

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**КАРПЕНКО Дмитро Сергійович**

УДК 644.1

**РОЗРОБЛЕННЯ НАУКОВИХ ЗАСАД ВПРОВАДЖЕННЯ РИНКІВ  
ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

ДИСЕРТАЦІЯ

05.14.01 – енергетичні системи та комплекси

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

---

(підпис, інііали та прізвище здобувача)

Науковий керівник: Дешко Валерій Іванович,  
доктор технічних наук, професор

Київ – 2020

## АНОТАЦІЯ

**Карпенко Д.С. Розроблення наукових засад впровадження ринків теплової енергії в системах тепlopостачання.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.01 – енергетичні системи та комплекси. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України. – Київ, 2020.

Різноманіття технологій використання відновлюваних джерел енергії з кожним роком показує стрімке зростання рівня конкурентоспроможності в сфері енергетики в загальному розумінні. В зв'язку з цим, постає питання ефективного використання надлишкових ресурсів, які утворюються внаслідок природніх процесів або роботи підприємств різних сфер економіки держави. Серед пріоритетних напрямів утилізації надлишкових місцевих ресурсів слід виділяти ринкові механізми. Створення конкурентних умов в сфері тепlopостачання може призвести до підвищення рівня якості теплової енергії як товару для споживача, зниження тарифів на теплову енергію, та підвищення рівня надійності тепlopостачання. При цьому, за рахунок ефективного використання місцевих ресурсів, створення ринків теплової енергії може сприяти енергетичній незалежності України.

Дане дослідження ґрунтується на тому, що в умовах неефективності існуючої системи тепlopостачання на всіх її етапах функціонування від виробництва теплової енергії до її використання кінцевими споживачами, відсутність мотиваційного фактору, що є наслідком відсутності конкуренції, спричиняє низький рівень ефективності роботи систем тепlopостачання. Система не може працювати без участі людини, тому слід розуміти, що проблема відсутності мотиваційного фактору є перш за все соціальною. Монополізація сфери тепlopостачання України призводить до неефективного використання ресурсів на стадії виробництва теплової

енергії, і у наслідку, до завищених тарифів на даний вид продукції як для побутових споживачів, так і для промислових та бюджетних підприємств.

Ринок теплової енергії в системі тепlopостачання є механізмом демонополізації постачання теплової енергії споживачам. Процес введення ринкових відносин передбачає можливість вільного доступу незалежних виробників теплової енергії до теплових мереж системи тепlopостачання, що дає можливість постачання продукції споживачам через єдиний канал транспортування. Ринковий підхід до функціонування системи тепlopостачання передбачає проведення періодичних аукціонів з куплі-продажу теплової енергії для визначення найбільш вигідних та ефективних тепlopостачальників для споживача з точки зору ціни та якості теплової енергії. Однак, через високий рівень капіталізації та соціальної відповідальності підприємницької діяльності в сфері теплоенергетики мають бути передбачені механізми контролю з боку держави за надійністю та ефективністю роботи ринків в системах тепlopостачання. Такими механізмами можуть виступати обмеження у вигляді визначення частки ринку для кожного виробника, або компенсації збитків основного виробника в системі через наявність постійних втрат.

Ринок теплової енергії в системі тепlopостачання характеризується своєю ефективністю, яка відображає сумарні вигоди для виробників та споживачів теплової енергії. Ці вигоди з'являються в наслідок зниження тарифів на теплову енергію для споживачів, підвищення якості тепlopостачання, та забезпеченість прибутками незалежних виробників теплової енергії. Наявність конкуренції в системі тепlopостачання мотивує виробників підвищувати власну техніко-економічну ефективність підприємницької діяльності внаслідок розумного використання природних та людських ресурсів.

Автором розроблено наукові засади побудови та функціонування локальних ринків теплової енергії в межах існуючих систем тепlopостачання міст України, та запропоновано структурні схеми взаємовідносин між суб'єктами локального ринку теплової енергії та відповідний розподіл їх зон відповідальності, функціональну структуру локальних ринків теплової енергії, технічні засоби функціонування локальних ринків теплової енергії, використання моделі «єдиного покупця», що

враховує особливості енергетичних ринків, як явища. Визначено основні засади моделі локального ринку теплової енергії, на основі яких розроблено методи та засоби оцінки впровадження локальних ринків теплової енергії. Розроблено метод оптимізації рівня витрат виробників теплової енергії, які мають декілька об'єктів теплогенерації і приймають участь в процесі функціонування локального ринку теплової енергії, який полягає у визначенні оптимального розподілу обсягу виробництва теплової енергії між декількома об'єктами теплогенерації виробника теплової енергії, у випадку, коли за результатами аукціону куплі-продажу теплової енергії виробник отримує можливість продати теплову енергію у меншій кількості, ніж була заявлена, що дає змогу мінімізувати повні витрати виробника теплової енергії.

У результаті дослідження серед іншого було досягнуто таких результатів:

- Констатовано, що конкурентні відносини в сфері теплопостачання позитивно впливають на технічний та економічний рівень ефективності в системах теплопостачання міст світу.

- Визначено та структуровано порядок вирішення пріоритетних проблем, для створення можливості побудови ефективних ринків теплової енергії.

- Визначено та розроблено принципи функціонування локальних ринків теплової енергії в межах існуючих систем теплопостачання міст України, де запропоновано структурні схеми взаємовідносин між суб'єктами локального ринку теплової енергії та відповідний розподіл їх зон відповідальності, функціональну структуру локальних ринків теплової енергії, технічні засоби функціонування локальних ринків теплової енергії, використання моделі «єдиного покупця», що враховує особливості енергетичних ринків, як явища.

- Проведено порівняльний аналіз ринку теплової енергії та ринку електричної енергії який показав, що слід враховувати досвід впровадження ринку електричної енергії в Україні через присутність спільних ознак, які притаманні енергетичним ринкам. Визначені відмінності між ринку електричної енергії та ринку теплової енергії, а також, між тепловою та електричною енергією, як товарами на відповідних

ринках, дозволяють використовувати законодавче забезпечення щодо ринку електричної енергії в частині їх адаптації для ринку теплової енергії.

- Визначено основні процедурні аспекти проведення аукціонів куплі-продажу теплової енергії, де запропоновано, в якості механізмів державного регулювання локального ринку теплової енергії такі показники як «коефіцієнт частки ринку» та «компенсація збитків основного виробника», для забезпечення плавної інтеграції незалежних виробників теплової енергії при паралельному задоволенні інтересів комунального підприємства в існуючій системі тепlopостачання.

- Дослідження державного підприємства «Державтотрансдніпроект», показало, що при забезпеченні підключення об'єкту теплогенерації до централізованої системи тепlopостачання стає можливим максимальне завантаження більш економічних потужностей при умові існування локального ринку теплової енергії в межах системи тепlopостачання м. Києва. При такій конфігурації в системі тепlopостачання, мають місце вигоди для виробника та споживачів теплової енергії, за рахунок відпуску більш дешевої теплової енергії незалежним виробником теплової енергії.

- Обгрунтовано, на основі розроблених методів та засобів оцінки впровадження локальних ринків теплової енергії, необхідність впровадження ринкових відносин в системах тепlopостачання.

- Визначено характер впливу обсягу споживання теплової енергії, кількості незалежних виробників теплової енергії та питомого обсягу споживання теплової енергії на ринку на відносну ефективність локального ринку теплової енергії.

- Розроблено програмне забезпечення «Thermal Energy Market», яке дозволяє враховувати географічне розташування об'єктів (виробники, споживачі теплової енергії, теплові мережі) в просторі для оцінки теплових та гідравлічних втрат енергії при моделюванні функціонування локальних ринків теплової енергії. Програмне забезпечення дозволяє розробляти проекти з впровадження ринкових відносин в системах тепlopостачання міст та оцінювати ефективність локальних ринків теплової енергії при визначених умовах.

Результати дисертаційної роботи в подальшому можуть бути використані при

формуванні законодавства про ринок теплової енергії в Україні. Методи оцінки доцільності впровадження локальних ринків теплової енергії дозволяють в індивідуальному порядку для кожної існуючої системи тепlopостачання визначати шляхи впровадження і способи функціонування ринку на основі того енергетичного та інтелектуального потенціалу, який існує в регіоні. Розроблений інструментарій з аналізу ефективності локального ринку теплової енергії може бути використаний при стратегічному плануванні розвитку систем міст України.

**Ключові слова:** локальний ринок теплової енергії, система тепlopостачання, тепла енергія, ефективність ринку, сфера теплоенергетики.

## ABSTRACT

**Karpenko D.S.** Development of scientific bases for thermal energy markets implementation in heat supply systems. - Qualification scientific thesis. Manuscript.

Thesis for the Academic Degree of Candidate of Technical Science 05.14.01 - Power Systems and Complexes. - National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" of the Ministry of Education and Science of Ukraine. - Kyiv, 2020.

The diversity of these technologies using renewable energy every year shows a rapid increase in the level of competitiveness in the energy sector in a common sense. In this connection, the question arises of the efficient use of surplus resources, which are formed as a result of natural processes or work of enterprises of different spheres of the state's economy. Market mechanisms should be identified as priority areas for the disposal of surplus local resources. Creating competitive conditions in the field of heat supply can lead to an increase in the quality of thermal energy as a consumer product, lower tariffs for heat, and increase the level of reliability of heat supply. At the same time, due to the efficient use of local resources, the creation of heat energy markets can partially lead to energy independence of Ukraine.

This study is based on the fact that in the conditions of inefficiency of the existing heat supply system at all its stages of operation from the production of heat energy to its use by end consumers, the lack of a motivational factor resulting from the lack of competition causes a low level of efficiency of the heat supply systems. The system cannot work without human involvement, so it should be understood that the problem of lack of a motivating factor is primarily a social one. Monopolization of the heat supply sector in Ukraine leads to inefficient use of resources at the stage of heat production, and as a consequence, inflated tariffs for this type of products for both domestic and industrial and budgetary enterprises.

The thermal energy market in the heat supply system is a mechanism of demonopolization of heat supply to consumers. The process of introducing market relations provides for the possibility of free access of independent heat producers to the

heat networks of the heat supply system, which allows the supply of products to consumers through a single transportation channel. The market approach to the functioning of the heat supply system provides for periodic auctions for the purchase and sale of thermal energy to determine the most profitable and efficient heat suppliers for the consumer in terms of price and quality of thermal energy. However, due to the high level of capitalization and social responsibility of entrepreneurial activity in the field of heat energy supply, mechanisms of state control over the reliability and efficiency of markets in heat supply systems should be provided. Such mechanisms may be restrictions in the form of determining market share for each manufacturer, or compensation for losses of the main manufacturer in the system due to the presence of permanent losses.

The thermal energy market in the heat supply system is characterized by its efficiency, which reflects the total benefits for producers and consumers of thermal energy. These benefits result from lower tariffs for heat for consumers, improved quality of heat supply, and the provision of profits to independent heat producers. The presence of competition in the heat supply system motivates producers to increase their own technical and economic efficiency of entrepreneurial activity due to the rational use of natural and human resources.

The author developed the scientific foundations of construction and functioning of local markets of heat energy within the existing systems of heat supply of Ukrainian cities, and proposed structural diagrams of relations between the subjects of the local market of thermal energy and the corresponding distribution of their areas of responsibility, the functional structure of local markets of heat and energy. thermal energy markets, the use of the "single buyer" model, which takes into account the peculiarities of energy markets as a phenomenon. The basic principles of the model of the local market of thermal energy are determined, on the basis of which methods and means of estimation of introduction of local markets of thermal energy are developed. A method of optimizing the level of costs of thermal energy producers with multiple heat generating facilities and participating in the local thermal energy market operation process has been developed, which consists in determining the optimal distribution of heat production volume between several thermal power generating plant objects, in case as a result of the auction of the sale of thermal

energy, the manufacturer gets the opportunity to sell thermal energy in less than it was declared, which allows to minimize the full costs of the heat producer ing energy.

The study, among other things, achieved the following results:

- It is stated that competitive relations in the sphere of heat supply have a positive effect on the technical and economic level of efficiency in the district heating systems of cities in the world.

- The procedure for solving priority problems is identified and structured to create the possibility of building efficient heat energy markets.

- The principles of functioning of local thermal energy markets within the existing heat supply systems of Ukrainian cities are defined and developed, where structural schemes of relations between subjects of local heat market and corresponding distribution of their zones of responsibility, functional structure of local heat markets, technical means of functioning of local markets are offered. thermal energy, the use of the "single buyer" model, which takes into account the peculiarities of energy markets as a phenomenon.

- A comparative analysis of the thermal energy market and the electricity market has been carried out, which showed that the experience of introducing the electricity market in Ukraine should be taken into account due to the presence of common features inherent in the energy markets. The identified differences between the electricity market and the heat energy market, as well as between heat and electricity as commodities in the respective markets, allow the use of legislative support for the electricity market in terms of their adaptation to the heat energy market.

- The main procedural aspects of conducting auctions for the sale and sale of thermal energy are identified, where, as mechanisms of state regulation of local thermal energy market, such indicators as "market share ratio" and "compensation of losses of the main producer" are provided, to ensure smooth integration of independent heat producers with parallel satisfaction of interests utility company in the existing heat supply system.

- The research of the state-owned enterprise Derzhavtotransndiproekt showed that by ensuring the connection of the heat generation facility to the district heating system, it becomes possible to maximize the load of more economical capacity, provided there is a local heat market within the heat supply system of Kyiv. With such a configuration in the

heat supply system, there are benefits for the producer and consumers of thermal energy, due to the supply of cheaper thermal energy by an independent producer of thermal energy.

- The necessity of introduction of market relations in the heat supply systems is substantiated, based on the developed methods and means of assessing the implementation of local heat energy markets.

- The influence of the amount of heat consumption, the number of independent heat producers and the specific volume of heat consumption in the market on the relative efficiency of the local heat market is determined.

- “Thermal Energy Market” software has been developed, which allows to take into account the geographical location of facilities (producers, consumers of thermal energy, thermal networks) in space to assess thermal and hydraulic energy losses when modeling the functioning of local thermal energy markets. The software allows to develop projects on introduction of market relations in systems of heat supply of cities and to estimate efficiency of local markets of thermal energy under certain conditions.

The results of the dissertation can be further used in the formation of legislation on the heat market in Ukraine. Methods for assessing the feasibility of implementing local heat markets allow to individually identify for each existing heat supply system ways to implement and ways of functioning of the market based on the energy and intellectual potential that exists in the region. The developed tools for analyzing the efficiency of the local thermal energy market can be used in strategic planning of urban systems in Ukraine.

**Keywords:** local market of thermal energy, system of heat supply, thermal energy, market efficiency, sphere of heat energy.

**Список наукових праць здобувача,****в котрих опубліковані основні наукові результати дисертації:**

1. V. I. Deshko and D. S. Karpenko, "Analysis of aspects and simulation modeling of the thermal energy market in Ukraine," in *Management of technological processes in energy technologies under the general editorship of Anatoliy M. Pavelko*, Kielce, Politechnika Swietokrzyska, 2019, pp. 7-49.
2. Д. С. Карпенко та В. І. Дешко, «Побудова ефективної моделі ринку теплової енергії в реаліях України. Енергетика та електрифікація» *Енергетика та електрифікація*, т. 2, № 390, с. 18-23, Лютий 2016.
3. V. I. Deshko and D. S. Karpenko, "Analysis of conditions for the creation of the local thermal energy market in Ukraine," *Комунальне господарство міст*, vol. 7, no. 146, с. 68-76, 2018.
4. В. І. Дешко, А. І. Замулко та Д. С. Карпенко, «Оцінка ефективності функціонування локального ринку теплової енергії,» *Проблеми загальної енергетики*, т. 3, № 50, с. 41-49, 2017.
5. В. І. Дешко та Д. С. Карпенко, «Техніко-економічний аналіз створення ринку теплової енергії в Україні,» *Енергетика: економіка, технології, екологія*, т. 2, с. 26-37, 2018.
6. В. І. Дешко, А. І. Замулко та Д. С. Карпенко, «Аналіз принципів формування локальних ринків теплової енергії в системах централізованого теплопостачання,» *Проблеми загальної енергетики*, т. 4, № 55, с. 51-58, 2018.

**які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

7. V. I. Deshko, A. I. Zamulko, D. S. Karpenko, A. Mahnitko and O. Linkevics, "Evaluation of the district heating market efficiency as the function of its size and number of competing suppliers," in *2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University*, Riga, 2018.

8. V. I. Deshko and D. S. Karpenko, "Functional structure of the local thermal energy market in district heating," in *2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems*, Kyiv, 2019.
9. Anatolijs Mahnitko, Yurii Veremiichuk, Valerii Deshko, Dmytro Karpenko, "Scenario analysis for increasing efficiency level of the autonomous generation object in central heat supply," in *2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University*, Riga, 2019.
10. В. І. Дешко та Д. С. Карпенко, «Імітаційне моделювання та оптимізація ринку теплової енергії,» в *Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем», Том 2, - с. 231-232, Чернігів, 2018.*
11. В. І. Дешко та Д. С. Карпенко, «Методика оптимізації витрат об'єктів теплогенерації підприємств на локальному ринку теплової енергії,» в *Матеріали X науково-технічної конференції Інституту Енергозбереження та Енергоменеджменту «Енергетика. Екологія. Людина», - с. 191-194, Київ, 2018.*

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	15
ВСТУП.....	16
РОЗДІЛ 1.....	22
<b>АНАЛІЗ СТАНУ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ПРЕДМЕТ ВПРОВАДЖЕННЯ РИНКОВИХ ВІДНОСИН .....</b>	22
1.1. Сучасний стан ринкових відносин в системах теплопостачання світу.....	22
1.2. Передумови реалізації конкурентних умов в системах теплопостачання України .....	48
1.3. Принципи створення локальних ринків теплової енергії .....	59
Висновки до розділу 1 .....	68
РОЗДІЛ 2.....	70
<b>НАУКОВІ ЗАСАДИ, МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ОЦІНКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ РИНКІВ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ...</b>	70
2.1. Структура взаємовідносин суб'єктів системи теплопостачання в рамках ринку теплової енергії .....	70
2.2. Капітальні витрати та особливості впровадження локальних ринків теплової енергії .....	80
2.3. Модель локального ринку теплової енергії.....	86
2.4. Оптимізація витрат виробників теплової енергії .....	95
2.5. Програмні засоби аналізу впровадження та функціонування локальних ринків теплової енергії .....	98
Висновки до розділу 2 .....	107
РОЗДІЛ 3.....	109
<b>ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ І ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ОЦІНКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ РИНКІВ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ.....</b>	109

3.1. Оцінка рівня техніко-економічної ефективності автономного джерела теплової енергії .....	109
3.2. Інтеграція автономного об'єкта теплогенерації в централізовану систему тепlopостачання на конкурентних умовах.....	123
3.3. Оцінка терміну окупності впровадження локального ринку теплової енергії .....	127
3.4. Вплив рівня річного обсягу споживання теплової енергії на ефективність локального ринку теплової енергії .....	138
3.5. Питомий обсяг споживання системою теплової енергії, як міра оцінки доцільності впровадження конкурентних умов в системах тепlopостачання ....	141
3.6. Вплив кількості виробників теплової енергії на ефективність локального ринку теплової енергії .....	151
Висновки до розділу 3 .....	155
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>157</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>160</b>
<b>ДОДАТОК А Список опублікованих праць за темою дисертації .....</b>	<b>171</b>
<b>ДОДАТОК Б Методика розрахунку втрат теплової енергії та гідравлічних втрат в теплових мережах.....</b>	<b>173</b>
<b>ДОДАТОК В Інструкція користувача програмного забезпечення «Thermal Energy Market» .....</b>	<b>186</b>
<b>ДОДАТОК Г Акти впровадження результатів дисертаційної роботи .....</b>	<b>197</b>

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

РТЕ	– ринок теплової енергії
ЛРТЕ	– локальний ринок теплової енергії
ТЕ	– тепла енергія
РЕЕ	– ринок електричної енергії
ДТО	– дисконтований термін окупності
ЖКГ	– житлово-комунальне господарство
ККД	– коефіцієнт корисної дії
КТЕ	– комунальна теплоенергетика
ВДЕ	– відновлювальні джерела енергії
ПЕР	– паливно-енергетичні ресурси
СП-ЦТ	– система помірно-централізованого теплопостачання
СЦТ	– система централізованого теплопостачання
ТЕЦ	– теплоелектроцентрально
ГЕС	– гідроелектростанція
ОЕС	– об'єднана енергетична система
НКРЕКП	– Національна комісія, що здійснює державне регулювання в сферах енергетики та комунальних послуг
ОСББ	– об'єднання співвласників багатоквартирного будинку
т. у. п.	– тонна умовного палива

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Коливання цін на світових ринках викопних органічних палив призвели до стрімкого розвитку технологій у сегменті ВДЕ. Різноманіття цих технологій з кожним роком показує стрімке зростання рівня конкурентоспроможності в сфері енергетики в загальному розумінні. Наприклад, в державах Європи, із врахуванням жорсткої екологічної політики, напрямок ВДЕ отримав стрімкого розвитку. В зв'язку з цим, постає питання ефективного використання надлишкових ресурсів, які утворюються внаслідок природніх процесів або роботи підприємств різних сфер економіки держави. Перетворення місцевих ресурсів на теплову енергію є технологічно простим процесом, при цьому кінцева ціна продукції може бути значно нижчою від традиційних способів виробництва теплової енергії. Отже, створення конкурентних умов в сфері теплопостачання може призвести до підвищення рівня якості теплової енергії як товару для споживача, зниження тарифів на теплову енергію, та підвищення рівня надійності теплопостачання. Більше того, за рахунок ефективного використання місцевих ресурсів, створення ринків теплової енергії може частково призвести до енергетичної незалежності України.

Практична відсутність конкурентних механізмів в сфері теплопостачання України в законодавчому полі актуалізують проблему створення ринку теплової енергії в системах теплопостачання міст України. Більше того, вражаючий потенціал відновлюваних джерел енергії в Україні потребує ефективного механізму їх використання. Таким чином, вирішення проблеми створення ринку теплової енергії може призвести до синергетичного ефекту з точки зору підвищення рівня технічної, економічної та екологічної ефективності за рахунок використання ВДЕ та зниження ціна на теплову енергію для кінцевого споживача.

Однак, перед впровадженням ринкових відносин в сфері теплопостачання, вкрай важливо мати необхідний інструментарій для дослідження доцільності впровадження локальних ринків теплової енергії в СЦТ та СП-ЦТ міст України. У зв'язку з цим, дисертаційне дослідження передбачає розробку методів та принципів, на основі яких, вищевизначені проблеми можуть бути вирішені.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Теоретичні дослідження і практичні розробки за темою дисертаційної роботи відповідають напрямку «Енергетика та енергоефективність» Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11.07.2001 р. №2623-III із змінами від 16.01.2016 рр., розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2020 роки, затвердженої Постановою КМ України від 01.03.2010 р. №243 із змінами від 06.07.2019 р. Дисертаційне дослідження виконувалося згідно плану наукових робіт кафедри теплотехніки та енергозбереження КПІ ім. Ігоря Сікорського у рамках науково-дослідних робіт, №2009/1 «Управління енергоспоживанням об'єктів комунальної енергетики» (Номер держреєстрації - № 0117U000469). № 2046 «Дослідження оптимального функціонування інтегрованих систем енергозабезпечення споживачів із застосуванням комплексного акумулювання електричної та теплової енергії» (Номер держреєстрації - № 0117U003825). №2205-р «Інжинірингові аспекти функціонування системи енергоменеджменту об'єктів житлово-громадської сфери» (Номер держреєстрації - № 0119U100670).

### **Мета і завдання дослідження**

Метою дисертаційної роботи є розроблення наукових засад впровадження та функціонування локальних ринків теплової енергії, та створення, на їх основі, методів та засобів оцінки ефективності ринкових відносин в системах теплопостачання.

Для досягнення мети були поставлені і вирішені такі основні задачі:

1. Провести аналіз літературних джерел з проблематики конкурентних відносин в системах теплопостачання, аналіз сучасного стану систем теплопостачання України та визначити основні перешкоди при запровадженні конкурентних умов в системах теплопостачання та визначити можливий потенціал і пріоритетні напрями використання місцевих енергетичних ресурсів для виробництва теплової енергії в рамках ринку теплової енергії.
2. Розробити наукові засади впровадження та функціонування локальних ринків теплової енергії в системах теплопостачання із врахуванням особливостей

систем теплопостачання України.

3. Розробити методи оцінки впровадження локальних ринків теплової енергії в системах теплопостачання у вигляді моделі.

4. Створити комп'ютерну модель у вигляді програмного забезпечення та виконати розрахунки, що підтверджують перевагу на користь ринкової моделі функціонування систем теплопостачання в порівнянні з існуючим станом, а також виконати оптимізаційні розрахунки, для оцінки характеру впливу ключових ринкових показників на відносну ефективність ЛРТЕ.

**Об'єкт дослідження** – процеси виробництва та постачання теплової енергії в системах теплопостачання в конкурентних умовах.

**Предмет дослідження** – наукові засади і методи оцінювання впровадження та функціонування локальних ринків теплової енергії в системах теплопостачання.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених в дисертації задач були використані такі методи: метод системних досліджень в енергетиці при оцінці стану впровадження конкурентної теплоенергетики в світі та Україні; метод порівняння при аналізі та співставленні РЕЕ та РТЕ в Україні; метод формалізації при розробці математичної моделі ЛРТЕ; лінійне програмування при розробці методу оптимізації витрат виробника при наявності декількох об'єктів теплогенерації; моделювання при оцінці ефективності ЛРТЕ при різних вихідних даних; регресійний аналіз при оцінці впливу ринкових параметрів на ефективність ЛРТЕ.

**Наукова новизна** дисертаційного дослідження полягає в тому, що

**вперше:**

- виконано формалізацію та розроблено імітаційну модель локального ринку теплової енергії, в якій власність основного вертикально-інтегрованого теплопостачального підприємства розподілена між відносно самостійними підприємствами з виробництва та транспортування теплової енергії (анбандлінг) з наданням вільного доступу до теплових мереж незалежним виробникам теплової енергії, що дозволяє кількісно визначати економічно доцільний потенціал підвищення ефективності функціонування ринку;

- запропоновано метод розподілу обсягів виробництва теплової енергії для

виробників – учасників локального ринку теплової енергії, який дозволяє визначати оптимальний розподіл обсягів виробництва теплової енергії між їх об'єктами теплогенерації у випадках, коли за результатами аукціону купівлі-продажу теплової енергії виробник отримує можливість продати теплову енергію у меншій кількості, ніж була ним заявлена;

**удосконалено:**

- визначення поняття «ефективність локальних ринків» теплової енергії, яке на відміну від поняття «добробут ринку» визначається різницею економічного результату функціонування монопольного та конкурентного ринків теплової енергії, та де вигода досягається у зниженні тарифу на теплову енергію для споживачів;

- вдосконалено структурно-функціональні схеми взаємодії нових суб'єктів систем тепlopостачання з основним виробником в рамках моделі «єдиного покупця», які на відміну від існуючих, враховують особливості функціонування систем тепlopостачання в Україні та дозволяють сформулювати вимоги до складу суб'єктів ринку, виду і форми їх взаємодії та технологічної забезпеченості.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в їх використанні при системному впровадженні ринкових відносин в сфері тепlopостачання. Визначені принципи можуть бути покладені в основу формування законодавства про ринок теплової енергії в Україні. Методи оцінки доцільності впровадження локальних ринків теплової енергії дозволяють в індивідуальному порядку для кожної існуючої системи тепlopостачання визначати шляхи впровадження і способи функціонування ринку на основі того енергетичного та інтелектуального потенціалу, який існує в регіоні.

На основі розробленої моделі створено авторський програмний продукт, який може бути використаний при стратегічному плануванні розвитку систем централізованого та помірно-централізованого тепlopостачання міст України в якості професійного інструментарію. Отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму «Thermal Energy Market».

Представлені в дисертації розрахунки з підвищення рівня техніко-економічної ефективності об'єкта теплогенерації шляхом його підключення до СЦТ м. Києва на

конкурентних умовах передано в державне підприємство «Державтотрансдніпроект».

### **Особистий внесок здобувача.**

Основні результати дисертації, що виносяться на захист, отримані здобувачем одноосібно. В наукових роботах, опублікованих в співавторстві, здобувачеві належать наступні результати: [1, 2, 3] – визначення типів систем теплопостачання та моделей ринку теплової енергії; [4] – методика та результати моделювання локального ринку теплової енергії; [5] – оцінка впливу кількості виробників теплової енергії на ефективність ЛРТЕ; [6] – функціональна структура впровадження ЛРТЕ в умовах існуючих систем теплопостачання України; [7] – формалізація моделі локального ринку теплової енергії; [8] – методика оптимізації витрат виробника теплової енергії при наявності декількох об'єктів теплогенерації; [9] – техніко-економічний аналіз проекту впровадження ЛРТЕ на базі системи теплопостачання в м. Ірпінь; [10] – порівняльний аналіз ринків теплової та електричної енергії.

**Апробація результатів дисертаційної роботи.** Основні результати дисертаційних досліджень доповідалися і обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях, конкурсах та семінарах: міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність-2013» (Київ, 14-16 жовтня 2013 р.), XIV Всеукраїнський конкурс «Молодь – енергетиці України 2014» (Київ), XVII Всеукраїнський конкурс «Молодь – енергетиці України 2017» (Київ), VIII міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем» (Чернігів, 10-12 травня 2018 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасний стан та перспективи розвитку економіки, обліку та права» (Полтава, 14 травня 2018 р.), I міжнародному конгресі «Комфортне місто - майбутнє, інновації, технології» (16-17 травня 2018 р.), X науково-технічній конференції Інституту енергозбереження та енергоменеджменту «Енергетика. Екологія. Людина» (Київ, 2018 р.), 59-тій міжнародній науковій конференції «RTUCON-2018» (Ріга, Латвія, 12-14 листопада 2018 р.), III міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми відновлюваної

енергетики, будівництва та екологічної інженерії» (Кельце, Польща, 7-9 лютого 2019 р.), 6-тій міжнародній конференції «Energy Smart Systems» (Київ, 17-19 квітня 2019 р.), 60-тій міжнародній науковій конференції «RTUCON-2019» (Ріга, Латвія, 7-9 листопада 2019 р.), наукових семінарах кафедри теплотехніки та енергозбереження КПІ ім. Ігоря Сікорського.

**Публікації.** Основні результати досліджень за темою дисертації опубліковані у кількості 15 наукових праць, у тому числі: 1 розділ колективної монографії, 9 публікацій у фахових наукових виданнях з них 8 у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз, 5 тез доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях, з них три тези у виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази даних, 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

**Структура та обсяг дисертаційної роботи.** Дисертація складається зі вступу, 3 розділів, висновків, бібліографічного списку літератури з 99 найменувань і 3 додатків. Матеріал дисертації ілюструють 40 рисунка і 38 таблиці. Загальний обсяг роботи складає 197 сторінок машинописного тексту, у тому числі 158 сторінок основного тексту.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СТАНУ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ПРЕДМЕТ ВПРОВАДЖЕННЯ РИНКОВИХ ВІДНОСИН

#### 1.1. Сучасний стан ринкових відносин в системах теплопостачання світу

Енергетичний ринок – це сукупність осіб та організацій, які купують або продають енергію, та супутні товари та послуги, де метою є виробництво та споживання енергії. Таким чином, енергетичний ринок у широкому розумінні включає таких учасників ринку, як підприємства-видобувачі паливно-енергетичних ресурсів, організації, що переробляють ці ресурси, постачальники кінцевої енергії, споживачі енергії, а також підприємства, що виготовляють товари й надають послуги, що забезпечують процес виробництва енергії [11].

