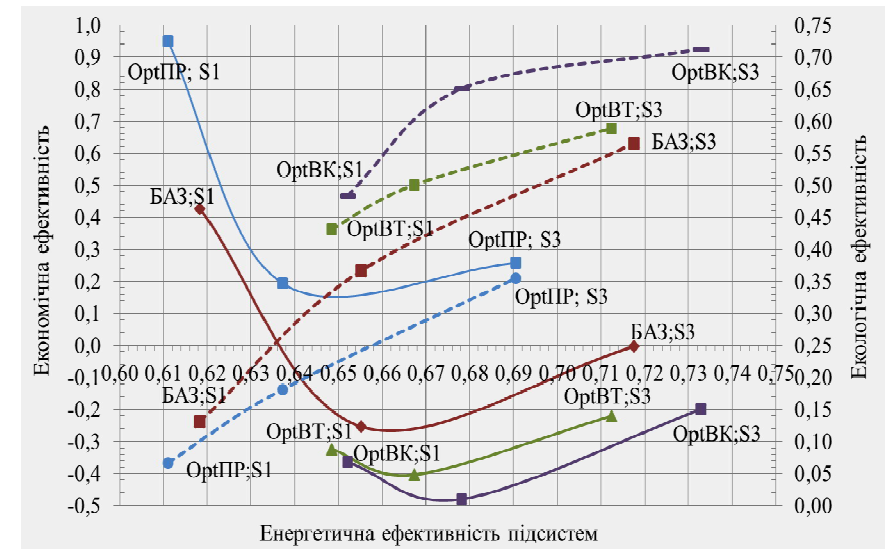


Рис. 3.32. Результати системного аналізу сценаріїв функціонування підсистем системи КТЕ в координатах показників 3-Е ефективності

Зрозуміло, що економічна ефективність функціонування підсистем і системи КТЕ у цілому, як це можна бачити на рис. 3.32, досягає свого максимально можливого за прийнятими вище техніко-економічними умовами значення за сценарієм максимізації прибутку системи.

Далі йдуть базовий сценарій, сценарій мінімізації втрат ПЕР у системі та сценарій мінімізації викидів CO₂. За екологічною ефективністю картина на рис. 3.32 змінюється на протилежну. Енергетична ефективність за сценаріями покращується з такою ж закономірністю.

Проведений 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 напівпіковий режим 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 сприятиме 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 (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. 3.33 представлено 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. 3.33 результати з аналогічними результатами на рис. 3.31 можна підрахувати, що за сценарієм максимізації прибутку, прибуток підсистеми S1 зростає на 75,46 тис.дол./рік (на 48,4 %), підсистеми S2 – на 92,52 тис.дол./рік (на 128,6 %), а підсистеми S3 зменшується на 3,29 тис.дол./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.дол./рік.

Задля прояснення фізичного змісту змін за системним управлінням на рис. 3.34 у вигляді стовпчикової діаграми показано розподіл обсягів виробництва теплової енергії різними видами теплогенеруючого обладнання підсистем S1, S2, S3 системи КТЕ (див. для порівняння відповідні обсяги на рис. 3.19).

На рис. 3.34 показано, що 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.

З результатів аналізу всіх розглянутих сценаріїв однокритеріальної оптимізації складної системи КТЕ (максимізації прибутку, мінімізації втрат ПЕР і мінімізації викидів CO₂) видно, що особливістю цієї системи, як і багатьох інших складних систем, є суперечливість локальних цілей окремих структурних елементів (підсистем), які далеко не завжди збігаються з загальносистемними цілями та функціями. Цю властивість, як зазначалось раніше, потрібно обов'язково враховувати при управлінні, координуючи діяльність структурних елементів системи таким чином, щоб направленість їх функціонування сприяла досягненню головної мети системи – підвищенню 3-Е ефективності її функціонування.

Зрозуміло, що прийняття управлінських (регуляторних тощо) рішень у 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.

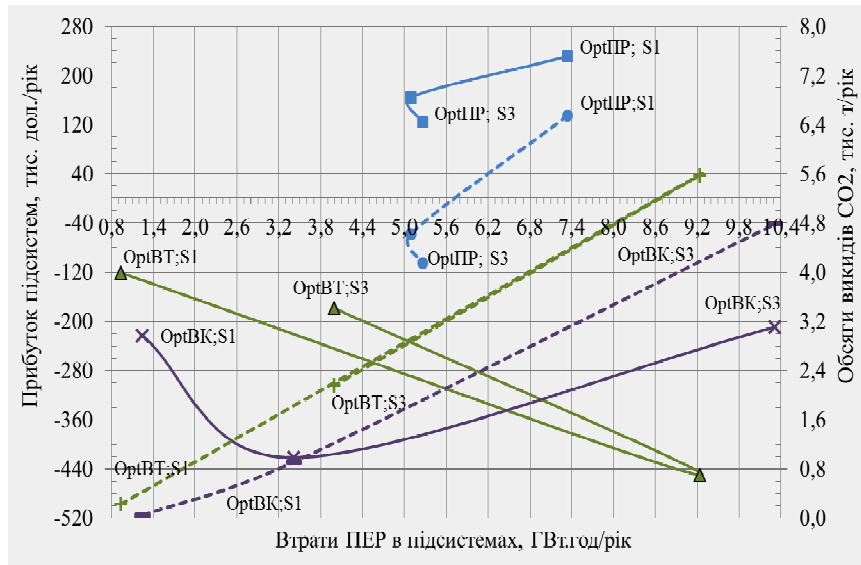


Рис. 3.33. Результати системного аналізу сценаріїв взаємодії підсистем системи КТЕ в координатах прибуток-втрати ПЕР-викиди CO_2

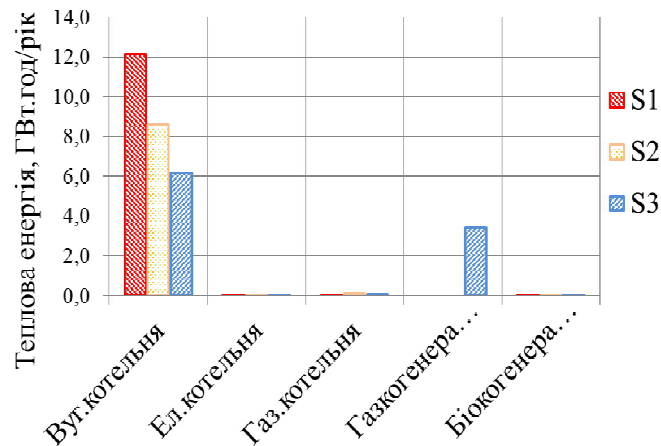


Рис. 3.34. Обсяги теплової енергії наданої споживачам за рік

Це змушує проводити багаточисленні розрахунки множини варіантів економічно, технічно і екологічно доцільних рішень та наслідків їх реалізації з залученням алгоритмів, що дають змогу зменшувати свавілля у виборі стратегії поведінки взаємодіючих підсистем системи КТЕ та пом'якшувати ризики непорозуміння між ними.

З виразів (2.22), (2.23) слідує, що на кожному рівні управління складними системами з ієрархічною структурою можливі два способи розв'язання 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. 3.31 – 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 розв'язувати 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 у цьому 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. 3.35.

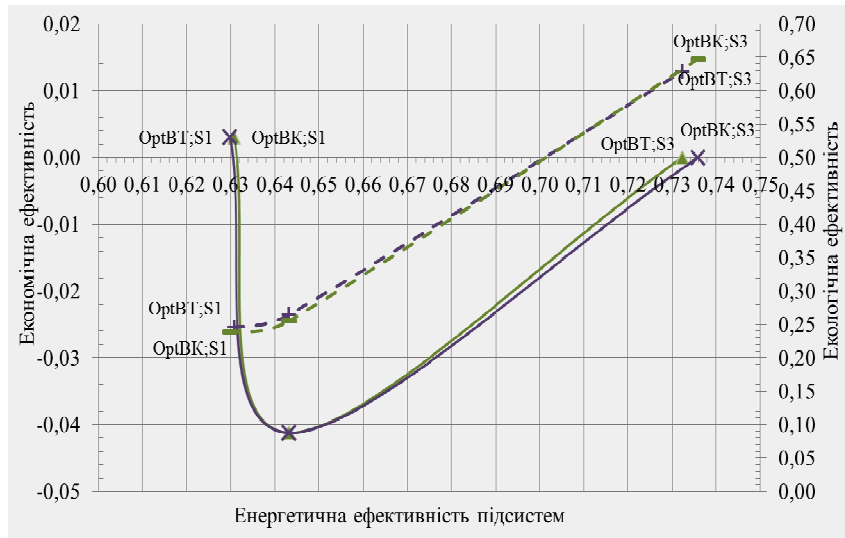


Рис. 3.35. Показники 3-Е ефективності підсистем КТЕ, що досягаються на границі беззбитковості системи

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 дає змогу в цій сфері розглядати оптимізаційну задачу як двокритеріальну. До того ж 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 втрат ПЕР і 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, яка приймає рішення (ОПР), бо добре відомо, що за-

дача багатокритеріальної оптимізації не має загального (єдиного) рішення, яке тією чи іншою мірою може вважатися остаточним. При цьому встановлені нижні та верхні границі оптимальних рішень значно полегшують процедуру прийняття ОПР обґрунтованого рішення.

Використовуючи, наприклад, відоме з теорії багатокритеріальної оптимізації правило “кута”, не складно вирахувати, що представлені на рис. 3.31 – 3.33 та 3.35 для кожної з підсистем S1, S2, S3 у вигляді точок множини рішень утворюють множину компромісних точок у критеріальному просторі ефективних точок Парето, саме серед яких ОПР має обирати 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, дає змогу 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.

РОЗДІЛ 4

МЕТОДИ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ БАГАТОРІВНЕВОГО УПРАВЛІННЯ ПІДВИЩЕННЯМ 3-Е ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ

4.1. Загальні питання управління підвищенням 3-Е ефективності систем помірно-централізованого 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.

Як зазначалося раніше, реалізація багаторівневої імітаційної моделі потребуватиме координації та взаємозв'язку процесів верифікації та 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 таке: 1) підвищення теплоенергетичної ефективності огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків з метою зменшення 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 процесора 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 такі:

1. Зміна структури і режимів споживання в багатоповерхових будинках внаслідок переходу частки споживачів системи централізованого опалення на автономне;
2. Зміна структури системи централізованого теплопостачання (СЦТ) внаслідок відключення будинків і цілих районів у зв'язку з децентралізацією системи теплопостачання;
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 водопостачання 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 протягом останніх двох десятиріч.

Так, на рис. 4.1 для одного з районів обласного центра в Україні наведено графік фактичного зниження теплового навантаження системи тепlopостачання, внаслідок відключення від системи централізованого опалення частини споживачів багатоквартирних житлових будинків. Таке рішення є економічно привабливим для певної частини споживачів, але ж не для системи, оскільки перші значно менше витрачають грошей на опалення власних приміщень за тією визначальною причиною, що ціни на природний газ для населення у декілька разів менші, ніж для підприємств КТЕ, які надають населенню аналогічні послуги централізованого тепlopостачання.

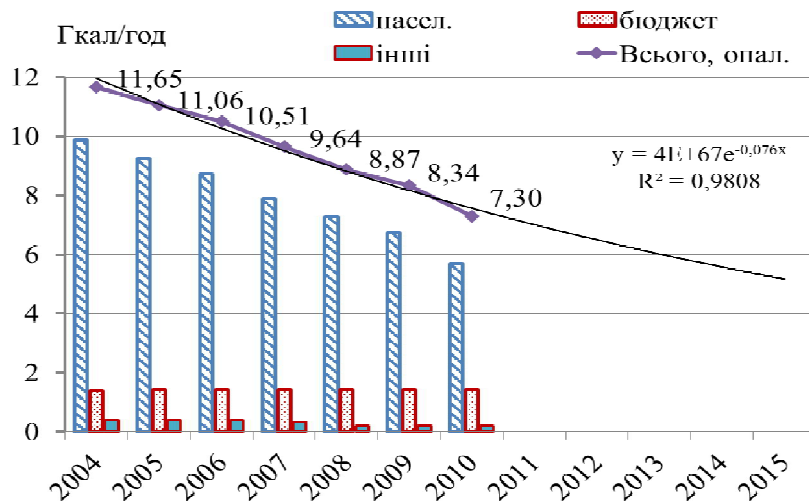


Рис. 4.1. Зміни теплового навантаження споживачів на опалення по роках

Одночасно 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 житлових приміщеннях багатоквартирного будинку.

Урахування змін навантаження будемо проводити, розглядаючи СЦТ окремого району великого міста в Україні, що охоплює розташовані в цьому районі будинки. Згідно з загальною класифікацією за потужністю 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-центрального тепlopостачання (СП-ЦТ) [169].

З точки зору прийнятого 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 та 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. У ринкових умовах СП-ЦТ в обов'язковому порядку має включати в якості підсистем: 4) системи автономного тепlopостачання і 5) системи теплоспоживання – індивідуальні теплогенеруючі та регулюючі установки і теплові пункти, внутрішньобудинкові мережі, радіатори систем опалювання та огорожувальні конструкції будинків тощо, які особливо впливають на ефективність і режими функціонування СП-ЦТ у цілому.

Економіко-організаційні засади регулювання діяльності на теплоенергетичних об'єктах систем тепlopостачання, спрямовані на підвищення 3-Е ефективності їх функціонування, визначаються Законом України про тепlopостачання [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, перш за все такими:

- 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 великих 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 котелень, трьох тупикових розподільних мереж та 26-ти багатоповерхових будинків з загальним тепловим навантаженням 11,2 Гкал/год (13 МВт), зображено на рис. 4.2.

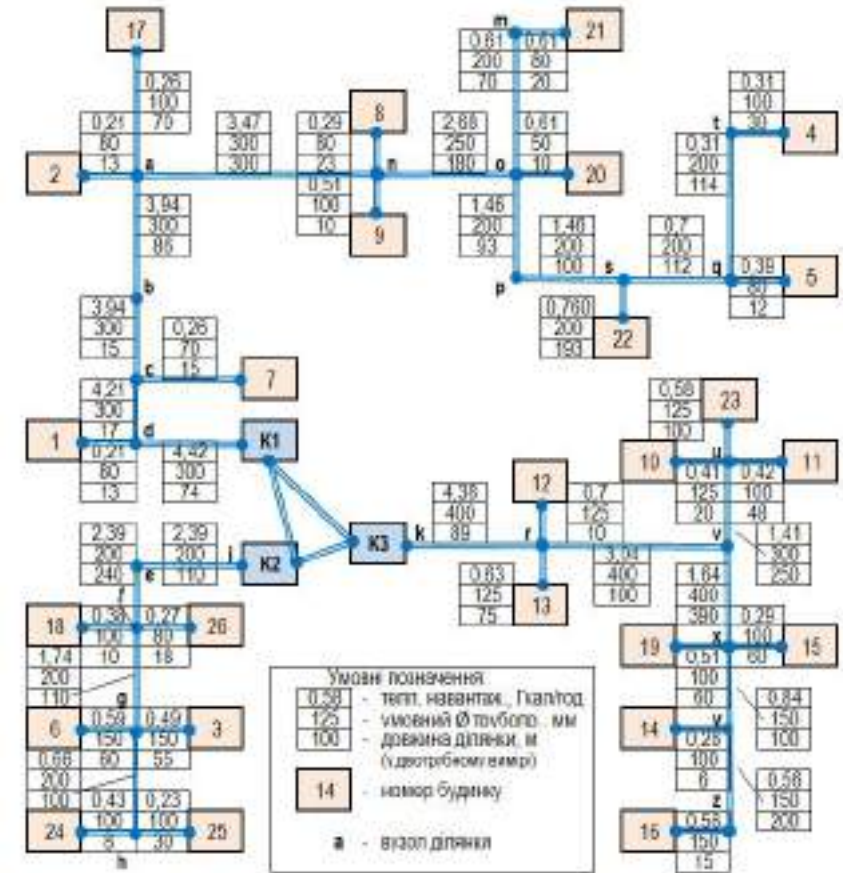


Рис. 4.2. Відокремлена частина структурної схеми системи централізованого теплопостачання

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 достатньо застосувати середньодобові значення параметрів зовнішнього впливу, а для оцінки енергетичних і технологічних параметрів виробництва, транспортування і постачання теплової енергії – більш глибоку їх часову диференціацію.

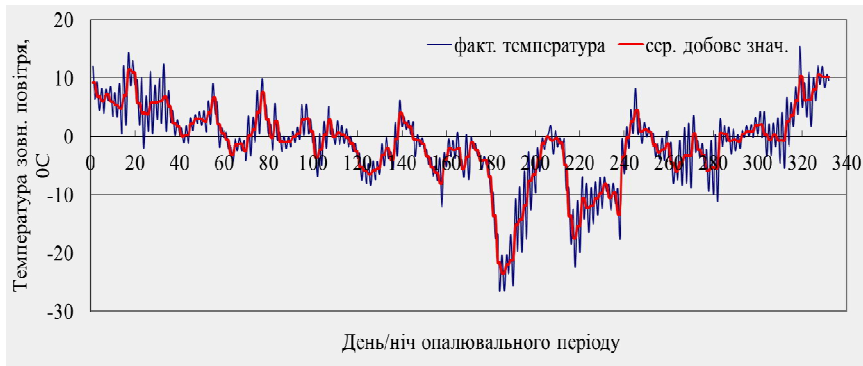


Рис. 4.3. Зміни фактичної температури зовнішнього повітря та її середньодобового значення протягом опалювального періоду

Наприклад, проведені у роботі та узагальнені за п'ять опалювальних періодів 2006–2014 років розрахунки усереднених значень температури зовнішнього повітря $T_{\text{зовн}}$ окремо за денні та нічні інтервали 168-добового опалювального періоду показують, що вони на 30...40 % відрізняються від відповідної середньодобової температури (див. рис. 4.3), що помітно впливає на результати розрахунків втрат і витрат теплової енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та споживанні. При цьому більш глибока, наприклад, почасова диференціація практично не змінює результати подальших техніко-економічних розрахунків.

Зазначимо, що такий висновок не стосується розрахунків максимальних (пікових та інш.) 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 та закінчення опалювального періоду визначаються переходом середньодобової температури зовнішнього повітря $T_{\text{зовн}}$ через 8°C (або 10°C для окремих типів споживачів) восени та навесні [ДСТУ-Н Б В.1.1-27], точніше – тридобовим стоянням із середньодобовою температурою зовнішнього повітря 8°C (або 10°C) за температурою повітря в приміщеннях, що опалюються, не нижче $T_{\text{вн}} = 18^{\circ}\text{C}$ (або 20°C).

Представницьку вибірку оброблених статистичних даних, отриманих на етапі збирання та аналізування вихідних даних, у графічній формі представлено на рис. 4.4 – 4.7.

Наведені на рис. 4.4 – 4.7 дані 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

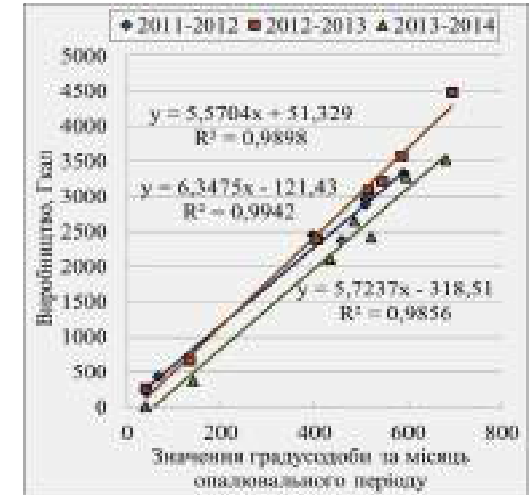


Рис. 4.4. Залежність обсягів виробництва теплоенергії від значення градусодоби

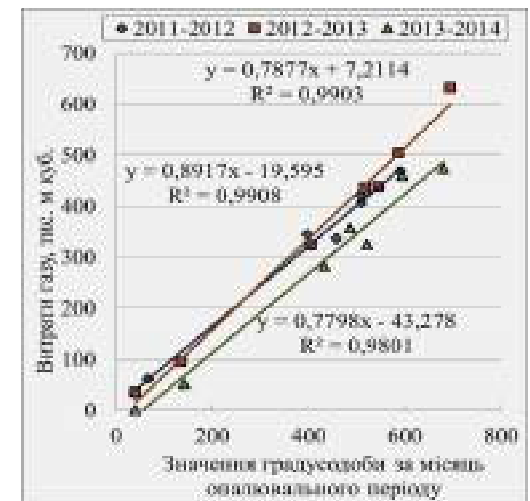


Рис. 4.5. Залежність витрат газу від значення градусодоби

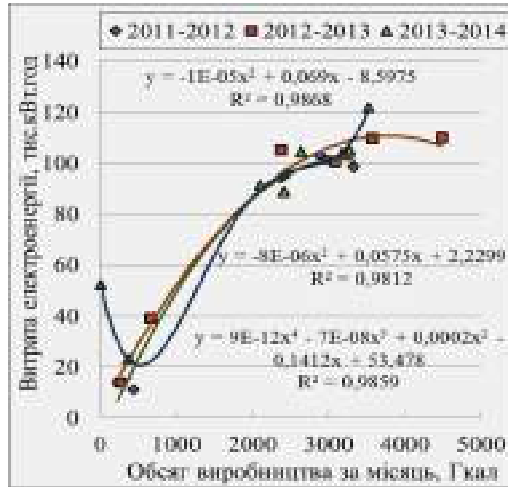


Рис. 4.6. Залежність витрат електроенергії на виробництво теплоенергії від значення градусодоби

вності порядку відображення періодів часу (рокам) відповідає вертикальний порядок розміщення рівнянь.

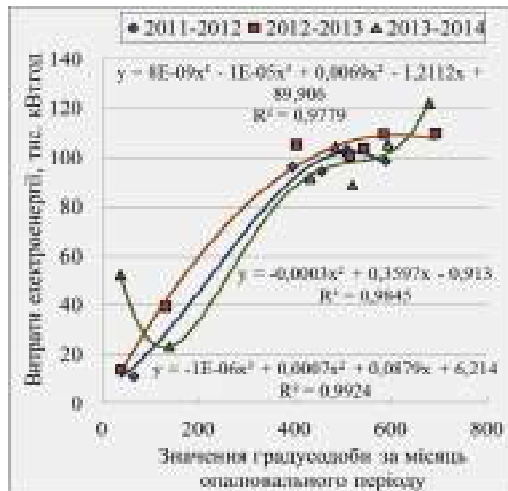


Рис. 4.7. Залежність витрат електроенергії на виробництво від обсягів виробництва теплоенергії

якої представлено на рис. 4.2. Ці дані 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 умов (у діапазонах) зміни параметрів оточуючого середовища і управлінських впливів.

Наведеному на площині рис. 4.4 – 4.7 у горизонтальній послідовності порядку відображення періодів часу (рокам) відповідає вертикальний порядок розміщення рівнянь.

У сукупності наведені дані відображають робочу поверхню у багатовимірному просторі функціонування реальної системи КТЕ, відносно якої мають бути протестовані та відкалібровані результати багатоваріантних розрахунків, проведених за модулями багаторівневої імітаційної моделі, перед їх використанням у процедурі прийняття управлінських рішень.

4.2. Метод та засіб мінімізації витрат і втрат теплової енергії на опалення і гаряче водопостачання житлових і громадських будинків

Багатоповерховий будинок є складною інженерно-будівельною системою з багатьма внутрішніми і зовнішніми конструктивними елементами, технологічним обладнанням і комунікаціями, в якій відбуваються різноманітні за фізичною сутністю процеси перенесення, перетворення і поглинання теплоти.

Теорію теплового режиму будинку в сучасній системній постановці відображено у наукових працях 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. Табунщикова, О.М. Шкловера, С. Ayers, С. Balaras, K. Drousta, A. Ignotas, H. Kim, J. Kittle, H. 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) теплоінерційної властивості внутрішніх і зовнішніх конструктивних елементів, енергії внутрішнього повітря тощо; 3) теплонадходжень 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 пройоми і двері; 4) тепловтрат за рахунок інфільтрації й повітрообміну.

Так, у роботі [97] розглядається методичний підхід до побудови математичної моделі будинку, оснований на її декомпозиції трьома теплоенергетично взаємопов'язаними підсистемами (енергетичного впливу зовнішнього клімату на оболонку будинку, енергії його оболонки і внутрішньої енергії обсягу будинку), а математична модель будівлі як єдиної енергетичної системи представляється у вигляді системи трьох підмоделей – зовнішнього клімату, теплопередачі через оболонку будівлі та променевого і конвективного теплообміну в приміщеннях будинку. Процеси формування

теплого режиму приміщень і будинку описують за допомогою як ймовірнісних, так і детермінованих математичних моделей.

У нашому випадку моделювання складної енергетичної системи теплопостачання, 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 теплопостачання.

Типологію житлових і громадських будинків та типові заходи з енергозбереження у житловому фонді України у порівнянні з міжнародним досвідом достатньо повно розглянуто 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 дає змогу 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 такі: одно- двоповерхові будинки 1886-1940 років забудови з кладкою з повнотілої цегли 30–38 см; двоповерхові будинки 1932-1940 років забудови з кладкою з повнотілої цегли 45 см; триповерхові будинки 1918-1938 років забудови з кладкою з повнотілої

цегли 45 см; трьохповерхові будинки 60-х років забудови з кладкою з повнотілої цегли 45 см; п'ятиповерхові будинки 1958-1978 років забудови з кладкою з повнотілої цегли 45 см; п'ятиповерхові будинки 1972-1990 років забудови з кладкою з повнотілої цегли 51 см; дев'ятиповерхові будинки 1972-1990 років забудови з кладкою з повнотілої цегли 64 см; восьмиповерхові будинки 1972-1990 років забудови з одношаровими керамзитобетонними панелями 35 см; дев'ятиповерхові будинки 1984-1992 років забудови з одношаровими керамзитобетонними панелями 35 см; десятиповерхові будинки 1972-1990 років забудови з одношаровими керамзитобетонними панелями 35 см; шістнадцятиповерхові будинки 1988-2004 років забудови з тришаровими керамзитобетонними панелями 30 см та ізоляцією з пінополістиролу.

Як приклад використання наведеної типології, розглянемо представлену на рис. 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 цій схемі та загальних паспортних характеристиках будинків, наведених у табл. 4.1, їх типологія охоплюється п'яти- і дев'ятиповерховими будинками 5...9 класів.

Надалі ці та інші характеристики огорожувальних конструкцій будинків, що визначають ефективність використання теплової енергії на опалення житлових і громадських будинків, будемо відображати саме на прикладі цих класів споживачів СЦТ, що жодним 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. 4.2 наведено узагальнений перелік вихідних параметрів моделі розрахунку показників теплоенергетичної ефективності огорожувальних конструкцій багатоповерхового будинку, їх позначення, одиниці виміру та розраховані за моделлю значення для дев'ятиповерхового будинку № 5 (табл. 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

Таблиця 4.1

Загальна характеристика споживачів

№ будинку п/п	Характеристика опалюваного будинку (за проектом)					Питоме теплове навантаження
	Зовнішній об'єм	Рік збудови	Кільк. поверхів	Опал. площа	Теплове навантаження	
						м³
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

$$D_{\text{опал}}^k = \text{ЯКЩО}((T_{\text{внут}}^k - T_{\text{зовн}}^k) \leq 10; 0; (T_{\text{внут}}^k - T_{\text{зовн}}^k) \times Z_{\text{опал}}^k).$$

або знаходяться за даними, наведеними у нормативній документації [97, 170–173]; блок об'ємно-планувальних показників будівлі, які визначаються за даними проведених енергетичних аудитів або за паспортними даними будинків; блок погодотемпературних факторів, де множина розрахункових і середніх температур

$$T_{\text{зовн}} = \{T_{\text{р.зовн}}, T_{\text{с.зовн}}\}$$

зовнішнього повітря та тривалість нормативного опалювального періоду $Z_{\text{норм}}$ визначаються за даними нормативної документації [174, 175], а множина розрахункових і середніх величин градусодіб опалювального періоду

$$D_{\text{опал}} = \{D_{\text{р.опал}}, D_{\text{с.опал}}\}$$

для k -го будинку розраховується програмним інструментом, сформованим на базі табличного процесора, за узагальненою формулою

Таблиця 4.2

Блок вихідних даних моделі розрахунку витрат тепла на опалення будинку

№	Найменування	Познач.	Одиниця виміру	Значення
Коефіцієнти теплопередачі будівельних конструкцій				
1	Опір теплопередачі зовнішніх стін	$R_{\text{стін}}$	(м ² •°C)/Вт	1,61
2	Опір теплопередачі вікон	$R_{\text{вікон}}$	(м ² •°C)/Вт	0,37
3	Опір теплопередачі дверей	$R_{\text{двер}}$	(м ² •°C)/Вт	0,44
4	Опір теплопередачі склоблоків	$R_{\text{склбл}}$	(м ² •°C)/Вт	0,62
5	Опір теплопередачі підвалу	$R_{\text{підв}}$	(м ² •°C)/Вт	0,82
6	Опір теплопередачі горища	$R_{\text{гор}}$	(м ² •°C)/Вт	0,82
7	Опір повітропроникнення вікон і дверей	$R_{\text{пов}}$	(м ² •год•Па)/кг	0,47
8	Різниця тисків внутр. і зовн. повітря для вікон і дверей	$\Delta_{\text{пов}}$	Па	41,50
Об'ємно-планувальні показники будівлі				
9	Кількість поверхів	m	шт.	9
10	Периметр внутрішньої поверхні зовнішніх стін	$p_{\text{буд}}$	м	133
11	Висота опалюваного об'єму будівлі	$h_{\text{буд}}$	м	30
12	Загальна площа стінових огорожень	$F_{\text{стін}}$	м ²	3585
13	Площа вікон	$F_{\text{вікон}}$	м ²	788
14	Площа наружних дверей	$F_{\text{двер}}$	м ²	14
15	Площа склоблоків	$F_{\text{склбл}}$	м ²	0
16	Площа зовнішніх стін	$F_{\text{стін}}$	м ²	2797
17	Площа підвалу = площі поверху	$F_{\text{підв}}$	м ²	979
18	Площа горища	$F_{\text{гор}}$	м ²	1028
19	Загальна площа огорожувальної оболонки	$F_{\text{буд}}$	м ²	4613
20	Площа опалюваних приміщень	$F_{\text{опал}}$	м ²	5874
21	Площа житлових приміщень	$F_{\text{житл}}$	м ²	4921
22	Опалюваний об'єм будівлі	$V_{\text{опал}}$	м ³	17622
Погодно-температурні фактори				
23	Розрахункова температура внутрішнього повітря	$T_{\text{р.вн}}$	°C	18,0
24	Розрахункова температура зовнішнього повітря	$T_{\text{р.зовн}}$	°C	-22,0
25	Середня розрахункова температура зовнішнього повітря	$T_{\text{с.зовн}}$	°C	-1,0
26	Розрахункова температура повітря підвалу	$T_{\text{підв}}$	°C	5,0
27	Тривалість нормативного опалювального періоду	$Z_{\text{опал}}$	дб	180
28	Нормативна величина градусо-дб опалювального періоду	$D_{\text{норм}}$	°C•доба	3 750
29	Середня величина градусо-дб опалювального періоду	$D_{\text{сер}}$	°C•доба	3 420
30	Розрахункова величина градусо-дб опалювального періоду	$D_{\text{розр}}$	°C•доба	7 200

Продовження таблиці 4.2

№	Найменування	Познач.	Одиниця виміру	Значення
Коефіцієнти формування теплового режиму приміщень і будинку				
31	Коефіцієнт урахування температури повітря підвалу	$K_{підв}$	-	-0,227
32	Коефіцієнт теплопередачі наружної оболонки	$K_{нар}$	Вт/(м ² ·°C)	1,257
33	Кратність повітрообміну житлових приміщень	$n_{житл}$	1/год	1,158
34	Середня густина повітря за інфільтрацією	$h_{с.інф}$	кг/м ³	1,295
35	Розрахункова густина повітря за інфільтр	$h_{р.інф}$	кг/м ³	1,347
36	Кількість інфільтрованого повітря сходової клітини	$G_{інф}$	кг/год	74,71
37	Кратність повітрообміну сходової клітини	$n_{сход}$	1/год	0,0085
38	Загальна кратність повітрообміну	$n_{заг}$	1/год	1,167
39	Коефіцієнт впливу зустрічного теплового потоку	$K_{зуст}$	-	0,700
40	Питома теплоємність повітря	$c_{пов}$	кДж/(кг·°C)	1,000
41	Коефіцієнт зниження об'єму повітря	$K_{пов}$	-	0,850
42	Розмірний коефіцієнт	α_1	-	0,024
43	Середній умовний коефіцієнт теплопередачі будівлі	$K_{с.пер}$	Вт/(м ² ·°C)	0,912
44	Розрахунковий умовний коефіцієнт теплопередачі будівлі	$K_{р.пер}$	Вт/(м ² ·°C)	0,949
45	Середній загальний коефіцієнт теплопередачі будівлі	$K_{с.заг}$	Вт/(м ² ·°C)	2,169
46	Розрахунковий загальний коефіцієнт теплопередачі будівлі	$K_{р.заг}$	Вт/(м ² ·°C)	2,206
47	Питомі побутові тепловиділення	$q_{поб}$	Вт/м ²	10,00
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 ²	333,5
51	Площа світлових прорізів на схід	$F_{схід}$	м ²	62,0
52	Площа світлових прорізів на захід	$F_{зах}$	м ²	62,0
53	Площа світлових прорізів на південь	$F_{півд}$	м ²	333,5
54	Середня величина сонячної радіації на північ	$I_{с.півн}$	кВт·год/м ²	136,0
55	Середня величина сонячної радіації на схід	$I_{с.схід}$	кВт·год/м ²	201,0
56	Середня величина сонячної радіації на захід	$I_{с.зах}$	кВт·год/м ²	207,0
57	Середня величина сонячної радіації на південь	$I_{с.півд}$	кВт·год/м ²	329,0
58	Коефіцієнт акумулювання огорожувальних конструкцій	α_2	-	0,80
59	Коефіцієнт авторегулювання	α_3	-	0,50
60	Коефіцієнт дискретності	α_4	-	1,13

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].