Ринкові відносини в системах централізованого теплопостачання (СЦТ) також підпадають під визначення енергетичних ринків, але формалізація цих відносин має більш складний характер, по відношенню, наприклад до ринків електричної енергії, через певні обмеження в постачанні теплової енергії як товару [12]. Але, існує ряд досліджень, які показують потенціал розвитку централізованого теплопостачання в частині територіального розростання.

Наприклад, в дослідженні [13], визначається розумна мережа централізованого опалення, завдяки якій досягається безперебійна робота системи, яка реалізується за допомогою гнучкого регулювання попиту на теплову енергію, акумулюванні теплової енергії та способів її передачі. Таким чином, для майбутніх енергетичних систем низькотемпературні лінії централізованого опалення поєднуються із економією теплової енергії та зменшенням впливу на навколишнє середовище, що є перспективною альтернативою для інтеграції виробничих коливань відновлюваних джерел енергії.

Способи зберігання теплової енергії мають особливий науковий інтерес в рамках централізованого теплопостачання, оскільки нерівномірність графіку теплового навантаження деяких джерел енергії може впливати на стабільність

роботи системи. Так, в статті [14] проведено дослідження акумулювання теплової енергії шляхом використання теплової інерції теплових мереж, що дозволяє переносити і згладжувати теплові навантаження в системі. Серед інших способів акумулювання теплової енергії виділяють зберігання теплової енергії в баку та спеціальних ямах, у водоносному шарі або через свердловини [15]. Всі ці методи зберігання мають свою економічну привабливість в залежності від умов, в яких необхідно інтегрувати джерела енергії з нестабільним графіком теплового навантаження.

У історичному розвитку централізованого теплопостачання послідовно розвивалися три покоління систем [16]. Системи першого покоління використовували пар в якості теплоносія. Типовими компонентами були паропроводи в бетонних каналах, паропроводи та компенсатори. Практично всі системи централізованого теплопостачання, створені до 1930 року, використовували цю технологію. Системи другого покоління використовували гарячу воду під тиском як теплоносій, причому температури подачі переважно були вище 100 °С. Типовими компонентами були водопровідні труби в бетонних каналах, великі трубчасті теплообмінники, а також матеріалоємні, великі та важкі клапани. Ці системи з'явилися в 1930-х роках і домінували у всіх нових системах до 1970-х років. Системи третього покоління, як і раніше використовують воду під тиском, але температури подачі часто не перевищують 100 °С. Типові компоненти - збірні, попередньо ізольовані труби, які безпосередньо заглиблені в землю, компактні підстанції, що використовують пластинчасті теплообмінники з нержавіючої сталі. Системи були введені в 1990-х роках в Україні і зайняли значну частину всіх систем централізованого теплопостачання.

На сьогодні, активно ведеться розвиток концепції четвертого покоління централізованого теплопостачання. Тенденції розвитку централізованих систем теплопостачання простежуються у зменшенні температури теплоносія до 50-60 °С і використанні енергоефективних матеріалів в частині транспортування теплової енергії [16]. В той же час, вже в деяких містах Європи існують системи централізованого теплопостачання п'ятого покоління, які мають температуру

теплоносія на рівні 15-35 °С. Такі системи акцентовані на використання теплових насосів у промисловому масштабі і вже існують в містах Німеччини (15 систем), Швейцарії (15 систем), Італії (5 систем), Нідерландів (2 системи), Бельгії, Англії та Норвегії (по 1 системі) [17]. В загальну мережу системи теплопостачання, яка є низькотемпературною, включаються альтернативні та відновлювальні джерела енергії такі, як сонячна енергія, геотермальна енергія, надлишкова теплова енергія виробництв, енергія вітру, теплові насоси та акумулятори теплової енергії [18]. При чому, частина з вищеназваних джерел включаються в систему теплопостачання в якості генераторів електроенергії для подальшого перетворення в теплову енергію утворюючи smart-системи централізованого теплопостачання. Важливою особливістю систем четвертого покоління є високий рівень автоматизації та моніторингу оперативно-технологічних процесів виробництва, транспортування та постачання теплової енергії за участі системи електропостачання, в якості альтернативних та відновлюваних джерел енергії [19]. Покоління систем централізованого теплопостачання представлені в табл. 1.1.

*Таблиця 1.1 – Покоління систем централізованого теплопостачання*

Покоління Критерій	I	II	III	IV
Роки існування	1880-1930	1930-1980	1980-2020	2020-2050
Види енергоресурсів	Вугілля	Вугілля, природний газ	Вугілля, природний газ, біомаса, надлишкова теплова енергія промислових підприємств, сонячна та геотермальна енергія	Біомаса, надлишкова теплова енергія промислових підприємств, сонячна та геотермальна енергія, електроенергія
Агрегатний стан теплоносія	Водяний пар	Гаряча вода високого тиску	Гаряча вода	Вода
Температура подаючої води, °С	>200	>100	<100	50-60
Температура зворотньої води, °С	>80	<70	<45	25

Канали транспортування ТЕ	Бетонні канали	Водопровідні труби в бетонних каналах	Збірні, попередньо ізолювані труби каналної та безканалної прокладки	Попередньо ізолювані труби каналної та безканалної прокладки
Інші особливості	Низький рівень енергетичної ефективності та надійності теплопостачання	Значне підвищення рівня енергоефективності в порівнянні з I поколінням.	Високий рівень надійності системи	Гнучкі, високоефективні та надійні системи. Наявність контурів холодопостачання

Для здійснення ефективної операційної діяльності систем централізованого теплопостачання важливим є їх забезпечення відповідними технічними засобами. Вирішення цих проблем досягається впровадженням автоматизованих систем управління та моделей аналізу параметрів теплових мереж. Існує багато методів аналізу роботи та управління тепловими мережами, деякі з них дослідженні в статтях [20, 21], які описують вплив таких параметрів як попит, виробництво, прогнози погодних умов, ціни на енергетичні ресурси, характеристики теплової мережі і теплоносія, температура і тиск теплоносія, на загальну ефективність роботи енергетичної системи. Також, серед методів аналізу і контролю даних виділяють нейронні мережі [22]. Кажучи про сторону споживання теплової енергії, слід вирізняти типи споживачів, які можуть мати різні графіки теплового навантаження, що в свою чергу впливає безпосередньо на формування попиту та способів його задоволення. Серед основних типів споживачів теплової енергії виділяють: багатоквартирні будинки, комерційні будівлі, промислові споживачі, адміністративні будівлі, соціальні та оздоровчі будівлі, школи та дитячі садки. Відповідно до типу споживача, він керується своєю логікою використання тепловою енергією. В статті [23] проведено аналіз паттернів поведінки різних типів споживачів за допомогою методу кластеризації.

Серед питань, які постають при впровадженні ринкових відносин в СЦТ, важливим є будівництво та з'єднання між собою теплових мереж та об'єктів для забезпечення можливості взаємодії великої кількості виробників та споживачів

теплової енергії. Правильна архітектура теплових мереж та теплових пунктів може забезпечити високий рівень ефективності процесу передачі теплової енергії. Одна з методик ефективного планування, будівництва та розширення систем централізованого теплопостачання представлена в статті [24], де відображено досвід Китаю в цьому питанні. В іншому дослідженні [25] розроблено модель, яка оптимізує майбутню роботу основного виробника теплової енергії шляхом вибору найкращого поєднання технології для досягнення визначеної мети (наприклад, максимізація економії витрат або мінімізація викидів парникових газів). Також, в методології розглядаються особливості просторового розширення СЦТ. В роботі [26] проаналізовано лінійну густину теплової потужності системи теплопостачання в місті Гамбург (Німеччина), де досліджується її вплив на економічну доцільність, де шляхом сполучення локальних систем теплопостачання підвищується лінійна густина теплового навантаження.

Технічні аспекти проектування, будівництва та експлуатації теплових мереж займають велике значення при розробленні та впровадженні конкурентних відносин в рамках системи теплопостачання. При визначених географічних положеннях нових суб'єктів, які мають приймати участь в ринкових процесах, технічні рішення з підключення їх до єдиної системи визначаються в індивідуальному порядку в залежності від конфігурації теплової мережі, технологічних параметрів роботи системи теплопостачання, географічного розташування існуючих суб'єктів процесу теплопостачання і т.п. Методи та засоби реалізації таких аспектів висвітлені в багатьох монографіях [27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35] та нормативних документах [36, 37, 38, 39].

Існує великий перелік досліджень, який показує, що централізація систем теплопостачання є позитивною тенденцією в рамках екологічного та економічного аспектів. Однак, важливою складовою є аналіз впливу централізації теплопостачання на споживачів теплової енергії. Наприклад, в дослідженні [40] автори, на прикладі Данії, розкривають споживчо-економічний та соціально-економічний потенціал при розширенні систем теплопостачання. Результати дослідження показують, що для умов Данії, споживачі теплової енергії отримують

менше вигод від розширення систем теплопостачання, ніж виробники. Але, це пов'язано з національною системою оподаткування та політикою в сфері енергетики. Таким чином, важливим є вибудова державою ефективних правил для забезпечення рівномірними вигодами всіх учасників процесу теплопостачання.

Стикаючись з існуючими системами централізованого теплопостачання, для розуміння шляхів поліпшення процесу функціонування системи, необхідно проводити аудит системи. Найбільш частою проблемою є малі діаметри теплових мереж, що знижує ефективність постачання теплової енергії. Серед основних методів вирішення цієї проблеми виділяють: збільшення температури подачі теплоносія, збільшення діаметру теплових мереж, збільшення тиску теплоносія насосами, роздріблення системи теплопостачання на більш локальні, використання акумуляторів теплової енергії та ін. [41].

В 2020 році за наказом Міністерства розвитку громад та територій України було затверджено методичку розроблення схем теплопостачання населених пунктів України. Ця методика встановлює вимоги до розроблення схем теплопостачання населених пунктів, їх змісту, форми, порядку розроблення та затвердження і застосовується при розробленні схем теплопостачання населених пунктів з кількістю жителів більш як 20 тисяч [42]. В цій методиці визначені загальні вимоги до розроблення схем теплопостачання, порядок розроблення та затвердження схеми теплопостачання, їх зміст та форму. Показники, які використовуються при розробленні схеми теплопостачання можна умовно поділити на технічні, екологічні та економічні. Показники, які визначені в методиці, наведені в табл. 1.2.

*Таблиця 1.2 – Показники, які використовуються при розробленні схеми теплопостачання*

Технічні показники	Екологічні показники	Економічні показники
- щільність теплового навантаження; - питома протяжність теплових мереж; - частка теплової енергії, виробленої з відновлювальних джерел енергії; - частка теплової енергії виробленої в результаті спільного виробництва	- питомі викиди оксидів азоту на 1 ГДж відпущеної теплової енергії; - питомі викиди діоксиду сірки на 1 ГДж	- капітальні інвестиції; - чиста річна економія; - чиста приведена вартість; - внутрішня норма рентабельності (IRR);

теплової та електричної енергії; - частка теплової енергії, виробленої з використанням скидної теплової енергії; - рівень інтеграції теплових мереж; - частка централізованого тепlopостачання; - фактичне середнє теплове навантаження; - питомі витрати умовного палива на виробництво теплової енергії; - питомі витрати води на підживлення теплових мереж; - питомі витрати електроенергії на транспортування 1 Гкал теплової енергії; - частка аварійних ділянок труб теплових мереж; - питома пошкоджуваність трубопроводів теплових мереж, пошкоджень на рік на 1 км теплових мереж; - відповідність (кореляція) між споживанням палива і температурою зовнішнього повітря.	відпущеної теплової енергії; - питомі викиди речовин у вигляді суспендованих твердих частинок (пилу) на 1 ГДж відпущеної теплової енергії; - питомі викиди парникових газів на 1 ГДж відпущеної теплової енергії; - питомі викиди оксиду вуглецю на 1 ГДж відпущеної теплової енергії.	- дисконтований термін окупності (DPP).
---	---	---

Для визначення деяких з представлених технічних показників системи тепlopостачання використовуються наступні співвідношення [42]:

- Щільність теплового навантаження ((Гкал/год)/км<sup>2</sup>):

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n W_i^{сп}}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (1.1)$$

де:

n – кількість споживачів теплової енергії,

$W_i^{сп}$  – теплове навантаження і-го споживача, Гкал/год,

$F_i$  – площа території забудови і-го споживача, км<sup>2</sup>.

- Питома протяжність теплових мереж (км/(Гкал/год)):

$$l = \frac{L}{\sum_{i=1}^n W_i^{сп}} \quad (1.2)$$

де:

$L$  – протяжність теплової мережі в системі (включаючи магістральні та розподільчі теплові мережі в двотрубному вимірюванні), км.

- Частка теплової енергії виробленої з ВДЕ (%):

$$\varphi_{ВДЕ} = \frac{Q^{ВДЕ}}{Q^{\Sigma}} \cdot 100\% \quad (1.3)$$

де:

$Q^{ВДЕ}$  – кількість теплової енергії виробленої з ВДЕ, Гкал/рік,

$Q^{\Sigma}$  – загальна кількість виробленої теплової енергії.

- Частка теплової енергії виробленої з при комбінованому виробництві теплової та електричної енергії (%):

$$\varphi_{ТЕЦ} = \frac{Q^{ТЕЦ}}{Q^{\Sigma}} \cdot 100\% \quad (1.4)$$

де:

$Q^{ТЕЦ}$  – кількість теплової енергії виробленої при комбінованому виробництві теплової та електричної енергії, Гкал/рік.

- Частка теплової енергії виробленої з використанням скидної теплової енергії (%):

$$\varphi_{СТЕ} = \frac{Q^{СТЕ}}{Q^{\Sigma}} \cdot 100\% \quad (1.5)$$

де:

$Q^{\text{СТЕ}}$  – кількість теплової енергії виробленої з використанням скидної теплової енергії, Гкал/рік.

- Частка централізованого тепlopостачання (%):

$$\omega_{\text{ЦСТ}} = \frac{F_{\text{ЦСТ}}}{F^{\Sigma}} \cdot 100\% \quad (1.6)$$

де:

$F_{\text{ЦСТ}}$  – опалювальна площа будівель, приєднаних до системи централізованого тепlopостачання, км<sup>2</sup>,

$F^{\Sigma}$  – загальна опалювальна площа будівель населеного пункту, км<sup>2</sup>.

- Фактичне середнє теплове навантаження (Гкал/год):

$$W_{\text{факт}}^{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^{\text{вир}}}{m \cdot k} \quad (1.7)$$

$Q_i^{\text{вир}}$  – кількість відпущеної теплової енергії джерелом теплової енергії за рік, Гкал,

$k$  – тривалість опалювального періоду, год,

$m$  – кількість джерел теплової енергії.

Значна увага приділяється визначенню екологічних показників, які відносяться до одиниці відпущеної теплової енергії з виводів об'єктів теплогенерації. Для визначення екологічних показників системи тепlopостачання використовуються наступні співвідношення:

- Питомі викиди оксидів азоту на 1 ГДж відпущеної теплової енергії (г/ГДж):

$$E_{\text{NOx}}^{\text{пит}} = \frac{M_t^{\text{NOx}} \cdot 10^6}{Q^{\Sigma} \cdot 4,184} \quad (1.8)$$

де:

$M_t^{NOx}$  – обсяг валових викидів оксидів азоту (оксиду та діоксиду азоту) в перерахунку на діоксид азоту за визначений період часу (рік), т/рік.

- Питомі викиди діоксиду сірки на 1 ГДж відпущеної теплової енергії (г/ГДж):

$$E_{SO_2}^{пит} = \frac{M_t^{SO_2} \cdot 10^6}{Q^{\Sigma} \cdot 4,184} \quad (1.9)$$

де:

$M_t^{SO_2}$  – обсяг валових викидів діоксидів оксидів сірки за визначений період часу (рік), т/рік.

- Питомі викиди речовин у вигляді суспендованих твердих частинок (пилу) на 1 ГДж відпущеної теплової енергії (г/ГДж):

$$E_{р.у. в.с.ч.}^{пит} = \frac{M_t^{р.у. в.с.ч.} \cdot 10^6}{Q^{\Sigma} \cdot 4,184} \quad (1.10)$$

де:

$M_t^{р.у.в.с.ч.}$  – обсяг валових викидів речовин у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом, за визначений період часу (рік), т/рік.

- Питомі викиди парникових газів на 1 ГДж відпущеної теплової енергії (г/ГДж):

$$E_{CO_2e}^{пит} = \frac{M_t^{CO_2e} \cdot 10^6}{Q^{\Sigma} \cdot 4,184} \quad (1.11)$$

$$M_t^{CO_2e} = M^{CO_2} \cdot 1 + M^{N_2H} \cdot 265 + M^{CH_4} \cdot 28 \quad (1.12)$$

де:

$M_t^{CO_2e}$  – обсяг валових викидів парникових газів у перерахунку на еквівалент діоксиду вуглецю (CO<sub>2e</sub>) за визначений період часу (рік), т/рік;

$M^{CO_2}, M^{N_2O}, M^{CH_4}$  - валові викиди вуглецю діоксиду, азоту (І) оксиду та метану, відповідно (т/рік),

1, 265 і 28 – коефіцієнти потенціалу глобального потепління вуглецю діоксиду, азоту (І) оксиду та метану, відповідно.

- Питомі викиди оксиду вуглецю на 1 ГДж відпущеної теплової енергії (г/ГДж):

$$E_{CO}^{пит} = \frac{M_t^{CO} \cdot 10^6}{Q^{\Sigma} \cdot 4,184} \quad (1.13)$$

де:

$M_t^{CO}$  – обсяг валових викидів оксиду вуглецю за визначений період часу (рік), т/рік.

Таким чином, після оцінки всіх визначених технічних та екологічних параметрів проводиться оцінка економії після реалізації капітальних інвестицій на виконання схеми теплопостачання. Чиста річна економія визначається як сума економії витрат на паливно-енергетичні ресурси та зміни (з відповідним знаком) витрат на технічне обслуговування, операційну діяльність та інші платежі, які є наслідком реалізації інвестиційного проекту за вирахуванням витрат, які пов'язані з фінансуванням відповідного проекту [42]:

$$S_n = \sum_{p=1}^{i=1} [\Delta B_{n,i} \cdot EP_{n,i}] \pm \Delta C_n^m \pm \Delta C_n^o \pm \Delta C_n^{ad} - C_n^f, \quad (1.14)$$

де:

$\Delta B_{n,i}$  – обсяг економії  $i$ -го паливно-енергетичного ресурсу у натуральних показниках у році  $n$  з початку проекту;

$EP_{n,i}$  – ціна  $i$ -го паливно-енергетичного ресурсу у році  $n$ ;

$\Delta C_n^m$  – зміна витрат на технічне обслуговування у році  $n$ , включаючи річні витрати на перевірку, очищення, наладку, планово-профілактичний ремонт, витратні матеріали тощо;

$\Delta C_n^o$  – зміна витрат на операційну діяльність у році  $n$ ;

$\Delta C_n^{ad}$  – зміна витрат на страхування, інші постійні плати, податки (включаючи екологічні податки) у році  $n$ ;

$C_n^f$  – витрати на обслуговування запозичень (сплата відсотків та інших платежів, крім погашення основної суми запозичень), які пов'язані з фінансуванням відповідного проекту у році  $n$ .

Для показників зміни витрат ( $\pm \Delta C_n^x$ ) додатне значення приймається в разі збільшення відповідних витрат, а від'ємне значення – в разі зменшення відповідних витрат внаслідок реалізації проекту.

При забезпеченні споживачів тепловою енергією в рамках ринкових відносин між виробниками теплової енергії, важливою є конфігурація теплової мережі, через яку здійснюється транспортування теплової енергії. Правильна архітектура теплової мережі повина забезпечувати рівним потенціалом всіх споживачів теплової енергії в системі. Розрізняють два типи конфігурації теплових мереж: деревовидна та кільцева. У великих системах теплопостачання розрахунок таких теплових мереж може призводити до великої кількості обчислень. В статті [43] запропонована модель, розрахунку деревовидних та кільцевих мереж, базована на регресійній моделі, яка була протестована в місті Турин (Італія), і яка дозволяє зменшити час розрахунку температури та масової витрати з мінімальним впливом на точність результату. Модель побудована на ідеї заміни кільцевої мережі на еквівалентну деревовидну мережу, де кожний кільцевий елемент роз'єднується в одній з гілок. Розгорнута форма моделі енергетичного балансу в системі представлена в формулі:

$$\frac{\partial(\rho \cdot c \cdot \Delta T)_i}{\partial t} \Delta V_i + \sum_j c \cdot G_j \cdot T_j = U_{\text{TOT}} \cdot (T_i - T_{\text{env}}), \quad (1.15)$$

де:

$\rho$  – густина теплоносія, кг/м<sup>3</sup>,

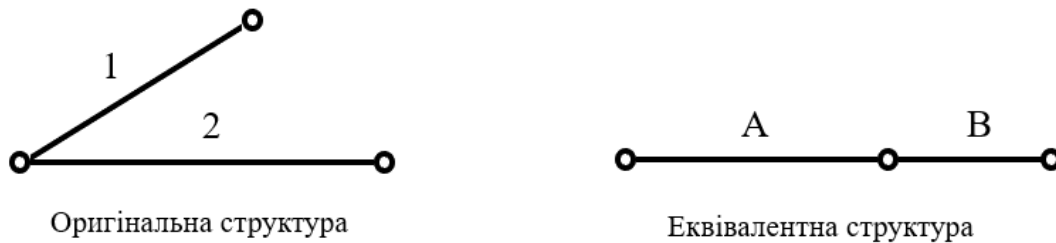
$c$  – теплоємність теплоносія, кДж/кг·К,

$G$  – вектор масових витрат, кг/с,

$V$  – об'єм теплоносія в системі, м<sup>3</sup>,

$U_{\text{TOT}}$  – абсолютний коефіцієнт теплопередачі труби, Вт/К.

Подібний підхід при розрахунку параметрів теплових мереж був використаний в роботі [44], де ділянки теплової мережі складались в еквівалентну єдину ділянку або в єдиного споживача теплової енергії. Процес заміни деревовидної структури всієї сітки СЦТ на структуру ліній може розглядатися як послідовність простих скорочень, як показано на малюнку 1.1.



*Рисунок 1.1 – Заміна базової деревовидної структури трубопроводів на лінійну структуру*

В системі тепlopостачання розглядається систематичний спосіб поступового зниження складності великої системи тепlopостачання. Починаючи з фізичної системи ЦТ, визначаються дві агреговані системи. Одна система використовується для обчислення температури та втрат тепла, а інша використовується для обчислення диференціального тиску.

Символи, використані у наступних формулах, визначені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Визначення символів при розрахунку еквівалентної структури трубопроводів

Величини	Одиниці виміру	Визначення
m	кг/с	Масовий потік до навантаження
$\mu$	кг/с	Масовий потік в трубопроводі
L	м	Довжина ділянки трубопроводу
d	м	Зовнішній діаметр ділянки трубопроводу
D	м	Внутрішній діаметр ділянки трубопроводу
V	м <sup>3</sup>	Об'єм теплоносія
h	Вт/м·К	Лінійний коефіцієнт теплопередачі
H	Вт/К	Коефіцієнт теплопередачі
c	кДж/кг·К	Питома теплоємність
C	кДж/м·К	Лінійна теплоємність
$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	Густина
Індекс	Визначення	
1	Гілка або вузол 1	
2	Гілка або вузол 2	
A	Гілка або вузол A	
B	Гілка або вузол B	
Надпис	Визначення	
w	Вода	
p	Сталева труба	

Допоміжні змінні для використання в алгоритмі розрахунків еквівалентних трубопроводів представлені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.3 – Допоміжні змінні для використання в алгоритмі розрахунків еквівалентних трубопроводів

Символ	Формула	Умова
$\alpha$	$m_2/m_1$	$\alpha > 0$
$\beta$	$1 - \alpha$	$\beta > 1$
$\varphi$	$C^w/(C^w + C^p)$	$0 < \varphi < 1$
$\psi$	$\varphi_2/\varphi_1$	$\psi > 1$
$\gamma$	$(V_1/V_2) \cdot \alpha$	$0 < \gamma \leq 1/\psi$
X	$(\rho^p c^p)/(\rho^w c^w)$	$X > 0$

Алгоритм розрахунку еквівалентних ділянок представлено в наступних формулах:

$$m_A = m_1, \quad (1.16)$$

$$L_A = L_1 \cdot \frac{1 + \alpha^2 \cdot \psi \cdot A_2 / A_1}{\beta}, \quad (1.17)$$

$$d_A = 2 \cdot \sqrt{\frac{\beta \cdot (1 + \alpha \cdot \psi) \cdot A_1 \cdot A_2}{(A_1 + A_2 \cdot \alpha^2 \cdot \psi) \cdot \pi}}, \quad (1.18)$$

$$\varphi_A = \frac{\varphi_1 + \alpha \cdot \varphi_2}{1 + \alpha}, \quad (1.19)$$

$$D_A = d_A \cdot \sqrt{1 + \frac{1 - \varphi_A}{X \cdot \varphi_A}}, \quad (1.20)$$

$$m_B = m_2, \quad (1.21)$$

$$d_B = d_2, \quad (1.22)$$

$$D_B = D_2, \quad (1.23)$$

$$L_B = L_2 \cdot (1 - \gamma \cdot \psi), \quad (1.24)$$

Для розрахунку еквівалентних коефіцієнтів теплопередачі подаючого та зворотнього трубопроводів використовується наступний алгоритм:

- якщо  $N_2/N_1 \geq m_2/m_1$ , то:

$$H_A = (1 + \alpha) \cdot H_1, \quad (1.25)$$

$$H_B = H_2 - \alpha \cdot H_1, \quad (1.26)$$

- якщо  $H_2/H_1 < m_2/m_1$ , то:

$$H_A = H_1 + \gamma \cdot \psi \cdot H_2, \quad (1.27)$$

$$H_B = H_2 \cdot (1 - \gamma \cdot \psi), \quad (1.28)$$

Таким чином, лінійний коефіцієнт теплопередачі дорівнюватиме:

$$h_A = H_A/L_A, \quad (1.29)$$

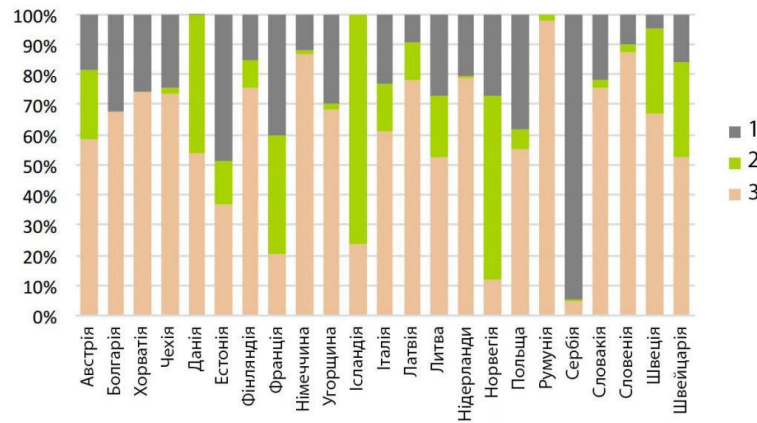
$$h_B = H_B/L_B, \quad (1.30)$$

Існуючі централізовані та помірно-централізовані системи теплопостачання в різних містах світу мають різні технічні та технологічні умови, відповідно до яких слід адаптувати різні моделі аналізу шляхів підвищення енергетичної та економічної ефективності. Наприклад, в роботі [45] визначено підхід та здійснено формалізацію багаторівневого вертикально-інтегрованого організаційно-технологічного управління енергетичною, економічною та екологічною ефективністю складних систем комунальної теплоенергетики, ієрархічна структура якої утворюється з системних модулів, реалізованих за принципом «вхід-вихід» з залученням понять теорій множин, багаторівневих ієрархічних систем та узгодженої оптимізації. 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.

В дослідженні [46] системи теплопостачання в містах Польщі характеризуються високим рівнем централізації. Але, при цьому, більша частина теплогенеруючих потужностей залежна від вугілля, що має негативний вплив на навколишнє середовище. Автори дослідження звертають увагу на необхідність індивідуального підходу при аналізі кожної із локальних систем теплопостачання. В місті Таллінн (Естонія), існує велика СЦТ де однією із її особливостей є значна частина теплових мереж яка пов'язує райони з високою густиною теплового навантаження, при цьому виконуючи суто функцію транспортування. Розрахунки в роботі [47] показують, що навіть такі системи з сумарною низькою густиною теплового навантаження при правильно обраному діаметрі попередньо ізольованих трубопроводів можуть мати значно підвищений потенціал передачі теплової енергії на значні відстані (загальна довжина мереж Талліну складає 426 км), що відкриває можливість масштабування ринків теплової енергії. Загалом, тенденція до більшої централізації систем теплопостачання міст прослідковується в розвинених містах держав Європейського Союзу, особливо там, де густина теплового навантаження сягає  $0,02 \text{ Гкал/м}^2$  за рік. На прикладі Женеви (Швейцарія), було показано важливість централізації системи теплопостачання, для забезпечення стійкого розвитку самого міста [48]. Але, коли мова йде про централізацію системи теплопостачання, важливим є врахування такого параметру, як якість теплової енергії. Серед основних методів оцінки якості енергії виділяють енергетичний та ексергетичний аналізи. Застосовуючи ці методи, в статті [49] було проаналізовано енергетичний потік від виробника до споживача в системах теплопостачання Швеції. Основний акцент було зроблено на використання ТЕЦ та теплових насосів, як ефективну комбінацію виробництва електричної енергії та використання низькопотенціальної енергії не без використання відновлюваних джерел енергії, особливо біомаси.

Кажучи про впровадження конкурентних відносин в сфері теплопостачання, варто зазначити, що ринок теплової енергії (PTE) виступає певним драйвером зростання рівня ефективності енергетичних систем. Ринкові процеси в сфері теплопостачання вже запущені і працюють в деяких державах Європейського

Союзу. Наприклад, в роботі [50], показано, як в містах Швеції ринкові механізми привели до поступового заміщення традиційної енергетики відновлюваними джерелами енергії, із позитивними впливом на екологічну ситуацію в сфері енергетики. У свій час, системи теплопостачання в Швеції стали полігоном для випробувань впровадження альтернативних місцевих джерел енергії, що дало свій результат. Слід зауважити, що всі великі міста Швеції мають системи централізованого теплопостачання, і загальна їх кількість складає приблизно 500, включаючи помірно-централізовані системи в малих містах і, навіть, селах. Таким чином, частка централізованого теплопостачання в енергетичній сфері Швеції складає 55%. Загалом, найбільшу частку централізації в системі теплопостачання займають такі країни як Росія (70%), Латвія (65%), Україна (66%), Данія (63%), Польща (53%), Білорусь (50%), Фінляндія (50%) та Словаччина (40%). У країнах-членах ЄС частка ЦТ в 2013 р. становила 12% (в середньому) і відповідно до директивних і нормативно-правових актів планується доведення частки централізованого теплопостачання до 50% до 2050 р. [51]. При цьому, слід відмітити, що швидкими темпами системи ЦТ розвиваються в Азії, зокрема в Китаї. Також, слід відмітити, що в Європейському Союзі, найбільша частка енергоспоживання припадає на теплову енергію (45%), при 20% електроенергії, 26% транспорту та 9% неенергетичного використання. Більша частина теплової енергії в системах ЦТ ЄС (73 %) генерується ТЕЦ та іншими когенераційними установками з використанням усіх видів палива, з урахуванням скидної теплоенергії промисловості. Близько 19 % виробляється котельними з викопних видів палива, а решта (8 %) – котельними на біомасі та іншими установками, що використовують ВДЕ. Структура генерації теплової енергії в системах теплопостачання держав ЄС представлена на рис. 1.2 [52].