Враховуючи той факт, що огорожувальні конструкції будинків мають теплову інерцію [176], за розрахункову температуру зовнішнього повітря $T_{р.зовн}$ приймають середню температуру найбільш холодної п'ятиденки з забезпеченістю 0,92 [173 – 175]. Такий вибір базується на 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 п'ятидобовий інтервал дорівнює вихідній постійній температурі.

Перелік вихідних даних та розраховані за моделлю показники теплоенергетичної ефективності огорожувальних конструкцій багатоповерхового будинку №5 наведені у табл. 4.2. Перелік вихідних даних включає блок (модуль) коефіцієнтів формування теплового режиму приміщень і будинку в 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 дає змогу 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 п'ятидобовий 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 процесора процедуру автоматизованих розрахунків питомих витрат теплової енергії на опалення будинків, базуючись на даних, представлених в роботі [173] у формульному, табличному і графічному вигляді.

Перелік показників, їх позначення, одиниці виміру та результати розрахунків за запропонованою моделлю значень теплоенергетичних показників типового будинку наведені у табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Блок розрахунку витрат тепла на опалення будинку № 5

№	Найменування	Познач.	Одиниця виміру	Значення
Розрахункові значення теплоенергетичних показників за опалювальний період				
1	Загальні тепловтрати через огорожувальну оболонку	$Q_{p.a}$	МВт•год	1 827
2	Побутові теплонадходження в будівлю	$Q_{p.б}$	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 Гкал	1 940 1 668
5	Питома витрата теплової енергії на опалення будівлі	$Q_{p.пит}$	МВт•год/м ² Гкал/м ²	0,33 0,28
6	Розрахункове теплове навантаження будівлі	$q_{p.нав}$	Гкал/год МВт	0,39 0,45
7	Питома витрата теплової потужності на опалення будівлі	$q_{p.пит}$	ккал/(год•м ²) Вт/м ²	65,73 76,44
Середньорозрахункові значення теплоен. показників за опалювальний період				
8	Загальні тепловтрати через огорожувальну оболонку	$Q_{c.a}$	МВт•год	856
9	Побутові теплонадходження в будівлю	$Q_{c.б}$	МВт•год	212,59
10	Теплонадходження від сонячної радіації	$Q_{c.c}$	МВт•год	62,27
11	Загальні витрати теплової енергії на опалення будинку	$Q_{c.заг}$	МВт•год Гкал	843,16 724,98
12	Питома витрата теплової енергії на опалення будівлі	$Q_{c.пит}$	МВт•год/м ² Гкал/м ²	0,14 0,12
13	Середнє розрахункове теплове навантаження будівлі	$q_{c.нав}$	Гкал/год МВт	0,17 0,20
14	Питома витрата теплової потужності на опалення будівлі	$q_{c.пит}$	ккал/(год•м ²) Вт/м ²	28,57 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. 4.2 умов перевищує його середньорозрахункове теплове навантаження, визначене за методикою [173], у 2,29 разу. І це є об'єктивним фактом (див. рис. 4.8).

Більш складним шляхом розраховуються ці показники на інтервалах дискретизації температурно-часового простору з урахуванням розміщення 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. 4.2 і 4.3, від температури зовнішнього повітря. Положення ускладнюється тим, що більшість залежностей тих показників і коефіцієнтів від температури визначено у неявному вигляді у формульній або ж табличній і графічній формах.

Розв'язання цієї проблеми здійснюється за запропонованою моделлю на площині табличного процесора 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 теплопостачання 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. 4.2, 4.3, в якості верхнього індексу будемо додавати означення номерів джерел, будинків і часового інтервалу. Тобто, наприклад, розрахункову температуру зовнішнього повітря (поз. 24, табл. 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 такими формулами:

- загальна витрата теплової енергії на опалення k -го будинку, МВт•год

$$Q_{p.заг}^{BH_{i,j}^k} = \text{ЯКЩО}(Q_{p.a}^{BH_{i,j}^k} > (Q_{p.б}^{BH_{i,j}^k} + Q_{p.c}^{BH_{i,j}^k}) \cdot a_2^{BH_{i,j}^k} \cdot a_3^{BH_{i,j}^k}; 0; (Q_{p.a}^{BH_{i,j}^k} - (Q_{p.б}^{BH_{i,j}^k} + Q_{p.c}^{BH_{i,j}^k}) \cdot a_2^{BH_{i,j}^k} \cdot a_3^{BH_{i,j}^k}) \cdot a_4^{BH_{i,j}^k}); \quad (4.1)$$

- загальні втрати теплової енергії будинку через огорожувальну оболонку k -го будинку

$$Q_{p.a}^{BH_{i,j}^k} = a_1^{BH_{i,j}^k} \cdot K_{p.zaг}^{BH_{i,j}^k} \cdot D_{розр}^{BH_{i,j}^k} \cdot F_{буд}^{BH_{i,j}^k} \cdot 10^{-3}; \quad (4.2)$$

$$K_{p.zaг}^{BH_{i,j}^k} = K_{нар}^{BH_{i,j}^k} + K_{р.пер}^{BH_{i,j}^k};$$

$$K_{нар}^{BH_{i,j}^k} = a_4^{BH_{i,j}^k} \cdot (F_{стін}^{BH_{i,j}^k} / R_{стін}^{BH_{i,j}^k} + F_{вікон}^{BH_{i,j}^k} / R_{вікон}^{BH_{i,j}^k} + F_{двер}^{BH_{i,j}^k} / R_{двер}^{BH_{i,j}^k} + F_{гор}^{BH_{i,j}^k} / R_{гор}^{BH_{i,j}^k} + K_{підв}^{BH_{i,j}^k} \cdot F_{підв}^{BH_{i,j}^k} / R_{підв}^{BH_{i,j}^k}) / F_{буд}^{BH_{i,j}^k};$$

$$K_{р.пер}^{BH_{i,j}^k} = a_5^{BH_{i,j}^k} \cdot c_{пов}^{BH_{i,j}^k} \cdot K_{пов}^{BH_{i,j}^k} \cdot n_{заг}^{BH_{i,j}^k} \cdot h_{р.нар}^{BH_{i,j}^k} \cdot K_{зуст}^{BH_{i,j}^k} \cdot V_{опал}^{BH_{i,j}^k} / F_{буд}^{BH_{i,j}^k};$$

$$a_5^{BH_{i,j}^k} = 0,278 \text{ – розмірний коефіцієнт};$$

- побутові теплонадходження в k -ту будівлю

$$Q_{p.б}^{BH_{i,j}^k} = a_1^{BH_{i,j}^k} \cdot q_{поб}^{BH_{i,j}^k} \cdot Z_{опал}^{BH_{i,j}^k} \cdot F_{житл}^{BH_{i,j}^k} \cdot 10^{-3}; \quad (4.3)$$

- теплові надходження через вікна від сонячної радіації для чотирьох, орієнтованих за сторонами світу, фасадів k -го будинку

$$Q_{p.c}^{BH_{i,j}^k} = K_{заг}^{BH_{i,j}^k} \cdot K_{прон}^{BH_{i,j}^k} (F_{півн}^{BH_{i,j}^k} \cdot I_{с.півн}^{BH_{i,j}^k} + F_{схід}^{BH_{i,j}^k} \cdot I_{с.схід}^{BH_{i,j}^k} + F_{зах}^{BH_{i,j}^k} \cdot I_{с.зах}^{BH_{i,j}^k} + F_{півд}^{BH_{i,j}^k} \cdot I_{с.півд}^{BH_{i,j}^k}) \cdot 10^{-3}; \quad (4.4)$$

- розрахункове значення питомої витрати теплової енергії на опалення k -го будинку

$$Q_{p.пит}^{BH_{i,j}^k} = Q_{p.zaг}^{BH_{i,j}^k} / F_{опал}^{BH_{i,j}^k}; \quad (4.5)$$

- розрахункове теплове навантаження на опалення k -го будинку

$$q_{p.нав}^{BH_{i,j}^k} = Q_{p.zaг}^{BH_{i,j}^k} / Z_{опал}^{BH_{i,j}^k} / 24; \quad (4.6)$$

- розрахункове значення питомої витрати теплової потужності на опалення k -го будинку

$$q_{p.пит}^{BH_{i,j}^k} = q_{p.нав}^{BH_{i,j}^k} / F_{опал}^{BH_{i,j}^k}. \quad (4.7)$$

За аналогічними формулами (4.1)...(4.7) визначаються і середньорозрахункові значення розглянутих теплоенергетичних показників, чисельні значення яких розраховані для будинку № 5 (поз. 5, табл. 4.1), також наведені у табл. 4.2 і 4.3.

Як можна бачити, формули (4.1)...(4.7) відрізняються від формул, наведених у роботі [173], логічними предикатами ЯКЩО табличного процесора. Застосування в автоматизованих розрахунках цього предикату, який перевіряє задані його аргументами умови і залежно від результату перевірки повертає одне з розрахованих значень цих аргументів, дає змогу значно розширити можливості логічного аналізу даних і прийняття управлінських рішень на їх основі.

Так, функція (предикат) ЯКЩО табличного процесора Microsoft Excel має такий синтаксис: ЯКЩО (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 ЯКЩО [178]. Наприклад, формула ЯКЩО ($T_{зovн} < 10$; A1; (ЯКЩО ($T_{зovн} > 10$; A2; A3))) повертає значення однієї з трьох комірок (A1, A2, A3) залежно від значення температури зовнішнього повітря.

Побудований на основі вкладених функцій ЯКЩО оригінальний програмний інструмент *BUILD*, призначений для розрахунків фактичного теплового навантаження будинку $q_{ф.нав}^{BH_{i,j}^k}$ залежно від змін фактичної температури зовнішнього повітря, формалізовано у вигляді

$$\overline{BUILD} \left\{ q_{\text{ф.нав}}^{BH_{i,j}^k} \right\} \Rightarrow$$

$$\left\{ = \text{ЯКЩО} \left(\left\{ \hat{Q}_{p.a}^{BH_{i,j}^k} \right\} \times \text{ЯКЩО} \left(\left(\left\{ T_{p.вн}^{BH_{i,j}^k} \right\} - \left\{ T_{с.факт}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right) \leq 8; 0; \right. \right.$$

$$\left. \left(\left\{ T_{p.вн}^{BH_{i,j}^k} \right\} - \left\{ T_{с.факт}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right) \geq \left(\left\{ \hat{Q}_{p.б}^{BH_{i,j}^k} \right\} + \left\{ \hat{Q}_{p.c}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right); \right.$$

$$\left. \left(\left\{ \hat{Q}_{p.a}^{BH_{i,j}^k} \right\} \times \left(\left\{ T_{p.вн}^{BH_{i,j}^k} \right\} - \left\{ T_{с.факт}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right) - \left(\left\{ \hat{Q}_{p.б}^{BH_{i,j}^k} \right\} + \left\{ \hat{Q}_{p.c}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right); 0 \right) \right\}. \quad (4.8)$$

У формулі (4.8) знак алгебри логіки $\Rightarrow$ вказує на те, що вираз зліва є означенням виразу справа. При цьому у круглих дужках програмних інструментів розміщуються множини, позначені фігурними дужками, чисельні значення елементів яких упорядковуються за індексами i, j, k залежно від зміни усереднених за визначений інтервал часу фактичних температур зовнішнього повітря $T_{с.факт}^{BH_{i,j}^k}$ у встановленому обмеженні діапазоні. Знак “ $\Rightarrow$ ” над позначеннями змінних витрат і витрат теплової енергії означає, що їх значення розраховуються за формулою, аналогічною (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. 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.

Слід зазначити, що використання моделі (4.8), побудованої шляхом лінійної інтерполяції температурних залежностей, наведених

у формульній, табличній і графічній формах у 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.

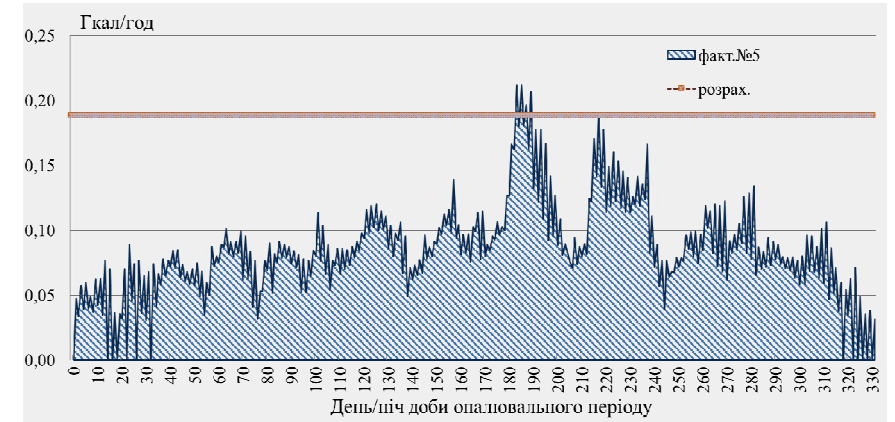


Рис. 4.8. Зміни розрахункової та розрахованої фактичної величин теплового навантаження будинку протягом опалювального періоду

На рис. 4.9 наведено розраховані за моделлю залежності фактичної та розрахункової величин теплового навантаження будинку № 5 з середньою за опалювальний період температурою зовнішнього повітря $-1,7^\circ\text{C}$.

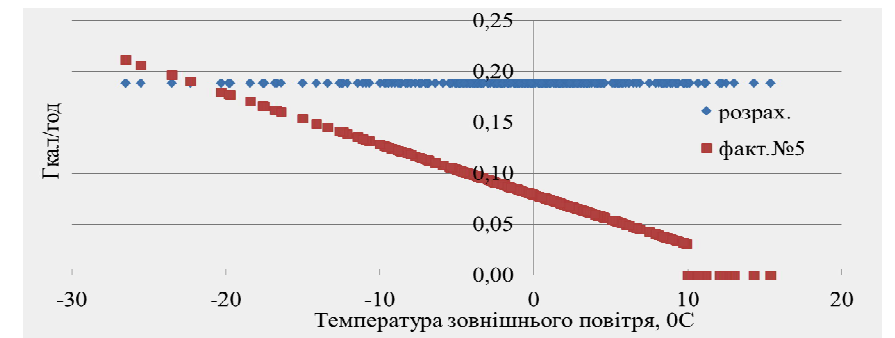


Рис. 4.9. Залежності розрахункової та розрахованої фактичної величин теплового навантаження будинку від температури зовнішнього повітря

Для подальших багатоваріантних розрахунків оптимальних значень теплоенергетичних показників будинків (4.1)...(4.7) при змінах температури зовнішнього повітря доцільно використовувати програмні інструменти НАХИЛ і ВІДРІЗОК табличного процесора, які розраховують коефіцієнти α і β рівнянь лінійної парної регресії, та КВПІРСОН (для знаходження квадрата коефіцієнта кореляції Пірсона R^2) [178].

Для цього формалізуємо власну Excel функцію користувача *BUILD*, призначену для розрахунку незалежних від часу коефіцієнтів α і β лінеаризованої залежності величини теплового навантаження будинку $q_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k}$ від величини градусодоби $D_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k}$, яку будемо визначати як різницю внутрішньої розрахункової (або фактичної) температури приміщень $T_{\text{р.вн}}^{BH_{i,j}^k}$ і фактичної температури зовнішнього повітря $T_{\text{с.факт}}^{BH_{i,j}^k}$ для кожного інтервалу дискретизації часу, що розглядається (див. також формулу (4.8)).

Формули для розрахунків мають такий вигляд:

$$\begin{cases} q_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} = 0, \text{ якщо } D_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} < 8; \\ q_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} = \alpha_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} \times D_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} + \beta_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k}, \text{ якщо } D_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} \geq 8. \end{cases} \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned} BUILD \left\{ q_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} \right\} &\Rightarrow \\ &\left\{ = BUILD \left(\left\{ D_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} \right\}; \left\{ \alpha_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} \times D_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} \right\}; \left\{ \beta_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right); \right. \\ \alpha_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} &= \text{НАХИЛ} \left(\left\{ BUILD \right\}; \left\{ D_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right); \\ \beta_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} &= \text{ВІДРІЗОК} \left(\left\{ BUILD \right\}; \left\{ D_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right); \\ R_{\text{ф.наві}}^2 &= \text{КВПІРСОН} \left(\left\{ BUILD \right\}; \left\{ D_{\text{ф.наві}}^{BH_{i,j}^k} \right\} \right). \end{aligned} \quad (4.10)$$

Наприклад, розрахунки коефіцієнтів α і β рівнянь лінійної парної регресії за Excel-функціями (4.8) та (4.10) для позначених вище параметрів будинку №5 визначають:

$$\alpha_{\text{ф.наві}} = 1,002 * 10^{-2}; \beta_{\text{ф.наві}} = -1,732 * 10^{-2}; R^2 = 1,000. \quad (4.11)$$

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. 4.1), залежно від значення градусодоби означеного опалювального періоду, наведені на рис. 4.10.