1 – котельні на викопних паливах, електрокотли та 1/3 ТЕ з теплових насосів;  
 2 – котельні на біомасі та інші установи на ВДЕ (крім ТЕЦ); 3 – теплова енергія з ТЕЦ та когенераційних установок на всіх видах палива а також скидна ТЕ промисловості та 2/3 ТЕ з теплових насосів

Рисунок 1.2 – Структура генерації теплової енергії в системах тепlopостачання держав ЄС

Доцільність впровадження енергетичних ринків слід розглядати через призму загального річного обсягу споживання теплової енергії в системі. Звісно, важливим є врахування рівня енергетичної ефективності систем, тим не менш, системи які здатні давати прибуток, можуть породжувати появу нового попиту. Серед найбільш привабливих ринків в світі можна виділити ринок Європейського Союзу (1,9 ЕДж/рік), Росії (4,6 ЕДж/рік) та Китаю (3,75 ЕДж/рік) [53]. Слід також виділити ринок США (0,25 ЕДж/рік), Кореї (0,2 ЕДж/рік), Казахстану (0,3 ЕДж/рік). Кажучи про Україну, слід відзначити, що загальна величина річного споживання теплової енергії складає 0,4 ЕДж, що ставить її в перелік привабливих держав для ведення енергетичного бізнесу.

Основними «гравцями» на РТЕ виступають виробники теплової енергії, у якості підприємств, які здійснюють діяльність з виробництва теплової енергії та постачання її в мережу. Виробники теплової енергії характеризуються об'єктами теплогенерації, які в свою чергу використовують той, чи інший енергетичний ресурс, який виходячи із економічної доцільності виробник може використовувати і отримувати прибуток з продажу енергії. Зазвичай, об'єкти теплогенерації використовують єдиний ресурс, як основний. Але, на сьогодні, особливу популярність отримують об'єкти розосередженої генерації, або так звані

«енергетичні хаби», які використовують різні джерела енергії (як правило, відновлювані) за отримання теплової або електричної енергії [54]. Такі системи дозволяють формувати гнучку функцію повних витрат, яка може реагувати на зовнішні фактори, які впливають на економічну стабільність підприємства. В той же час, і споживачі теплової енергії можуть виступати виробниками теплової енергії. Маючи на балансі об'єкти теплогенерації, які задовільняють внутрішній попит, може створюватись надлишкова пропозиція за рахунок сталої потужності установок і погодних умов, які цю надлишкову пропозицію можуть сформувати. Такі активні споживачі, можуть бути корисно використані в рамках локального ринку теплової енергії (ЛРТЕ) підключившись до ЦСТ. Наприклад, в статті [55] було проаналізовано можливість інтеграції автономних відновлюваних джерел енергії до низькотемпературної системи централізованого теплопостачання в умовах міст Норвегії. Інтеграція активних споживачів в систему централізованого теплопостачання, але в рамках локального ринку теплової енергії, є також предметом дослідження дисертації.

При створенні ринкових відносин в централізованих системах теплопостачання міст, постає питання забезпечення прибутком підприємств, які займаються виробництвом теплової енергії. Всі процеси, які відбуваються в сфері теплопостачання мають певну інерційність, тому важливим є правильне довгострокове планування бізнесу, як з точки зору кожного окремого виробника, так і з точки зору держави, яка безпосередньо виступає організатором локального ринку. Наприклад, в статті [56] було проведено моделювання ринкових відносин за трьох різних сценаріїв конфігурації джерел енергії (традиційні джерела енергії, відновлювані джерела енергії та теплові насоси) в СЦТ в провінції Зуїд-Холланд (Нідерланди). За результатами моделювання було визначено, що граничні витрати на виробництво теплової енергії відновлюваними джерелами енергії мають низький рівень, однак враховуючи інвестиційні витрати, та постійні витрати при виробництві теплової енергії, рівень конкурентоспроможності відновлюваних джерел енергії в рамках ринку є низьким. Цей висновок є актуальним в рамках дисертації, в тому

числі, однак при певних визначених умовах, тому він не може вважатися узагальнюючим для такого явища як РТЕ.

Не дивлячись на різні умови, які мають місце в різних централізованих системах теплопостачання міст держав Європейського Союзу, слід звертати увагу на принципи формування конкурентних процесів в цих системах. Кожен випадок потребує окремого розгляду з точки зору технічної та економічної складових, але дослідження тенденцій може поліпшити процес становлення та впровадження локальних ринків теплової енергії в Україні. В табл. 1.4. представлено опис принципів функціонування ринкових відносин в системах теплопостачання держав Європейського союзу [52, 57].

*Таблиця 1.4 – Опис принципів функціонування ринкових відносин в системах теплопостачання держав Європейського союзу [52, 57]*

Країна	Особливості конкуренції та ціна ТЕ в сфері теплоенергетики
Німеччина	Тарифи на теплову енергію не регулюються і формуються виробниками на конкурентному ринку. Тарифи формуються на основі цін на енергетичні ресурси. Нагляд за процесом функціонування РТЕ виконує Департамент з питань конкуренції. Середньозважена ціна ТЕ в системі теплопостачання - 95 євро/МВт·год.
Данія	Тарифи на теплову енергію формуються кожним виробником і є однаковим для всіх груп споживачів. Нагляд за процесом функціонування РТЕ виконує Департамент з питань конкуренції та прав споживачів. Середньозважена ціна ТЕ в системі теплопостачання - 125 євро/МВт·год.
Великобританія	Тарифи на теплову енергію формуються кожним виробником, які мають право не розкривати складові та рівень ціни на теплову енергію. Нагляд за процесом функціонування РТЕ виконує Департамент з питань конкуренції та ринків, а Управління ринків газу та електроенергії відповідає за реалізацію державного механізму стимулювання виробництва ТЕ з ВДЕ. За рахунок конкуренції стимулюється виробництво теплової енергії з ВДЕ, а тарифи на ТЕ складають 69-187 євро/МВт·год для житлових будинків.
Фінляндія	Ринкові тарифи на ТЕ встановлюються місцевими теплопостачальними компаніями. Ці компанії зазвичай знаходяться у муніципальній власності. Нагляд за процесом функціонування РТЕ виконує Департамент з питань конкуренції та прав споживачів. Середньозважена ціна ТЕ в системі ЦТ - 72 євро/МВт·год. Ціна на ТЕ додатково включає в себе плату за під'єднання, розмір якої залежить від місця розташування і розміру будинку.
Австрія	Тарифи на теплову енергію формуються кожним виробником, які мають право не розкривати складові та рівень ціни на теплову енергію. Нагляд за процесом функціонування РТЕ виконує Департамент з питань конкуренції. Тарифи на ТЕ складають 78 євро/МВт·год.
Швеція	Система теплопостачання працює за моделлю «єдиного покупця» ринку ЦТ. Ринок ЦТ знаходиться під наглядом Інспекції енергетичного ринку та

	Департаменту з питань конкуренції. Середньозважена ціна ТЕ в системі ЦТ - 71 євро/МВт·год.
Норвегія	В системі теплопостачання працює модель «єдиного покупця» ринку ЦТ, але ринок ЦТ регулюється законом «Про енергетику», який регулює ціноутворення для захисту споживачів. Національний Регулятор в енергетичному секторі Норвегії відповідає за ринки електроенергії та ЦТ. Ціна на ТЕ в системі ЦТ не може перевищувати вартість електроопалення в даному регіоні. Вартість ТЕ включає в себе плату за підключення до мережі, річну фіксовану плату та плату за обсяг спожитого тепла. Середньозважена ціна ТЕ в системі ЦТ - 81 євро/МВт·год.
Нідерланди	Ринок ТЕ регулюється законом «Про теплову енергію». Департамент з питань споживачів та ринків щорічно встановлює ціни на ТЕ, виходячи з цін на природний газ. Середньозважена ціна ТЕ в системі ЦТ - 84 євро/МВт·год, причому, необхідно, щоб виконувалась умова, де користувачі системи ЦТ мають не платити більше, ніж було би в разі використання ними індивідуальної системи опалення на природному газі.
Польща	Модель РТЕ являє собою комбінацію моделей «єдиного покупця» і «відкритих тепломереж». Управління регулювання енергетики перевіряє і затверджує тарифи на виробництво й транспортування теплової енергії. Оплата за теплову енергію є двоставковою, де існує оплата за приєднану потужність та оплата за спожиті обсяги ТЕ. Середньозважена ціна ТЕ в системі ЦТ - 54,5 євро/МВт·год.
Литва	В системі теплопостачання працює модель «єдиного покупця» ринку ЦТ, але РТЕ регулюється законами «Про сектор теплопостачання» та «Про енергію, вироблену з відновлюваних джерел», де існує зобов'язання основного постачальника теплової енергії підключити до теплових мереж установки всіх незалежних виробників ТЕ, що виробляють її з відновлюваних джерел. Національна комісія з управління енергетикою та цінами затверджує базові ціни на ТЕ. Середньозважена ціна ТЕ в системі ЦТ - 78 євро/МВт·год.
Латвія	Системи ЦТ, в основному, знаходяться в муніципальній власності, але є приклади приватної власності. ЦТ працює на основі моделі «єдиного покупця». Комісія комунальних підприємств затверджує тарифи на теплову енергію тільки для постачальників з обсягом > 5 ГВт·год/рік. Дрібне виробництво тепла не підлягає регулюванню. Середньозважена ціна ТЕ в системі ЦТ - 69 євро/МВт·год.
Естонія	Модель «єдиного покупця» ринку ЦТ. Національний регулятор, Управління з питань конкуренції затверджує максимальну ціну виробництва ТЕ для кожного виробника та максимальну ціну продажу ТЕ споживачу для кожної теплопостачальної компанії та для кожного регіону/міста. Середньозважена ціна ТЕ в системі ЦТ - 66 євро/МВт·год

При впровадженні ринкових відносин в системах теплопостачання важливим є визначення критеріїв доцільності такого впровадження. Звісно, існують економічні принципи, на основі яких необхідно проводити аналіз, однак, енергетичні ринки є досить специфічними по відношенню до інших ринків, тому врахування їх особливостей є одним із основоположних принципів. Наприклад, підприємницька діяльність в сфері теплоенергетики супроводжується соціальною відповідальністю,

тому політика забезпечення високого рівня надійності теплопостачання повинна бути жорсткою з точки зору держави. З іншого боку, вплив держави на процес формування тарифів в ринкових умовах має бути мінімальним, тому виникає задача оптимізації рівня ефективності функціонування системи теплопостачання в конкурентних умовах, де повинні виконуватись правила, які унеможливають складні наслідки для роботи системи теплопостачання зокрема, та для суспільства в цілому.

На сьогоднішній день існує не так багато аналітичних, імітаційних або ігрових моделей, які аналізують вплив ринкових процесів в централізованих системах теплопостачання на добробут ринку з точки зору його організації та функціонування. Однак, слід виділити роботи [58, 59, 60], де представлено математичну модель, в основі якої лежить пошук рівноваги Курно-Неша. Основна ідея моделі полягає у визначенні таких підходів в системі, які б враховували інтереси всіх учасників РТЕ. Суттєво, модель надає можливість визначати оптимальні рівні навантаження виробників теплової енергії, які забезпечують визначений попит на теплову енергію з боку споживачів із врахуванням отримання виробниками теплової енергії максимально можливого прибутку і виконання при цьому умов формування мінімальних витрат на теплові мережі. Математична модель поведінки виробників теплової енергії полягає у визначенні оптимальних обсягів виробництва теплової енергії виробниками з метою отримання максимального прибутку з врахуванням обмежень у встановленій потужності виробників у визначеному інтервалі часу  $[\tau_0, T]$ . Цільова функція виробника теплової енергії виглядає наступним чином:

$$\sum_{\tau=\tau_0}^T P_{\tau}(Q_{\tau}) = \sum_{\tau=\tau_0}^T w_{\tau}(Q_{\Sigma})Q_{\tau} - \sum_{\tau=\tau_0}^T Z_{\tau}(Q_{\tau}) \rightarrow \max, \quad (1.31)$$

де:

$P_{\tau}$  – прибуток з проданої теплової енергії в момент часу  $\tau$ , у.о.;

$Q_\tau$  – запланований обсяг проданої теплової енергії в момент часу  $\tau$ , Гкал;

$w_\tau$  – ціна продажу теплової енергії, у.о./Гкал;

$Z_\tau$  – повні витрати на виробництво теплової енергії, у.о.

В свою чергу, попит на теплову енергію визначається графіком тривалості теплового навантаження, який описується рівнянням Росандера і визначається формулою:

$$Q^{\text{ЖКГ}} = \left[ 1 - (1-r) \left( \frac{\tau}{\tau_{\text{OT}}} \right)^{\frac{g-r}{1-g}} \right] \cdot Q^{\text{OP}} + Q^{\text{ГВП}}, \quad (1.32)$$

$$r = (1 - \theta) \cdot \frac{t_{\text{ВР}} - t_{\text{НО}}}{t_{\text{ВР}} - t_{\text{НР}}}, \quad (1.33)$$

$$g = (1 - \theta) \cdot \frac{t_{\text{ВР}} - t_{\text{НС}}}{t_{\text{ВР}} - t_{\text{НР}}}, \quad (1.34)$$

де:

$Q^{\text{OP}}$  – розрахункове теплове навантаження на опалення, Гкал/год;

$Q^{\text{ГВП}}$  – розрахункове теплове навантаження на гаряче водопостачання, Гкал/год;

$r, g$  – коефіцієнти нерівномірності графіка теплового навантаження;

$\theta$  – доля навантаження гарячого водопостачання;

$t_{\text{ВР}}$  – розрахункова температура повітря в приміщенні, °С;

$t_{\text{НР}}, t_{\text{НО}}, t_{\text{НС}}$  – температури навколишнього середовища: розрахункова, на початку опалювального періоду, середня за опалювальний період, °С;

$\tau_{\text{OT}}$  – тривалість опалювального періоду, год.

Ціна на теплову енергію для кожного виробника буде складати:

$$w_\tau(Q_\tau) = \frac{1}{\sum_{j \in J_c} \vartheta_j} \left( \sum_{j \in J_c} Q_{j\tau}^{\text{ЖКГ}} + \sum_{j \in J_c} \xi_j - \sum_{j \in J_B} Q_{j\tau} \right) - \frac{\varphi(Q_\tau)}{\sum_{j \in J_B} Q_{j\tau}} \quad (1.35)$$

де:

$\varphi$  - оптимальні витрати на транспортування теплової енергії, у.о.

$J_C$  – множина споживачів теплової енергії;

$J_B$  – множина виробників теплової енергії;

$\xi_j, \vartheta_j$  – постійні, отримані в результаті апроксимації фактичних даних куплі теплової енергії промисловим підприємством.

Таким чином, рівноважна ціна на теплову енергію для споживачів теплової енергії в рамках ринку буде складати:

$$w = \sum_{\tau=\tau_0}^T w_{\tau} / (T - \tau_0) \quad (1.36)$$

Однак, ця модель не враховує правил формування частки ринку для споживачів, та механізмів поступового впровадження конкурентних умов в існуючих системах теплопостачання з монополістом. Більше того, немає визначення впливу загального рівня споживання теплової енергії та кількості учасників на рівень ефективності конкурентних відносин в централізованій системі теплопостачання.

В роботі [61] розроблено підхід до оцінки ефективності функціонування регіональних ринків теплової енергії та алгоритм розрахунку обсягу економії природного газу, що використовується у виробництві теплової енергії, від заміщення в побутовому секторі теплової енергії, поданої від системи централізованого теплопостачання, на електричну енергію, що використовується на опалення. Запропоновано алгоритм визначення ефективності функціонування регіонального ринку теплової енергії, що діє на базі комбінованої системи електротеплопостачання суть якого полягає у послідовному визначенні наступних показників:

- прогнозований обсяг споживання тепловим районом теплової енергії, виробленої шляхом спалення природного газу при комбінованій РСТ, Гкал;

- прогнозований обсяг зменшення споживання тепловим районом теплової енергії, виробленої шляхом спалення природного газу, Гкал;
- питома економія теплової енергії для теплового район, Гкал/м<sup>2</sup>:

$$E_{\text{те пит.}} = E_{\text{те}} / S_{\text{оп}} \quad (1.37)$$

де:

$E_{\text{те}}$  – обсяг зменшення споживання теплової енергії, виробленої спаленням природного газу, за результатами чисельного моделювання, Гкал;

$S_{\text{оп}}$  – загальна площа опалювальних приміщень, тис. м<sup>2</sup>;

- економія споживання теплової енергії, що заміщена електричною енергією у межах регіону, Гкал:

$$E_{\text{те жф.}} = E_{\text{те пит.}} \cdot S_{\text{оп жф.}} \quad (1.38)$$

де:

$S_{\text{оп жф.}}$  – загальна житлова площа регіону, що обладнана централізованим опаленням, тис. м<sup>2</sup>;

- економія природного газу, що заміщений електричною енергією в межах регіону, Гкал:

$$E_{\text{пг}} = E_{\text{те жф.}} \cdot TE_{\text{БТО}} / \text{ЕКВ ПГ}_{\text{БТО}} \quad (1.39)$$

де:

$\text{ЕКВ ПГ}_{\text{БТО}}$  – еквівалент Британської теплової одиниці природного газу;

Даний алгоритм не передбачає врахування взаємовпливу виробників теплової енергії між собою, які використовують різні технології виробництва теплової енергії, в умовах конкурентного ринку теплової енергії. Більше того, алгоритм

розрахунку ефективності ринку приведено тільки для систем теплопостачання, де існує джерело комбінованого виробництва теплової та електричної енергії.

Таким чином, аналіз літературних джерел з проблематики конкурентності в системах централізованого теплопостачання показав, що наявність ринкових відносин сприяє ефективному функціонуванню системи теплопостачання, як з точки зору якості постачання теплової енергії, так і з точки зору формування економічних вигод для споживачів та виробників теплової енергії, за рахунок використання більш економічних джерел енергії та наявності мотиваційного фактору в підприємницькій діяльності. Однак, ідея локальних ринків теплової енергії не до кінця формалізована у вигляді аналітичних моделей, які б могли показувати вплив тих, чи інших техніко-економічних параметрів на ефективність ринку, що в наслідку може давати відповідь на питання доцільності впровадження ринкових відносин у СЦТ та СП-ЦТ міст.

## 1.2. Передумови реалізації конкурентних умов в системах теплопостачання України

Організація РТЕ в межах держави є невід'ємною частиною функціонування державної економіки в частині енергетики. На даному етапі розвитку теплоенергетики України існує багато проблем технічного, економічного та юридичного характеру, які необхідно вирішувати для побудови ефективної моделі РТЕ. При цьому, підходити до питань побудови моделей РТЕ необхідно враховуючи такі особливості нашої держави, як: значні території, неоднорідність клімату, технічний стан мереж теплопостачання, загальне економічне та соціальне становище та ін.

Передумовою для вивчення питання створення РТЕ є неефективність існуючої системи теплопостачання на всіх її етапах функціонування від виробництва теплової енергії до її використання кінцевими споживачами. Сфера енергетики, з економічної точки зору, має характер природної монополії, тобто, така модель функціонування системи має приводити до максимального економічного добробуту в межах цієї

системи [62]. Але, виходячи із сучасних реалій, необхідно констатувати, що теоретичні розрахунки, які вказують на ефективність монополії в цьому секторі економіки, ніяк не збігаються з практичними результатами діяльності таких підприємств. Відсутність мотиваційного фактору, при функціонуванні такої моделі, є наслідком відсутності конкуренції, тому рівень ефективності роботи такої системи, заздалегідь можна оцінити, як низький.

При реформуванні системи теплопостачання в Україні з метою створення РТЕ [63], необхідним є вирішення ряду важливих проблем. Крім того, важливим є визначення моделі ринку на основі якої буде відбуватися його функціонування. Найбільш значним внеском при реформуванні моделі ринку теплопостачання виступає прихід приватних енергокомпаній в сферу генерації теплової енергії. Основною місією створення РТЕ є створення об'єктивних тарифів на теплову енергію, а саме на опалення та гаряче водопостачання, що в наслідку може привести до підвищення рівня ефективності споживання енергоресурсів та підвищення стану благополуччя населення в державі.

Оцінюючи перспективність енергетичних ринків в Україні, необхідно зважати на кліматичні умови та різноманітність типів ресурсів. Порівнюючи з іншими державами світу, Україна має свої особливості в частині вищенаведених характеристик. На території держави сформований помірний клімат, і зими є досить холодними, на що треба зважати з точки зору забезпечення людей комфортними умовами існування в будівлях. Таким чином, питання ефективності систем теплопостачання міст напряму пов'язано з багатьма економічними та соціальними проблемами, які існують та прогресують у суспільстві.

Україна є аграрною державою зі значною територією, де в результаті аграрної діяльності виникає велика кількість відходів, які ніяк не утилізуються. Також, в природніх зонах мішаних лісів та лісостепу утворюються відходи лісу в наслідок його природнього циклу росту. Також, має місце вирощування енергетичних культур на територіях, де земля має не придатні характеристики для вирощування будь-яких інших культур, та високий рівень територіального потенціалу для використання сонячної енергії, енергії вітру та енергії землі. Різноманіття

відновлюваних та альтернативних джерел енергії в тій чи іншій місцевості є суттєвим підґрунтям для ефективного їх використання в межах енергетичних ринків.

В більшості випадків в Україні, на певній системі теплопостачання діє одне підприємство, яке одночасно виконує функції виробництва, транспортування і постачання теплової енергії. Тобто, підприємство має монопольне становище в межах даної системи.

Необхідність створення РТЕ можна обґрунтувати трьома невирішеними проблемами [3]:

1. В Україні існують надлишкові ресурси, що мають потенційну енергію в тому, чи іншому виді, які виникають в наслідок провадження технологічних процесів будь-якої сфери виробництва або сільськогосподарської діяльності, але які ніяк не утилізуються. Дана проблема має прямий вплив на екологічні та економічні показники підприємств окремо, та в Україні в цілому.

2. Відсутність використання в повному обсязі територіального потенціалу України для виробництва теплової та електричної енергії з відновлювальних джерел енергії.

3. Відсутність цивілізованих та конкурентних взаємовідносин в сфері теплопостачання України, що в наслідку призводить до високих тарифів на теплову енергію для споживачів.

В реаліях України, набирають оберти процеси децентралізації систем теплопостачання через зниження якості та надійності постачання теплової енергії споживачам. Одним з основних критеріїв оцінки доцільності постачання теплової енергії централізованими системами теплопостачання є щільність попиту на теплову енергію. Цей показник виражається лінійною тепловою щільністю і при значеннях нижче ніж 2 МВт·год/м показує привабливість децентралізованого теплопостачання над централізованим [64]. В містах України з населенням в 100 тис. і більше, цей показник має відносно високі значення, тому подальша децентралізація систем не є економічно обґрунтованим, але є вимушеним кроком в наслідок низької ефективності функціонування комунальних теплопостачальних підприємств. В той

же час, об'єднання систем теплопостачання з підтриманням необхідного рівня лінійної теплової щільності сприяє зниженню тарифів на теплову енергію за рахунок збільшення попиту на теплову енергію та, внаслідок, компенсації постійних витрат виробника теплової енергії. З іншого боку, високий рівень попиту на теплову енергію в рамках однієї системи теплопостачання може позитивно впливати на ефективність ринків теплової енергії. Визначення впливу щільності попиту на теплову енергію на ефективність ринкових відносин потребує подальших досліджень.

На сьогодні, існує значна кількість технологій по виробництву теплової енергії, які можуть вирішити перші дві вищеназвані проблеми. В залежності від кон'юктури цін на ринку енергоносіїв та способів її використання, та чи інша технологія може превалювати.

Згідно Закону України «Про альтернативні джерела енергії» [65], альтернативна енергетика це сфера енергетики, що забезпечує вироблення електричної, теплової та механічної енергії з альтернативних джерел енергії. В свою чергу, альтернативні джерела енергії - відновлювані джерела енергії, до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, гідротермальна, аеротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів. Вищенаведені джерела енергії можуть бути використані в СЦТ в рамках РТЕ у визначених пропорціях в залежності місцевого енергетичного потенціалу.

Серед основних засад державної політики України щодо використання альтернативних джерел енергії є [65]:

- підвищення обсягів виробництва та споживання енергії виробленої з альтернативних джерел енергії, та зниження споживання традиційних паливно-енергетичних ресурсів;

- зниження негативного впливу на навколишнє середовище;

- науково-технічне забезпечення розвитку альтернативної енергетики, популяризація та впровадження науково-технічних досягнень у цій сфері, підготовка відповідних фахівців;

- раціональне споживання та економія енергії

- залучення інвестицій у розвиток сфери альтернативної енергетики.

В рамках концепції конкурентного РТЕ сформульовано основні принципи, які повинні відкрити ринок генерації теплової енергії для конкуренції та інвестицій [66], серед яких:

- фінансовий анбандлінг теплопостачальних організацій, на які покладені мультифункціональні обов'язки у вигляді виробництва, транспортування та постачання теплової енергії;

- формування тарифів, де незалежні виробники можуть бути регульованими (національний регулятор аналізує і затверджує ціну на теплову енергію, якщо підприємство займає більше третини ринку, якщо в цьому є необхідність) та нерегульованими (самостійно визначають ціну на теплову енергію, за якою вони будуть приймати участь в аукціоні куплі-продажу теплової енергії);

- ціну на теплову енергію для споживача визначають щомісячні аукціони куплі-продажу теплової енергії;

- визначення переможців що місячного аукціону проводиться за критерієм найнижчої ціни, тобто за принципом зворотнього оптового (голандського) аукціону [67];

- безперешкодний та недискримінаційний доступ незалежних виробників теплової енергії до підключення до теплових мереж для постачання теплової енергії в мережу;

- забезпечення високого рівня надійності шляхом резервування теплових потужностей;

- відміна заборони на приватизацію комунальних підприємств з постачання теплової енергії;

Особливості та проблеми СЦТ та СП-ЦТ українських міст, потребують особливої уваги при впровадженні конкурентних відносин між виробниками

теплової енергії. Вищенаведені передумови гальмують розвиток конкурентної теплоенергетики, тому їх вирішення є пріоритетним завданням перед формуванням технічних та правових засад функціонування ЛРТЕ.

Рівень енергетичної ефективності систем комунального теплопостачання стрімко знижується протягом останніх років. Спосіб ведення господарської діяльності цими підприємствами ставить під сумнів правильність принципу організації системи теплопостачання в Україні.

На сьогодні, держава повністю контролює і регулює процес тарифоутворення в системах централізованого та помірно-централізованого теплопостачання в Україні. До нормативної бази державного регулювання у сфері теплопостачання входить:

- Закони України:

- «Про теплопостачання»,
- «Про ціни та ціноутворення»,
- «Про місцеве самоврядування в Україні»,
- «Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг»,
- «Про державне регулювання у сфері комунальних послуг»
- «Про житлово-комунальні послуги»;

- Указ Президента України «Про затвердження Положення про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг»;

- Постанови НКРЕКП:

- «Про затвердження Ліцензійних умов провадження господарської діяльності з виробництва теплової енергії (крім діяльності з виробництва теплової енергії на теплоелектроцентралях, теплоелектростанціях, атомних електростанціях і когенераційних установках та установках з використанням нетрадиційних або поновлюваних джерел енергії)»,

- «Про затвердження Ліцензійних умов провадження господарської діяльності з транспортування теплової енергії магістральними та місцевими (розподільчими) тепловими мережами»,
- «Про затвердження Ліцензійних умов провадження господарської діяльності з постачання теплової енергії»,
- «Про затвердження Порядку формування тарифів на теплову енергію, її виробництво, транспортування та постачання, послуги з централізованого опалення і постачання гарячої води»
- «Про затвердження Процедури встановлення тарифів на теплову енергію, її виробництво, транспортування, постачання»
- «Про затвердження Процедури встановлення тарифів на послуги з централізованого опалення та централізованого постачання гарячої води»

Згідно Закону України «Про тепlopостачання», тариф (ціна) на теплову енергію - грошовий вираз витрат на виробництво, транспортування, постачання одиниці теплової енергії (1 Гкал) з урахуванням рентабельності виробництва, інвестиційної та інших складових. Тариф на теплову енергію розраховується підприємством, яке виробляє, транспортує та постачає теплову енергію, і визначається за формулою:

$$T = \frac{C_{\text{св}} + C_{\text{втр}} + P}{Q_{\text{пр}}} \quad (1.40)$$

де:

$C_{\text{св}}$  – повні витрати на виробництво теплової енергії, грн.;

$C_{\text{втр}}$  – витрати на транспортування та постачання теплової енергії споживачам, грн.;

$P$  – плановий прибуток з реалізації теплової енергії споживачам, грн.;

$Q_{\text{пр}}$  – обсяг реалізації теплової енергії споживачам, Гкал.

При постановці питання про створення РТЕ в Україні, завжди виникають питання щодо доцільності його впровадження, адже існують населені пункти, де досить сильно розвинуте індивідуальне опалення, а тому казати про ринок не є можливим. Тим не менше, є перелік міст України, де існує місцеве комунальне підприємство, що впроваджує діяльність з виробництва, транспортування та постачання теплової енергії в межах своєї відповідальності. Зазвичай, ці комунальні підприємства являються монополістами в містах, де вони постачають теплову енергію, при цьому, тариф, на основі якого виконується постачання визначається державним регулятором в сфері енергетики. Тариф формується на основі поточних статей витрат комунального підприємства, але при цьому, ніяких мотиваційних складових цей тариф не вміщує. Така схема визначення тарифу для теплопостачального підприємства називається «витрати+», і практикується протягом довгого часу на території України.

Порядок формування тарифів на теплову енергію для теплопостачальних підприємств в Україні відбувається наступним чином [68]:

На рівні органів місцевого самоврядування:

- 1) узгодження планових обсягів виробництва, транспортування та реалізації теплової енергії (пп.4а та 2б Статті 27 ЗУ "Про місцеве самоврядування в Україні");
- 2) погодження загальновиробничих питомих норм витрат паливно-енергетичних ресурсів ( «Основні положення з нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві» Наказ Державного комітету України з енергозбереження від 22 жовтня 2002 року №112)
- 3) затвердження норм споживання та якості житлово-комунальних послуг, контроль за їх дотриманням (Стаття 7. ЗУ "Про житлово-комунальні послуги");
- 4) погодження інвестиційних програм (Стаття 13. ЗУ "Про теплопостачання ")
- 5) затвердження температурного графіку роботи теплової мережі;
- 6) встановлення місцевих податків і зборів, зокрема ставки плати за землю та пільги щодо земельного податку, що сплачується на відповідній території;
- 7) визначення орендної плати за орендоване комунальне майно;

8) погодження штатного розкладу комунальних підприємств, де зазначено основна (мінімальна заробітна плата, коефіцієнти співвідношень розмірів мінімальних місячних посадових окладів і додаткова заробітна плата (премії, надбавки) та кількість працівників;

9) рішення ОМС про передачу майна, реорганізацію підприємств комунальної власності (об'єднання підприємств або створення нових).

На рівні НКРЕКП ліцензіати виконують розрахунок тарифів відповідно до Закону України «Про житлово-комунальні послуги», де з боку Кабінету Міністрів України та НАК «Нафтогаз» регулюється ціна на природний газ (якщо об'єкти теплогенерації виробника теплової енергії використовують природний газ), а Бюджетом України встановлюється мінімальна заробітна плата працівників, податки та збори. Після подання розрахунків до НКРЕКП проводиться розгляд та встановлення тарифів.

З економічної точки зору, такий принцип формування тарифу, та загального функціонування системи теплопостачання є виправданим [62, 69, 7, 70]. Але, дане твердження є об'єктивним, при умові, коли в якості ресурсу для виробництва теплової енергії, використовується найдешевший на даний момент часу. В часи, коли технології стрімко розвиваються, та ціни на енергетичні ресурси мають властивість стрімко змінюватись, в силу значної капітальної складової такого роду підприємницької діяльності та інерційності системи, змінити технологію в межах одного підприємства для використання дешевшого ресурсу є затратним. До того ж, не можна відкидати наявність соціальних проблем які виникають при функціонуванні монополії в межах системи теплопостачання міста, а саме відсутність мотиваційного фактору для роботи і постійного удосконалення підприємства, та корупції.

Існує велика кількість проблем і особливостей, які мають місце в умовах сьогодення при роботі різного роду систем теплопостачання в Україні, і які являються завадою для створення ефективної ринкової системи:

1. Система теплопостачання, як сфера енергетики, являє собою соціально-відповідальний процес, в особливості, перед об'єктами соціальної сфери та

населенням. Тому, важливим показником для систем теплопостачання, є рівень надійності таких систем. В умовах відсутності РТЕ як такого, рівень відповідальності монопольних структур може не забезпечувати належного рівня надійності систем теплопостачання.

2. Теплові мережі мають значний фізичний знос, що призводить до значних втрат теплової енергії в процесі транспортування (інколи більше 30%). Оскільки, величина втрат теплової енергії є одним з визначальних показників рівня ефективності системи теплопостачання з точки зору функціонування ринку, вирішення цієї проблеми є пріоритетним. На прикладі Польщі, стає зрозумілим пріоритетність вирішення цієї проблеми, коли в 1992 році в Польщі, стан теплових мереж був катастрофічний, і було прийнято рішення про їх відновлення. Після проведеної модернізації в м. Варшаві вдалося знизити рівень втрат теплоносія на 68%, рівень втрат теплової енергії з 20% до 12% від теплового навантаження, підвищити надійності теплопостачання та підвищення ресурсу теплових мереж [71].

3. Низький рівень кваліфікації персоналу в енергетичній сфері, який є наслідком монополізації ринку та відсутності мотивацій до розвитку професіональних якостей робітників, є причиною значних втрат в процесі проектування, будівництва, експлуатації та ремонту обладнання.

4. Відсутність відповідальних органів (операторів) керування або диспетчерського управління системою теплопостачання на рівні локальних ринків теплової енергії. Будь-яка модель енергетичного ринку, де існує конкуренція, передбачає технічне регулювання системи в залежності від навантажень, які мають місце в даний момент часу в силу своїх особливостей теплової енергії, як товару.

5. Одним з найбільш пріоритетних питань при створенні ринку є рівень розвинутої інфраструктури. Цей показник напряму залежить від густини теплових навантажень в даній місцевості, та рівня втрат теплової енергії в теплових мережах, що є визначальними критеріями при оцінці рівня локальності та закільцеваності системи [12, 72, 73]. Аналіз необхідності прокладення нових теплових мереж, або створення т.з. «кільця» покладається на техніко-економічні розрахунки, де одним з критеріїв повинен виступати вищезазваний показник. Власне, задача оптимізації

повинна визначатись наступним чином: визначення залежності масштабів ЛРТЕ від густини теплових навантажень, при забезпеченні рівня нормативних втрат в тепловій мережі.

6. Відсутність розділення функцій виробництва та транспортування теплової енергії між різними організаціями. Необхідність у вирішенні цієї проблеми полягає в тому, що діяльність в процесі транспортування теплової енергії підпадає під такий тип ринкової структури як природна монополія, а процес генерації теплової енергії може бути технічно, економічно та юридично організований в умовах конкуренції.

7. Значні бар'єри, з точки зору законодавчої бази, при вході в ринок. Важливим питанням є забезпечення вільного доступу інвесторів до будівництва та експлуатації об'єктів теплогенерації. Згідно чинного законодавства про теплопостачання, процес підключення до теплових мереж має бути безперешкодним, але на практиці ці позиції не виконуються через недосконалість механізмів їх виконання.

8. Відсутність стандартів з якості теплової енергії як товару. Неоднозначність в процесі обліку теплової енергії, з точки зору недотримання різного рівня температури (як показника рівня комфорту) в опалювальних приміщеннях при однакових обсягах спожитої теплової енергії. Функції дотримання параметрів можуть бути покладені на енергозбутові компанії.

9. Низький рівень забезпеченості приладами комерційного обліку теплової енергії у споживачів примушує їх сплачувати за використання теплової енергії по завищеним розрахунковим нормам, з чого випливають переплати споживачів. При цьому, в наслідку, підвищується рівень дезорієнтації в розрізі обробки статистичних даних, які використовуються для оцінки макроекономічних показників. Проблема організації по-квартирного обліку теплової енергії до сих пір технологічно не вирішена, і тягне за собою деякі складності при роботі енергозбутових організацій із побутовими споживачами.

10. Високий рівень неплатежів з боку споживачів та замороження активів теплогенеруючих компаній. Ця проблема здатна знизити інтенсивність розвитку ринку та технологій, при цьому ефективність ринку не може бути максимальною.

11. Політика перехресного субсидіювання. Процес компенсації різниці в тарифах з боку держави для населення відносно тарифів для бюджетних установ і промисловості тягне за собою перекося в економічних відносинах між організаціями, і в наслідку зниження рівня добробуту РТЕ, який є основним показником рівня ефективності самого ринку, як такого.

12. Відсутність маркетингової діяльності в сфері теплопостачання. Необізнаність побутових споживачів про можливості вдосконалення процесу використання теплової енергії за допомогою заходів з енергоефективності.

Створення РТЕ в Україні передбачає вирішення вищеназваних проблем на високому рівні якості, причому підвищеної уваги необхідно приділити питанню теоретичного визначення рівня локалізації РТЕ в залежності від густини теплових навантажень в межах визначених територій. Власне, при створенні РТЕ масштаби системи теплопостачання повинні бути максимальними при умові забезпечення нормативних втрат теплової енергії в теплових мережах. Тоді, існуватиме більше можливостей для входу в ринок, де рівень конкурентної боротьби буде значним, що в наслідку, ймовірно, буде призводити до відносно низьких тарифів на такі види послуг як опалення та гаряче водопостачання в цьому регіоні.

### 1.3. Принципи створення локальних ринків теплової енергії

Для створення РТЕ в Україні, важливим є використання того досвіду, який був отриманий при формуванні РЕЕ. Не дивлячись на певні відмінності між даними ринками, є ряд властивостей таких систем, які є спільними для обох, оскільки системи електропостачання та теплопостачання є об'єктами загальної енергетичної системи України. При чому, РТЕ і РЕЕ можна назвати частково взаємно інтегрованими ринками.

Порівнюючи РТЕ та РЕЕ, основною спільною властивістю таких систем можна назвати спосіб постачання енергії споживачам. Електричні та теплові енергетичні системи можна умовно розділити на три складові: виробництво, транспортування та постачання енергії. Але при цьому мають місце особливості

теплової та електричної енергії як товару, вимоги до якості, транспортабельність, акумулювання і т.п. Основуючись на цьому, принципи, які використовуються в РЕЕ можна накласти на систему теплопостачання, із одним зауваженням: РТЕ має локальний характер, тобто система теплопостачання, як правило, визначається тільки в межах одного міста і є закритою. Це означає, що система теплопостачання одного міста не має впливу на системи теплопостачання інших міст, і функціонує самодостатньо, опираючись на власні ресурси. При цьому, об'єднання систем теплопостачання міст між собою практично неможливе, через обмеження технічного характеру при передачі теплової енергії. Тому, систему теплопостачання необхідно розглядати як локальну систему окремого міста, при чому правила функціонування РТЕ в межах такої системи будуть аналогічні в інших містах, з поправкою на масштаб системи [10]. Однак, виключенням може бути велика щільність міст, що знаходяться поруч між собою в окремому регіоні. В таких випадках, необхідно розглядати доцільність сполучення систем теплопостачання через аналіз ефективності такого ЛРТЕ на предмет наявності синергетичного ефекту.

Для порівняння РТЕ та РЕЕ між собою, необхідно визначити особливості відповідного товару, який має визначне місце на ринку. Поняття «теплова енергія» згідно Закону України «Про теплопостачання» визначається як товарна продукція, що виробляється на об'єктах сфери теплопостачання для опалення, підігріву питної води, інших господарських і технологічних потреб споживачів, призначена для купівлі-продажу [74].

Теплова енергія, як товар, має певний ряд суттєвих особливостей, які є передумовами для функціонування самого РТЕ:

1. Теплова енергія обмежена в дальності транспорту при централізованому теплопостачанні, а також застосуванням установок децентралізованого теплопостачання - невеликих ТЕЦ і котелень, оскільки мають місце процеси необоротності (другий закон термодинаміки). Рівень виробництва і споживання, в цілому, повинен бути рівний один одному в будь-який момент часу. Однак, можуть

бути застосовані акумулятори теплової енергії, які можуть дати можливість вирівняти графік теплового навантаження тим ВДЕ, які цього потребують.

2. Теплова енергія є неоднорідним товаром, оскільки може споживатися в різних агрегатних станах теплоносія з різними теплотехнічними параметрами. Використання теплової енергії повинно піддаватися як кількісній, так і якісній оцінці, в залежності від виду теплового навантаження (технологічний пар, опалення, вентиляція, гаряче водопостачання), наприклад, за допомогою аналізу ексергетичних показників.

3. Теплова енергія, яка постачається в загальну систему з декількома постачальниками може бути визначена як товар конкретного постачальника тільки на виводах джерела [75].

4. Рівень споживання теплової енергії має різко виражений сезонний характер. Це пов'язано головним чином з нерівномірним графіком опалювальних навантажень.

В рамках РТЕ, який згідно Закону України «Про тепlopостачання» визначається як сфера обороту теплової енергії як товару, на який є попит і пропозиція [74], термін «теплова енергія», потребує більш точного визначення. Під кінцевим продуктом, у вигляді теплової енергії при функціонуванні РТЕ, розуміється постачання теплоносія до пристроїв опалення та гарячого водопостачання з наступними технологічними параметрами [76, 77]:

- температура теплоносія ( $T$ , °C),
- масовий потік теплоносія ( $m$ , кг/с),
- тиск теплоносія ( $P$ , Па),
- тип теплоносія (вода, пар, фреони та ін.).

Для оцінки кількості відпущеної або спожитої теплової енергії використовуються теплові лічильники. В основу розрахунку обсягу теплової енергії покладено визначення кількості теплової енергії, відповідно до вищенаведених показників, за наступною формулою [78]:

$$Q = c \cdot m \cdot (T_{\text{под}} - T_{\text{зв}}) \cdot \tau \quad (1.41)$$

де:

$T_{\text{под}}$ ,  $T_{\text{зв}}$  – температура в подаючому та зворотньому трубопроводах відповідно, °С;

$\tau$  - час за який було проведено вимірювання, с.

Кожен з вищенаведених параметрів є показником якості теплової енергії та повинен відповідати нормативним показникам згідно відповідних правил [79, 38], а також забезпечувати комфортні умови існування в приміщеннях, куди тепла енергія постачається, якщо продаж теплової енергії відбувається для надання послуг централізованого опалення та гарячого водопостачання. У випадку постачання теплової енергії юридичним особам на технологічні потреби, технологічні параметри можуть бути узгоджені у договірному порядку. Для забезпечення комфортних умов існування в приміщеннях необхідно підтримувати необхідну теплову потужність теплоносія, яку визначає масовий потік, температура та тип теплоносія. При цьому, величина теплової потужності, умовно є функцією залежності від температури навколишнього середовища та термічного опору огорожуючих конструкцій. Одиницею виміру теплової енергії є Дж (або Гкал), яка є визначеним інтегралом функції залежності величини теплової потужності від часу, і може бути розрахована на основі вимірних значень технологічних параметрів, які мали місце в кожний момент часу періоду постачання теплової енергії.

Електрична та тепла енергія мають однакову сутність, але, при цьому, існують певні відмінності, які мають вплив на загальну структуру відповідних енергетичних ринків. Порівняльний аналіз теплової та електричної енергії як товару наведено в табл. 1.5.

*Таблиця 1.5 – Порівняльний аналіз теплової та електричної енергії, як товару*

<b>Критерій порівняння</b>	<b>Теплова енергія</b>	<b>Електрична енергія</b>
Технологічні параметри та параметри, які визначають якість енергії	- температура теплоносія, - масовий потік теплоносія, - тиск теплоносія, - тип теплоносія, - тепла енергія	- струм, - напруга, - відхилення напруги, - коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги, - коефіцієнт гармонійної складової

		напруги непарного (парного) порядку, - несиметрія напруги, - тривалість провалу напруги, - відхилення частоти, - активна та реактивна електрична енергія [80].
Втрати енергії при транспортуванні	Теплова енергія обмежена в дальності транспорту при централізованому теплопостачанні, оскільки мають місце процеси необоротності (другий закон термодинаміки).	Електрична енергія обмежена в транспортуванні, проте в значно меншій мірі відносно теплової енергії. Транспортування електричної енергії можливе в межах території держави.
Акумуляція енергії	Теплову енергію економічно недоцільно акумулювати протягом значного інтервалу часу. Рівень виробництва і споживання, в цілому, повинен бути рівний один одному, без наявності акумуляторів (наприклад для добових інтервалів), в будь-який момент часу.	Електричну енергію економічно недоцільно акумулювати. Рівень виробництва і споживання, в цілому, повинен бути рівний один одному в будь-який момент часу.
Характеристика товару	Теплова енергія є неоднорідним товаром, оскільки може споживатися в різних агрегатних станах теплоносія з різними теплотехнічними параметрами. Використання теплової енергії повинно піддаватися як кількісній, так і якісній оцінці, в залежності від виду теплового навантаження (технологічний пар, опалення, вентиляція, гаряче водопостачання), наприклад, за допомогою аналізу ексергетичних показників	Електрична енергія є однорідним (або стандартизованим) товаром, яка має широкий спектр використання. Тому, електрична енергія також є лідером переліку серед доповнюваних товарів, нормальним товаром, товаром першої необхідності, товаром короткочасного використання, товаром як широкого так і промислового призначення [81]. Електрична енергія, з технічної точки зору, поділяється на активну та реактивну. Активна електрична енергія - енергія, що виробляється на об'єктах електроенергетики і є товаром, призначеним для купівлі-продажу. Реактивна електрична енергія - технологічно шкідлива циркуляція електричної енергії між джерелами електропостачання та приймачами змінного електричного струму, викликана електромагнітною незбалансованістю електроустановок [82].
Детермінація виробника товару	Теплова енергія, яка постачається в загальну систему з декількома постачальниками може бути	Електрична енергія, яка постачається в загальну систему з декількома постачальниками може

	визначена як товар конкретного постачальника тільки на виводах джерела [75].	бути визначена як товар конкретного постачальника тільки на виводах джерела
Графік навантаження	Рівень споживання теплової енергії має різко виражений сезонний характер. Це пов'язано головним чином з нерівномірним графіком опалювальних навантажень. Протягом доби відсутні різкі зміни, зниження або підвищення навантаження відбувається відносно поступово. В перспективі розвиток регулювання переривчастого опалення може збільшити нерівномірність протягом доби. Джерела енергії можуть видавати в систему різні потенціали (температуру), тому формування графіка навантаження всієї системи залежить від технічних можливостей джерела енергії	Графік електричного навантаження характеризується різкою нерівномірністю протягом доби. Зниження або підвищення навантаження відбувається відносно швидко.

У законодавстві України існує Закон України «Про ринок електричної енергії» (далі - Закон), який визначає правові, економічні та організаційні засади функціонування ринку електричної енергії, регулює відносини, пов'язані з виробництвом, передачею, розподілом, купівлею-продажом, постачанням електричної енергії для забезпечення надійного та безпечного постачання електричної енергії споживачам з урахуванням інтересів споживачів, розвитку ринкових відносин, мінімізації витрат на постачання електричної енергії та мінімізації негативного впливу на навколишнє природне середовище [83].

Згідно Закону, РЕЕ - система відносин, що виникають між учасниками ринку під час здійснення купівлі-продажу електричної енергії та/або допоміжних послуг, передачі та розподілу, постачання електричної енергії споживачам. Враховуючи, схоже визначення РТЕ, можна констатувати семантичну спільність визначень цих енергетичних ринків. Закон регламентує функціонування ринку електричної енергії на конкурентних засадах крім діяльності суб'єктів природних монополій, з обмеженнями, встановленими в даному Законі та Законі України «Про природні монополії».

Серед основних принципів функціонування ринку електричної енергії є забезпечення енергетичної безпеки України і постачання електричної енергії споживачам, ефективне та надійне функціонування об'єднаної енергетичної системи, забезпечення балансу між попитом та пропозицією, енергоефективність, розвиток альтернативної енергетики, добросовісна конкуренція, недискримінаційна участь у ринку, прозоре ціноутворення, незалежне державне регулювання, відповідальність учасників за недотримання правил ринку [84].

Важливим аспектом функціонування ринку електричної енергії є наявність державного Регулятора на ринку електричної енергії, до основних повноважень якого належить ліцензування господарської діяльності у сфері електроенергетики, затвердження правил ринку, затвердження та моніторинг виконання плану розвитку системи передачі, затвердження порядків формування цін та тарифів, та їх встановлення, здійснення моніторингу, розгляд скарг і вирішення спорів, встановлення показників якості послуг електропостачання та визначення компенсації за недотримання цих показників.

Згідно Закону, виділяються наступні повноваження місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування у відносинах із суб'єктами електроенергетики: погодження питань розміщення на підпорядкованій їм території об'єктів електроенергетики, участь у розробленні планів розвитку систем розподілу електричної енергії та сприяння розвитку електроенергетики в регіоні. Місцеві органи виконавчої влади та органи місцевого самоврядування мають обмеження у виді відсутності права втручання в оперативне регулювання режимів споживання електричної енергії.

Згідно Закону, виробник електричної енергії - суб'єкт господарювання, який здійснює виробництво електричної енергії, при цьому, виробництво електричної енергії - це діяльність, пов'язана з перетворенням енергії з енергетичних ресурсів будь-якого походження в електричну енергію за допомогою технічних засобів. Діяльність з виробництва електричної енергії підлягає ліцензуванню відповідно до законодавства.

Серед прав виробників електричної енергії є: вільний вибір контрагента за двостороннім договором, своєчасне та у повному обсязі отримання коштів за продану ними електричну енергію, недискримінаційний доступ до електричних мереж у разі дотримання відповідних вимог та доступ до інформації щодо діяльності на ринку електричної енергії.

Постачання електричної енергії споживачам здійснюється електропостачальниками, які отримали відповідну ліцензію, за договором постачання електричної енергії споживачу. Постачання електричної енергії електропостачальниками здійснюється з дотриманням правил роздрібного ринку.

Ринки електричної та теплової енергії мають багато спільних ознак через свою сутність у вигляді енергетичного ринку, яка покладена в основу цих понять. Такими ознаками є: локальність або масштаб ринку, модель ринку, загальна ємність ринку, тарифи, структура учасників ринку, аукціон, законодавство, інерційність енергетичної системи, контроль функціонування енергетичного ринку з боку державних органів влади, спосіб технологічного та диспетчерського контролю процесом функціонування ринку та надійність енергетичної системи. Більшість визначених принципів функціонування РЕЕ можуть бути покладені в основу створення РТЕ. Але, для застосування досвіду створення та функціонування РЕЕ при запровадженні РТЕ, необхідно виділити їх відмінні ознаки, які можуть вплинути на характер реалізації ідеї РТЕ. Основні відмінності РЕЕ та РТЕ відповідно до характеристики ринку наведено в табл. 1.6.

*Таблиця 1.6 – Основні відмінності РЕЕ та РТЕ в Україні*

<b>Характеристика</b>	<b>РЕЕ</b>	<b>РТЕ</b>
Локальність	В межах всієї держави	В межах міста або певної території
Модель ринку	Перехід до моделі, де існують ринок прямих двосторонніх договорів, ринок «на добу вперед», балансувальний ринок, ринок допоміжних послуг та роздрібний ринок електричної енергії від моделі «єдиного покупця» [85]	Відсутність будь-якої моделі, на даний момент. Визначення моделі «єдиного покупця», як основної при формуванні РТЕ. В силу локальності ринку, обмеженість в переході на іншу будь-яку модель
Ємність ринку	145000 млн. кВт·год/рік	95000 тис. Гкал/рік або 111000

	електричної енергії	млн. кВт·год/рік теплової енергії (з яких: 32000 тис. Гкал/рік або 37000 млн. кВт·год/рік теплової енергії вироблено на ТЕЦ)
Тарифи	Тариф для кожної з груп споживачів по всій території держави. Затверджує НКРЕКП.	Тарифи затверджуються органами місцевого самоврядування, тому відрізняються по всій території держави.
Учасники ринку	Через значну масштабність РЕЕ кількість учасників підвищується, наявність проміжних підприємств які мають функцію постачання електричної енергії	Через локальність системи, на РТЕ присутня проста схема взаємозв'язків між учасниками.
Аукціон	Необхідність проведення аукціонів у короткий проміжок часу, активний ринок.	Відсутність необхідності частого проведення аукціону, через велику інерційність ринку.
Законодавство	Високий рівень пропрацьованості питання ринку електричної енергії на законодавчому рівні. Присутність Законів «Про ринок електричної енергії» та «Про електроенергетику», який формулює та регулює основні принципи функціонування РЕЕ.	Низький рівень пропрацьованості питання на законодавчому рівні. Відсутність відповідного Закону. Загальні формулювання про РТЕ, в Законі «Про тепlopостачання».
Інерційність енергетичної системи	Низька інерційність ринку, графік добового навантаження має значні перепади потужності в межах доби. Природні умови мають не основне значення при формуванні графіку навантаження. Необхідність оперативного контролю та прийняття рішень щодо управління ринком.	Відносно висока інерційність ринку, природні умови мають прямий вплив на графік добового навантаження. В наслідку, незначні перепади температур дають можливість відносно легко прогнозувати графік теплового навантаження. Відсутність необхідності забезпечення маневреної потужності в межах малих інтервалів (година). Є необхідність враховувати максимальну температуру подачі теплоносія в систему кожним виробником, тому тип регулювання (кількісний чи якісний) має вплив на можливість прогнозування графіків навантаження
Державний контроль функціонування ринку	Більшість функцій державного контролю за функціонування РЕЕ покладено на державного Регулятора на ринку електричної енергії.	Функції державного контролю можуть бути покладені на місцеві органи виконавчої влади та органи місцевого самоврядування в силу локальності РТЕ.
Технологічний та диспетчерський	Контроль на всій території держави для балансування ринку.	Контроль тільки в межах міста, відсутність взаємного впливу

контроль процесу функціонування	Розгалужена система диспетчеризації ринку. Наявність Internet технологій. Велика кількість технічних параметрів, які необхідно контролювати.	систем теплопостачання міст між собою. Локальна система диспетчеризації. Простота і надійність системи за рахунок відсутності необхідності використання Internet технологій. Незначна кількість технічних параметрів для контролю.
Надійність	В результаті незабезпечення необхідної надійності системи електропостачання можливі наслідки в частині переривання роботи підприємств. Переривання роботи підприємств об'єктів РТЕ.	В результаті низької надійності системи теплопостачання в активній фазі функціонування ринку можливі негативні наслідки в частині здоров'я людей, та рівня їх працездатності.

### Висновки до розділу 1

1. Проведений аналіз світових систем централізованого теплопостачання та функціонування конкурентних ринків теплової енергії визначив напрямок подальших досліджень. Світові ринки теплової енергії функціонують відповідно до власних технічних та правових можливостей кожної держави. Однак, повне перенесення зарубіжного досвіду не є можливим, оскільки необхідно враховувати реалії України.

2. В науковому середовищі існує велика кількість математичних моделей, які аналізують та обраховують способи взаємодії виробників та споживачів теплової енергії в рамках ЦСТ, однак відсутні моделі, які описують характер роботи та економічну ефективність локальних РТЕ в системах теплопостачання.

3. Існуючий порядок формування тарифів на теплову енергію в Україні не забезпечує умови, при яких будь-яке теплогенеруюче підприємство може розвиватись у розрізі підвищення рівня енергоефективності при виробництві теплової енергії, що в наслідку приводить до підвищення тарифів на теплову енергію для споживача.

4. Визначено перелік пріоритетних проблем, які необхідно вирішити при впровадженні локальних ринків теплової енергії для їх ефективного функціонування.

5. Визначено основні структурні схеми взаємовідносин між суб'єктами РТЕ та запропоновані відповідні моделі РТЕ в залежності від рівня локалізації системи тепlopостачання. Для першогоетапного впровадження конкурентних відносин пропонується використовувати модель «єдиного покупця», яка є найбільш економічно доцільною через особливості природних монополій в енергетичній сфері.

6. Ключові відмінності теплової енергії, як товару, по відношенню до електричної енергії полягають в методах оцінки технологічних параметрів товару з точки зору якості та кількості, способі та обмеженнях при транспортуванні енергії та графіку навантаження. Визначені особливості теплової енергії, як товару дозволяють констатувати, що ринок теплової енергії має локальний характер, тому на відміну від РЕЕ, РТЕ не може бути загальнонаціональним. При цьому, в межах ЛРТЕ, його функціонування відбувається з меншими експлуатаційними витратами через свою низьку складність відносно РЕЕ.

7. На основі аналізу сфер тепlopостачання та електропостачання визначено, що ринки електричної та теплової енергії мають загальну основу у вигляді сутності енергетичного ринку. Більшість принципів функціонування РЕЕ можуть бути перенесені на РТЕ при його створенні, де законодавча база про РЕЕ може бути прийнята за основу, при створенні РТЕ. Характеристика локальних ринків теплової енергії має спрощений вид у порівнянні із ринком електричної енергії з точки зору технічних, економічних та юридичних аспектів, що дозволяє уникнути багатьох проблем при запровадженні.

Основні положення даного розділу опубліковані автором даної роботи у наукових працях [1, 2, 10]

## РОЗДІЛ 2

### НАУКОВІ ЗАСАДИ, МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ОЦІНКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ РИНКІВ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

#### 2.1. Структура взаємовідносин суб'єктів системи теплопостачання в рамках ринку теплової енергії

Для розуміння принципу роботи системи теплопостачання, основаної на конкуренції, необхідно представити просту модель, яка б наочно показала необхідність впровадження такої системи. В моделі аналізується ефективність роботи ЛРТЕ при дослідженні двох альтернативних варіантів: при роботі в системі одного виробника (монополія), та при зміні кількості виробників теплової енергії в межах системи теплопостачання (конкуренція).

На рис. 2.1 представлена принципова схема складових моделі ефективності РТЕ.

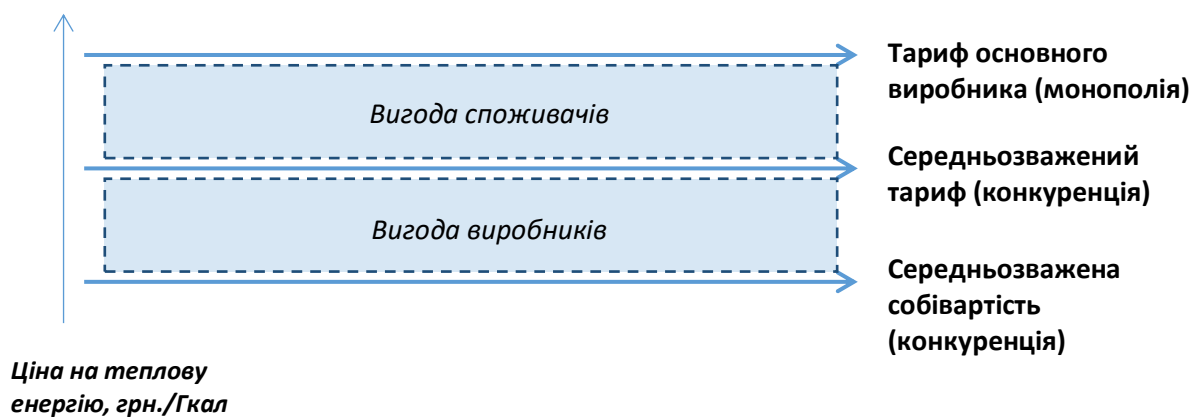


Рисунок 2.1 – Принципова схема складових моделі РТЕ

У сфері теплоенергетики визначається наступні суб'єкти:

1. Постачальники паливно-енергетичних ресурсів;
2. Постачальники обладнання та енергосервісні організації;
3. Теплогенеруючі, або теплопостачальні організації;

4. Організація теплової мережі;
5. Споживачі теплової енергії;
6. Органи державного регулювання та контролю в сфері теплопостачання.

Отже, поняття «ринок теплової енергії», у простому розумінні, можна визначити як сукупність економічних відносин між постачальниками паливно-енергетичних ресурсів, постачальниками обладнання та енергосервісними організаціями, теплогенеруючими організаціями, організаціями теплової мережі, органами державного регулювання та контролю в сфері теплопостачання, та споживачами теплової енергії [2].

Сфера теплопостачання має ряд своїх особливостей з точки зору самого процесу виробництва, транспортування та використання теплової енергії. Кажучи про РТЕ, володіння та управління магістральними тепловими мережами, розподільними тепловими мережами, центральними тепловими пунктами та індивідуальними тепловими пунктами слід виділити як такий вид діяльності, який підпадає під поняття природної монополії [86]. Даний вид діяльності повинен жорстко контролюватися з боку державних органів управління та контролю в сфері теплопостачання, із забезпеченням певного рівня рентабельності діяльності цих організацій.

В свою чергу, до конкурентних видів діяльності у сфері теплопостачання слід віднести:

- проектування, будівництво та експлуатація джерел теплової енергії;
- постачання та використання паливно-енергетичних ресурсів;
- виробництво і постачання обладнання та енергосервісна діяльність;
- енергозбут та маркетингова діяльність.

На ринках теплової енергії можливі досить різноманітні форми конкуренції.