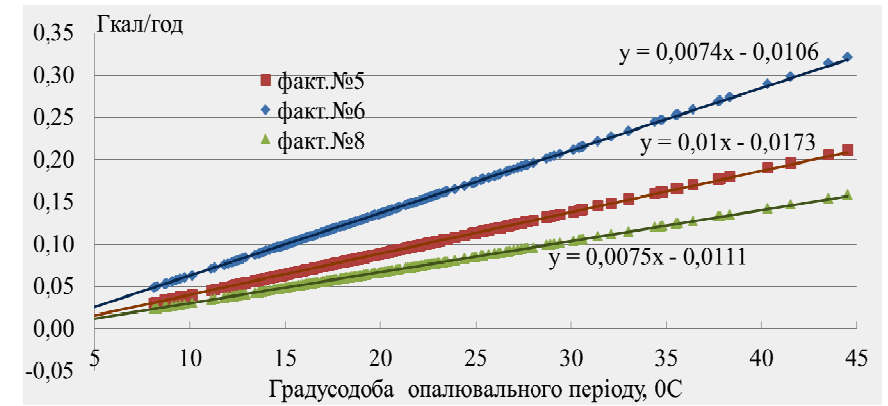


Рис. 4.10. Залежність розрахованої фактичної величини теплового навантаження для трьох різних будинків від питомого значення градусодоби

Для порівняння на рис. 4.11 наведено результати ранжирування всіх 26 будинків, підключених до джерела теплової енергії (рис. 4.2), за питомою витратою теплової потужності на одну градусодобу. 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. 4.1), питомі витрати яких перевищують середнє розрахункове значення.

На рис. 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; горища з 0,59 на 0,81.

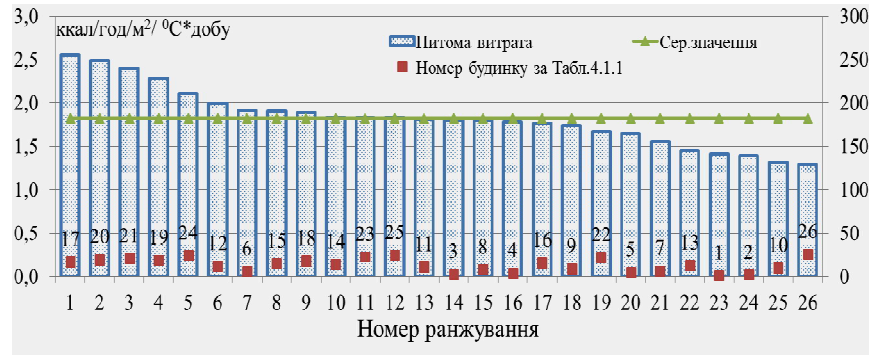


Рис. 4.11. Ранжування будинків за порядком зниження величини питомої витрати розрахункової теплової потужності

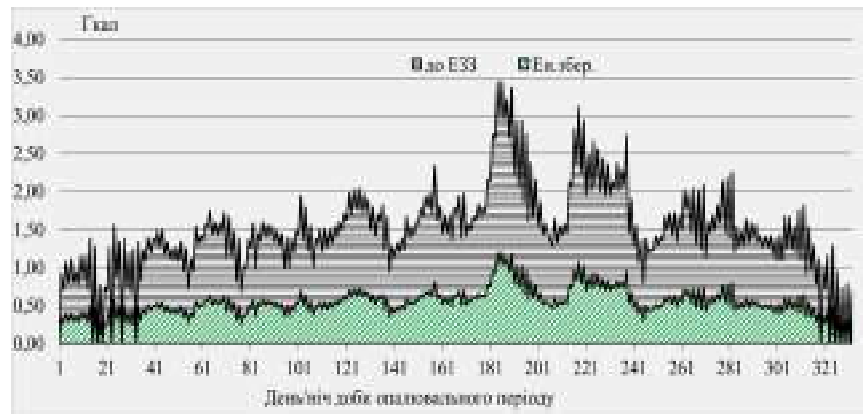


Рис. 4.12. Обсяги споживання теплової енергії будинком № 17 за інтервалами день/ніч опалювального періоду

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 обся-

гу споживання), а за всіма 26-ма будинками системи – 4803,2 Гкал збереженої теплової енергії, тобто більше 20 % наявного теплоспоживання 20767,5 Гкал. За цих умов зменшення обсягів викидів CO_2 26-ма будинками системи складе 1,87 тис. т/рік, а зменшення відповідних виплат за податком на викиди – 61,9 дол./рік.

В якості параметрів управління підвищенням 3-Е ефективності теплозабезпечення будинків за пропонованою моделлю на-самперед використовуються обсяги енергозбереження і викидів CO_2 , 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.

Можна констатувати, що за формулами (4.1)...(4.11) і результатами проведених техніко-економічних розрахунків, відображеними на рис. 4.8 – 4.12, формалізовано і експериментально апробовано оригінальну модель розрахунку показників 3-Е ефективності використання теплової енергії на опалення житлових і 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 ендогенних параметрів системи протягом всього опалювального періоду, синхронізованих зі змінами температури зовнішнього повітря.

Головною перевагою пропонованої 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, погодно-температурними 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 й питомі

витрати теплової енергії на опалення будинку, у тому числі розрахункове теплове навантаження будівлі з 12-годинним кроком дискретизації за весь опалювальний період.

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 і 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: 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 (гідрравлічна енергетична характеристика); величина питомих втрат теплоти через теплоізоляційні конструкції й 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.

У системах централізованого теплопостачання житлових будинків і громадських споруд як теплоносіїв 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.

Залежно від вимог до якості та ефективності теплопостачання розрізняють закриті й 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 теплоносій 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 у деяких випадках і енергетичну ефективність системи теплопостачання. У великих містах джерела за допомогою магістральних трубопроводів зазвичай з'єднуються у кільцеву схему.

Теплове навантаження на опалення та гаряче водопостачання кожного з житлових будинків головним чином залежить від температури зовнішнього повітря та теплоізоляційних параметрів конструктивних елементів будівель. У СЦТ таке 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 теплопостачання 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 °C і 150...70 °C, де перша складова визначає розрахункову температуру в 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'ятиденки забезпеченістю 0,92 (визначається залежно 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 температурно-часового простору моделі розрахунків теплового балансу втрат і витрат енергії (теплоносія) у гілках теплової мережі, що оперують з середньостатистичними 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 й теплоносія в мережі;

- фактичні або прогнозовані метеорологічною службою на декілька діб наперед показники зовнішнього клімату для кожного географічного розташування системи теплопостачання.

Як основні напрями 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, міні-

мізації витрат електроенергії на транспортування теплоносія, мінімізації обсягів викидів CO₂, виконання енергозберігаючих проєктів.

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 взятій температурі зовнішнього повітря $T_{p.зовн}^{BH_{i,j}}$ визначається такими формулами [179–180]:

$$T_{под}^{BH_{i,j}} = T_{p.вн}^{BH_{i,j}} + (K_{прив}^{BH_{i,j}})^{0,76} \cdot (T_{сер}^{BH_{i,j}} - T_{p.вн}^{BH_{i,j}}) + K_{прив}^{BH_{i,j}} \cdot (T_{p.под}^{BH_{i,j}} - T_{сер}^{BH_{i,j}}); \quad (4.12)$$

$$T_{звор}^{BH_{i,j}} = T_{под}^{BH_{i,j}} - K_{прив}^{BH_{i,j}} \cdot (T_{p.под}^{BH_{i,j}} - T_{p.звор}^{BH_{i,j}}),$$

де $K_{прив}^{BH_{i,j}} = (T_{p.вн}^{BH_{i,j}} - T_{зовн}^{BH_{i,j}}) / (T_{p.вн}^{BH_{i,j}} - T_{p.зовн}^{BH_{i,j}})$;

$$T_{сер}^{BH_{i,j}} = (T_{p.под}^{BH_{i,j}} + T_{p.звор}^{BH_{i,j}}) / 2.$$

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 (4.13) та призначену для розрахунків параметрів температурних графіків якісного регулювання теплового навантаження i -го джерела на j -му часовому інтервалі. У

формулі (4.13) знак алгебри логіки $\Leftrightarrow$ вказує на те, що вираз зліва є означенням виразу справа. При цьому у круглих дужках програмних інструментів розміщуються множини, позначені фігурними дужками, чисельні значення елементів яких попарно упорядковуються за індексом j (прямі дужки) залежно від зміни температури зовнішнього повітря у встановленому обмеженні діапазоні. Зрозуміло, що для кожної географічної зони розміщення котельні, Excel функції (4.13) мають бути розраховані окремо для кожного з використовуваних нормативно-розрахункових (95–70 °C, 150–70 °C тощо) і фактично-застосованих температурних графіків, тобто функції:

$$\begin{aligned}
 & HEATCURVE^{(норм)} \left\{ T_{под,звор}^{BH_{i,j}} \right\}; HEATCURVE^{(факт)} \left\{ T_{под,звор}^{BH_{i,j}} \right\}. \\
 & HEATCURVE \left\{ T_{под,звор}^{BH_{i,j}} \right\} \Leftrightarrow \\
 & \left\{ = HEATCURVE \left(\left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ \alpha_{под,звор}^i T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ \beta_{под,звор}^i \right\} \right) \right\}, \\
 & T_{под}^{BH_{i,j}} = \alpha_{под}^i T_{зовн}^{BH_{i,j}} + \beta_{под}^i, \quad T_{звор}^{BH_{i,j}} = \alpha_{звор}^i T_{зовн}^{BH_{i,j}} + \beta_{звор}^i. \\
 & \text{У температурному діапазоні } -25^0\text{C} \leq \left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\} \leq 10^0\text{C} : \\
 & \alpha_{под}^i = \text{НАХИЛ} \left(\left\{ T_{под}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\} \right)_j; \\
 & \beta_{под}^i = \text{ВІДРІЗОК} \left(\left\{ T_{под}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\} \right)_j; \\
 & R_{под}^2 = \text{КВПРСОН} \left(\left\{ T_{под}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\} \right)_j; \\
 & \alpha_{звор}^i = \text{НАХИЛ} \left(\left\{ T_{звор}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\} \right)_j; \\
 & \beta_{звор}^i = \text{ВІДРІЗОК} \left(\left\{ T_{звор}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\} \right)_j; \\
 & R_{звор}^2 = \text{КВПРСОН} \left(\left\{ T_{звор}^{BH_{i,j}} \right\}; \left\{ T_{зовн}^{BH_{i,j}} \right\} \right)_j, \quad j = \overline{I, l}.
 \end{aligned} \tag{4.13}$$

Для прикладу на рис. 4.13 наведено температурний графік якісного регулювання теплового навантаження котельні за графіком 95–65 °C при $T_{р.зовн}^{BH_{i,j}} = -22$ °C та $T_{р.вн}^{BH_{i,j}} = 18$ °C.

Розрахунки коефіцієнтів α і β рівнянь лінійної парної регресії за Excel функціями (4.13) для даних параметрів температурного графіка визначають

$$\begin{aligned}
 \alpha_{под} &= -1,710; \quad \beta_{под} = 57,94; \quad R^2 \geq 0,999; \\
 \alpha_{звор} &= -0,960; \quad \beta_{звор} = 44,44; \quad R^2 \geq 0,997.
 \end{aligned} \tag{4.14}$$

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 ЛІНІЙН множинної лінійної регресії.

Температурні графіки застосовуються на практиці не тільки для визначення оптимальних, з точки зору енергоефективності використання ПЕР, режимів роботи котельного обладнання залежно від зміни температури зовнішнього повітря. Водночас вони слугують й інструментом контролю порушень цих режимів. Так, на рис. 4.14 представлено фактичний графік, розрахований за допомогою функції (підпрограми) *HEATCURVE* на основі експериментальних даних, з якого не важко помітити, що замість нормативно-розрахункового графіка 95–70 °C у такій котельні використовується графік 87–65 °C, який до того ж помітно порушується на окремих інтервалах зміни температури зовнішнього повітря.

Автоматизоване визначення нормативних і фактичних експлуатаційних втрат теплової енергії в розподільній мережі, схема та конструктивні характеристики ділянок якої (діаметри і довжини трубопроводів) наведені на рис. 4.2, будемо проводити за допомогою розробленої підпрограми *LOSSCALC* з урахуванням даних про типи прокладки та види теплової ізоляції відповідно до вимог методично-нормативних документів [169, 177, 180, 182–184], де вони представлені у табличній формі.

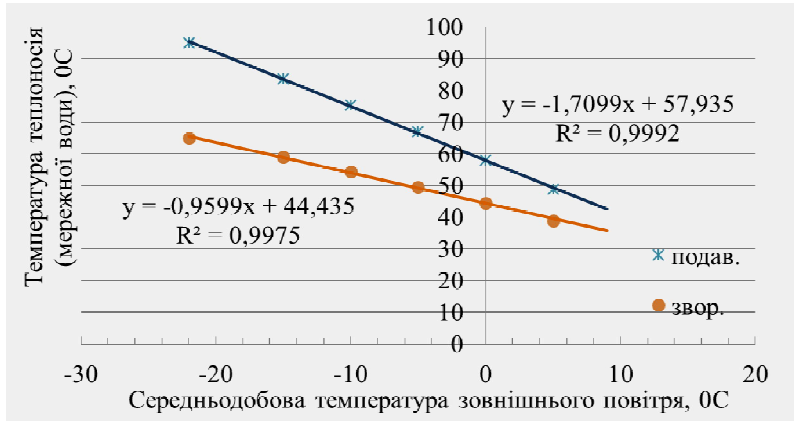


Рис. 4.13. Температурний графік 95...65 °С якісного регулювання теплового навантаження котельні

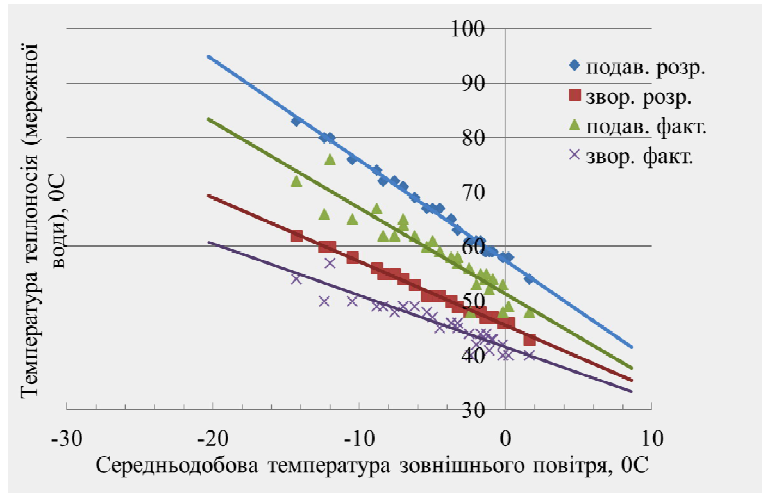


Рис. 4.14. Температури теплоносія фактичні та згідно з розрахунковим температурним графіком 95...70 °С якісного регулювання теплового навантаження котельні

За означеними методично-нормативними документами кількість теплової енергії $\tilde{W}_{\text{мрж}}^{BH_{i,j}^k}$, що втрачається у тепловій мережі

при транспортуванні теплоносія, визначається як сума втрат через ізольовані поверхні подавальних $\tilde{W}_{\text{под}}^{BH_{i,j}^k}$ і зворотних $\tilde{W}_{\text{звор}}^{BH_{i,j}^k}$ трубопроводів та втрат $\tilde{W}_{\text{вит}}^{BH_{i,j}^k}$ з витоками теплоносія на кожній з k -х ділянок трубопроводів, $k = \overline{1, m}$, для кожного з n джерел за l часових інтервалів:

$$\tilde{W}_{\text{мрж}}^{BH} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^m (\tilde{W}_{\text{ізол}}^{BH_{i,j}^k} + \tilde{W}_{\text{вит}}^{BH_{i,j}^k}), \text{ Гкал}, \quad (4.15)$$

де $\tilde{W}_{\text{ізол}}^{BH} = \tilde{W}_{\text{под}}^{BH_{i,j}^k} + \tilde{W}_{\text{звор}}^{BH_{i,j}^k}$.

Для випадку двотрубного прокладання сума втрат через ізольовані поверхні подавальних і зворотних трубопроводів за довільний часовий інтервал визначається як

$$\tilde{W}_{\text{ізол}}^{BH_{i,j}^k} = w_{\text{ізол}}^{BH_{i,j}^k} \times J_j^{BH_{i,j}^k}, \quad (4.16)$$

а втрати теплоти з витоками теплоносія –

$$\tilde{W}_{\text{вит}}^{BH_{i,j}^k} = w_{\text{вит}}^{BH_{i,j}^k} \times J_j^{BH_{i,j}^k}, \quad (4.17)$$

де $w_{\text{ізол}}^{BH_{i,j}^k}$ – величина теплового потоку (втрати) через поверхню теплової ізоляції, Гкал/год.; $w_{\text{вит}}^{BH_{i,j}^k}$ – величина втрат теплового потоку з витоками теплоносія, Гкал/год.; $J_j^{BH_{i,j}^k}$ – тривалість j -го часового інтервалу, год.