Конкуренція постачальників ПЕР. При виробництві теплової енергії, майже у всіх випадках, основною статтею витрат є ціна ПЕР, які приймають участь в процесі конверсії в кінцевий товар (теплову енергію). Найбільш дешевий вид палива або енергії (грн./Гкал) буде користуватися значним попитом серед теплогенеруючих організацій.

Конкуренція проектів. Це найбільш розвинутий вид конкуренції на РТЕ на даний момент. Йдеться насамперед про конкуренцію проектів нових теплогерел, призначених для покриття зростаючих навантажень в окремих районах, заміни більш витратних джерел на менш витратні, проекти зі збільшення надійності теплопостачання, а також проектів підвищення рівня енергоефективності для різних груп споживачів. Критерієм вибору того, чи іншого проекту може бути величина річного зниження витрат на виробництво теплової енергії, або ж термін окупності проекту відносно існуючих витрат.

Конкуренція постачальників обладнання. Існує велика кількість виробників та постачальників обладнання, яке використовується безпосередньо в технологічних процесах систем теплоенергетичної сфери. Конкурентоспроможність цього обладнання проявляється в рівні його енергоефективності, рівні досконалості технологічного процесу, кількості функцій, ресурсу роботи та, ціні на нього.

Конкуренція енергосервісних компаній. Даний вид конкуренції має місце безпосередньо під час експлуатації обладнання, та передбачає конкуренцію серед організацій, які здатні вирішувати проблеми зниження витрат на виробництво теплової енергії, підвищення рівня енергоефективності процесу генерації, транспортування та споживання теплової енергії, та впровадження новітніх технологій.

Конкуренція теплогенеруючих (теплопостачальних) організацій. Реалізація цієї форми прямої конкуренції потребує вирішення значного числа технічних, організаційних і правових питань. Вирішення даних питань і передбачає організацію певної моделі РТЕ. Так, конкуренція теплогерел принципово можлива лише у великих закільцьованих перемичках і СЦТ. Оскільки, організація теплової мережі являє собою природню монополію, то необхідно, щоб процес виробництва та транспортування був поділений на дві незалежні організації, при чому, організація теплової мережі повинна забезпечувати роботу в системі без дискримінацій та підпорядковуватися державному органу регулювання і контролю в сфері теплопостачання, та не мати власних великих теплогерел. Має бути законодавчо забезпечений вільний доступ виробників до єдиної тепломережі. Тоді при наявності

надлишкових теплогенеруючих потужностей, оператор ринку (організація теплової мережі) може виконувати економічно доцільні перемикання навантажень, наприклад, за критерієм мінімуму вартості генерування (відпускної ціни) в даний період. Власне, даний вид конкуренції є наслідком конкуренції проектів, оскільки завжди мають місце процеси коливання цін на енергоресурси та технології.

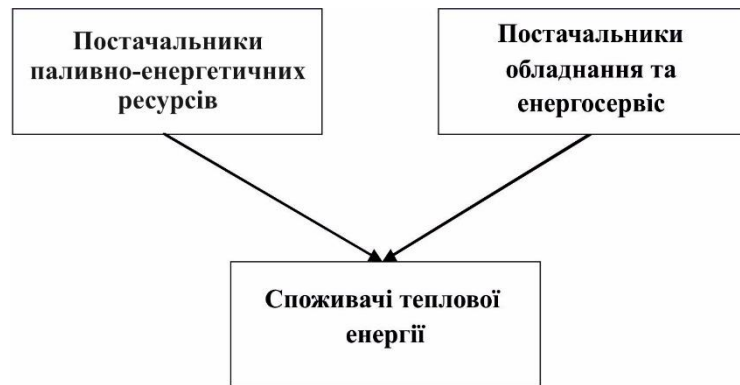
Всі розглянуті види конкуренції на РТЕ є невід'ємними його частинами. Акцент тільки на тепловій енергії, як товарі, повинен бути зміщений, оскільки вищеназвані форми конкурентної боротьби визначають весь перелік товарів та послуг на ринку, без яких функціонування цього ринку є неможливим. В сукупності, всі ці форми і визначають рівень конкурентоспроможності того, чи іншого суб'єкта.

В Україні, рівень локалізації системи теплопостачання визначається наступним чином [74]:

- система автономного теплопостачання (потужність джерел теплової енергії до 1 Гкал/год);
- система децентралізованого теплопостачання (від 1 до 3 Гкал/год);
- система помірно-централізованого теплопостачання (від 3 до 20 Гкал/год);
- система централізованого теплопостачання (від 20 Гкал/год).

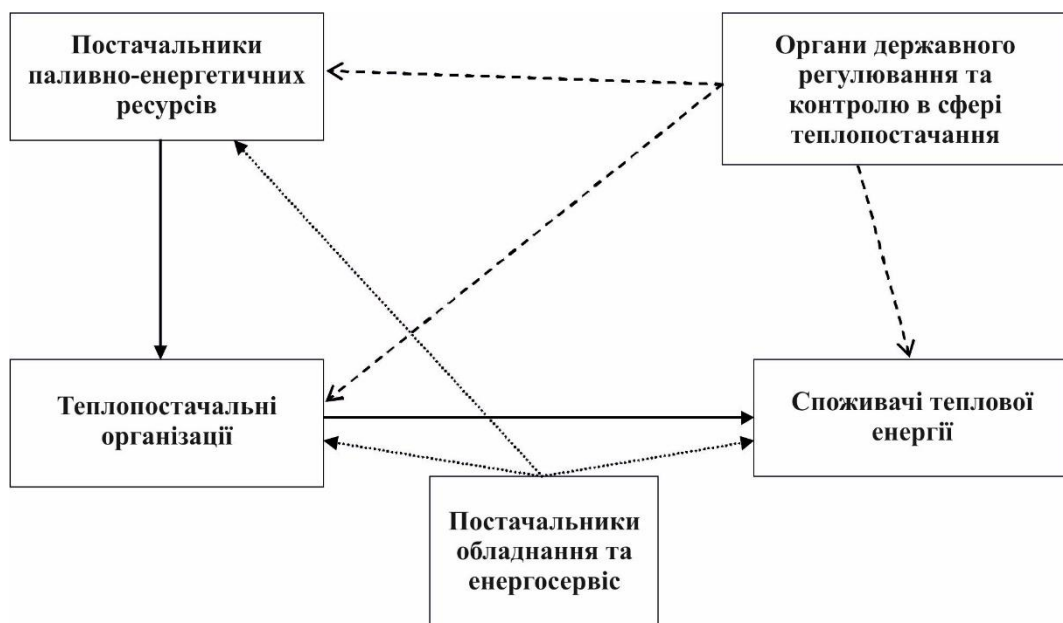
В залежності від рівня локалізації системи теплопостачання переважає та чи інша структура взаємозв'язків між суб'єктами.

В умовах автономної системи теплопостачання, схема взаємовідносин має досить простий вигляд, де сам споживач теплової енергії виконує функції теплопостачальної і організації теплової мережі. При цьому, процеси будівництва та експлуатації обладнання майже, або взагалі не контролюються з боку держави. На цьому рівні, конкуренція виникає на між постачальниками паливно-енергетичних ресурсів, постачальниками обладнання та енергосервісними організаціями. Структурна схема приведена на рис. 2.2.



*Рисунок 2.2 – Структурна схема суб'єктів відносин в автономних системах теплопостачання*

Система децентралізованого теплопостачання передбачає наявність не значних за розмірами теплових мереж, але при цьому в більшості випадків діяльність організацій теплової мережі виключається по тій причині, що зазвичай тепла мережа належить або до споживача теплової енергії, або до теплопостачальної організації. В порівнянні з автономними системами теплопостачання, децентралізована підпадає під контроль та нагляд з боку держави. Структурна схема взаємовідносин в децентралізованій системі теплопостачання наведена на рис. 2.3.



*Рисунок 2.3 – Структурна схема суб'єктів відносин в децентралізованих системах теплопостачання*

Система помірно-централізованого теплопостачання є перехідною ланкою від децентралізованої системи до централізованої і включає в себе особливості обох систем. Як суб'єкт системи з'являється організація теплової мережі, але в деяких випадках можуть простежуватись взаємозв'язки між теплопостачальними організаціями та споживачами теплової енергії напряду без участі організацій теплової мережі. Структурні схеми взаємовідносин суб'єктів помірно-централізованої та централізованої систем теплопостачання представлені на рис. 2.4.

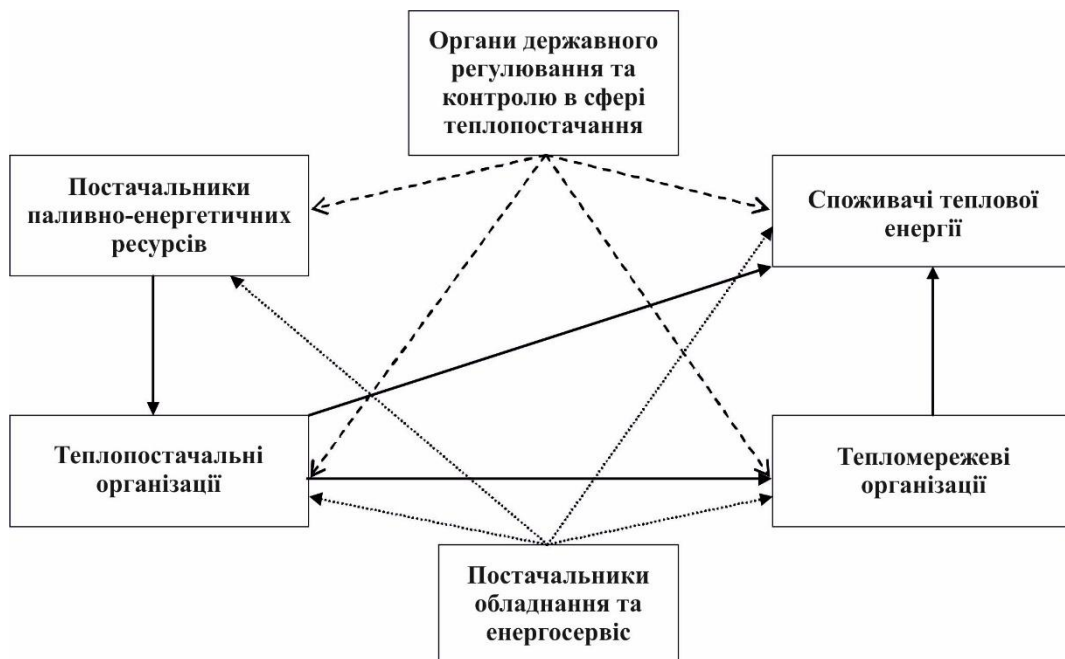


Рисунок 2.4 – Структурна схема суб'єктів відносин в помірно-централізованих (централізованих) системах теплопостачання

Існує декілька базових моделей РТЕ, які в тому чи іншому вигляді вже функціонують в розвинених державах світу, а отже на вищенаведену диференціацію систем теплопостачання в Україні можна накласти одну з цих моделей [87]:

- модель збуту теплової енергії через єдиного оптового перепродавця або єдиного закупівельника. Модель "єдиного покупця" має приклади застосування у багатьох країнах Європейського Союзу. Ця модель передбачає отримання права оператора ринку на придбання теплової енергії на вільних ринкових цінах від будь-якого виробника теплової енергії, підключеної до цієї теплової мережі, і продавати її

споживачеві теплової енергії, підключеного до теплової мережі, за цінами, які формуються на основі конкурсних торгів на стороні виробників теплової енергії, а також норми прибутковості теплопостачальної організації, яка регулюється органами державної влади у сфері теплопостачання [88, 89]. Модель «єдиного покупця» є найбільш перспективною з точки зору створення РТЕ, оскільки вона забезпечує вільні умови для входу на ринок.

- модель прямого надання послуг теплопостачання з використанням власних/орендованих мереж. Дана модель передбачає пряму взаємодію між теплогенеруючою організацією та споживачем на основі прямих договорів теплопостачання. Нажаль, ця модель, як така, не передбачає конкурентної боротьби, є передумовою для створення монополій, і не може вважатися ефективною.

- модель прямого надання послуг теплопостачання та гарячого водопостачання споживачам з транзитом через мережі сторонньої організації. Ця модель дещо схожа на модель єдиного закупника, де в ролі закупника виступає власник даної теплової мережі.

Робота ЛРТЕ передбачає оперативний контроль та безпосереднє управління процесами виробництва, транспортування та постачання, щоб забезпечити відповідність теплового навантаження для всіх учасників ринку, які беруть участь у цьому процесі. На відміну від системи теплопостачання в монопольному становищі, де теплопостачальні підприємства мають функції виробництва, транспортування і постачання теплової енергії, на ЛРТЕ передбачається правове, фінансове і майнове розділення муніципального вертикально інтегрованого монополіста [3, 52], в якому на основі моделі «єдиного покупця» створюються умови для вільного доступу до теплових мереж, які зазвичай знаходяться під державним контролем [90]. Таким чином, основною метою «анбандлінгу» є створення конкурентних умов на етапі виробництва теплової енергії, де кожен незалежний виробник може приєднуватися до теплових мереж і конкурувати з іншими виробниками теплової енергії, у тому числі з комунальними підприємствами, за їх визначеною ціною на теплову енергію.

Для впровадження концепції реалізації державної політики у сфері теплопостачання [66, 91] необхідно створити ефективну функціональну

конкурентну структуру в системах тепlopостачання. Залежно від локалізації системи централізованого тепlopостачання переважає та чи інша структура взаємозв'язків між суб'єктами.

Функціональна структура місцевого РТЕ є сукупністю суб'єктів РТЕ, яка визначає характер взаємоз'єднання суб'єктів між собою та їх функцій з метою забезпечення ефективного процесу проходження комерційних і товарних потоків.

В даний час в Україні, на законодавчому рівні, зазначається, що створення конкурентних умов є пріоритетом у сфері тепlopостачання. Проте в українському законодавстві немає норм, які б описували функціональну структуру ЛРТЕ та принципи її функціонування. Створюючи ринкові відносини в СЦТ, важливо визначити функціональну структуру локальних ринків теплової енергії та функціонування ринку на аукціоні та технічні аспекти постачання теплової енергії від виробників до споживачів.

Вищезазначені суб'єкти ринку взаємодіють один з одним відповідно до своїх технічних, економічних та управлінських функцій на локальному РТЕ в СЦТ. Схема структури взаємозв'язку між суб'єктами ринку місцевої теплової енергії представлена на рис.2.5.

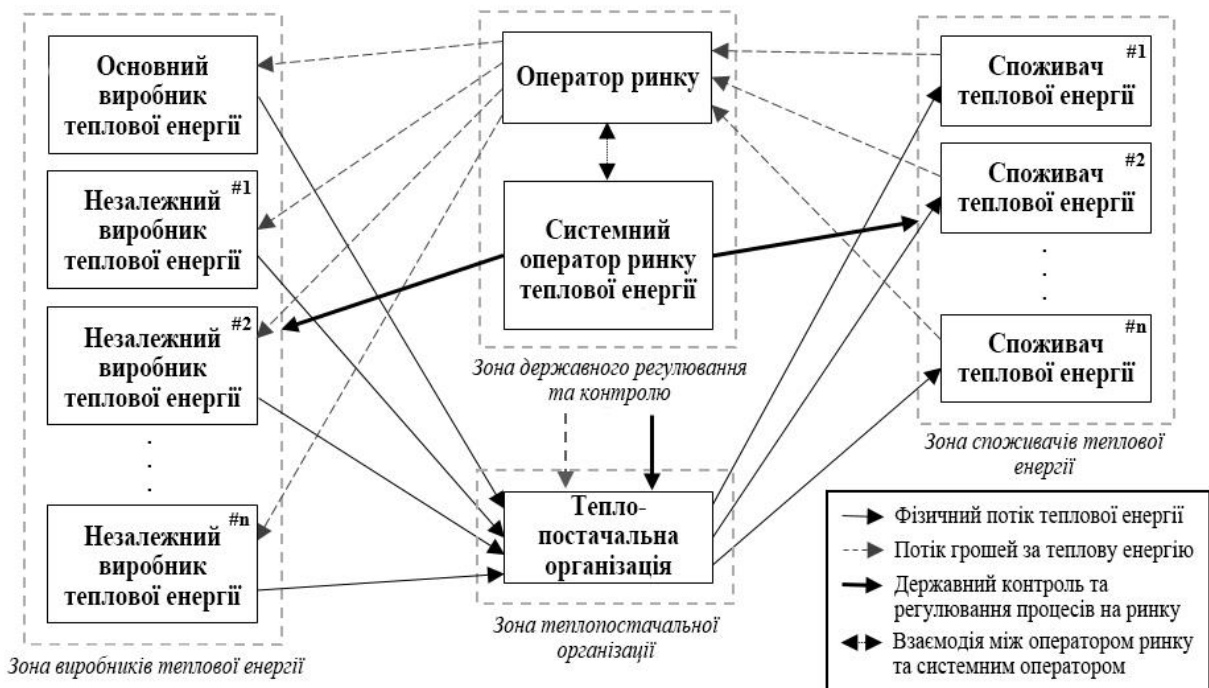


Рисунок 2.5 - Схема структури відносин між суб'єктами ЛРТЕ

За результатами щомісячного аукціону на локальному РТЕ [5, 4] необхідно забезпечити технічне постачання теплової енергії як товару, від виробників теплової енергії до споживачів, з урахуванням конкурентних умов, що мають місце. Виконання результатів аукціону передбачає транспортування споживачам теплової енергії з потенціалом, що забезпечує належні комфортні умови в приміщеннях споживачів, залежно від температури навколишнього середовища на момент поставки товару. У свою чергу, теплове навантаження складається з виробників теплової енергії, які змогли виробити теплову енергію відповідно до результатів аукціону.

Через центральні та індивідуальні теплові пункти споживачі отримують теплову енергію. Грошові потоки йдуть через оператора ринку, який є «єдиним покупцем» у відповідній моделі ЛРТЕ. Споживачі оплачують спожиту теплову енергію, відповідно до тарифу, оператору ринку, після чого оператор направляє кошти транспортній організації та виробникам теплової енергії для провадження підприємницької діяльності. Системний оператор ринку здійснює оперативно-диспетчерський контроль та управління безпосередньо до всіх інших частин процесу теплопостачання, визначаючи режими роботи виробників теплової енергії та постачання теплової енергії через теплопостачальну організацію споживачам.

Системи диспетчерського управління, а також системи автоматизації технологічних процесів кожного суб'єкта ринку мають прямий зв'язок з оператором системи. Одним із завдань оператора системи є забезпечення балансу між виробництвом і споживанням теплової енергії на поточний час. Таким чином, системний оператор, який збирає поточні технологічні дані від усіх виробників і споживачів теплової енергії, а також теплопостачальної організації, є головним центром управління процесом функціонування ЛРТЕ.

Кожен виробник характеризується технологічним процесом виробництва теплової енергії, де основною складовою є енергетичний ресурс, на основі якого реалізуються заходи з виробництва теплової енергії. Кінцевим продуктом виробника є теплоносій з відповідними значеннями температури, тиску і масової витрати, який має енергетичний потенціал і певну теплову потужність. Основні технологічні

параметри у виробництві теплової енергії виробниками повинні бути виміряні та передані оператору системи. У цьому випадку оператор системи повинен бути обладнаний технічними засобами дистанційного контролю теплової потужності кожного з виробників, який повинен знаходитися на межі між виробником і тепловою мережею. Залежно від результатів аукціону кожен виробник оптимізує витрати на виробництво теплової енергії відповідно до директив оператора системи, який контролює функціонування ЛРТЕ [8].

На локальному РТЕ теплові мережі виконують функцію постачання теплової енергії від виробників до споживачів з забезпеченням мінімальних енергетичних і втрат і теплоносія. Для ефективного функціонування ринку в теплових мережах теплоносіїв повинен завжди мати необхідний потенціал для забезпечення споживачів тепловою енергією відповідно до умов навколишнього середовища. Географічне розташування виробників і споживачів завжди має різні конфігурації в системах тепlopостачання міст, тому теплові мережі слугують буферними потужностями, які повинні мати потенціал, необхідний для задоволення потреб споживачів теплової енергії. Оператор системи повинен отримувати технологічні показники дискретно, по всій довжині теплової мережі, яка бере участь у функціонуванні ринку.

Споживачі теплової енергії, що функціонують на локальному ринку, повинні бути забезпечені відповідними технічними засобами для ефективного споживання теплової енергії. Також важливим компонентом є можливість прогнозування споживання теплової енергії будівлею, що, дасть можливість прогнозувати загальний обсяг споживання для забезпечення енергетичного балансу при виробництві теплової енергії.

Виробники, споживачі та тепlopостачальна організація формують єдину інформаційну систему, яка контролюється системним оператором місцевого РТЕ. Пов'язуючи системи управління на більш низьких рівнях з вищими рівнями, ринок може функціонувати ефективно у всій системі тепlopостачання. Умовна схема диспетчерського управління та автоматизації технологічних процесів функціонування ЛРТЕ представлена на рис. 2.6.

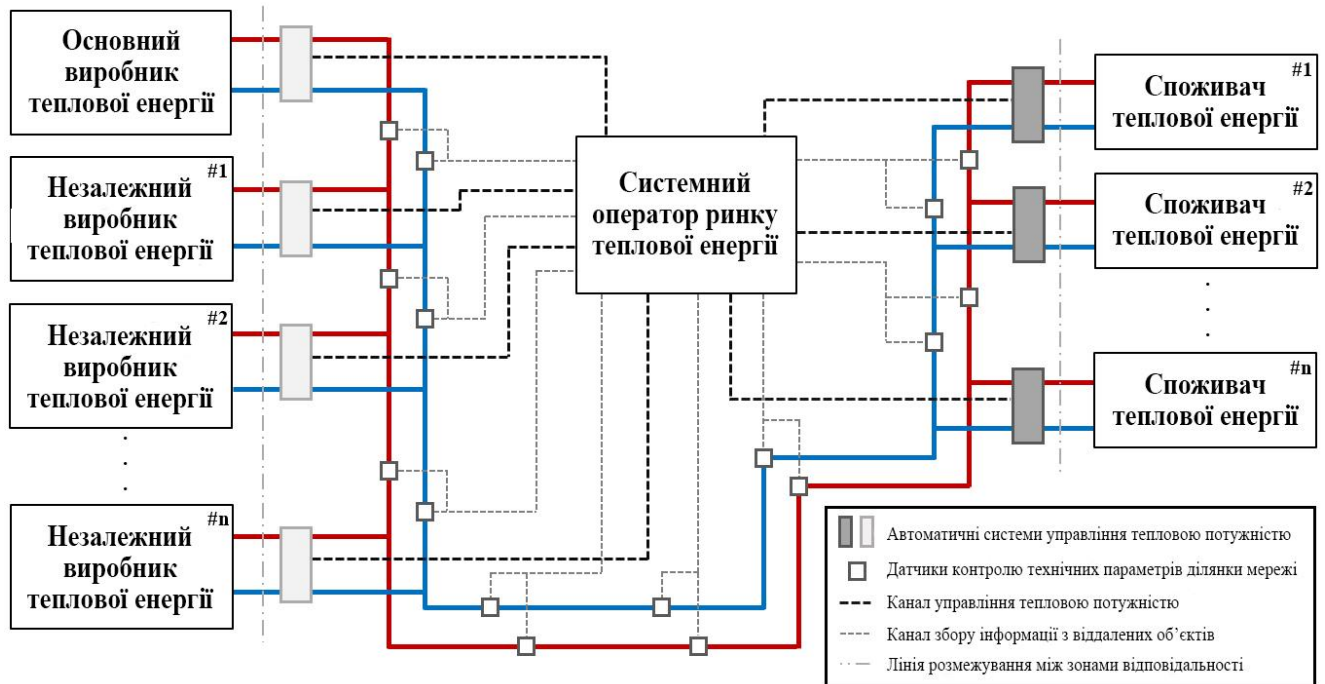


Рис 2.6. Умовна схема диспетчерського управління та автоматизації технологічних процесів функціонування ЛРТЕ

У загальній системі контролю процесів функціонування ЛРТЕ оператором системи, типовий програмний продукт, який може забезпечити ефективний візуальний контроль за технологічними процесами в системі тепlopостачання для реалізації директив ринку оператора, є важливим елементом. Директиви оператора ринку визначаються за результатами аукціонів виробників теплової енергії, які повинні подавати заявлену кількість теплової енергії в систему тепlopостачання.

## 2.2. Капітальні витрати та особливості впровадження локальних ринків теплової енергії

Визначення сфер відповідальності та функціональних обов'язків між суб'єктами ринку є одним з головних завдань при впровадженні ЛРТЕ. Враховуючи державну політику економічної децентралізації в Україні, органи місцевого самоврядування відіграють важливу роль у підтримці впровадження та функціонування РТЕ, що безпосередньо характеризується його розташуванням через фізичні особливості теплової енергії. Водночас основну роль відіграють виробники теплової енергії,

тепломережі та споживачі теплової енергії, як безпосередні учасники технічних процесів, що відбуваються в системі теплопостачання [6].

Для функціонування РТЕ є умови, які обов'язково повинні виконуватись для забезпечення виконання першочергових задач, які стоять перед ним.

1. Щільність теплових потужностей в зоні однієї системи теплопостачання повинна відповідати вимогам [92, 93]. За щільність теплових потужностей приймається кількість теплової енергії яка була вироблена за рік в межах даної локальної системи теплопостачання. Ці межі можуть визначатись, як загальна довжина тепломереж, або як загальна площа тепломереж і споживачів, яка займається в зоні даної системи теплопостачання.

Даний показник можна виражати в різних варіаціях, оскільки, фактично, він визначає однакову по суті характеристику. Нажаль, проблематичним є визначення точного рівня цього показника, оскільки він достатньо сильно залежить від економічної ситуації в регіоні, в якому РТЕ функціонує.

Необхідною задачею є визначення нижнього граничного рівня густини теплових потужностей в зоні однієї тепломережі. Вирішення цієї задачі дозволить визначити долю систем теплопостачання в складі всієї України, де РТЕ функціонувати не зможе.

2. Після визначення систем теплопостачання, які підходять для створення в них ЛРТЕ, необхідно забезпечити технічні умови для правильної роботи системи теплопостачання:

- контури генерації, транспортування та споживання повинні бути фізично розділені;
  - встановлення системи автоматизації, яка виконує операції з управління і контролю основних показників роботи системи;
  - створення позиції системного оператора, який виконує переключення відповідно до результатів проведеного аукціону в межах системи теплопостачання.
- Організація диспетчерського контролю перетоків теплової енергії між виробниками є важливим питанням, яке сполучається із забезпечення автоматизованих систем на

кожному з об'єктів, оскільки необхідно забезпечувати той розподіл теплової енергії, який визначений за результатами аукціонів;

- забезпечення мінімального відсотку зношеності теплових мереж в межах системи.

Система теплопостачання, як сфера енергетики, являє собою соціально-відповідальну структуру, в особливості, перед об'єктами соціальної сфери та населенням. Тому, важливим є необхідного рівня надійності.

3. Законодавче забезпечення вільного доступу до підключення до систем теплопостачання, за умови виконання всіх технічних умов, як з боку генерації, так і з боку споживача.

З точки зору споживачів, якість теплової енергії для споживача відіграє важливу роль. Якість постачання теплової енергії, визначається комфортними умовами перебування в приміщенні. Для цього споживачів необхідно забезпечувати приладами контролю, регулювання та обліку теплової енергії.

Кажучи про населення, як споживачів теплової енергії, процес взаємодії з ними спрощуються, якщо населення виступає як ОСББ.

4. Визначення правил для процесу проведення торгів на аукціоні з куплі-продажу теплової енергії.

Процес створення РТЕ в Україні не можна розглядати тільки з точки зору вигод, які утворюються при реалізації конкурентного середовища в системі теплопостачання. РТЕ є локальним ринком, який обмежується територією міста, і не несе вплив на ринки, які знаходяться в інших містах України. Даний аспект описує необхідність передачі відповідальності за впровадження ринку від державних органів влади до місцевих органів самоврядування, що є частиною політики децентралізації в Україні [91, 94].

Ефективність того, чи іншого РТЕ визначається наступними показниками [5, 1]:

- доступність і вартість місцевих ресурсів для використання у виробництві теплової енергії;

- екологічні та економічні стимули використання тих чи інших ресурсів для виробництва теплової енергії;

- рівень успішності ведення підприємницької діяльності в сфері теплопостачання, що є вигодою для самого виробника;

- сприяння органів місцевого самоврядування до розвитку і функціонування РТЕ;

- технічних стан теплових мереж;

- ефективність процесу операторського керування РТЕ;

- рівень технічної та економічної ефективності до створення РТЕ;

- правильність технічних рішень на етапі впровадження РТЕ;

Всі вищенаведені показники в сумі і дають ту вигоду, яка утворюється в наслідок функціонування РТЕ. Ця вигода відображається перш за все у зниженні тарифу на теплову енергію для кінцевого споживача, що і є однією із цілей впровадження РТЕ.

Але, є дуже важливим розглядати РТЕ з точки зору єдиного цілого, в якості мікроекономічної одиниці. Це означає, що результатом створення ринку є капітальні витрати для приведення його в стан функціонування, а результатом роботи ринку є експлуатаційні витрати та отримання прибутку. При цьому, прибуток розглядається саме як рівень ефективності РТЕ, що є сумою вигод незалежних виробників і споживачів [9]. Також, ключовим показником має виступати термін окупності РТЕ, який і є визначальним в частині прийняття рішення щодо створення ринку в процесі його проектування.

Для визначення складових створення РТЕ в частині капітальних витрат, необхідно поділити на чотири основні зони відповідальності відповідно до структури системи теплопостачання:

1. Зона виробників, яка характеризується об'єктами теплогенерації та тепломережами на межі фізичного розділення теплоносіїв виробника та теплопостачальної організації.

2. Зона теплопостачальної організації, яка характеризується магістральними та розподільчими тепловими мережами на межі фізичного розділення теплоносіїв як зі сторони виробників, так і зі сторони споживачів. Також, сюди слід віднести засоби операторського контролю та керування процесом теплопостачання.

3. Зона споживачів, яка характеризується об'єктами споживання теплової енергії та тепломережами на межі фізичного розділення теплоносіїв споживача та теплопостачальної організації.

4. Зона державного контролю за процесами функціонування РТЕ. Ця зона має відношення до організації РТЕ з точки зору проведення аукціонів з купівлі-продажу теплової енергії. Передбачається, що на базі РТЕ буде створений орган влади, як складова частина органів місцевого самоврядування, який матиме функції юридичного регулювання процесу функціонування РТЕ взагалі.

Виходячи з цієї класифікації постає важливе питання про джерела фінансування технічних засобів, які закріплюються за одними з чотирьох зон відповідальності наведених вище. Варіантів рішення цього питання може бути декілька, тому, оскільки, результат розрахунків не залежить від джерел фінансування, даний аспект не розглядається.

Під технічними засобами для створення РТЕ розуміються такі засоби, без наявності яких функціонування РТЕ неможливо.