Норми щільності теплового потоку $q_{\text{діам},k}^{T_{\text{рс.сум}}^{g,h}}$, 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 у нормативній базі в табличній формі залежно від діаметрів трубопроводів $d^{BH_i^k}$, мм, і розрахункових середніх за опалювальний період температур теплоносія $T_{рс.под}^{BH_{i,j}}$, °C та $T_{рс.звор}^{BH_{i,j}}$, °C, у подавальному і зворотному трубопроводах.

За середніми температурами $T_{щільн}^g = 65^0\text{C}$ і $T_{щільн}^h = 50^0\text{C}$, які за нормативними даними відповідають температурному графіку 95...70 °C якісного регулювання теплового навантаження котельні, залежність норми щільності теплового потоку від діаметрів трубопроводів програмним способом (лінійна апроксимація) розраховується за формулою (4.18)

$$\begin{aligned} \left\langle \left\langle q_{\text{діам}}^{g,h} \right\rangle \right\rangle &\Rightarrow \text{НАХИЛ} \left(\left\{ q_{\text{діам},k}^{g,h} \right\}; \left\{ d_k^{BH_i} \right\} \right) \times d_k^{BH_i} + \\ &+ \text{ВІДРІЗОК} \left(\left\{ q_{\text{діам},k}^{g,h} \right\}; \left\{ d_k^{BH_i} \right\} \right); \quad (4.18) \\ R_{\text{щільн}}^2 &= \text{КВПРСОН} \left(\left\{ q_{\text{діам},k}^{g,h} \right\}; \left\{ d_k^{BH_i} \right\} \right), \quad k = \overline{1, m}, \end{aligned}$$

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 за видами прокладання (підземний-канальний, безканальний, надземний) $w_{\text{ізол}}^{BH_{i,j}^k}$, Гкал/год, з урахуванням діаметрів $d^{BH_i^k}$, мм, та протяжності $L^{BH_i^k}$, м, ділянок трубопроводів, поправочних коефіцієнтів $K_{\text{попр}}^{BH_{i,j}^k}$, середніх за прийнятий інтервал часу (день, ніч, доба, місяць, рік, опалювальний період тощо) температур ґрунту $T_{\text{ґрунт}}^{BH_{i,j}^k}$,

°C та холодної води $T_{\text{х.вода}}^{BH_{i,j}^k}$, °C, на рівні закладання трубопроводів формалізуємо оригінальною Excel функцією (підпрограмою):

$$\begin{aligned} \text{LOSSCALC} \left\{ w_{\text{ізол}}^{BH_{i,j}^k} \right\} &\Rightarrow \left\langle \left\langle K_{\text{попр}}^{BH_{i,j}^k} \right\rangle \right\rangle \times \\ &\times \sum_{k=1}^m \left| \left\langle \left\langle q_{\text{діам},k}^{g,h} \right\rangle \right\rangle \times \left\{ L_k^{BH_i^k} \right\} \right|_k, \\ \text{де для підземного двотрубного прокладання} \\ \left\langle \left\langle K_{\text{попр}}^{BH_{i,j}^k} \right\rangle \right\rangle &\Rightarrow (\text{HEATCURVE} \left\{ T_{\text{под}}^{BH_{i,j}^k} \right\} + \\ &+ \text{HEATCURVE} \left\{ T_{\text{звор}}^{BH_{i,j}^k} \right\} - \\ &- 2 \times \left\{ T_{\text{ґрунт}}^{BH_{i,j}^k} \right\}) / (\left\{ T_{\text{щільн}}^g \right\} + \left\{ T_{\text{щільн}}^h \right\} - 2 \times \left\{ T_{\text{х.вода}}^{BH_{i,j}^k} \right\}). \quad (4.19) \end{aligned}$$

Наприклад, для ділянки kr розподільної мережі районної котельні (див. рис. 4.2) з умовним діаметром трубопроводу $d^{BH_i} = 400$ мм (зовнішнім діаметром 426 мм) і довжиною ділянки

$$\begin{aligned} L_k^{BH_i^k} &= 89 \text{ м (у двотрубному вимірі) при } T_{\text{звон}}^{BH_{i,j}} = -3,0^0\text{C}, \\ T_{\text{ґрунт}}^{BH_{i,j}^k} &= 9,4^0\text{C}, \quad T_{\text{х.вода}}^{BH_{i,j}^k} = 6,7^0\text{C}, \quad T_{\text{под}}^{BH_{i,j}^k} = 63,1^0\text{C}, \\ T_{\text{звор}}^{BH_{i,j}^k} &= 47,3^0\text{C}, \quad T_{\text{щільн}}^g = 65^0\text{C} \text{ і } T_{\text{щільн}}^h = 50^0\text{C} \text{ отримуємо} \end{aligned}$$

$$K_{\text{попр}}^{BH_{i,j}^k} = (63,1 + 47,3 - 2 \times 9,4) / (65,0 + 50,0 - 2 \times 6,7) = 0,900;$$

$$w_{\text{ізол}}^{BH_{i,j}^k} = 0,900 \times (0,4202 \times 400 + 46,13) \times 89 \times 10^{-6} = 0,0172 \text{ (Гкал/год)}.$$

Визначення нормативної кількості теплової енергії (теплоти), що втрачається у тепловій мережі з витоками почнемо з формалізації розрахунків питомої ємності $v_{\text{емн}}^{BH_i^k}$, м³/м, теплоносія (води) у діля-

нках трубопроводів мережі шляхом застосування степеневі апроксимації вихідних нормативних даних. Коефіцієнти степеневі регресії, рівняння якої має вид $v_{\text{ємн}}^{BH_i^k} = \alpha_{\text{стєп}}^0 \times \{d_k^{BH_i}\}^{\beta_{\text{стєп}}^0}$, розрахуємо за допомогою програмного інструменту Excel:

$$\left\langle \left\langle v_{\text{ємн}}^{BH_i^k} \right\rangle \right\rangle \Leftrightarrow \text{ЛНІЙН} \left(\text{LN} \left\{ v_{\text{ємн}}^{BH_i^k} \right\}; \text{LN} \left\{ d_k^{BH_i} \right\} \right); 1, \quad (4.20)$$

де LN означатиме Excel функцію натурального логарифму.

За допомогою програмного інструменту (4.20) виробничий об'єм теплоносія (мережної води) у тепловій мережі i -ї котельні визначиться як

$$\left\langle \left\langle V_{\text{в.мрж}}^{BH_i} \right\rangle \right\rangle \Leftrightarrow \sum_{k=1}^m \left\langle \left\langle v_{\text{ємн}}^{BH_i^k} \right\rangle \right\rangle \times \left\langle \left\langle L_k^{BH_i^k} \right\rangle \right\rangle, \text{ м}^3, \quad (4.21)$$

а величина втрат теплового потоку з витоками теплоносія, ккал/год –

$$\text{LOSSCALC} \left\{ w_{\text{вит}}^{BH_{i,j}} \right\} \Leftrightarrow \sum_{k=1}^m \left\langle \left\langle c_v \times \left\{ K_{\text{вит}}^{BH_{i,j}^k} \right\} \times \left\langle \left\langle s_{\text{підж}}^{BH_{i,j}^k} \right\rangle \right\rangle \right\rangle \right\rangle, \quad (4.22)$$

де c_v – питома теплоємність мережної води, 1 ккал/(кг·°C), $K_{\text{вит}}^{BH_{i,j}^k} = (T_{\text{под}}^{BH_{i,j}^k} + T_{\text{звор}}^{BH_{i,j}^k} - 2 \times T_{\text{х.вода}}^{BH_{i,j}^k}) / 2, ^\circ\text{C}$; $\left\langle \left\langle s_{\text{підж}}^{BH_{i,j}^k} \right\rangle \right\rangle$ – матеріальна витрата теплоносія на підживлення, кг/год

$$\left\langle \left\langle s_{\text{підж}}^{BH_{i,j}^k} \right\rangle \right\rangle = \rho_v \times a_{\text{н.вит}}^{BH_{i,j}^k} \times \left\langle \left\langle V_{\text{в.мрж}}^{BH_{i,j}^k} \right\rangle \right\rangle, \quad (4.23)$$

де ρ_v – щільність води, яка дорівнюватиме 977,5 кг/м³ при середній температурі теплоносія у подавальному і зворотному трубопроводах $T_{\text{сер}}^{BH_{i,j}} = (T_{\text{под}}^{BH_{i,j}} + T_{\text{звор}}^{BH_{i,j}}) / 2 = 70 ^\circ\text{C}$; $a_{\text{н.вит}}^{BH_{i,j}} = 0,0025 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^3)$ – нормативне значення витоку з теплової мережі протягом опалювального періоду.

За формулами (4.20)...(4.23) розрахуємо нормативні втрати теплового потоку з витоками теплоносія. Наприклад, для ділянки kr розподільної мережі з умовним діаметром трубопроводу $d^{BH_i^k} = 400 \text{ мм}$ і довжиною ділянки $L_k^{BH_i^k} = 89 \text{ м}$ (у двотрубному вимірі) при $T_{\text{зовн}}^{BH_{i,j}^k} = -3,0 ^\circ\text{C}$, $T_{\text{х.вода}}^{BH_{i,j}^k} = 6,7 ^\circ\text{C}$, $T_{\text{под}}^{BH_{i,j}^k} = 63,1 ^\circ\text{C}$, $T_{\text{звор}}^{BH_{i,j}^k} = 47,3 ^\circ\text{C}$ отримуємо $v_{\text{ємн}}^{BH_i^k} = 0,8587 \times 0,4^{2,0221} = 0,1346 \text{ (м}^3/\text{м)}$; $V_{\text{в.мрж}}^{BH_i^k} = 0,1346 \times 89 = 11,98 \text{ (м}^3)$; $w_{\text{вит}}^{BH_i^k} = 0,0025 \times 11,98 \times 977,5 \times (63,1 + 47,3 - 2 \times 6,7) / 2 = 1421 \text{ (ккал/год)}$.

Відповідно до формул (4.15)...(4.17) кількість теплової енергії, що втрачається у тепловій мережі при транспортуванні теплоносія, за допомогою програмного інструменту *NETWLOSS* визначається як

$$\begin{aligned} \left\langle \left\langle \tilde{w}_{\text{мрж}}^{BH_{i,j}^k} \right\rangle \right\rangle &\Leftrightarrow \text{NETWLOSS} \left\{ \tilde{w}_{\text{ізол}}^{BH_{i,j}^k} \right\} + \text{NETWLOSS} \left\{ \tilde{w}_{\text{вит}}^{BH_{i,j}^k} \right\}, \\ \text{NETWLOSS} \left\{ \tilde{w}_{\text{ізол}}^{BH_{i,j}^k} \right\} &= \text{LOSSCALC} \left\{ \left\langle \left\langle w_{\text{ізол}}^{BH_{i,j}^k} \right\rangle \right\rangle \times \left\langle \left\langle J_j^{BH_{i,j}^k} \right\rangle \right\rangle \right\}, \\ \text{NETWLOSS} \left\{ \tilde{w}_{\text{вит}}^{BH_{i,j}^k} \right\} &= \text{LOSSCALC} \left\{ \left\langle \left\langle w_{\text{вит}}^{BH_{i,j}^k} \right\rangle \right\rangle \times \left\langle \left\langle J_j^{BH_{i,j}^k} \right\rangle \right\rangle \right\}, \end{aligned} \quad (4.24)$$

де елементи множин упорядковуються за довільним інтервалом часу.

За результатами розрахунків за виразами (4.12)...(4.24) на рис. 4.15 для трьох гілок розподільної теплової мережі, зображеної на рис. 4.2, при температурному графіку роботи котельні 95–65 °C та $T_{\text{р.вн}}^{BH_{i,j}} = 18 ^\circ\text{C}$, представлені розрахункові залежності сумарних (через ізоляцію і витоки) середньодобових втрат теплового потоку від зміни величини градусодоби $T_{\text{гр.дб}}^{BH_{i,j}} = T_{\text{р.вн}}^{BH_{i,j}} - T_{\text{зовн}}^{BH_{i,j}}$ за фактичний 166-добовий опалювальний період з середньою температурою зовнішнього повітря -1,7 °C.

За тих самих екзогенних умов і параметрів на рис. 4.16 наведені розрахункові залежності втрат теплового потоку через ізоляцію і витоки в гілках теплової мережі від часу (з 12-годинною, день/ніч, диференціацією тривалості опалювального періоду), а на рис. 4.17 – часова залежність потенціалу зменшення сумарних втрат теплового потоку в мережі внаслідок переходу з температурного графіка 95–65 °С на графік 87–65 °С.

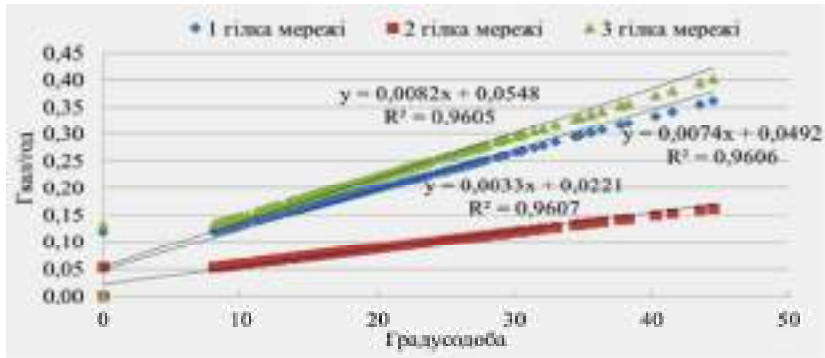


Рис. 4.15. Залежність сумарних середньодобових втрат теплового потоку розподільної теплової мережі від величини градусодоби

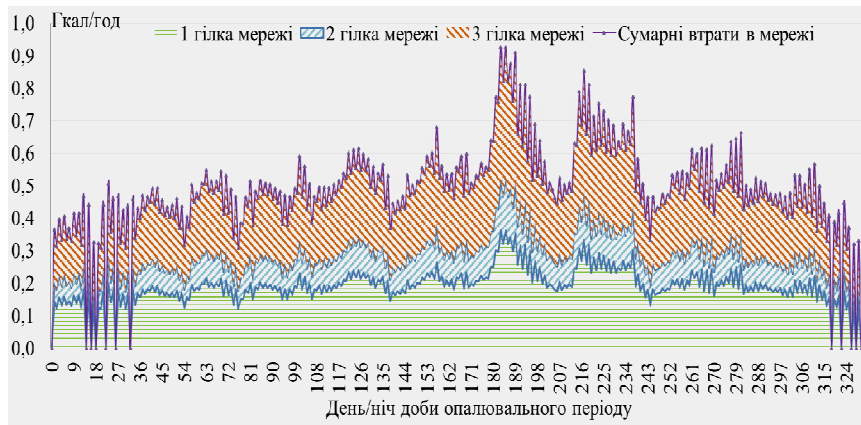


Рис. 4.16. Сумарні втрати теплового потоку в гілках розподільної теплової мережі через ізоляцію і витоки за графіком 95–65 °С

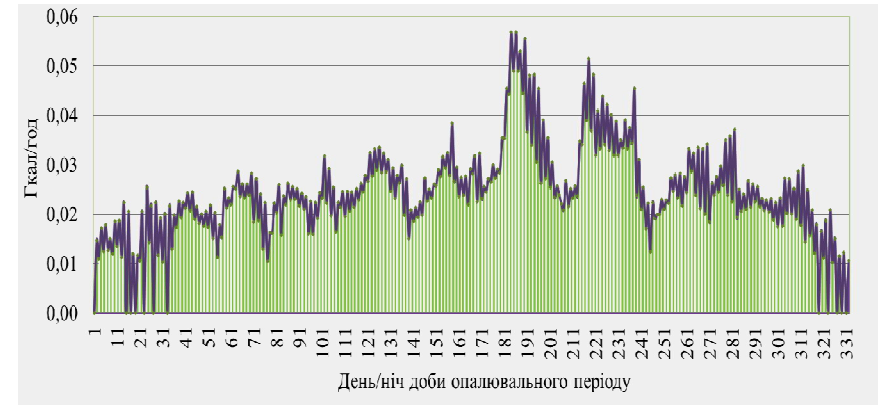


Рис. 4.17. Потенціал зменшення втрат теплоти в тепловій мережі внаслідок переходу з температурного графіка 95–65 на графік 87–65 °С

При цьому середнє значення величини зменшення втрат теплового потоку за 166-добовий опалювальний період складатиме 0,0221 Гкал/год, а обсяги сумарних втрат теплової енергії $\tilde{W}_{\text{мрж}}^{BH}$, 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 і 2152,8 Гкал при середній температурі зовнішнього повітря за опалювальний період 2,5 °С.

Техніко-економічна ефективність переходу з одного температурного графіка на інший визначається за результатами комплексних розрахунків режимів регулювання системи тепlopостачання. 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 $G_{\text{р.мрж}}^{BH_{i,j}}$, т/год., що циркулює у тепловій мережі i -го джерела на j -му часовому інтервалі, у нормальних режимах функціонування системи тепlopостачання, за-

проектованої на розрахункові температури зовнішнього $T_{р.зовн}^{BH_{i,j}}$ і внутрішнього $T_{р.вн}^{BH_{i,j}}$ повітря, визначаються за формулою [180–182]

$$G_{р.мрж}^{BH_{i,j}} = \frac{Q_{р.мрж}^{BH_{i,j}} \times 10^3}{c_v \times (T_{р.под}^{BH_{i,j}} - T_{р.звор}^{BH_{i,j}})}, \quad (4.25)$$

де $Q_{мрж}^{BH_{i,j}}$ – розрахункове теплове навантаження системи, Гкал/год; $T_{р.под}^{BH_{i,j}}$ і $T_{р.звор}^{BH_{i,j}}$ – розрахункові температури теплоносія у подавальному і зворотному трубопроводах, °C; c_v – 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 в зворотному трубопроводі збільшується різниця потенціалів на вході системи теплоспоживання, забезпечуючи зниження витрати теплоносія в мережі й відповідне зменшення обсягів споживання електричної енергії на його перекачування, зменшення діаметрів трубопроводів, скорочення капітальних вкладень і витрат на обслуговування системи, а у разі необхідності й збільшення пропускної спроможності теплових мереж. Аналогічний ефект виникає і при переведенні системи тепlopостачання 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 приладів, які залишаються в експлуатації, нова витрата теплоносія визначається формулою [182, 183]

$$G_{р.мрж}^{BH_{i,j}*} = k_{р.мрж}^{BH_{i,j}} \times G_{р.мрж}^{BH_{i,j}}, \quad (4.26)$$

де $G_{р.мрж}^{BH_{i,j}*}$ і $G_{р.мрж}^{BH_{i,j}}$ – витрати теплоносія відповідно при новому і вихідному температурних графіках; $k_{р.мрж}^{BH_{i,j}}$ – 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 графіків, що досягається зміною коефіцієнта змішування пристрою $k_{зміш}^{BH_{i,j}}$, нове значення якого розраховують за формулою

$$k_{зміш}^{BH_{i,j}*} = \frac{T_{р.под}^{BH_{i,j}*} - T_{р.зміш}^{BH_{i,j}}}{T_{р.зміш}^{BH_{i,j}} - T_{р.звор}^{BH_{i,j}}}, \quad (4.27)$$

де $T_{р.под}^{BH_{i,j}*}$, $T_{р.звор}^{BH_{i,j}}$ і $T_{р.зміш}^{BH_{i,j}}$ – розрахункові температури теплоносія відповідно у подавальному трубопроводі за новим температурним графіком (позначений символом *) та у зворотному трубопроводі й у системі споживання за вихідним температурним графіком.

За умовами (4.25)...(4.27) величина $k_{р.мрж}^{BH_{i,j}}$ визначається як

$$k_{р.мрж}^{BH_{i,j}} = \frac{T_{р.под}^{BH_{i,j}} - T_{р.звор}^{BH_{i,j}}}{T_{р.под}^{BH_{i,j}*} - T_{р.звор}^{BH_{i,j}*}}. \quad (4.28)$$

Як приклад, за формулами (4.25)...(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 °C на новий графік

95...70 °С. Вихідна розрахункова витрата теплоносія, що циркулює у тепловій мережі, запроєктованій на розрахункові температури зовнішнього $T_{p.зовн}^{BH_{i,j}} = -22$ °С і внутрішнього $T_{p.вн}^{BH_{i,j}} = 18$ °С повітря дорівнюватиме

$$G_{p.мрж}^{BH_{i,j}} = 11,18 \cdot 1000 / (87 - 65) = 508,3 \text{ (т/год.)},$$

$$\text{тоді } k_{зміш}^{BH_{i,j}} = (87 - 85) / (85 - 65) = 0,1;$$

$$k_{зміш}^{BH_{i,j}^*} = (95 - 85) / (85 - 65) = 0,5;$$

$$k_{p.мрж}^{BH_{i,j}} = (87 - 65) / (95 - 65) = 0,733;$$

$$G_{p.мрж}^{BH_{i,j}^*} = 0,733 \cdot 508,3 = 372,8 \text{ (т/год.)}.$$

За тих самих температурних умов, але при тепловому навантаженні на опалення 7,3 Гкал/год (фактичне навантаження системи, див. рис. 4.1) $G_{p.мрж}^{BH_{i,j}} = 331,8$ т/год., а $G_{p.мрж}^{BH_{i,j}^*} = 243,2$ 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 (4.19) і (4.25) розрахуємо за допомогою програмного інструменту:

$$\left\langle \left\langle \Delta T_{p.под}^{BH_{i,j}} \right\rangle \right\rangle \approx \left| \frac{0,7 \times 10^3 \times \text{СРЗНАЧ} \left\{ w_{p.ізол}^{BH_{i,j}} \right\}}{c_v \times \text{СРЗНАЧ} \left\{ G_{p.мрж}^{BH_{i,j}} \right\}} \right|. \quad (4.29)$$

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 передавання теплового навантаження залежно від градусодоби (теплова енергетична характеристика мережі) $\zeta_{мрж}^{BH_{i,j}}$ (т/Гкал), яка визначається відношенням се-

редньогодинних значень витрат теплоносія в тепловій мережі

$G_{мрж}^{BH_{i,j}}$ (т/год.) до середньогодинних значень теплового наванта-

ження системи $Q_{мрж}^{BH_{i,j}}$ (Гкал/год.):

$$\left\langle \left\langle \zeta_{мрж}^{BH_{i,j}} \right\rangle \right\rangle = \left\{ G_{мрж}^{BH_{i,j}} \right\}_j / \left\{ Q_{мрж}^{BH_{i,j}} \right\}_j. \quad (4.30)$$

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 дванадцятикратного збільшення кількості рядків табличного процесора (4320 замість 360 рядків 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 рядках 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. 4.18 а, б.

Тестування і калібрування модулів розглянутої моделі структурно-параметричної оптимізації системи транспортування теплової енергії проведено на базі експериментальних даних функціонування СЦТ, структурну схему якої представлено на рис. 4.2, за да-

Гілки мережі	Ø трубо-проводу	Довжина трубо-проводу (у двотруб. вимірі)	Матеріал ьна хар-ка 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
			898,7	ізоляц.	витоки	ізоляц.	витоки	ізоляц.	витоки	ізоляц.	витоки
№ діл.	мм	м	м ²	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		

Рис. 4.18 а. Фрагмент модуля розрахунку базових коефіцієнтів втрат теплового потоку в ділянках мережі, що розглядається, всього три гілки і 45 ділянок

# день- ніч (д/н) періоду	Температура теплоносія:		Втрати тепл. потоку ч/з ізоляцію						
	Температура подав.	Температура звор.	Δ	1 гілка мережі	2 гілка мережі	3 гілка мережі	Сум втрати		
	°C	°C	тем-р						
	Середнє за період значення								
	-1,3	19,6	56,2	46,6	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
#	°C	°C	°C	°C	°C	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	5,5	11,5	44,5	38,2	6,3	0,131	0,059	0,144	0,335
3	9,4	0,0	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)°C		(87-65)°C	
		ізоляц.	витоки			0		1	
Втрати в гілках мережі за різними темп. графіками					Тепло на вході у теплову мережу				
Втрати до E33 (95-65 °C)			Втрати після E33 (87-65 °C)			Загальне споживання тепла			
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		

Рис. 4.18 б. Фрагменти модулів розрахунку впливу температуро-погодних та експлуатаційних факторів на рівень ефективності системи транспортування, всього 332 день/ніч періодів

ними трирічних щоденних вимірювань наступних параметрів: середньодобової температури зовнішнього повітря, середньодобової температури і тиску теплоносія у подавальному і зворотному трубопроводах, витрати і живлення за добу теплоносія, витрати газу, електроенергії і води. Оптимізація показників 3-Е ефективності використання теплової енергії на транспортування 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 (4.12)...(4.30) і результатами техніко-економічних розрахунків, відображеними на рис. 4.13 – 4.18, у цьому 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 ендегенних 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 дає змогу застосовувати цю модель у системі управління підвищенням ефективності функціонування системи КТЕ у цілому.

4.4. Метод та засіб управління підвищенням 3-Е ефективності виробництва теплової енергії в системі централізованого тепlopостачання

Виробництво теплової енергії у системах централізованого (помірно-централізованого тощо) тепlopостачання 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 та їх теплотворна спроможність, фактичні й нормативні значення витрат теплової та електричної енергії на власні потреби, фактичні, номінальні й 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 температурно-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 теплопостачання.

Як основні напрями підвищення 3-Е ефективності системи виробництва теплової енергії будемо насамперед розглядати можливості системної оптимізації величин встановлених потужностей енергетичних котлів, часу, кількості та 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 “переопалення” і “недоопалення”, мінімізації обсягів викидів CO₂, 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 $Q_{\text{вир}}^{BH_j}$, 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 $Q_{\text{кор}}^{BH_{i,j}}$ і витрат теплоти на власні потреби $Q_{\text{влс}}^{BH_{i,j}}$ кожного i -го ($i = \overline{1, n}$) з n джерел теплової енергії BH та середньогодинних втрат у теплових мережах $Q_{\text{мрж}}^{BH_{i,j}}$, що входять до системи теплопостачання:

$$Q_{\text{вир}}^{BH_j} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{вир}}^{BH_{i,j}} = \sum_{i=1}^n (Q_{\text{відп}}^{BH_{i,j}} + Q_{\text{влс}}^{BH_{i,j}}), \quad (4.31)$$

де кількість відпущеної у теплові мережі теплоти

$$Q_{\text{відп}}^{BH_j} = \sum_{i=1}^n (Q_{\text{кор}}^{BH_{i,j}} + Q_{\text{мрж}}^{BH_{i,j}}).$$

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 хімводоочищення і баків-аккумуляторів, підігрівання мазуту та мазутопроводів тощо) і у загальному випадку визначається за формулами

$$K_{\text{бр.влс}}^{BH_{i,j}} = Q_{\text{влс}}^{BH_{i,j}} / Q_{\text{вир}}^{BH_{i,j}} = 1 - Q_{\text{відп}}^{BH_{i,j}} / Q_{\text{вир}}^{BH_{i,j}}. \quad (4.32)$$

У кількісному виразі нормативні витрати теплоти на власні потреби котельні на газоподібному паливі у системі централізова-

ного теплопостачання складають 2,3...2,4 % від номінального теплового навантаження котельні.

При цьому середньогодинна потреба системи теплопостачання у паливі $B_{\text{вир}}^{BHj}$ на виробництво теплоти складається з середньогодинних витрат палива кожного k -го ($k = \overline{1, m}$) з m задіяних у теплопостачанні котлів $B_{\text{кот}}^{BH_{i,j}^k}$ та витрат палива $B_{\text{влс}}^{BH_{i,j}^k}$ на власні потреби котельні:

$$B_{\text{вир}}^{BHj} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{m_i} (B_{\text{кот}}^{BH_{i,j}^k} + B_{\text{влс}}^{BH_{i,j}^k}), \quad (4.33)$$

де m_i – кількість задіяних котлів i -ї 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]

$$B_{\text{ум}}^{BH_{i,j}^h} = K_{\text{екв}}^h \times B_{\text{нат}}^{BH_{i,j}^h}; \quad K_{\text{екв}}^h = q_{\text{ниж}}^h / q_{\text{ум}}^{\text{норм}}, \quad (4.34)$$

де $B_{\text{ум}}^{BH_{i,j}^h}$ – потреба в умовному паливі (кг у.п.) k -го котла i -го джерела теплової енергії на j -му часовому інтервалі; $B_{\text{нат}}^{BH_{i,j}^h}$ – те ж саме, для виду h натурального палива (н.м³ природного газу, кг твердого чи рідкого палива); $K_{\text{екв}}^h$ – калорійний еквівалент палива h ; $q_{\text{ниж}}^h$ – нижча теплота згорання натурального палива h (ккал/(н.м³) чи ккал/кг); $q_{\text{ум}}^{\text{норм}} = 7000$ 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) брутто $\eta_{\text{бр.сер}}^{BH_{i,j}}$ за формулами

$$B_{\text{умов}}^{BH_{i,j}} = Q_{\text{вир}}^{BH_{i,j}} / (q_{\text{ум}}^{\text{норм}} \times \eta_{\text{бр.сер}}^{BH_{i,j}}); \quad \eta_{\text{бр.сер}}^{BH_{i,j}} = \sum_{k=1}^{m_i} (\eta_{\text{сер}}^{k_{i,j}} \times q_{\text{вст}}^{k_{i,j}}) / \sum_{k=1}^{m_i} q_{\text{вст}}^{k_{i,j}}, \quad (4.35)$$

де $\eta_{\text{сер}}^{k_{i,j}}$ – середньогодинні значення ККД; $q_{\text{вст}}^{k_{i,j}}$ – те ж, для встановленої (або середньогодинної фактичної) тепlopотужності 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 $b_{\text{вир}}^{BH_{i,j}^k}$ (кг у.п./Гкал) середньогодинна потреба котельні в умовному паливі (кг у.п.) розраховується за формулою

$$B_{\text{ум.вир}}^{BH_{i,j}} = b_{\text{вир}}^{BH_{i,j}} \times Q_{\text{вир}}^{BH_{i,j}}, \quad \text{де } b_{\text{вир}}^{BH_{i,j}} = 142,86 / \eta_{\text{бр.сер}}^{BH_{i,j}}. \quad (4.36)$$

Середньогодинна норма питомих витрат умовного палива на вироблення теплоти при номінальному навантаженні складає 156...173 кг у.п./Гкал залежно від марки, типорозміру та значень номінальної потужності котлів.

Середньогодинна питома витрата умовного палива на відпуск теплоти $b_{\text{відп}}^{BH_{i,j}^k}$ (кг у.п./Гкал) розраховується за формулою

$$b_{\text{відп}}^{BH_{i,j}} = 142,86 / \eta_{\text{нет.сер}}^{BH_{i,j}}, \quad \text{де } \eta_{\text{нет.сер}}^{BH_{i,j}} = Q_{\text{відп}}^{BH_{i,j}} / (q_{\text{ум}}^{\text{норм}} \times B_{\text{ум.вир}}^{BH_{i,j}}), \quad (4.37)$$

де $\eta_{\text{нет.сер}}^{BH_{i,j}}$ – ККД нетто. Між ККД нетто і брутто існує співвідношення:

$$\eta_{\text{нет.сер}}^{BH_{i,j}} = \eta_{\text{бр.сер}}^{BH_{i,j}} \times (1 - K_{\text{бр.влс}}^{BH_{i,j}}), \quad (4.38)$$

Питома витрата умовного палива на одне розпалювання котла (кг у.п.) залежно від площі поверхні його нагрівання (м²) та тривалості зупинки котла (год) відображена на рис. 4.19 [177].

Для подальших автоматизованих розрахунків витрат палива на розпалювання різних типів котлів після їх зупинок, обумовлених як внутрішніми потребами СЦТ, так і зовнішніми факторами, бу-

демо використовувати програмні інструменти НАХИЛ, ВІДРІЗОК і КВПРСОН, а також інструмент ЛІНІЙН множинної лінійної регресії табличного процесора Microsoft Excel для знаходження коефіцієнтів степеневі регресії [178]. Враховуючи нелінійний характер попарної кореляції витрат палива від площі поверхні його нагрівання і тривалості зупинок, можливо сформулювати власну Excel функцію користувача *FIREUP* у вигляді рівняння нелінійної множинної регресії.