Відповідно, до наведеної вище класифікації зон відповідальності наведено перелік капітальних витрат для створення і функціонування РТЕ:

1. Зона виробників:

- теплова мережа до місця розмежування теплоносіїв виробника та теплопостачальної організації, якщо це необхідно,  $C_{TM}^B$ ;
- поверхневий теплообмінний апарат,  $C_{ПТ}^B$ ;
- лічильник теплової енергії,  $C_{ЛТЕ}^B$ ;
- засоби автоматизації для регулювання потужності теплогенерації,  $C_A^B$ ;

Сума капітальних витрат на створення РТЕ в зоні виробника складе, грн.:

$$C_{\Sigma}^B = C_{TM}^B + C_{ПТ}^B + C_{ЛТЕ}^B + C_A^B \quad (2.1)$$

2. Зона теплопостачальної організації:

- магістральні та розподільчі теплові мережі для заміни тих, що мають незадовільний технічний стан, та для прокладання нових для збільшення масштабу РТЕ,  $C_{TM}^{TO}$ ;

- центральні теплові пункти для розділення контурів магістральних та розподільчих мереж,  $C_{ЦТП}^{TO}$ ;

- засоби автоматизації та диспетчеризації для контролю та управління регулюванням потужності перетоків теплової енергії в тепловій мережі,  $C_{АД}^{TO}$ ;

Сума капітальних витрат на створення РТЕ в зоні тепlopостачальної організації складе, грн.:

$$C_{\Sigma}^{TO} = C_{TM}^{TO} + C_{ЦТП}^{TO} + C_{АД}^{TO} \quad (2.2)$$

### 3. Зона споживачів:

- теплова мережа до місця розмежування теплоносіїв споживачів та тепlopостачальної організації, якщо це необхідно,  $C_{TM}^C$ ;

- індивідуальний тепловий пункт, що включає в себе: поверхневий теплообмінний апарат, лічильник теплової енергії, засоби автоматизації для регулювання потужності споживання,  $C_{ІТП}^C$ .

Сума капітальних витрат на створення РТЕ в зоні споживача складе, грн.:

$$C_{\Sigma}^C = C_{TM}^C + C_{ІТП}^C \quad (2.3)$$

4. Зона державного контролю за процесами функціонування РТЕ передбачає затрати на створення органів державної влади для впровадження і контролю РТЕ в межах міста.

Отже, загальна сума капітальних затрат РТЕ складе, грн.:

$$C_{\Sigma}^{PTE} = C_{\Sigma}^B + C_{\Sigma}^{TO} + C_{\Sigma}^C + C_{\Sigma}^{ДО} \quad (2.4)$$

де,

$C_{\Sigma}^{ДО}$  – сума витрат на створення органу регулювання функціонування РТЕ, грн.

Визначення капітальних затрат в конкретному місті, де планується створення РТЕ може проводитись саме по вищенаведеній схемі, але необхідно розуміти, що в силу різних вихідних умов, величина капітальних витрат може відрізнятись.

### 2.3. Модель локального ринку теплової енергії

Для оцінки ефективності впровадження ринкових відносин в системах теплопостачання створено модель, яка дозволяє кількісно оцінити доцільність функціонування ЛРТЕ у визначеній системі теплопостачання виходячи з конфігурації існуючих теплових мереж, обсягів споживання теплової енергії, щільності попиту та ін.

Модель є статичною, і не описує кон'юктурні зміни на ринку протягом його роботи. Статті витрат кожного з виробників визначенні протягом всього часу і є незмінними. Статична модель показує принципові тенденції на РТЕ, і не враховує динамічні, або непепередбачувані процеси, які можуть виникати. Такими процесами можуть бути:

1. Неможливість постачання теплової енергії виробником який виграв аукціон із-за технічних неполадок.
2. Зміна цін на ресурси в часі, які закладаються у витрати виробників.
3. Зміна правил роботи аукціону або законодавчих обмежень на ринку.
4. Нестабільність погодних умов.

Модель представляє собою наявність в системі трьох типів об'єктів: виробників теплової енергії, споживачів теплової енергії та ділянки теплових мереж, які поєднані в єдину систему транспортування теплової енергії від виробників до споживачів.

Споживачі теплової енергії, як одиниця, характеризуються кількістю теплової енергії, яку вони споживають за рік. Сума цього показника для всіх споживачів

формує загальний обсяг споживання теплової енергії в системі тепlopостачання, яка розглядається.

Функція транспортування теплової енергії покладається на основного виробника в системі, оскільки, як правило, теплові мережі є у їх власності. Тому, важливим є контроль стану зносу теплових мереж та вчасний ремонт окремих ділянок. Для цього, необхідно забезпечити певні стимули, щоб загальний відсоток втрат в тепловій мережі був допустимим при функціонуванні ринку.

Кожна ділянка теплової мережі враховується як двотрубна (подаючий та зворотній трубопровід) і характеризується такими параметрами як: внутрішній діаметр трубопроводу, тип прокладки (надземна, підземна, канална), типом ізоляції та товщиною ізоляції. На основі цих даних проводиться розрахунок теплових та гідравлічних втрат в тепловій мережі для оцінки впливу взаєморозташування об'єктів у просторі. Методика розрахунку теплових та гідравлічних втрат при функціонуванні ринку теплової енергії, яка використовується в моделі описана в Додатку А.

Виробники теплової енергії характеризуються функцією повних витрат, як залежність від кількості теплової енергії за рік, яку виробник теплової енергії продає в мережу за моделі «єдиного покупця». Вид функції повних витрат залежить від технології, яку використовує виробник теплової енергії, оскільки та чи інша технологія може мати різний рівень постійних та змінних витрат, на який також може впливати місце розташування об'єктів теплогенерації, рівень професіоналізму робітників підприємства, область України, в якій проводиться діяльність, вартість додаткових ресурсів для ведення підприємницької діяльності і т.д. Загальний вид функції повних витрат для кожного виробника теплової енергії представлена у наступному виді:

$$TC = (A_1 + A_2 + A_3) \times Q + (B_1 + B_2 + B_3 + B_4), \quad (2.5)$$

де:

TC – повні витрати на виробництво теплової енергії за рік, грн.;

$A_1$  – витрати на енергоресурс для виробництва 1 Гкал теплової енергії, грн./Гкал;

$A_2$  – витрати на доставку енергоресурсу для виробництва 1 Гкал теплової енергії, грн./Гкал;

$A_3$  – витрати на електроенергію для виробництва 1 Гкал теплової енергії, грн./Гкал;

$B_1$  – постійні витрати на заробітну плату робочого персоналу на виробництво теплової енергії за рік, грн.;

$B_2$  – постійні витрати на інші витрати на виробництво теплової енергії за рік, грн.;

$B_3$  – постійні витрати на амортизацію на виробництво теплової енергії за рік, грн.;

$B_4$  – постійні витрати на адміністрацію на виробництво теплової енергії за рік, грн.;

$Q$  – кількість виробленої теплової енергії за рік, Гкал.

В даній моделі ЛРТЕ в якості обмеження вводиться поняття частки ринку, тобто максимальна межа кількості теплової енергії, яку може відпустити кожен із виробників за кожен місяць. Частка ринку для  $i$ -того виробника (крім основного) визначається коефіцієнтом долі ринку:

$$Q_{M_{i,j}}^d = Q_{спj} \cdot MS, \quad (2.6)$$

де:

$Q_{M_{i,j}}^d$  – доля ринку для  $i$ -того виробника  $j$ -того місяця, Гкал,

$Q_{спj}$  – попит на теплову енергію  $j$ -того місяця, Гкал,

$MS$  – коефіцієнт частки ринку.

Для формування матриці потенціалу виробництва теплової енергії на ринку використовуються наступні умови:

Якщо  $Q_{M_i}^P < Q_{M_{i,j}}^D$ :

$$Q_{M_{i,j}}^3 = Q_{M_i}^P;$$

якщо  $Q_{M_i}^P \geq Q_{M_{i,j}}^D$ :

$$Q_{M_{i,j}}^3 = Q_{M_{i,j}}^D;$$

де:

$Q_{M_{i,j}}^3$  – заявочна кількість теплової енергії для і-того виробника j-того місяця.

Виходячи з кількості виробників та кількості місяців заповнюється матриця потенціалу виробництва теплової енергії на ринку.

Отже, кожен виробник, маючи функцію повних витрат та рівень планового прибутку, виходячи з ринкових умов та можливої кількості проданої теплової енергії, розраховує прогнозований тариф на відпуск теплової енергії, та подає в якості заявки на аукціон. Прогнозований тариф на теплову енергію для кожного виробника складе:

$$T_i = \frac{A_i \cdot \sum_n^{j=1} Q_{M_{i,j}}^3 + B_i + P}{\sum_n^{j=1} Q_{M_{i,j}}^3} \quad (2.7)$$

де:

$T_i$  – прогнозований тариф на теплову енергію і-того виробника, грн./Гкал,

$A_i$  – сума змінних витрат і-того виробника, грн./Гкал,

$B_i$  – сума постійних витрат і-того виробника, грн./Гкал.

На основі поданих заявок виробників в яких зазначаються такі параметри як  $T_i$  та  $Q_{M_{i,j}}^3$ , проводиться аукціон, де визначаються переможці, які по поданим тарифам і обсягам будуть продавати теплову енергію в і-тому місяці.

Заявки сортуються за ціновими пропозиціями в напрямку збільшення. Сума заявок переможців для j-того місяця визначається умовою:

$$\sum_{n=1}^{i=1} Q_{M_{i,j}}^3 = Q_{спj} \quad (2.8)$$

де:

$n$  – номер останнього виробника-переможця.

Якщо заявочний обсяг теплової енергії останнього виробника-переможця повністю не покриває попит  $j$ -того місяця, то враховується лише частина заявочного обсягу:

$$Q_{M_{n,j}}^3 = Q_{спj} - \sum_{n=1}^{i=1} Q_{M_{i,j}}^3 \quad (2.9)$$

де:

$Q_{M_{n,j}}^3$  – частина заявочного обсягу теплової енергії останнього виробника-переможця яка покриває попит  $j$ -того місяця.

В якості результату проведеного аукціону формується матриця виробників-переможців аукціону.

На основі матриці виробників-переможців аукціону розраховується сумарна вартість спожитої теплової енергії в  $j$ -тому місяці на ринку:

$$C_{спj} = \sum_{12}^{i=1} (Q_{M_{i,j}}^3 \cdot T_i) \quad (2.10)$$

де:

$C_{спj}$  – сумарна вартість спожитої теплової енергії в  $j$ -тому місяці, грн.

Середньозважений тариф на відпуск теплової енергії в  $j$ -тому місяці:

$$T_j^{с.зв.} = \frac{C_{спj}}{Q_{спj}} \quad (2.11)$$

Після проведення аукціонів за кожен місяць опалювального сезону, кожен з виробників матиме свій фінансовий результат, який буде відображати успішність роботи даного виробника на РТЕ. Основними показниками, які характеризують успішність роботи підприємства на РТЕ є:

- загальний виторг і-того виробника,
- загальні витрати і-того виробника,
- загальний прибуток і-того виробника,
- різниця планового прибутку і фактичного прибутку і-того виробника
- рентабельність і-того виробника.

Розглядаючи ситуацію в Україні в частині систем теплопостачання, необхідно прийняти до уваги, що майже в усіх великих містах України існують комунальні підприємства, які виконують функцію теплопостачальника і фактично є монополістами. Створюючи ринкові відносини в системах теплопостачання таких міст, природнім є те, що попит, який покривало комунальне підприємство буде знижуватись, а тому фінансова успішність цих підприємств також буде зазнавати зниження. Також можлива ситуація, коли комунальне підприємство буде зазнавати збитків.

Оскільки, комунальні підприємства є основними постачальниками теплової енергії в містах, необхідно запровадити механізм стимулювання цих підприємств у випадку виникнення збитків за рахунок постійних витрат.

Є декілька способів забезпечення цієї умови:

1. Повна компенсація збитків.
2. Часткова компенсація збитків із постійним відсотком компенсації
3. Часткова компенсація збитків із стимулюючим відсотком компенсації.

Для простоти, в даній моделі обрано перший варіант компенсації збитків, розподіляючи цю величину відносно річного обсягу відпущеної теплової енергії на ринку.

Величина річного середньозваженого тарифу на теплову енергію з врахуванням компенсації збитків основному виробнику складає:

$$T^{c.зв} = \frac{\sum_n^{j=1} C_{спj} + p \cdot U_1}{\sum_n^{j=1} Q_{спj}} \quad (2.12)$$

де:

$U_1$  - величина збитків основного виробника за рік, грн.,

$p$  – коефіцієнт покладання компенсації збитків основного виробника на споживачів,  $0 \leq p \leq 1$ .

Вигоду від впровадження РТЕ необхідно розглядати з точки зору різниці в вартості спожитої теплової енергії та середньозважених тарифах на теплову енергію при його функціонуванні та відсутності. Саме ця різниця виступає цільовою функцією для оптимізації роботи РТЕ, де обмеженням виступає коефіцієнт частки ринку.

Однією із задач моделювання є визначення оптимального коефіцієнту частки ринку при визначеній кількості виробників теплової енергії та обсягу спожитої теплової енергії за рік споживачами на ринку.

При відсутності РТЕ прогнозований тариф для основного виробника складає:

$$T_1 = \frac{A_i \cdot \sum_n^{j=1} Q_{спj} + B_i + P}{\sum_n^{j=1} Q_{спj}} \quad (2.13)$$

Різниця в тарифах на теплову енергію при функціонуванні та відсутності РТЕ, грн/Гкал:

$$\Delta T = T_1 - T^{c.зв} \quad (2.14)$$

Вигода від впровадження РТЕ із врахуванням компенсації збитків основного виробника, грн:

$$V = \Delta T \cdot \sum_n^{j=1} Q_{спj} \quad (2.15)$$

Сума прибутків незалежних виробників, грн:

$$P = \sum_n^{i=1} TP_i - (1 - p) \cdot U_1 \quad (2.16)$$

Для розрахунку терміну окупності РТЕ, необхідно знати основні дві величини: сума капітальних витрат на створення РТЕ -  $C_{\Sigma}^{PTE}$ , та загальну вигоду від створення РТЕ при його функціонуванні за один календарний рік. Таким показником виступає абсолютна ефективність РТЕ. Даний показник є сумою вигоди від впровадження РТЕ із врахуванням компенсації збитків основного виробника (V) і суми прибутків незалежних виробників (P), грн:

$$E = V + P \quad (2.17)$$

Абсолютна ефективність ЛРТЕ, як показник, не може бути показовим при порівнянні ефективностей локальних ринків в різних системах тепlopостачання. Тому, для порівняння рівня успішності впровадження конкурентних умов в системах тепlopостачання міст пропонується використовувати відносну ефективність ЛРТЕ, яка являє собою відношення абсолютної ефективності ринку до загальної вартості спожитої теплової енергії за рік:

$$e = \frac{E}{T_1 \sum_n^{j=1} Q_{сп,j}} \quad (2.18)$$

При визначених параметрах виробників, споживачів теплової енергії та теплових мереж з'являється задача оптимізації, яка полягає у знаходженні оптимальної відносної ефективності ЛРТЕ “e” при зміні коефіцієнту частки ринку “MS”. Для даної задачі цільова функція має вигляд:

$$e(MS) = 1 - \frac{\left( \frac{\sum_n^{j=1} \sum_{i2}^1 (Q_{Mi,j}^3 \cdot \frac{A_j \cdot \sum_n^{j=1} Q_{сп,j} \cdot MS + B_j + P}{\sum_n^{j=1} Q_{сп,j} \cdot MS}) + p \cdot U_1}{\sum_n^{j=1} Q_{сп,j}} \right) \cdot \sum_n^{j=1} Q_{сп,j} + \sum_n^{i=1} TP_i - (1 - p) \cdot U_1}{\frac{A_1 \cdot \sum_n^{j=1} Q_{сп,j} + B_1 + P}{\sum_n^{j=1} Q_{сп,j}} \sum_n^{j=1} Q_{сп,j}} \rightarrow \max \quad (2.19)$$

Для даної задачі оптимізації існують наступні обмеження:

$$0 < MS \leq 1 \quad (2.20)$$

Дана задача може бути вирішена методом перебору значень  $MS$  з визначеним кроком.

Дисконтована вартість грошових потоків для РТЕ складе, грн:

$$NPV_r = - C_{\Sigma}^{PTE} + \sum_{t=1}^n \frac{(E)}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^t}, \quad (2.21)$$

де:

$i$  – ставка дисконтування, яка є функцією від вартості альтернативного вкладання коштів, рівня інфляції за обраний період та ін., %;

$t$  – поточний період (рік);

$n$  – розрахунковий період (років).

ДТО визначається за формулою:

$$T = (r - 1) + \frac{|NPV_{r-1}|}{NPV_r - NPV_{r-1}}, \text{ рік}, \quad (2.22)$$

де:  $r$  – рік, в якому  $NPV > 0$ .

Простий термін окупності складе:

$$T^{пр} = \frac{C_{\Sigma}^{PTE}}{E}, \text{ рік}, \quad (2.23)$$

## 2.4. Оптимізація витрат виробників теплової енергії

В межах міста, в якому розглядається модель РТЕ один виробник може володіти декількома об'єктами теплогенерації. Кожен з об'єктів теплогенерації характеризується своєю функцією витрат та рівнем планового прибутку відповідно до капітальних затрат на будівництво об'єкта, технології виробництва теплової енергії, та особливостей процесу експлуатації. У випадку останнього виробника-переможця виникає ситуація, коли запланований обсяг відпуску теплової енергії вищий за фактичний відповідно до результатів аукціону, тому постає проблема оптимального розподілу кількості виробленої теплової енергії між об'єктами теплогенерації в межах одного виробника для зниження питомих витрат на виробництво 1 Гкал теплової енергії.

Отже, виникає задача оптимізації витрат підприємства, де цільовою функцією є величина повних витрат на виробництво теплової енергії. Для даної задачі цільова функція має вигляд:

$$TC(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n (AVC_i \cdot x_i + TFC_i) \rightarrow \min \quad (2.24)$$

де:

$TC(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – функція повних витрат на виробництво теплової енергії за рік, грн.

$AVC_i$  – середні змінні витрати на одиницю продукції  $i$ -го об'єкта теплогенерації підприємства, грн/Гкал,

$TFC_i$  – повні постійні витрати за рік  $i$ -го об'єкта теплогенерації підприємства, грн,

$n$  – кількість об'єктів теплогенерації даного підприємства,

$x$  – кількість виробленої теплової енергії  $i$ -тим об'єктом теплогенерації.

Для даної задачі оптимізації існують наступні обмеження:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n x_i = Q_{\text{вир}}^{\text{ф. відп.}} \\ x_1 \leq Q_1^{\text{з. відп.}} \\ x_2 \leq Q_2^{\text{з. відп.}} \\ \dots \\ x_n \leq Q_n^{\text{з. відп.}} \end{cases}$$

$$x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n$$

де:

$Q_{\text{вир}}^{\text{ф. відп.}}$  – фактична кількість теплової енергії, яку виробник може продати відповідно до результатів аукціону, Гкал.

$Q_i^{\text{з. відп.}}$  – заявочна кількість теплової енергії, яку об'єкт теплогенерації може виробити відповідно до частки ринку виробника і внутрішнього розподілу обсягів теплової енергії в межах підприємства, Гкал.

Оскільки задача, яка розглядається має вигляд загальної задачі лінійного програмування, для неї використано сімплекс-метод [95].

Запишемо задачу, яка розглядається у формі основної задачі, для знаходження максимуму функції:

$$TC_1 = \sum_{i=1}^n (-AVC_i \cdot x_i - TFC_i) \quad (2.25)$$

При умовах:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n x_i = Q_{\text{вир}}^{\text{ф. відп.}} \\ x_1 + x_{n+1} = Q_1^{\text{з. відп.}} \\ x_2 + x_{n+2} = Q_2^{\text{з. відп.}} \\ \dots \\ x_n + x_{2 \cdot n} = Q_n^{\text{з. відп.}} \end{cases}$$



1	$P_{n+2}$	0	$Q_{\text{вир}}^{\text{ф. відп.}}$	1	1	...	1	0	...	0	0
2	$P_{n+3}$	0	$Q_1^{\text{з. відп.}}$	1	0	...	0	0	...	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n	$P_{2n+2}$	0	$Q_n^{\text{з. відп.}}$	0	0	...	0	0	...	1	0
n + 1	$P_{2n+2}$	0	$Q_n^{\text{з. відп.}}$	0	0	...	0	0	...	0	1
n + 2											

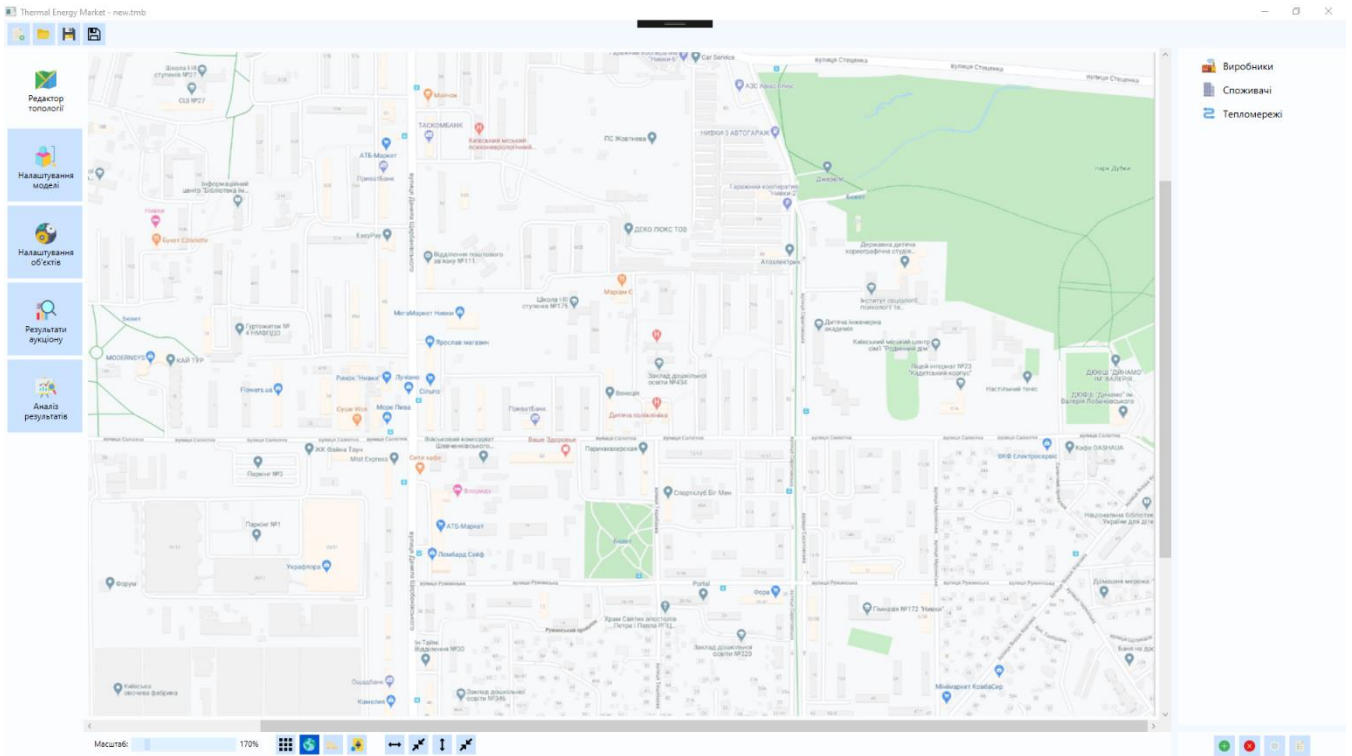
На основі сформульованої сімплексної таблиці проводиться розрахунок згідно правил розрахунку в сімплекс-методі задачі лінійного програмування [95], визначаючи значення цільової функції та невідомих змінних.

Таким чином, визначені оптимальні величини кількості теплової енергії для кожного з об'єктів теплогенерації дозволяють об'єктивно прогнозувати фінансові результати виробника, який розглядається в моделі в рамках РТЕ.

## 2.5. Програмні засоби аналізу впровадження та функціонування локальних ринків теплової енергії

Структура статичної моделі покладена в основу авторського програмного забезпечення «Thermal Energy Market», яке призначене для виконання моделювання ЛРТЕ в межах міст, в яких існує система тепlopостачання. В «Thermal Energy Market» проводиться розрахунок технічних та економічних показників теплоенергетичних систем з метою визначення прогнозованої абсолютної та відносної ефективності функціонування ЛРТЕ в місті, в якому він створюється.

Програмне забезпечення дозволяє враховувати географічне розташування об'єктів у просторі, що є дуже важливим з точки зору оцінки ефективності роботи системи тепlopостачання при транспортуванні теплової енергії від виробників до споживачів. Для розробки проектів в програмному забезпеченні «Thermal Energy Market» необхідною умовою є наявність мапи, в межах якої розглядається система тепlopостачання локації. Загальний вигляд вікна графічного розроблення проекту із завантаженою мапою зображено на рис. 2.7.



*Рисунок 2.7 – Загальний вигляд вікна графічного розроблення проекту із завантаженою мапою*

Відповідно до створеної моделі, всі об'єкти класифікуються на 3 загальні групи: виробники теплової енергії, споживачі теплової енергії та теплові мережі. Розроблення проекту для аналізу системи теплопостачання в частині запровадження ЛРТЕ першочергово полягає у відтворенні існуючої системи теплопостачання у вигляді виробників та споживачів теплової енергії, які пов'язані між собою тепловими мережами.

Виробники теплової енергії в межах системи теплопостачання виступають юридичними особами, які впроваджують підприємницьку діяльність з виробництва та продажу теплової енергії. Виробники теплової енергії поділяються на 2 категорії: основний виробник та незалежні виробники. Як правило, в існуючих системах теплопостачання міст України, існує комунальне підприємство, яке має монопольне становище в системі і виконує функції виробництва, транспортування та постачання теплової енергії. Таке підприємство є основним виробником теплової енергії. В програмному забезпеченні, при розрахунках, виконується допущення, що для основного виробника виконано анбандлінг, де теплові мережі виступають окремою

юридичною особою, яка займається виключно транспортуванням теплової енергії, що є умовою для запровадження моделі «єдиного покупця» в рамках ЛРТЕ.

Кожна юридична особа, яка займається виробництвом теплової енергії визначається кількістю об'єктів теплогенерації. Кожний об'єкт теплогенерації характеризується наступними параметрами:

- тип енергетичного ресурсу;
- теплова потужність (МВт);
- постійні капітальні витрати на будівництво об'єкта теплогенерації (грн.);
- питома вартість комплексу з виробництва ТЕ (грн./МВт)
- витрата енергоресурсу на одиницю виробленої теплової енергії (Гкал);
- вартість енергоресурсу за одиницю (кг або м<sup>3</sup>);
- вартість транспортування палива на виробництво ТЕ (грн./Гкал);
- затрати електроенергії на виробництво ТЕ (грн./Гкал);
- річні витрати на заробітну плату не адміністративного персоналу на 1 МВт встановленої теплової потужності (грн.);
- річні витрати на заробітну плату адміністративного персоналу на 1 МВт встановленої теплової потужності (грн.);
- річні інші витрати на 1 МВт встановленої теплової потужності (грн.);
- експлуатаційний термін роботи обладнання (років);
- норма прибутку (%).

В комп'ютерній моделі виділено наступні види енергетичних ресурсів:

- сонячна енергія (геліосистеми);
- сонячна енергія (фотовольтаїка);
- біомаса (дровяна тріска);
- біомаса (пелети деревини);
- біомаса (дрова);
- біомаса (пелети соняшника);
- біомаса (лушпиння соняшника);
- біомаса (пелети соломи);
- біомаса (тюки соломи);

- біогаз;
- тверді побутові відходи;
- енергія вітру;
- енергія гідроресурсів малих річок;
- енергія навколишнього середовища та геотермальна енергія;
- природний газ;
- буре вугілля;
- кам'яне вугілля;
- торф;
- торф'яні пелети.

Кожний з визначених видів енергетичних ресурсів визначає функціональну залежність повних капітальних витрат та постійних експлуатаційних витрат від встановленої потужності об'єкта теплогенерації у вигляді степеневі функції. Вікно налаштування об'єкта теплогенерації зображено на рис. 2.8.

Назва об'єкта:	КП "Теплопостач", котельня №1	Назва виробника:	Основне підприємство	ID об'єкта:	0
<b>Енергетичний ресурс</b>			<b>Експлуатаційні витрати</b>		
Тип енергетичного ресурсу:	Природний газ	Вартість перевезення палива, грн/Гкал:	0		
Теплова потужність		Затрати електроенергії, грн/Гкал:	20		
Встановлена потужність об'єкта генерації, МВт:	12	Річні витрати на зарплату робітникам на 1 МВт потужності, грн:	2000000		
<b>Капітальні затрати</b>		Річні витрати на зарплату адміністрації на 1 МВт потужності, грн:	3500000		
Постійні капітальні затрати, грн.:	1200000	Інші річні витрати на 1 МВт потужності, грн:	500000		
Вартість установки потужністю 1 МВт, грн.:	200000	Експлуатаційний термін роботи обладнання, років:	30		
<b>Експлуатаційні витрати</b>		<b>Норма прибутку</b>			
Витрата енергоресурсу, кг/Гкал (мЗ/Гкал):	140	Запланована норма прибутку, %:	3		
Вартість енергоресурсу, грн/кг (грн/мЗ):	7300				

*Рисунок 2.8 – Вікно налаштування об'єкта теплогенерації*

Споживачі теплової енергії є об'єктами, які визначають попит на теплову енергію в межах теплопостачальної системи. Незалежно від типу будівлі (житлова,

адміністративна, промислова і т.д.), кожний споживач теплової енергії характеризується річним обсягом споживання теплової енергії. Сума обсягів річного споживання всіх споживачів теплової енергії в системі тепlopостачання формує річний попит на теплову енергію. Вікно налаштування споживача теплової енергії зображено на рис. 2.9.

Назва об'єкта:	Споживач №1	ID об'єкта:	0
<b>Загальна інформація</b>			
Річне споживання теплової енергії, Гкал:			
20			

*Рисунок 2.9 – Вікно налаштування споживача теплової енергії*

Теплові мережі, як об'єкти програмного забезпечення, відображуються на мапі у вигляді окремих ділянок теплових мереж, які сполучаються між собою, або з виробниками та споживачами теплової енергії. Ділянки теплових мереж можуть бути існуючими або новими. Кожна ділянка теплової мережі характеризується наступними параметрами:

- діаметр труби, мм;
- довжина ділянки теплової мережі, м (розраховується автоматично відповідно до заданого масштабу мапи);
- тип ізоляції;
- товщина ізоляції, мм;
- тип прокладки (підземна безканальна, підземна канальна, надземна).

Окрім вищенаведених параметрів, зазначаються такі параметри системи тепlopостачання:

- середня температура вуличного повітря за опалювальний сезон, °С;
- кількість днів опалювального сезону;
- середня температура в подаючому трубопроводі за опалювальний сезон, °С;
- середня температура в зворотньому трубопроводі за опалювальний сезон, °С;
- відносний графік теплового споживання;
- середній масовий потік теплоносія, т/год.

За допомогою методики визначеної в додатку Б, на основі визначених параметрів кожної ділянки теплової мережі та системи в цілому, проводиться розрахунок теплових та гідравлічних втрат теплової енергії в теплових мережах системи тепlopостачання. Вікно налаштування ділянки теплової мережі зображено на рис. 2.10.