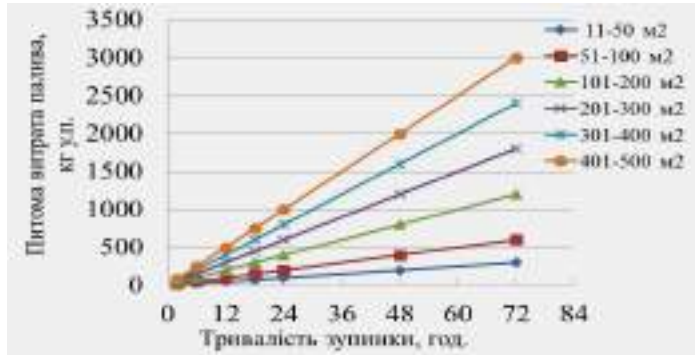


Рис. 4.19. Залежності питомої витрати палива на розпалювання котлів з різними площами поверхні нагрівання від тривалості зупинки

Покажемо програмний вигляд цієї функції, сформованої для розрахунків витрат умовного палива $Q_{розп}^{BH^k_{i,j}}$ на розпалювання k -го котла i -го джерела теплової енергії на j -му часовому інтервалі, за якою котел характеризується площею поверхні нагрівання $S_{нагр}^{BH^k_{i,j}}$ і тривалістю зупинок $I_{зуп}^{BH^k_{i,j}}$ у діапазонах, позначених на рис. 4.19:

$$\left\langle \left\langle Q_{розп}^{BH^k_{i,j}} \right\rangle \right\rangle = FIREUP(EXP(\alpha_{розп}) \times \left\{ I_{зуп}^{BH^k_{i,j}} \right\} \times \left\{ S_{нагр}^{BH^k_{i,j}} \right\}^{(\beta_{розп})}) \quad (4.39)$$

де $\left\langle \left\langle (\beta_{розп}, \alpha_{розп}) \right\rangle \right\rangle \Rightarrow$

$$ЛІНІЙН(LN\left\{ НАХИЛ\left(\left\{ Q_{розп}^{BH^k_{норм}} \right\}; \left\{ I_{зуп}^{BH^k_{i,j}} \right\}\right); LN\left\{ S_{нагр}^{BH^k_{i,j}} \right\}; 1\right).$$

У формулі (4.39) знак алгебри логіки $\Rightarrow$ вказує на те, що вираз зліва є програмним еквівалентом виразу справа. При цьому у круглих дужках програмних інструментів розміщуються множини, позначені фігурними дужками, чисельні значення елементів яких попарно упорядковуються за однаковими кортежами індексів (k, i, j) .

Так, коефіцієнти $\alpha_{розп}$ і $\beta_{розп}$ нелінійної множинної регресії за Excel функцією (4.39) для залежностей, наведених на рис. 4.19, дорівнюють

$$\alpha_{розп} = 0,2166; \beta_{розп} = 0,8601. \quad (4.40)$$

Наприклад, проведений порівняльний аналіз нормативних і розрахованих за допомогою моделі (4.39), (4.40) значень питомої витрати палива на розпалювання котла КВГ-7,56 теплотужністю 6,5 МВт і площею нагрівання 150 м² показує, що середня відносна похибка не перевищує 0,2 %.

Витрати електроенергії на потреби теплопостачання $W_{ел.вир}^{BH^k_{i,j}}$ (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 $W_{ел.вир}^{BH^k_{i,j}}$, на транспортування теплоносія від котельні до центральних теплових пунктів (ЦТП) або індивідуальних (ІТП) теплових пунктів $W_{ел.тр}^{BH^k_{i,j}}$, на розподіл теплової енергії $W_{ел.роз}^{BH^k_{i,j}}$, на допоміжні (загальновиробничі) потреби $W_{ел.доп}^{BH^k_{i,j}}$, на компенсацію втрат при транспортуванні та трансформації електроенергії $\Delta W_{ел.втр}^{BH^k_{i,j}}$ і для системи теплопостачання у цілому розраховуються при заданому гідравлічному режимі теплових мереж за формулою [179, 185]

$$W_{ел.заг}^{BH} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^m W_{ел.заг}^{BH^k_{i,j}}, \quad (4.41)$$

$$\text{де } W_{\text{ел.заг}}^{BH^k_{i,j}} = W_{\text{ел.вир}}^{BH^k_{i,j}} + W_{\text{ел.тр}}^{BH^k_{i,j}} + W_{\text{ел.роз}}^{BH^k_{i,j}} + W_{\text{ел.доп}}^{BH^k_{i,j}} + \Delta W_{\text{ел.втр}}^{BH^k_{i,j}}.$$

У технологічному процесі виробництва тепла електроенергію в основному споживають тягодуттєве обладнання, живильні, рециркуляційні насоси, насоси сирової води і хімоводоочищення, 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 й торфі питомі витрати електроенергії збільшуються відповідно в 1,09, 1,2 та 1,19 разу. При цьому витрати електроенергії електроприводами технологічного обладнання при виробництві теплової енергії змінюються практично пропорційно до обсягів 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 котелень та ЦТП, на електроопалення та ГВП виробничих приміщень.

Нормативні втрати електричної енергії складаються з втрат при трансформації і транспортуванні до електроприймача і складають 2...8 % від загальноспоживаної електроенергії.

Основною складовою витрат електроенергії на потреби теплоснабження є витрати на транспортування теплової енергії, які складають до 70 % загального її споживання. Характеристикою енергетичної ефективності технологічного процесу транспортування є питома середньогодинна витрата електроенергії (так звана гід-

равлічна електроенергетична характеристика теплової мережі) $\lambda_{\text{ел.тр}}^{BH^k_{i,j}}$, яка визначається упорядкованим за часом відношенням множини середньогодинних значень витрат електроенергії на транспортування теплової енергії в тепловій мережі $\left\{W_{\text{ел.тр}}^{BH^k_{i,j}}\right\}$, кВт·год, до множини середньогодинних значень відпуску теплової енергії від джерел теплової енергії $\left\{Q_{\text{відп}}^{BH^k_{i,j}}\right\}$, Гкал, при відповідних значеннях температури зовнішнього повітря:

$$\left\langle \left\langle \lambda_{\text{ел.тр}}^{BH^k_{i,j}} \right\rangle \right\rangle \Rightarrow \left\{ W_{\text{ел.тр}}^{BH^k_{i,j}} \right\}_j / \left\{ Q_{\text{відп}}^{BH^k_{i,j}} \right\}_j, \text{ кВт·год/ Гкал.} \quad (4.42)$$

Оскільки транспортування 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 $\left\{P_{\text{ел.дв}}^{BH^k_{i,j}}\right\}$ (кВт) на валу електродвигуна k -го насоса визначається програмним інструментом за такою формулою:

$$\left\langle \left\langle W_{\text{ел.дв}}^{BH^k_{i,j}} \right\rangle \right\rangle \Rightarrow \frac{g_0 \times \left\{ G_{\text{мрж}}^{BH^k_{i,j}} \right\}_j \times \left\{ H_{\text{мрж}}^{BH^k_{i,j}} \right\}_j}{3600 \times \left\{ \eta_{\text{нс}}^k \right\}_j \times \left\{ \eta_{\text{ел}}^k \right\}_j}, \quad (4.43)$$

де $\left\{ G_{\text{мрж}}^{BH^k_{i,j}} \right\}$ – множина значень середньогодинних витрат теплоносія, переміщуваного насосом, т/год; $\left\{ H_{\text{мрж}}^{BH^k_{i,j}} \right\}$ – множина значень напору насоса, м вод. ст.; g_0 – прискорення вільного падіння, м/с²;

$\{\eta_{\text{нс}}^k\}$ – множина значень коефіцієнта корисної дії насоса; $\{\eta_{\text{ел}}^k\}$ – множина значень коефіцієнта корисної дії електродвигуна. Усі множини у формулі (4.43) упорядковані за часом та приведені до відповідної витрати теплоносія; $3600 \text{ с} = 1 \text{ год}$.

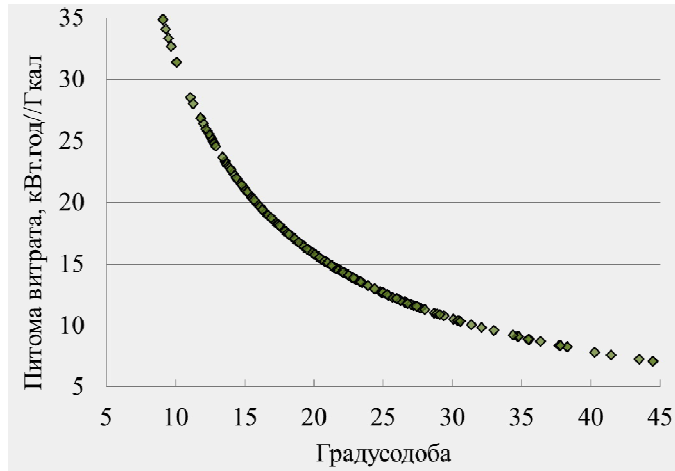


Рис. 4.20. Питома середньогодинна витрата електроенергії на передачу теплового навантаження

На рис. 4.20 представлено розрахований за моделлю (4.42) графік залежності від значень градусодоби питомої середньогодинної витрати електроенергії $\lambda_{\text{ел.тр}}^{BH_{i,j}^k}$ на передачу теплового навантаження за температурним графіком $95 \dots 65 \text{ }^\circ\text{C}$ у СЦТ, структурна схема якої зображена на рис. 4.2. Не складно побачити, що середньогодинна витрата електроенергії обернено пропорційно залежить від значень градусодоби за опалювальний період.

Інші складові витрат електроенергії на потреби теплопостачання за формулою (4.41) складають $20 \dots 30 \%$ від загального її споживання, тому, враховуючи пряму залежність цих витрат від обсягів виробництва теплової енергії і обсягів споживання палива (природного газу), для техніко-економічного аналізу достатньо розрахувати їх загалом.

Функціональна схема програмної реалізації модуля структурно-параметричної оптимізації системи виробництва теплової енергії включає, але ж не обмежується наступними блоками (підмодулями):

- базою даних з енергоефективності типових проектів житлових і громадських будинків в Україні, даних експлуатації системи теплопостачання одного з обласних міст в Україні за п'ять років (параметри та режими роботи теплогенеруючого обладнання і теплових мереж, метеорологічні дані, фактичні та прогнозні);
- розрахунком температурно-погодних факторів впливу, у тому числі розрахунок параметрів прогнозно-випереджального управління підвищенням ефективності системи теплопостачання 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;
- розрахунком 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 кроком день/ніч температуро-часової дискретизації процесу виробництва за опалювальний період);
- розрахунком 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) залежно від величини наявного теплового навантаження, кількість включень і зупинень обладнання за опалювальний період та втрати на пуски і зупини;

- розрахунком 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;

- оптимізацією 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 і 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 приведенного градієнта (для уточнення знайденого на першому етапі рішення). Останнє робиться задля знаходження “глобального” екстремуму цільової функції шляхом подолання бар'єрів, що виникають у моменти зміни структури задіяного генеруючого обладнання.

Тестування і калібрування моделі проведено на базі експериментальних даних функціонування системи виробництва теплової енергії, структурну схему якої показано на рис. 4.2, за даними трирічних 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 зображена на рис. 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 в 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, переопалення – 1278 тис. кВт·год тис., а недоопалення – 880 тис. кВт·год, обсяг викидів CO₂ – 5,22 тис. т при середньогодинному ККД брутто котельні 0,855.

Проведені оптимізаційні розрахунки за наявною структурою системи, результати яких представлені на рис. 4.21, показали

можливість зниження до 446 тис. кВт·год обсягу недоопалень у системі (викликаних понадмірною встановленою потужністю задіяних котлів), забезпечуючи базовий режим роботи котельні двома котлами по 7,56 тис. кВт.

Проведено додаткові параметричні дослідження стосовно можливості зниження обсягів виробництва теплової енергії у базовому стані системи шляхом переходу з одного температурного графіка роботи теплової мережі на інший. Так, на рис. 4.22 представлено порівняні з рис. 4.17 графіки залежності обсягів зменшення середньогодинних витрат теплової енергії в тепловій мережі і збільшення середньогодинних витрат електроенергії на транспортування теплової енергії мережею (на 21,11 кВт·год) при переході з температурного графіка 95...65 °C на графік 87...65 °C.

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 дол./МВт·год, а на вироблену теплову енергію 48,50 дол./Гкал для теплової мережі, що розглядається, економічно доцільним стає перехід на температурний графік 87...65 °C у діапазоні зміни температур зовнішнього повітря нижче -12 °C (вище середнього значення у 30 градусодіб).

Якщо ж використовувати температурний графік 87...65 °C впродовж опалювального періоду, то для умов функціонування теплової мережі, що розглядається (див., наприклад, форму графіка, наведеного на рис. 4.17), за яких середня за опалювальний період величина градусодоби 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 т і обсяги викидів CO₂, а загальні збитки за опалювальний період складуть понад 2,4 тис.дол.

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 широко розповсюджені, показує, що оптимум, за умов відповідного технічного

стану системи, слід шукати в сфері значень температурного графіка 120...60 °С.

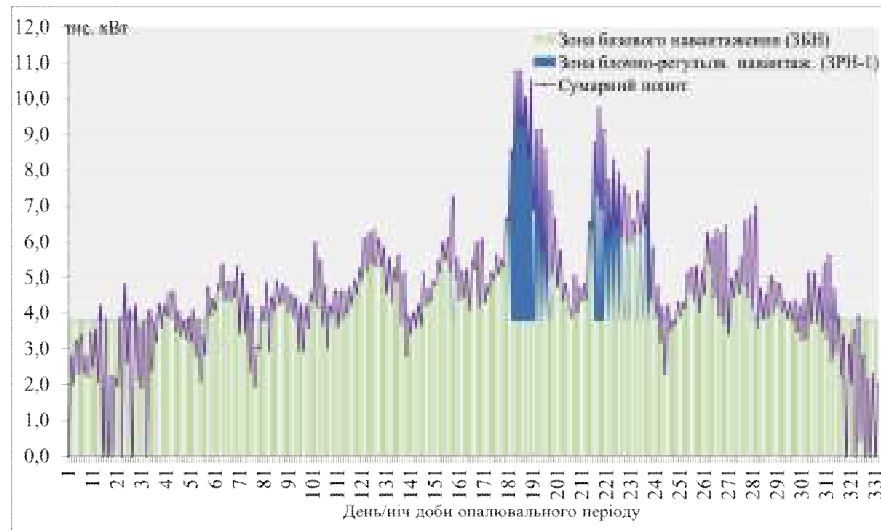


Рис. 4.21. Зони оптимального розподілення навантаження котлів за опалювальний період у базовому стані роботи котельні

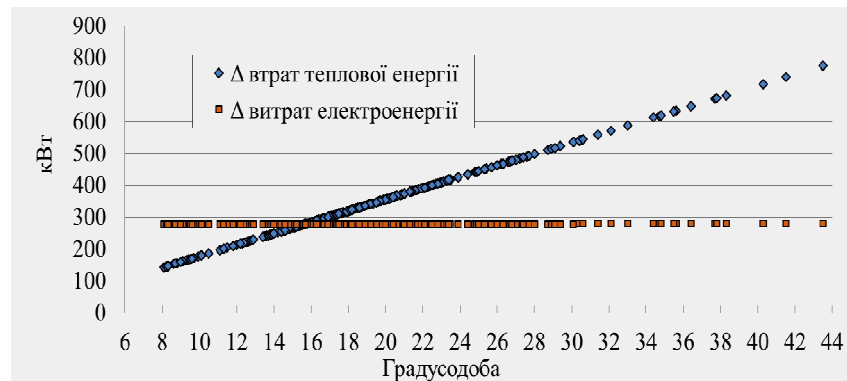


Рис. 4.22. Залежності зміни втрат теплової енергії і витрат електроенергії на транспортування теплоносія при переході з температурного графіка 95...65 °С на графік 87...65 °С

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. 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 переопалення – 282 тис. кВт·год за відсутності недоопалень. У порівнянні з базовим режимом, представленим на рис. 4.21, вигреш складає 2,277 тис. Гкал за опалювальний період (12,5 %), що за ціною на теплову енергію 48,50 дол./Гкал надасть щорічну економію у 110,4 тис.дол. та зниження обсягів викидів CO₂ на 0,597 тис. т при середньогодинному ККД брутто котельні 0,937.

Проте цей результат може бути покращений шляхом використання в управлінні виробництвом теплової енергії СЦТ властивості інерційності процесів її постачання і споживання, застосовуючи методи і засоби прогнозованого випередження (на 6-12 год) по відношенню до змін температури зовнішнього повітря.

Широке розповсюдження методів, моделей і засобів прогнозованого випередження (Model Predictive Control) розпочалося 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 цій 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 квазидинаміки протікання теплових процесів.

Під теплостійкістю розуміють властивість огороження будівлі зберігати відносну сталість температури внутрішньої поверхні огороження при коливаннях зовнішніх теплових впливів. Особисто проведені розрахунки за формулами, представленими у роботах [173, 192–195], показують, що температурна хвиля на внутрішній поверхні огороження розглянутих будинків по відношенню до хвилі коливання температури зовнішнього повітря зміщена більше ніж на 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 коригування 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 теплопостачання вимірюється або швидкістю, з якою система виходить на робочий режим, або часом, що проходить між запуском системи (процесом) і нагріванням повітря в приміщеннях кінцевого споживача (рідина, іншого теплоємного об'єкта нагрівання тощо) до розрахункової температури. Теплова інерція елементів і об'єктів системи теплопостачання в основному визначається і залежить від коефіцієнтів теплопровідності елементів системи, їх об'ємних і масових характеристик та встановленої потужності системи виробництва.

На рис. 4.24 наведені розраховані за моделлю погодинні залежності та 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, показаних на рис. 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 близько 2 % від рівня загального теплоспоживання.