Назва об'єкта:	Ділянка ТМ №1	ID об'єкта:	0
<b>Загальна інформація</b>			
Діаметр труби, мм:	100		
Тип прокладки:	Підземна (безканальна) <span>▼</span>		
Тип ізоляції труби:	Пінополістирол <span>▼</span>		
Товщина ізоляції:	20		

Рисунок 2.10 – Вікно налаштування ділянки теплової мережі

Приклад розробленого проекту в редакторі мапи зображено на рис 2.11.

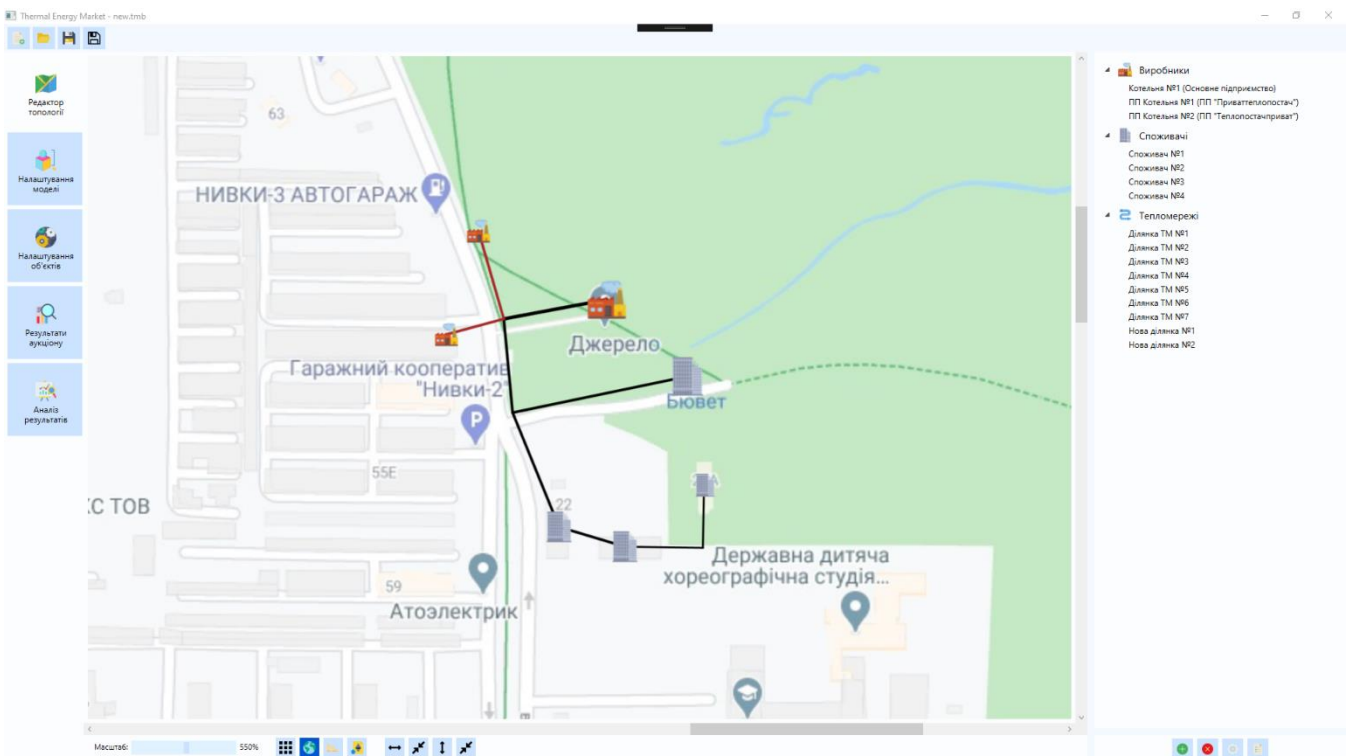
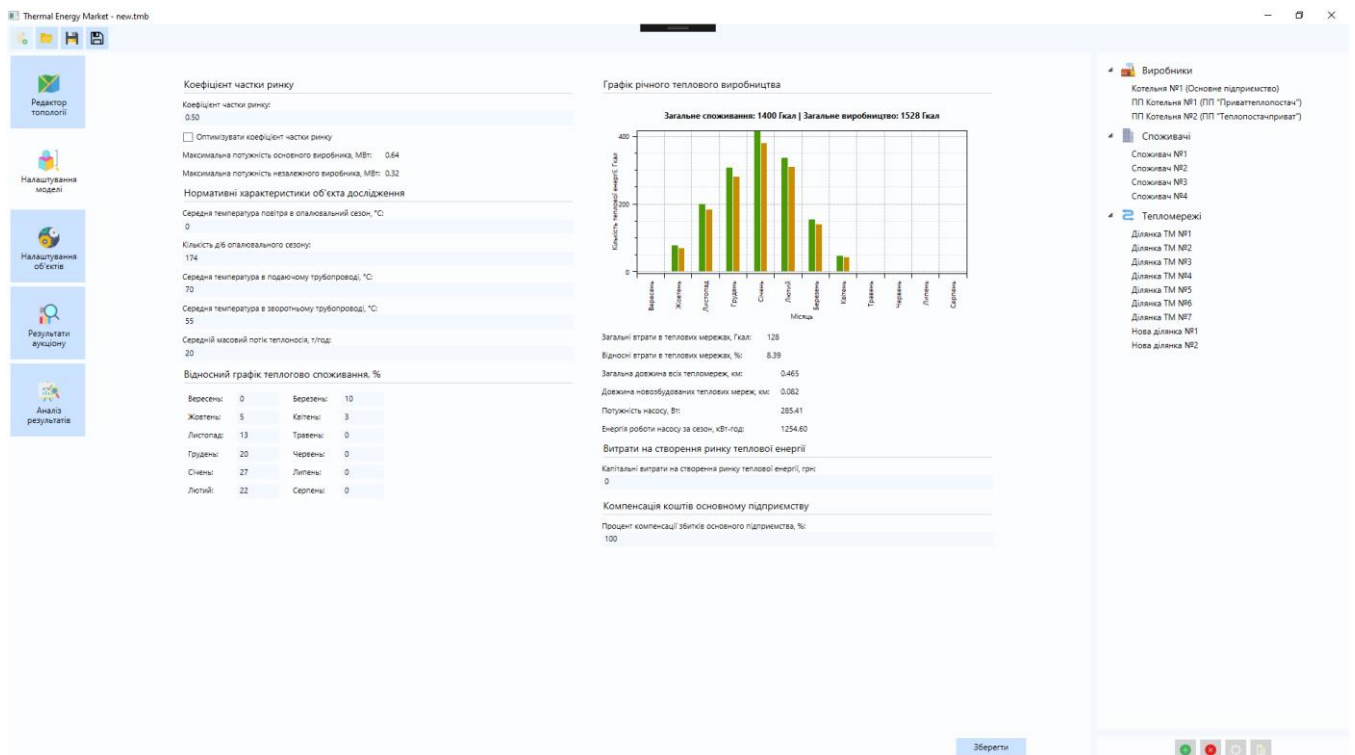


Рисунок 2.11 – Приклад розробленого проекту в редакторі мапи

В результаті розроблення проекту в програмному забезпеченні проводяться початкові розрахунки моделі в частині оцінки теплових і гідравлічних втрат в тепловій мережі та графіку споживання та виробництва теплової енергії. Вікно налаштування параметрів системи тепlopостачання та розрахунку теплових і гідравлічних втрат в тепловій мережі та графіку споживання та виробництва теплової енергії зображено на рис 2.12.



*Рисунок 2.12 – Вікно налаштування параметрів системи тепlopостачання та розрахунку теплових і гідравлічних втрат в тепловій мережі та графіку споживання та виробництва теплової енергії*

За вказаними параметрами «коефіцієнту частки ринку», «компенсації коштів основного виробнику» та «капітальні витрати на запровадження ЛРТЕ» виконується розрахунок моделі, де імітується проведення щомісячного аукціону куплі-продажу теплової енергії. За результатами аукціону визначаються виробники, які отримують можливість виробляти та продавати відповідну кількість теплової енергії. Розраховується помісячний та річний обсяг теплової енергії для кожного виробника, та на основі цього значення визначаються фінансові результати виробників, до яких

входять: тариф на теплову енергію, повний виторг, повні витрати, повний прибуток і рентабельність. В програмному забезпеченні є можливість оптимізувати ефективність ЛРТЕ в залежності від «коефіцієнта частки ринку» при визначених незалежних виробниках теплової енергії. Вікно з результатами аукціону зображено на рис 2.13.

The screenshot displays the 'Thermal Energy Market' application window. It features a sidebar with navigation icons for 'Редактор топології', 'Налаштування моделі', 'Налаштування об'єктів', 'Результати аукціону', and 'Аналіз результатів'. The main area is divided into two sections:

**Таблиця результатів проведення аукціону**

Назва виробника	Потужність, МВт	Жовтень	Листопад	Грудень	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Сума, Гкал
ПП "Приваттеплоостан"	0.33	39.0	101.3	155.9	206.8	171.5	77.9	23.4	778
ПП "Теплоостанчириват"	0.33	37.4	97.4	149.8	203.8	164.7	74.9	22.5	750
Основне підприємство	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0

**Таблиця фінансових результатів виробників**

Назва виробника	Потужність, МВт	Сума, Гкал	Тариф, грн/Гкал	Виторг, грн	Витрати, грн	Прибуток, грн	Відхилення, грн	Рентабельність, %
ПП "Приваттеплоостан"	0.33	778	882.06	686083	365532	320551	0	46.72
ПП "Теплоостанчириват"	0.33	750	937.96	703895	356420	347475	-17157	-49.36
Основне підприємство	0.64	0	1106.85	0	64207	-64207	-98901	0.00
		1528	909.51	1389978	786159	603819	-116059	

On the right side, there is a tree view of the network structure under 'Виробники', including 'Котельня №1 (Основне підприємство)', 'Котельня №1 (ПП "Приваттеплоостан")', 'Котельня №2 (ПП "Теплоостанчириват")', 'Споживачі' (Споживач №1-4), and 'Тепломережі' (Ділянка ТМ №1-7, Нова ділянка №1, Нова ділянка №2).

Рисунок 2.13 – Вікно результатів аукціону

Після проведеного аукціону куплі продажу теплової енергії розраховується тариф для кінцевого споживача при функціонуванні моделі «єдиного покупця». Тариф на теплову енергію розраховується для 3 випадків: при функціонуванні ЛРТЕ без компенсації збитків основному виробнику, при функціонуванні ЛРТЕ з компенсацією збитків основному виробнику та при існуючому монопольному становищі. Окрім тарифів розраховуються наступні показники:

- абсолютна вигода для споживачів (грн./рік);
- абсолютна вигода для виробників (грн./рік);
- абсолютна ефективність ринку (грн./рік);
- відносна вигода для споживачів (%);

- відносна вигода для виробників (%);
- відносна ефективність ринку (%);
- простий термін окупності ЛРТЕ (років);
- дисконтований термін окупності ЛРТЕ (років);
- оптимальний «коефіцієнт частки ринку»;
- графік залежності «коефіцієнта частки ринку» від відносної ефективності ЛРТЕ.

Вікно з результатами моделювання ЛРТЕ зображено на рис 2.14.



Рисунок 2.14 – Вікно результатів моделювання ЛРТЕ

Розраховані параметри дозволяють оцінювати перспективність впровадження ЛРТЕ в системах теплопостачання з врахуванням характеристик визначених незалежних виробників теплової енергії. При цьому, програмне забезпечення «Thermal Energy Market» може бути використане для проектування та розрахунку ЛРТЕ в системах теплопостачання в частині стратегічного планування розвитку міст.

## Висновки до розділу 2

1. Визначено перелік необхідних капітальних витрат для створення РТЕ. Без забезпечення РТЕ відповідними засобами, його функціонування неможливе, тому наведена класифікація щодо зон відповідальності при створенні РТЕ: зона виробників, зона теплопостачальної організації, зона споживачів, зона органів державної влади. Наведено порядок розрахунку капітальних витрат відповідно до класифікації зон відповідальності при створенні РТЕ.

2. Виходячи зі стратегії впровадження конкуренції в секторі теплопостачання України, визначено чітку функціональну структуру локальних ринків теплової енергії в СЦТ міст в комплексі технічних, економічних та управлінських аспектів. Визначено перелік суб'єктів локальних ринків теплової енергії та схема взаємозв'язків між ними.

3. При впровадженні ЛРТЕ в СЦТ міст є необхідність проведення аналізу на предмет економічної доцільності. Для цього необхідно використовувати модель, яка б могла оцінити необхідність створення конкурентних умов в тій чи іншій системі. При цьому, важливе значення мають такі параметри, як обсяг споживання теплової енергії в системі та кількість виробників теплової енергії, які приймають участь в ринку. Визначення характеру впливу цих показників на економічну доцільність впровадження ЛРТЕ в системі теплопостачання є пріоритетною задачею.

4. Визначено основні засади моделі ЛРТЕ, на основі яких базується процес її формалізації, для подальшої можливості отримання кількісних показників міри ефективності ЛРТЕ.

5. Запропоновано метод оцінки функції повних витрат виробників теплової енергії, які приймають участь в локальному РТЕ на основі їх техніко-технологічних властивостей з якими вони стають гравцями ринку.

6. Визначено основні процедурні аспекти проведення аукціонів куплі-продажу теплової енергії, де запропоновано, в якості механізмів державного регулювання ЛРТЕ такі показники як «коефіцієнт частки ринку» та «компенсація

збитків основного виробника», для забезпечення плавної інтеграції незалежних виробників теплової енергії при паралельному задоволенні інтересів комунального підприємства в існуючій СЦТ.

7. Визначено аналітичний метод оптимізації витрат виробників теплової енергії в умовах «неповного виграшу» аукціону куплі-продажу теплової енергії в умовах наявності декількох об'єктів теплогенерації в одного виробника теплової енергії.

8. Формалізовано міру ефективності ЛРТЕ для оцінки доцільності впровадження ринкових відносин в централізованих та помірно-централізованих системах тепlopостачання. Оцінка ефективності ЛРТЕ може бути визначальною при аналізі СЦТ та СП-ЦТ в частині впровадження конкурентних відносин між виробниками теплової енергії.

9. Розроблено засоби оцінки впровадження та функціонування ЛРТЕ в системах тепlopостачання, які дозволяють врахувати географічне розташування об'єктів, які приймають участь в процесі тепlopостачання з метою оцінки рівня відносної ефективності ЛРТЕ.

Основні положення даного розділу опубліковані автором даної роботи у наукових працях [1, 5, 7, 8, 9, 6]

## РОЗДІЛ 3

### ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ І ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ОЦІНКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ РИНКІВ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

#### 3.1. Оцінка рівня техніко-економічної ефективності автономного джерела теплової енергії

Ефективне використання енергетичних ресурсів є важливим фактором формування успішної економіки в державі. Зміна цін на ресурси в часі диктується природними або політичними обставинами, що в кінцевому випадку визначає вартість кінцевих продуктів для споживача. Ефективне використання енергетичних ресурсів визначається високим коефіцієнтом корисної дії трансформації та перетворення енергії з технічної точки зору, та диверсифікацією виробничих потужностей за типом ресурсу і використанням дешевих ресурсів з економічної точки зору.

У містах, де існує централізоване теплопостачання, система характеризується великою щільністю теплового споживання на одиницю площі. При цьому, в місті можуть існувати осередки автономних систем, які є власністю підприємств. Як правило, такі підприємства будують об'єкти теплогенерації для власних потреб і мають на меті ефективно використання енергетичних ресурсів, для зниження частки витрат на опалення, гаряче водопостачання або технологічний процес. Такі автономні системи теплопостачання, як правило, мають нерівномірне навантаження, що визначає певний рівень невикористаного потенціалу об'єкта теплогенерації. Враховуючи те, що такі системи мають високий рівень технічної ефективності, стає можливим створення конкурентних умов в містах, де існує централізоване теплопостачання.

Об'єктом дослідження є котельня, яка належить державному підприємству «Державтотрансндріпроект». Котельня працює в опалювальний період і виробляє теплову енергію для опалення приміщень державного підприємства. Котельня має на балансі 3 котлових агрегати: 2 котли потужністю 1,25 МВт кожний, які працюють

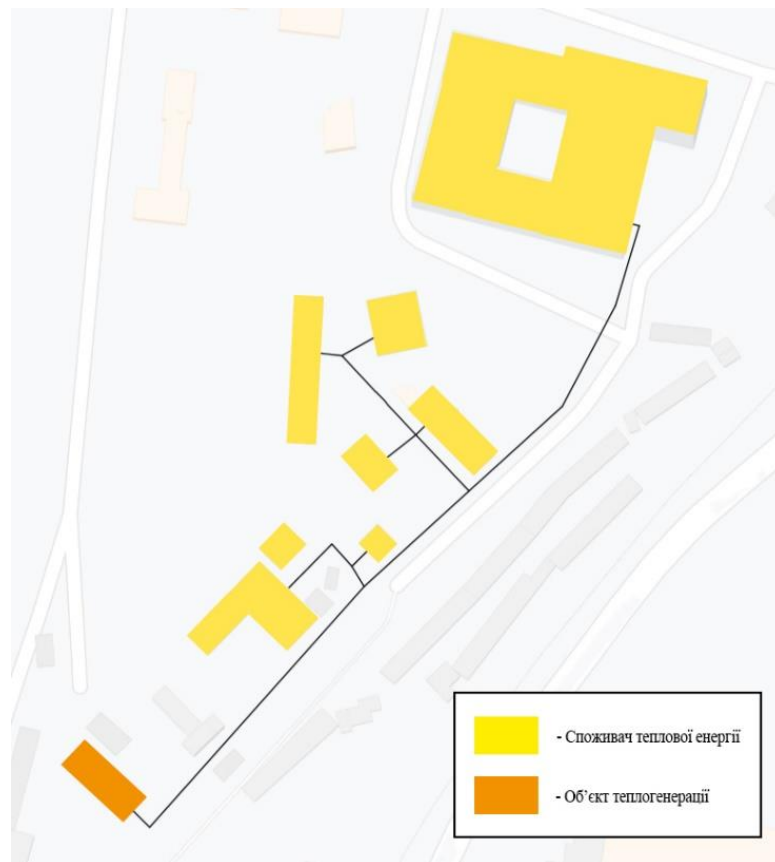
на природньому газі та 1 котел потужністю в 1 МВт, який працює на дров'яних пелетах. Для аналізу ефективності об'єкта теплогенерації, отримано інформацію про використання енергетичних ресурсів за останні 3 роки. Статистичні дані об'єкта теплогенерації за останні 3 роки представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики об'єкта дослідження

Рік	2016	2017	2018
Тип палива	Природний газ		
Кількість спожитого газу за рік, м <sup>3</sup>	179 753,00	52 617,00	20 685,00
Середня ціна, грн/м <sup>3</sup>	9,05	10,48	10,92
Загальна вартість газу, грн	1 626 454,56	551 399,01	225 861,91
Середня витрата газу на виробництво 1 Гкал, м <sup>3</sup> /Гкал	130		
Кількість вироблених Гкал	1 382,72	404,75	159,12
Частка від загального виробництва, %	79,02	23,91	8,10
Паливна складова, грн/Гкал	1 176,28	1 362,33	1 419,49
Тип палива	Дров'яні пелети		
Кількість спожитих пелет за рік, т	99,14	347,81	487,29
Середня ціна за рік, грн/т	2 267,49	2 819,23	3 677,74
Загальна вартість пелет, грн	224 799,23	980 555,54	1 792 127,75
Середня витрата пелет на виробництво 1 Гкал, кг/Гкал	270		
Кількість вироблених Гкал	367,19	1 288,19	1 804,78
Частка загального виробництва, %	20,98	76,09	91,90
Паливна складова, грн/Гкал	612,22	761,19	992,99
Сумарні показники			
Кількість виробленої теплової енергії за сезон, Гкал	1 749,90	1 692,93	1 963,89
Кількість спожитої теплової енергії за сезон, Гкал	1 574,91	1 523,64	1 767,50
Загальна вартість виробництва теплової енергії, грн	1 851 253,79	1 531 954,55	2 017 989,66
Паливна складова, грн/Гкал	1 057,92	904,91	1 027,55

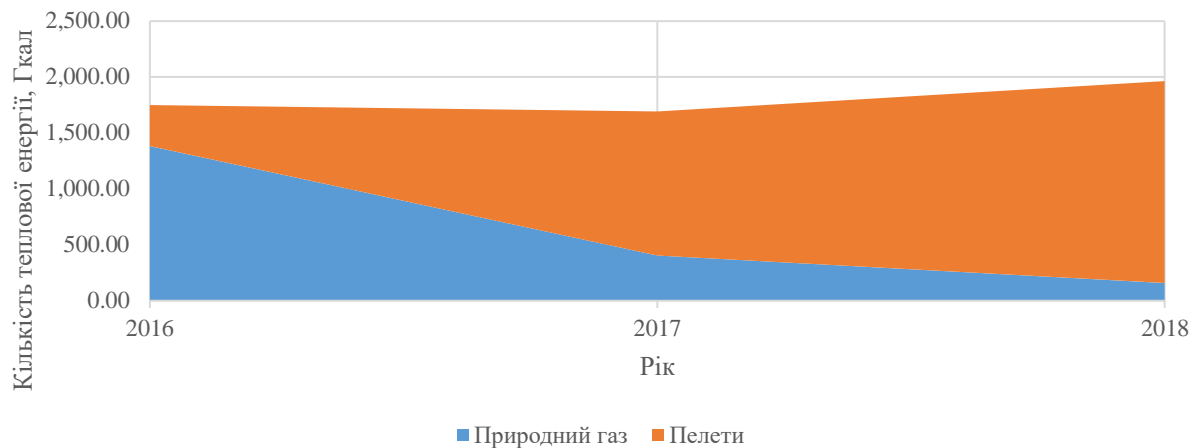
Будівля, яка опалюється, була введена в експлуатацію у 1974 році. Основна споруда має 18 основних поверхів, технічний поверх, підвальне приміщення. Тип будівлі – адміністративна. Загальна протяжність теплових мереж складає 368 м.

Існуюча конфігурація автономної системи тепlopостачання ДП «ДержавтотранснДіпроект» представлена на рис. 3.1.



*Рисунок 3.1 – Існуюча конфігурація автономної системи тепlopостачання ДП «ДержавтотранснДіпроект»*

Згідно статистичних даних за останні 3 роки, можна побачити, що частки типів джерел теплової енергії в загальному обсязі виробництва змінювались з часом. В 2016 році, виробництво теплової енергії з природного газу займало 79% від загального виробництва, не дивлячись на більш високе значення паливної складової. В 2017 і 2018 роках, частка виробництва теплової енергії з пелет зростала і становила 76% і 92% відповідно. Такі значення зумовлені меншою вартістю складової витрат при виробництві теплової енергії з пелет. Графічне відображення зміни частки виробництва в залежності від типу джерела в загальному обсязі виробництва теплової енергії представлено на рис. 3.2.



*Рисунок 3.2 – Зміна частки виробництва в залежності від типу джерела в загальному обсязі виробництва теплової енергії*

Визначено середнє значення споживання теплової енергії за останні 3 роки, яке складає 1620 Гкал. За допомогою авторського програмного забезпечення «Thermal Energy Market» (Додаток Б) визначено помісячні величини виробництва та втрат теплової енергії в теплових мережах за рік. Значення помісячного споживання, виробництва та втрат теплової енергії за рік наведені в табл. 3.2.

*Таблиця 3.2 – Помісячне споживання, виробництво та втрати теплової енергії в автономній системі теплопостачання за рік*

Місяць	Виробництво теплової енергії, Гкал	Споживання теплової енергії, Гкал	Втрати теплової енергії, Гкал
Січень	451	437	14
Лютий	368	356	12
Березень	167	162	5
Квітень	50	49	1
Травень	0	0	0
Червень	0	0	0
Липень	0	0	0
Серпень	0	0	0
Вересень	0	0	0
Жовтень	84	81	3
Листопад	217	211	6
Грудень	334	324	10
Сума	1671	1620	51

Графік споживання та виробництва теплової енергії для опалення наведений на рис. 3.3.

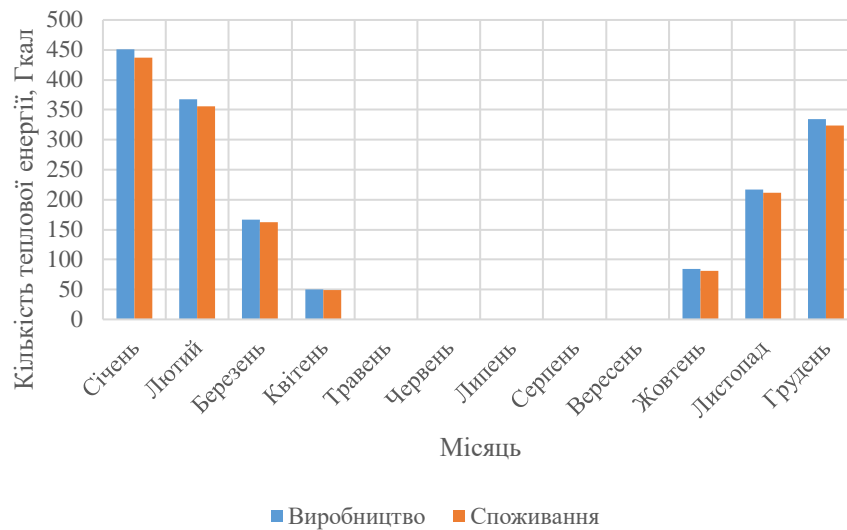


Рисунок 3.3 – Графік споживання та виробництва теплової енергії

Для визначення рівня ефективності об'єкта теплогенерації необхідно скласти функції повних витрат виробництва теплової енергії. Функція повних витрат визначається із статей витрат які характеризують складові частини процесу виробництва теплової енергії. Статті витрат для визначення функції повних витрат наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Статті витрат виробництва теплової енергії на об'єктах теплогенерації

Вид витрат	Тип витрат
Паливо	Змінні (грн/Гкал)
Доставка палива	Змінні (грн/Гкал)
Електроенергія	Змінні (грн/Гкал)
Заробітна плата робітничого складу	Постійні (грн/рік(місяць))
Заробітна плата адміністрації	Постійні (грн/рік(місяць))
Амортизація	Постійні (грн/рік(місяць))
Інші витрати	Постійні (грн/рік(місяць))

Вартість палива має функціональну залежність від часу. Протягом опалювального сезону, вартість палива може змінюватись до 30% в більшу чи

меншу сторону, тому врахування кон'юктурних змін на паливних ринках є важливим. В дослідженні враховуються дані вартостей природного газу та дров'яних пелет за 2018 рік. Помісячна зміна ціни на природний газ та дров'яні пелети представлено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Помісячна зміна ціни на природний газ та дров'яні пелети за 2018 рік

Місяць	Ціна природного газу, грн/1000м <sup>3</sup>	Ціна дров'яних пелет, грн/т
Січень	11604	3420
Лютий	11000	3410
Березень	9510	3470
Квітень	10420	3450
Травень	10490	3450
Червень	10990	3450
Липень	11800	3450
Серпень	12300	3450
Вересень	14600	3450
Жовтень	15800	3450
Листопад	15800	3940
Грудень	13510	4170

Графік помісячної зміни цін на природний газ та дров'яні пелети за останні 3 роки представлено на рис. 3.4.



Рисунок 3.4 – Графік помісячної зміни цін на природний газ та дров'яні пелети за 2016, 2017 та 2018 рік

Протягом опалювального періоду слід розрізнити функцію витрат в момент опалювального та неопалювального періоду через різне технічне навантаження на об'єкт теплогенерації. Для об'єкта дослідження буде визначено три місячні функції повних витрат: в місяць опалювального періоду, в місяць неопалювального періоду та в місяць перехідного періоду.

Згідно статистичної інформації об'єкта дослідження, функція місячних повних витрат для існуючої системи в місяць опалювального періоду виглядає наступним чином:

$$TC_{hp} = (0,13 \cdot f_{ng}(m) + 40)Q_1 + (0,27 \cdot f_{wp}(m) + 80)Q_2 + 56566 \quad (3.1)$$

де,

$m$  – поточний місяць,

$f_{ng}(m)$  – функція залежності ціни на природний газ від поточного місяця,

$f_{wp}(m)$  – функція залежності ціни на дров'яні пелети від поточного місяця,

$Q_1$  – кількість виробленої теплової енергії з природного газу, Гкал,

$Q_2$  – кількість виробленої теплової енергії з дров'яних пелет, Гкал.

Функція місячних повних витрат для існуючої системи в місяць неопалювального періоду виглядає наступним чином:

$$TC_{nhp} = (0,13 \cdot f_{ng}(m) + 40)Q_1 + (0,27 \cdot f_{wp}(m) + 80)Q_2 + 30056 \quad (3.2)$$

Функція місячних повних витрат для існуючої системи в місяць перехідного періоду виглядає наступним чином:

$$TC_{tp} = (0,13 \cdot f_{ng}(m) + 40)Q_1 + (0,27 \cdot f_{wp}(m) + 80)Q_2 + 56566 \left(\frac{n_{hp}}{n_{\Sigma}}\right) + 30056 \left(\frac{n_{nhp}}{n_{\Sigma}}\right) \quad (3.3)$$

де,

$n_{hp}$  – кількість днів опалювального періоду в поточному місяці,

$n_{\text{nhp}}$  – кількість днів неопалювального періоду в поточному місяці,

$n_{\Sigma}$  – загальна кількість днів в поточному місяці.

Згідно визначених функцій повних витрат пораховано помісячні повні витрати на виробництво теплової енергії в існуючій конфігурації автономної системи тепlopостачання.

Кожна з вищенаведених функцій повних витрат являє собою цільову функцію, яка підлягає мінімізації:

$$TC_{\text{hp}}(Q_1, Q_2), TC_{\text{nhp}}(Q_1, Q_2), TC_{\text{tp}}(Q_1, Q_2) \rightarrow \min \quad (3.4)$$

При цьому, обмеження являє собою рівність суми кількостей виробленої теплової енергії з природного газу та дров'яних пелет кількості місячної теплової енергії, яку повинен виробити досліджуваний об'єкт для забезпечення місячного попиту:

$$Q_1 + Q_2 = Q_m \quad (3.5)$$

де,

$Q_m$  – кількість теплової енергії, яку повинен виробити досліджуваний об'єкт для забезпечення попиту  $m$ -місяця, Гкал.

Результати розрахунку помісячних повних витрат наведено в табл. 3.5.