Алгоритм автоматизованого розрахунку обсягів теплової енергії, що марно витрачають на інтервалах переопалення і недопостачають на інтервалах недоопалення, при заданих у табличній формі розрахункових $q_{\text{розрах}}^j$ і фактичних $q_{\text{факт}}^j$ функціях потужності теплоспоживання, де $j = \overline{1, l+1}$, l – число інтервалів дискретизації функцій за часом за період опалення, працює таким чином:

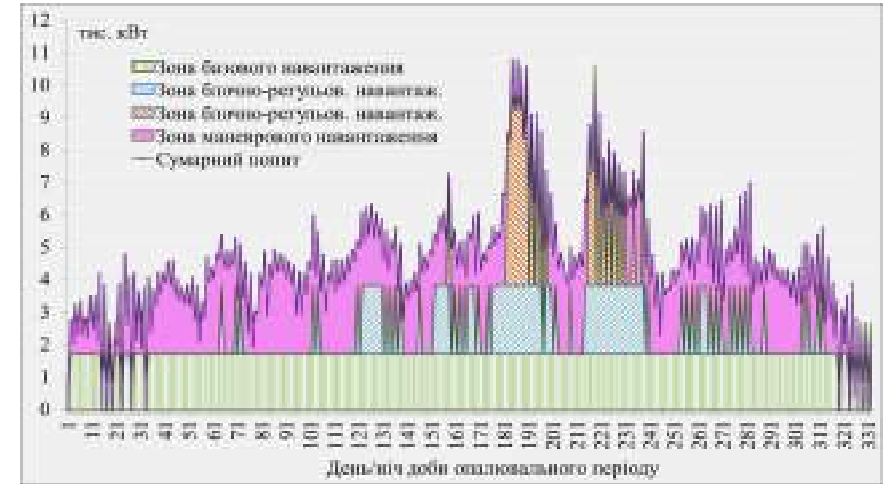


Рис. 4.23. Зони оптимального розподілення навантаження котлів за опалювальний період у чотиризонному режимі роботи котельні

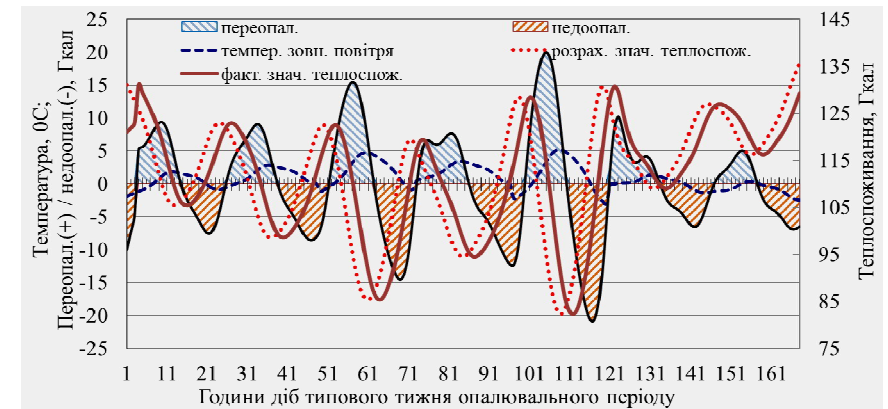


Рис. 4.24. Залежності і характеристики розрахункових і фактичних значень теплоспоживання приміщень за умов динамічного запізнення

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:

$$\begin{aligned} Q_{\text{розр}}^j &= (q_{\text{розр}}^j + q_{\text{розр}}^{j+1}) \Delta t_j / 2; \\ Q_{\text{факт}}^j &= (q_{\text{факт}}^j + q_{\text{факт}}^{j+1}) \Delta t_j / 2, \end{aligned} \quad (4.44)$$

де Δt_j – тривалість j -го інтервалу дискретизації, та їх різницю

$$\Delta Q_{\text{п/н}}^j = Q_{\text{факт}}^j - Q_{\text{розр}}^j.$$

2. Застосовуючи логічні функції IF табличного процесора, знаходимо обсяги переопалення $Q_{\text{п.опал}}^j = IF(\Delta Q_{\text{п/н}}^j \geq 0; \Delta Q_{\text{п/н}}^j; 0)$ і недоопалення $Q_{\text{н.опал}}^j = IF(\Delta Q_{\text{п/н}}^j \leq 0; \Delta Q_{\text{п/н}}^j; 0)$.

3. Підсумовуючи знайдені обсяги переопалення і недоопалення за період опалення, визначаємо

$$\begin{aligned} Q_{\text{п.опал}}^l &= SUM(Q_{\text{п.опал}}^j); \\ Q_{\text{н.опал}}^l &= SUM(Q_{\text{н.опал}}^j), \quad j = \overline{1, l}. \end{aligned} \quad (4.45)$$

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 $\mu_{\text{еф}}$, а резерви економії теплової енергії внаслідок управління – коефіцієнтом надлишку подачі тепла $v_{\text{надл}}$ [187]:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{еф}} &= \int_0^{T_0} \min\{Q_{\text{факт}}, Q_{\text{розр}}\} d\tau / \int_0^{T_0} \max\{Q_{\text{факт}}, Q_{\text{розр}}\} d\tau; \\ \mu_{\text{еф}} &= \int_0^{T_0} \max\{Q_{\text{факт}}, Q_{\text{розр}}\} d\tau / \int_0^{T_0} Q_{\text{факт}} d\tau, \end{aligned} \quad (4.46)$$

де значення $\mu_{\text{еф}}$ при якісному функціонуванні системи теплопостачання будуть наближуватися до одиниці.

Враховуючи складність визначення цих коефіцієнтів за формулами (4.46), у роботі застосовано розглянутий вище алгоритм, за яким коефіцієнти ефективності $\mu_{\text{еф}}$ та надлишку $v_{\text{надл}}$ подачі тепла розраховуються більш простими операціями підсумовування:

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_{\text{еф}} &= SUM_j(Q_{\text{факт}}^j + Q_{\text{н.опал}}^j) / SUM_j(Q_{\text{факт}}^j + Q_{\text{п.опал}}^j); \\ \hat{v}_{\text{надл}} &= SUM_j(Q_{\text{факт}}^j + Q_{\text{п.опал}}^j) / SUM_j(Q_{\text{факт}}^j). \end{aligned} \quad (4.47)$$

Для даних, представлених на рис. 4.24, розрахунок за формулами (4.44)...(4.47) визначає наступні значення коефіцієнта ефективності $\mu_{\text{еф}} = 0,9838$ і коефіцієнта надлишку $v_{\text{надл}} = 1,0075$.

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. 4.23. Результати оптимізації представлені на рис. 4.25.

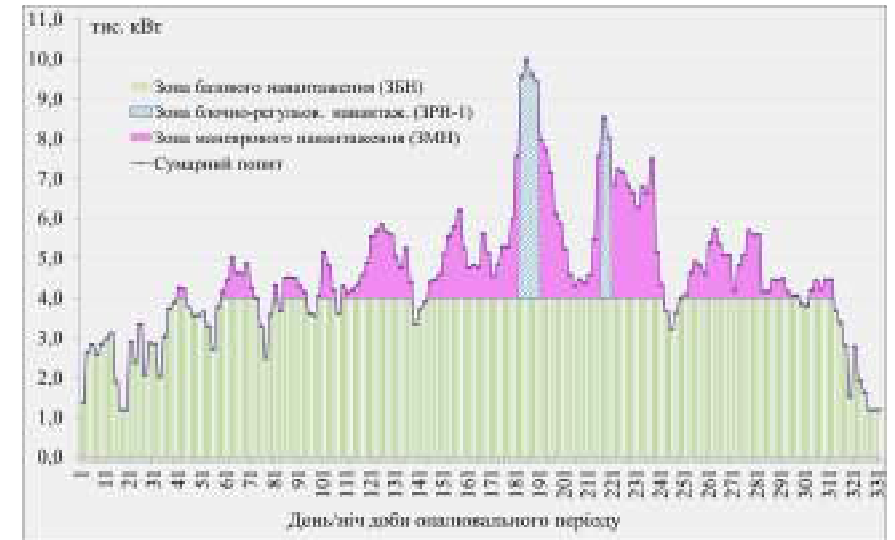


Рис. 4.25. Зони оптимального розподілення навантаження котлів за опалювальний період у режимі роботи з випереджальним управлінням

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 бруто 0,922. При цьому обсяг виробництва теплової енергії за опалювальний період склав 18196 тис. кВт·год (15649 Гкал) при потребі споживачів у 18182 тис. кВт·год, а переопалення – 13,9 тис. кВт·год за відсутності недоопалень. У порівнянні з базовим режимом, представленим на рис. 4.21, вигреш складає 2505 Гкал (13,8 %) за опалювальний період, що за ціною на теплову енергію 48,50 дол./Гкал дає щорічну економію у 121,5 тис.дол. та зниження обсягів викидів CO₂ на 0,653 тис. т при середньогодинному ККД бруто котельні 0,943.

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) способом розрахунку таких кількісних показників ефективності проектів, 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 (4.31)...(4.47)], а також результати проведених багатоваріантних розрахунків, відображених на рис. 4.19 – 4.25, окремо наголосимо, що головною перевагою запропонованих моделей є можливість одночасного визначення оптимальних залежностей часових витрат і витрат теплової і електричної енергії (первинного палива тощо) від структури і параметрів системи, насамперед, величин витрат теплової і електричної енергії в квазідинамічних режимах навантаження енергетичного обладнання, а також кількості включень і зупинів котлів залежно від визначеного алгоритму роботи котельні та температури зовнішнього повітря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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., Гесць 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., Баранік 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. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. –

К.: Укренергозбереження, 1998. – 506 с.

10. Енергетика 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. Енергозбереження 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 / M.A. Adelman. – 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. Иванов Ю.Б. Интеграционный розвиток суб'єктів господарювання: теоретичне обґрунтування та організація управління / Ю.Б. Иванов, 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. Формализация модели программно-целевого управления развитием городских систем коммунальной теплоэнергетики в условиях рыночной экономики / А.М. Ковалко, А.В. Новосельцев, Т.А. Евтухова // 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 / K.A. Froot, K. Rogoff. – Cambridge: Bureau of Economic Research, 1994. – 55 p.
39. Stapel S. Eurostat-OECD Methodological Manual on Purchasing Power Parity / S. Stapel, D. Roberts. – Paris: OECD Publications, 2006. – 280 p.
40. Gareth D. The Potential and Costs of District Heating Networks / D. Gareth, P. Woods. – 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 теплопостачання 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.
44. Статистичний бюлетень про основні показники роботи опалювальних котелень і теплових мереж в Україні за 2013 рік. – К.: 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 теплопостачання / Дубовський С.В., Бабін М.Є, Левчук А.П. [та ін.] // Проблеми загальної енергетики. – 2011. – № 24. – 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.: Сов. радио, 1969. – 488 с.
56. Юдин Д.Б. Задачи и методы линейного программирования / Д.Б. Юдин, Е.Г. Гольштейн. – М.: Сов. радио, 1961. – 492 с.
57. Канторович Л.В. Об одном эффективном методе решения некоторых классов экстремальных проблем / Л.В. Канто-

рович // 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 перформанс-контрактов в России. Энергосервис и перформанс 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 та ін.] – 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. – P. 1–8.

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 электро-энергетических задач исследования операций / Аввакумов В.Г. – К.: 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. Shahidehpour // *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. – К.: 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 Є.Б. Підхід до моделювання систем теплопостачання через аналіз причин виникнення втрат теплової енергії і теплоносія в системі / Є.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. *Viscusi W.K. Economics of Regulation and Antitrust*. London, England, Cambridge, Massachusetts, / W.K. Viscusi, 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. – В. 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 непротивоположными 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, Є.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 ВНУ”, 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.: Малая энергетика в системе обеспечения экономической безопасности государства).

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. Блінов, Г.С. Корхмазов [та ін.] // Проблеми загальної енергетики. – 2009. – № 19. – С. 16–22.

150. *Кириленко А.В., Прихно В.Л.* Оптимізація режимів енергосистем в умовах ринку електроенергії: Зб. наук. праць ІЕД НАНУ. Спец. випуск “Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонніх контрактів і балансуєчого ринку” / А.В. Кириленко, В.Л. Прихно. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2009. – С. 3–10.

151. *Борисенко А.В.* Модель ринкової рівноваги в електроенергетичному секторі України / А.В. Борисенко, С.Є. 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 балансуєчого ринку” / А.В. Борисенко. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України. – 2009. – С. 48–56.

153. *Бронз П.В., Вошинин А.П.* Построение аналитических моделей критериев эффективности инвестиционных проектов энергоблоков по данным вычислительного эксперимента / Бронз П.В., Вошинин А.П. // Теория и практика построения и функционирования АСУ ТП: Труды международной научной конференции CONTROL – 2005. – М., 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. – К.: Техника, 1988. – 135 с.

157. *Оптимізація систем* теплопостачання із використанням економіко-математичного моделювання / [Гаврись О.М. [та ін.]; за заг. ред. О.М. Гаврися. – Х.: НТУ “ХПІ”, 2015. – 209 с.

158. *Клименко В.А.* Математическая модель оптимизации системы теплоснабжения / Клименко В.А., Орлов Ю.Н. – М.: 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.: Знання України. – 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. – К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2008. – 560 с.

161. *Дубовський С.В.* Енергоекономічний аналіз сполучених систем генерації електричної енергії та теплоти / Дубовський С.В. – К.: 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 ексергоефективність систем тепlopостачання будівлі (дослідження, аналіз, нові показники) / В.І. Дешко, Н.А. Буяк, 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. – К.: 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. Сканава А.Н. Отопление: [учебник для вузов] / А.Н. Сканава, 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. – К.: ВІПОЛ, 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., Корневский С.М., Бем Г.Е. и др.] – К.: Будівельник, 1976. – 416 с.
180. Любарець О.П. Проективання 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. Preth, 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.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	3
Передмова.....	4
Вступ.....	8
Розділ 1	
ОЦІНКА СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ	14
1.1. Аналіз поточного стану та перспектив розвитку систем комунальної теплоенергетики як складової енергетичної галузі	14
1.2. Проблемні питання та особливості ВІОТ управління підвищенням ефективності функціонування систем КТЕ в Україні.....	23
1.3. Засоби та механізми нормативно-правового забезпечення заохочувального регулювання та економічного стимулювання підприємств КТЕ до підвищення 3-Е ефективності.....	32
1.4. Концептуальні засади побудови моделі управління ефективністю функціонування систем КТЕ	42
Розділ 2	
ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ БАГАТОРІВНЕВОГО ВІОТ УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ КТЕ	56
2.1. Базові принципи формалізації задачі ВІОТ управління ефективністю функціонування систем КТЕ.....	56
2.2. Формалізація задачі управління підвищенням 3-Е ефективності на рівні підприємства КТЕ – споживачі К-послуг	64
2.3. Координація взаємодії елементів багаторівневої системи ВІОТ управління 3-Е ефективністю в КТЕ України	74
2.4. Ринкові моделі та механізми економічного стимулювання взаємодії елементів ієрархічної системи ВІОТ управління 3-Е ефективністю	84

2.5. Формалізація моделі програмно-цільової координації взаємодії елементів на рівні місцевої системи ВІОТ управління 3-Е ефективністю	98
Розділ 3	
МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ БАГАТОРІВНЕВОГО ВІОТ УПРАВЛІННЯ ПІДВИЩЕННЯМ 3-Е ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ КТЕ НА МІСЦЕВОМУ РІВНІ	110
3.1. Принципи та напрями управління ефективністю функціонування систем комунальної теплоенергетики	110
3.2. Формалізація багаторівневої імітаційної моделі оптимального управління системами КТЕ за критеріями 3-Е ефективності.....	124
3.3. Метод та засіб оптимального управління системою КТЕ за критерієм максимізації прибутку.....	146
3.4. Метод та засіб оптимального управління системою КТЕ за критеріями мінімізації втрат ПЕР та викидів CO ₂	159
Розділ 4	
МЕТОДИ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ БАГАТОРІВНЕВОГО УПРАВЛІННЯ ПІДВИЩЕННЯМ 3-Е ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ	174
4.1. Загальні питання управління підвищенням 3-Е ефективності систем помірно-централізованого теплопостачання	174
4.2. Метод та засіб мінімізації витрат і втрат теплової енергії на опалення і гаряче водопостачання житлових і громадських будинків	183
4.3. Метод та засіб реалізації потенціалу енергозбереження в розподільних теплових мережах системи централізованого теплопостачання.....	200
4.4. Метод та засіб управління підвищенням 3-Е ефективності виробництва теплової енергії в системі централізованого теплопостачання	219
Список використаної літератури	239

Наукове видання

Національна академія наук України
Інститут технічної теплофізики

КОВАЛКО Олександр Михайлович
НОВОСЕЛЬЦЕВ Олександр Вікторович
СВТУХОВА Тетяна Олександрівна

ВЕРТИКАЛЬНО-ІНТЕГРОВАНІ СТРУКТУРИ УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

(українською мовою)

Редактор Н.В. Новік
Комп'ютерна верстка Л.П. Ходаківської

Підп. до друку 21.02.2017. Формат 60х80/16. Офс. друк.
Папір офс. № 1. Гарн. Таймс. Ум. друк. арк. 15,9
Обл.-вид. арк 14,4. Тираж 300 прим.

Віддруковано у друкарні ТОВ "Наш формат",
м. Київ, пр-т Миру, 7, оф. 45.