*Таблиця 3.5 – Помісячні повні витрати на виробництво теплової енергії в існуючій конфігурації автономної системи тепlopостачання*

Місяць	Вартість теплової енергії, грн
Січень	516 113
Лютий	430 818
Березень	228 412
Квітень	95 904
Травень	30 056
Червень	30 056
Липень	30 056
Серпень	30 056

Вересень	30 056
Жовтень	129 284
Листопад	308 192
Грудень	466 562
Сума	2 325 565

Таким чином, собівартість теплової енергії за рік визначається наступною формулою:

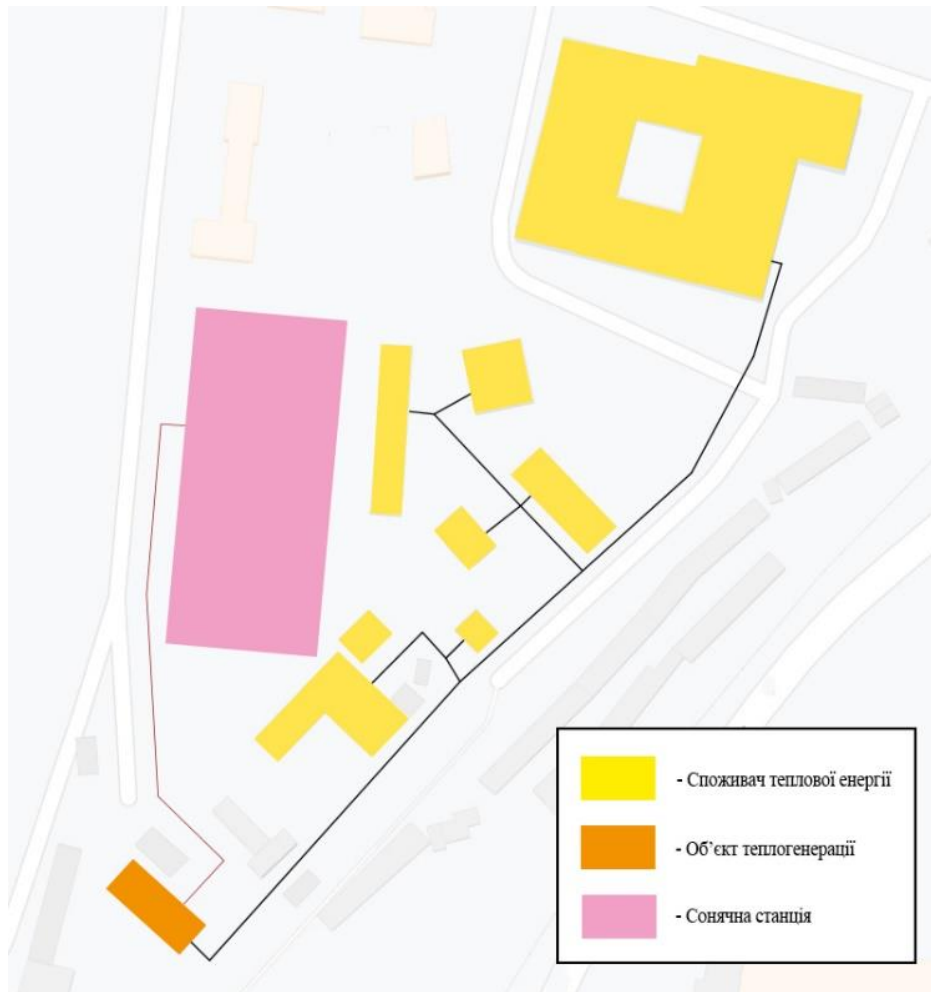
$$C = \frac{\sum_{i=1}^{12} TC_i}{\sum_{i=1}^{12} Q_i^c} \quad (3.6)$$

де,

$Q_i^c$  – кількість теплової енергії, яка споживається в і-тому місяці, Гкал.

Згідно результатів розрахунків, собівартість теплової енергії при постачанні на об'єкт дорівнює 1436 грн за Гкал.

Для першоетапного підвищення рівня ефективності об'єкта теплогенерації пропонується встановити станцію сонячних геліосистем загальною площею 2000 м<sup>2</sup>. При цьому, загальна довжина теплових мереж збільшилась до 515 м. Конфігурація автономної системи тепlopостачання ДП «Державтотрансндріпроект» після встановлення сонячної станції представлена на рис. 3.5.



*Рисунок 3.5 – Модернізована конфігурація автономної системи тепlopостачання ДП «Державтотрансндіпроект»*

Надходження сонячної енергії на одиницю площі в даній місцевості наведено в табл. 3.6 [96].

*Таблиця 3.6 – Помісячне надходження сонячної енергії на одиницю площі в м. Київ, Гкал/м<sup>2</sup>*

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Надходження сонячної енергії	0,02	0,034	0,065	0,092	0,135	0,141	0,141	0,118	0,081	0,045	0,019	0,014

Для розрахунку потенціалу використання сонячної енергії для виробництва теплової енергії використано статистичні дані надходження сумарної сонячної

радіації на горизонтальну поверхню. Графік надходження сонячної енергії на одиницю площі в м. Київ представлено на рис. 3.6.

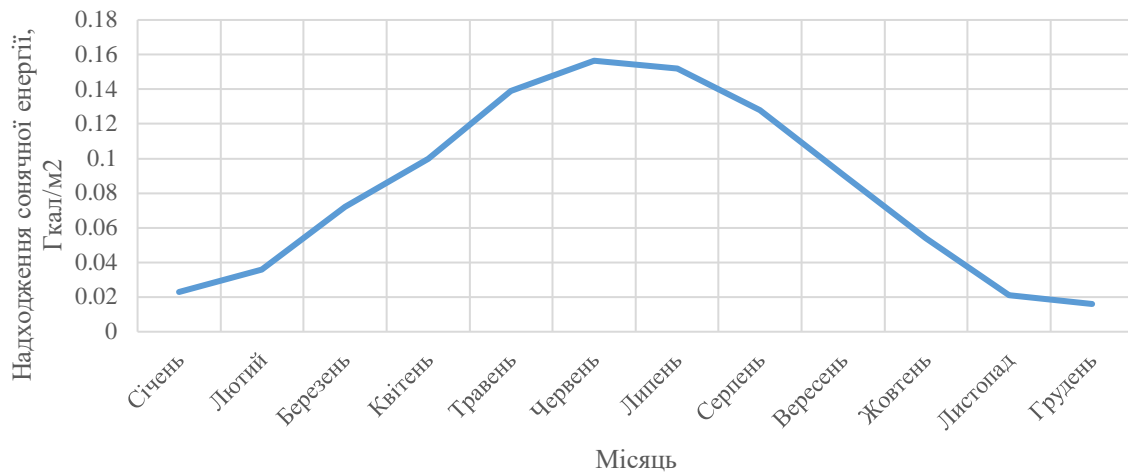


Рисунок 3.6 – Графік надходження сонячної енергії на одиницю площі в м. Київ

Таким чином, для станції сонячних геліосистем з коефіцієнтом корисної дії в розмірі 85% місячний потенціал виробництва теплової енергії складе:

$$H_m = W_m \cdot S \cdot \eta \cdot \eta_{hp} \quad (3.7)$$

де:

$W_m$  – надходження сонячної енергії на одиницю площі в  $m$ -місяці, Гкал/м<sup>2</sup>,

$S$  – загальна площа поверхонь сприйняття сонячної енергії станції геліосистем, м<sup>2</sup>,

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії станції геліосистем.

Результати розрахунку помісячного потенціалу станції сонячних геліосистем в опалювальний період наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Помісячний потенціал станції сонячних геліосистем в опалювальний період, Гкал

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Потенціал виробництва теплової енергії	44	75	137	98	0	0	0	0	0	51	41	30

Таким чином, річний потенціал виробництва теплової енергії з станції геліосистем площею 2000 м<sup>2</sup> складе 431 Гкал. Визначена величина не здатна покривати весь попит об'єкта дослідження, тому залучення встановлених котельних агрегатів, як доповнюючих джерел теплової енергії є необхідним.

Функція місячних повних витрат для модернізованої системи в місяць опалювального періоду виглядає наступним чином:

$$TC_{hp} = (0,13 \cdot f_{ng}(m) + 40)Q_1 + (0,27 \cdot f_{wp}(m) + 80)Q_2 + 30Q_3 + 81167 \quad (3.8)$$

де,

$Q_3$  – кількість виробленої теплової енергії за допомогою сонячних геліосистем, Гкал.

Функція місячних повних витрат для модернізованої системи в місяць неопалювального періоду виглядає наступним чином:

$$TC_{nhp} = (0,13 \cdot f_{ng}(m) + 40)Q_1 + (0,27 \cdot f_{wp}(m) + 80)Q_2 + 30Q_3 + 60167 \quad (3.9)$$

Функція місячних повних витрат для модернізованої системи в місяць перехідного періоду виглядає наступним чином:

$$TC_{tp} = (0,13 \cdot f_{ng}(m) + 40)Q_1 + (0,27 \cdot f_{wp}(m) + 80)Q_2 + 30Q_3 + 81167 \left(\frac{n_{hp}}{n_{\Sigma}}\right) + 60167 \left(\frac{n_{nhp}}{n_{\Sigma}}\right) \quad (3.10)$$

Згідно визначених функцій повних витрат пораховано помісячні повні витрати на виробництво теплової енергії в модернізованій конфігурації автономної системи тепlopостачання.

Кожна з вищенаведених функцій повних витрат являє собою цільову функцію, яка підлягає мінімізації:

$$TC_{hp}(Q_1, Q_2, Q_3), TC_{nhp}(Q_1, Q_2, Q_3), TC_{tp}(Q_1, Q_2, Q_3) \rightarrow \min \quad (3.11)$$

При цьому, складається два обмеження. Перше являє собою рівність суми кількостей виробленої теплової енергії з природного газу, дров'яних пелет та сонячної енергії кількості місячної теплової енергії, яку повинен виробити досліджуваний об'єкт для забезпечення місячного попиту. Друге характеризується неможливістю вироблення більшої кількості теплової енергії сонячною станцією, ніж вона здатна, згідно визначених технічних характеристик:

$$\begin{cases} Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_m, \\ Q_3 \leq H_m. \end{cases} \quad (3.12)$$

При розрахунку моделі вважається, що тепла енергія, яка була вироблена геліосистемою займає собою базовий графік навантаження, а джерела енергії які використовують природний газ та дров'яні пелети покривають залишок навантаження, який необхідно забезпечити відповідно до попиту, який формує споживач.

За допомогою авторського програмного забезпечення «Thermal Energy Market» (Додаток Б) визначено помісячні величини втрат теплової енергії в теплових мережах за рік після будівництва сонячної станції. Значення помісячного споживання, виробництва та втрат теплової енергії за рік наведені в табл. 3.8.

*Таблиця 4.8 – Помісячне споживання, виробництво та втрати теплової енергії в автономній системі теплопостачання за рік після будівництва станції*

Місяць	Виробництво теплової енергії (сонячна станція), Гкал	Виробництво теплової енергії (котельня), Гкал	Споживання теплової енергії, Гкал	Втрати теплової енергії, Гкал
Січень	44	414	437	14
Лютий	75	299	356	12

Березень	137	32	162	5
Квітень	52	0	49	1
Травень	0	0	0	0
Червень	0	0	0	0
Липень	0	0	0	0
Серпень	0	0	0	0
Вересень	0	0	0	0
Жовтень	51	34	81	3
Листопад	41	179	211	6
Грудень	30	310	324	10
Сума	431	1267	1620	51

Графік помісячного виробництва теплової енергії після модернізації представлено на рис. 3.7.

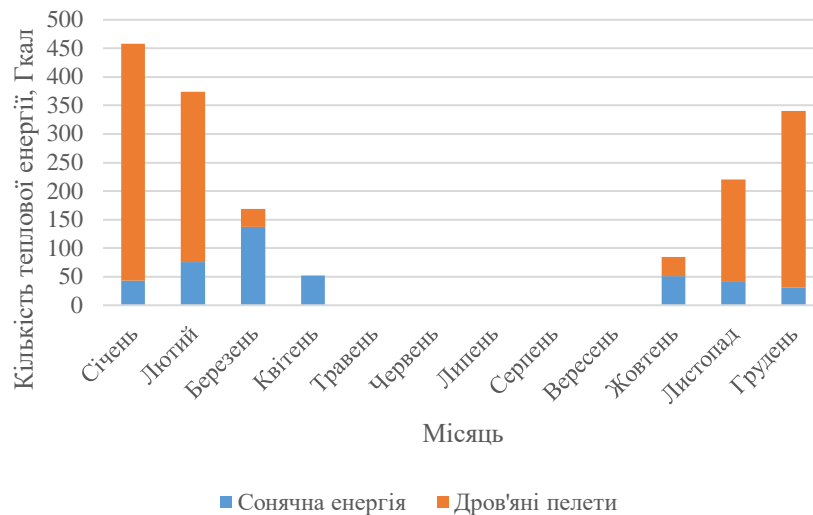


Рисунок 3.7 – Графік помісячного виробництва теплової енергії після модернізації

Результати розрахунку повних витрат на виробництво теплової енергії при модернізованій системі представлені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Помісячні повні витрати на виробництво теплової енергії в модернізованій конфігурації автономної системи тепlopостачання

Місяць	Вартість теплової енергії, грн
Січень	498 239
Лютий	382 175
Березень	117 965

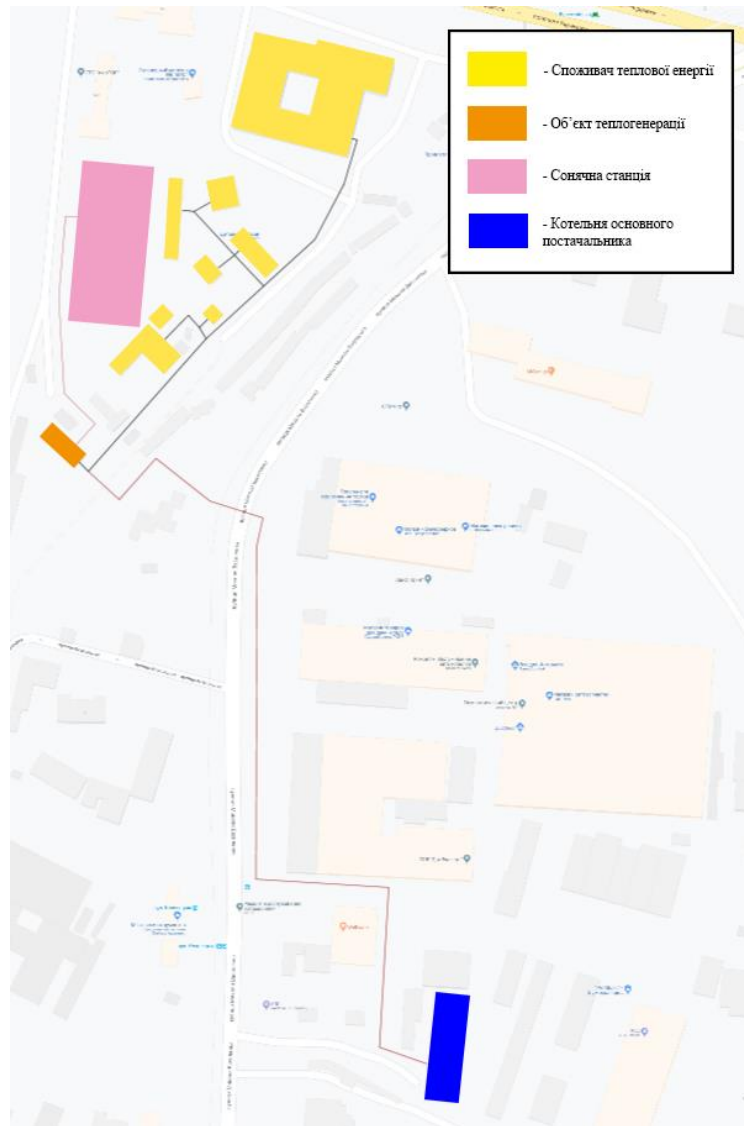
Квітень	72 227
Травень	60 167
Червень	60 167
Липень	60 167
Серпень	60 167
Вересень	60 167
Жовтень	106 275
Листопад	287 013
Грудень	455 412
Сума	2 220 142

Таким чином, згідно формули (34), собівартість теплової енергії після модернізації автономної системи складе 1370 грн за Гкал, що на 4,6% менше, ніж при існуючій системі.

### 3.2. Інтеграція автономного об'єкта теплогенерації в централізовану систему теплопостачання на конкурентних умовах

Розглядаючи модернізовану систему теплопостачання, можна констатувати, що в ній не реалізується повністю весь енергетичний потенціал, що є причиною не максимальної ефективності системи. У зв'язку з цим, пропонується підключення автономної системи теплопостачання об'єкта дослідження до ЦСТ м. Києва з метою постачання надлишкової теплової енергії на конкурентних умовах, для забезпечення зниження загальної собівартості теплової енергії, а також надання можливості зниження тарифу на теплову енергію для кінцевого споживача централізованої системи теплопостачання в м. Києві. Станом на 2019 рік, постачальник теплової енергії в м. Київ, визначає для бюджетних організацій тариф у розмірі 1658,98 грн/Гкал, а для інших споживачів – 1825,45 грн/Гкал. Тому, раніше розрахована ціна виробництва теплової енергії об'єктом дослідження, із врахуванням норми прибутку, може бути конкурентна.

Запропонована схема підключення об'єкта дослідження до ЦСТ через котельню основного постачальника теплової енергії представлена на рис. 3.8.



*Рисунок 3.8 – Модернізована конфігурація автономної системи теплопостачання ДП «Державотрансдінпроект» після підключення до ЦСТ*

Згідно встановленої потужності на об'єкті теплогенерації, кількість виробленої надлишкової теплової енергії за конкурентною ціною по відношенню до тарифів основного постачальника дорівнює 2500 Гкал. Після підключення об'єкта теплогенерації до централізованої системи кількість довжини трубопроводу в двохтрубному вимірі збільшилась на 497 м. За допомогою авторського програмного забезпечення «Thermal Energy Market» визначено помісячні величини втрат теплової енергії в теплових мережах за рік після підключення до ЦСТ а також величину

затрат електричної енергії на прокачування теплоносія до ЦСТ. Результати розрахунків представлені в табл. 4.10.

*Таблиця 3.10 – Помісячне споживання, виробництво та втрати теплової енергії в автономній системі тепlopостачання за рік після підключення до ЦСТ*

Місяць	Споживання теплової енергії (власні потреби), Гкал	Втрати теплової енергії при транспортуванні на власні потреби, Гкал	Додатковий конкурентний потенціал виробництва теплової енергії, Гкал	Втрати при передачі в централізовану систему, Гкал	Кількість проданої енергії, Гкал
Січень	437	14	226	74	152
Лютий	356	12	280	63	217
Березень	162	5	609	25	584
Квітень	49	1	335	11	325
Травень	0	0	0	0	0
Червень	0	0	0	0	0
Липень	0	0	0	0	0
Серпень	0	0	0	0	0
Вересень	0	0	0	0	0
Жовтень	81	3	276	14	262
Листопад	211	6	441	32	409
Грудень	324	10	331	56	275
Сума	1620	51	2499	275	2224

Для справедливого розрахунку повних витрат при роботі системи в двох напрямках (власні потреби та ринкові відносини) необхідно розділяти постійну складову функції витрат пропорційно кількості виробленої теплової енергії. Ціна на теплову енергію для продажу розраховується із врахуванням рентабельності виробництва.

Функція місячних повних витрат для модернізованої системи в місяць опалювального періоду на власні потреби виглядає наступним чином:

$$TC_{hp} = (0,13 \cdot f_{ng}(m) + 40)Q_1 + (0,27 \cdot f_{wp}(m) + 80)Q_2 + 30Q_3 + 81167 \left( \frac{Q_m}{Q_\Sigma} \right) \quad (3.13)$$

Функція місячних повних витрат для модернізованої системи в місяць неопалювального періоду на власні потреби виглядає наступним чином:

$$TC_{nhp} = (0,13 \cdot f_{ng}(m) + 40)Q_1 + (0,27 \cdot f_{wp}(m) + 80)Q_2 + 30Q_3 + 60167 \left( \frac{Q_m}{Q_\Sigma} \right) \quad (3.14)$$

Функція місячних повних витрат для модернізованої системи в місяць перехідного періоду на власні потреби виглядає наступним чином:

$$TC_{tp} = (0,13 \cdot f_{ng}(m) + 40)Q_1 + (0,27 \cdot f_{wp}(m) + 80)Q_2 + 30Q_3 + 81167 \left( \frac{Q_m \cdot n_{hp}}{Q_\Sigma \cdot n_\Sigma} \right) + 60167 \left( \frac{Q_m \cdot n_{nhp}}{Q_\Sigma \cdot n_\Sigma} \right) \quad (3.15)$$

де,

$Q_\Sigma$  – сумарна кількість виробленої теплової енергії, Гкал.

Функція місячних повних витрат для модернізованої системи в місяць опалювального періоду для продажу виглядає наступним чином:

$$TC_{hp}^s = (0,13 \cdot f_{ng}(m) + 40)Q_1 + (0,27 \cdot f_{wp}(m) + 80)Q_2 + 30Q_3 + 40(Q_\Sigma - Q_m) + 81167 \left( \frac{Q_\Sigma - Q_m}{Q_\Sigma} \right) \quad (3.16)$$

Функція місячних повних витрат для модернізованої системи в місяць неопалювального періоду для продажу виглядає наступним чином:

$$TC_{nhp}^s = (0,13 \cdot f_{ng}(m) + 40)Q_1 + (0,27 \cdot f_{wp}(m) + 80)Q_2 + 30Q_3 + 40(Q_\Sigma - Q_m) + 60167 \left( \frac{Q_\Sigma - Q_m}{Q_\Sigma} \right) \quad (3.17)$$

Функція місячних повних витрат для модернізованої системи в місяць перехідного періоду для продажу виглядає наступним чином:

$$TC_{tp}^S = (0,13 \cdot f_{ng}(m) + 40)Q_1 + (0,27 \cdot f_{wp}(m) + 80)Q_2 + 30Q_3 + 40(Q_\Sigma - Q_m) + 81167 \left( \frac{(Q_\Sigma - Q_m) \cdot n_{hp}}{Q_\Sigma \cdot n_\Sigma} \right) + 60167 \left( \frac{(Q_\Sigma - Q_m) \cdot n_{nhp}}{Q_\Sigma \cdot n_\Sigma} \right) \quad (3.18)$$

Результати розрахунків представлені в табл. 3.11.

*Таблиця 3.11 – Помісячні повні витрати на виробництво теплової енергії в модернізованій конфігурації автономної системи тепlopостачання після підключення до ЦСТ для власних потреб та для продажу в систему централізованого постачання*

Місяць	Вартість теплової енергії для власних потреб, грн	Вартість теплової енергії для продажу в систему тепlopостачання, грн
Січень	449 539	299 185
Лютий	333 475	357 342
Березень	69 265	726 544
Квітень	29 827	366 988
Травень	24 067	37 905
Червень	24 067	37 905
Липень	24 067	37 905
Серпень	24 067	37 905
Вересень	24 067	37 905
Жовтень	63 875	349 650
Листопад	246 430	599 551
Грудень	414 829	507 445
Сума	1 727 573	3 396 231

Таким чином, після підключення об'єкта дослідження до ЦСТ, собівартість виробництва теплової енергії на власні потреби знизилась до 1066 грн/Гкал. В той же час, ціна на теплову енергію для продажу в систему централізованого тепlopостачання становить 1527 грн/Гкал і є конкурентною по відношенню до основного постачальника.

### 3.3. Оцінка терміну окупності впровадження локального ринку теплової енергії

Розподільча 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 вводів споживача, – групи компактно розташованих житлових и громадських будинків.

Для розрахунку терміну окупності РТЕ міста Ірпінь було використано авторське програмне забезпечення «Thermal Energy Market» [5] в основу якого покладено імітаційну модель визначену в розділі 3. В першу чергу, необхідно визначити загальну вигоду від створення РТЕ при його функціонуванні за один календарний рік. Оскільки, суть моделі полягає у визначенні різниці економічних результатів функціонування системи тепlopостачання міста при монополії та конкуренції, необхідно побудувати існуючу систему тепlopостачання міста.

Існуюча система тепlopостачання м. Ірпінь представлена на рис. 3.9.



*Рисунок 3.9 – Існуюча система тепlopостачання міста Ірпінь в програмному забезпеченні «Thermal Energy Market»*

Аналізуючи побудовану схему можна визначити, що на даний момент існує 4 великі не пов'язані між собою системи теплових мереж. Загальна довжина теплових мереж існуючої системи за результатами розрахунків складає приблизно 19 км. Основні технічні характеристики існуючої системи представлені в табл. 3.12.

Таблиця 3.12 – Основні технічні характеристики існуючої системи теплопостачання в місті Ірпінь

Характеристика системи теплопостачання	Величина
Загальна довжина теплових мереж	18,896 км
Споживання теплової енергії в системі теплопостачання за рік	42 137 Гкал
Виробництво теплової енергії джерелами теплогенерації за рік	48 065 Гкал
Втрати теплової енергії в мережах за рік	5 928 Гкал
Відносні втрати в теплових мережах	12,33 %

В системі теплопостачання м. Ірпінь відсутнє централізоване ГВП. Графік споживання та виробництва теплової енергії на опалення по місяцям в місті Ірпінь представлено на рисунку 3.10.

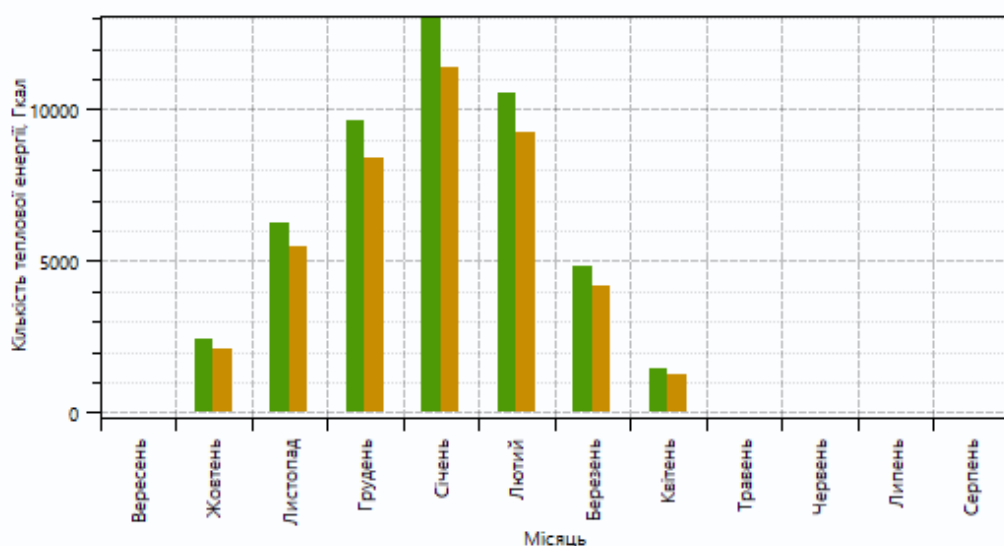


Рисунок 3.10 – Графік споживання та виробництва теплової енергії на опалення по місяцям в місті Ірпінь (зелений – величина виробництва, помаранчевий – величина споживання)

На основі визначеного стану системи теплопостачання м. Ірпінь, спроектовано пов'язану систему теплових мереж і виробників (незалежних та основного). Нова спроектована система утворює основу для функціонування РТЕ в місті. Проект нової системи представлений на рис. 3.11.



*Рисунок 3.11 – Спроектвана система теплопостачання міста Ірпінь на основі існуючої в програмному забезпеченні «Thermal Energy Market» для забезпечення функціонування РТЕ*

Основні технічні характеристики системи для РТЕ представлені в табл. 3.13.

Таблиця 3.13 – Основні технічні характеристики системи тепlopостачання в місті Ірпінь при функціонуванні РТЕ

Характеристика системи тепlopостачання	Величина
Загальна довжина теплових мереж	33,661 км
Довжина новозбудованих теплових мереж	14,765 км
Споживання теплової енергії в системі тепlopостачання за рік	42 137 Гкал
Виробництво теплової енергії джерелами теплогенерації за рік	53 107 Гкал
Втрати теплової енергії в мережах за рік	10 970 Гкал
Відносні втрати в теплових мережах	20,66 %

При створенні системи для РТЕ, за рахунок будівництва нових теплових мереж бачимо збільшення абсолютних та відносних втрат майже вдвічі відносно монопольного становища в місті.

Графік споживання та виробництва теплової енергії на опалення по місяцям в місті Ірпінь при функціонуванні РТЕ представлено на рисунку 3.12.

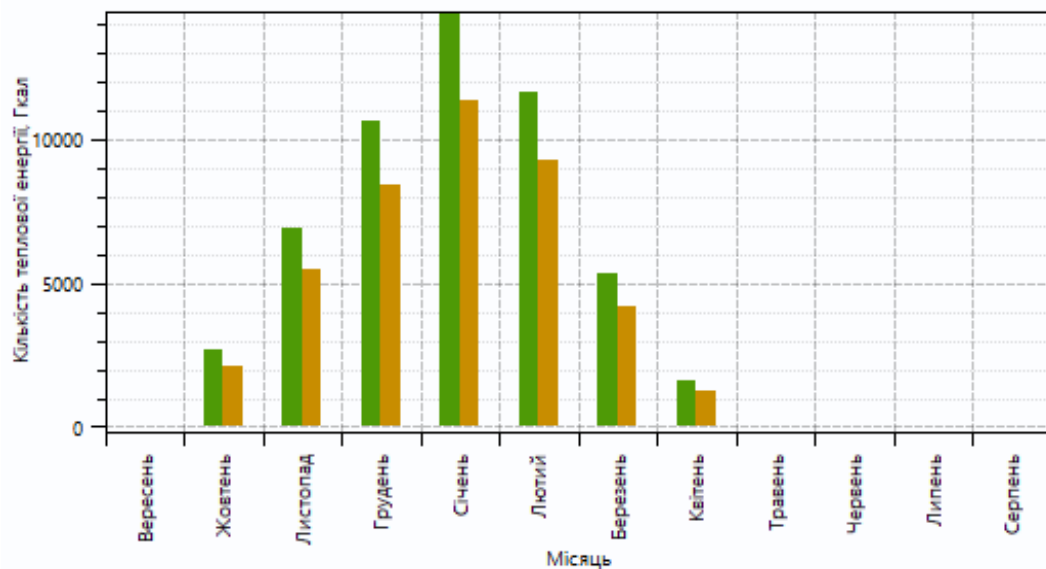


Рисунок 3.12 – Графік споживання та виробництва теплової енергії на опалення по місяцям в місті Ірпінь при функціонуванні РТЕ (зелений – величина виробництва, помаранчевий – величина споживання)

В моделі визначено 7 незалежних виробників, які підключають свої об'єкти теплогенерації до об'єднаної теплової мережі міста. Кожен з виробників має власні ресурси, на основі яких впроваджує свою підприємницьку діяльність з виробництва теплової енергії. Кожен з виробників визначає свої капітальні витрати на будівництво об'єктів та експлуатаційні витрати на виробництво теплової енергії. Виходячи з цих показників, виробник прогнозує свій прибуток за сезон, враховуючи свою допустиму норму прибутку. Так складається прогнозований тариф, виходячи з кількості теплової енергії, яку виробник може продати за рік, яка в свою чергу визначається в залежності від коефіцієнту частки ринку, яка існує на РТЕ в даний час. Характеристика постійних і змінних витрат виробників теплової енергії представлені в табл 3.14, де  $Q$  – кількість теплової енергії, яку виробник фактично продає в теплову мережу за аукціоном куплі-продажу теплової енергії за рік,  $W$  – встановлена потужність об'єктів теплогенерації виробника теплової енергії. Постійні та змінні складові функції повних витрат сформовані відповідно до технології, яку використовує кожен з виробників та рівня ринкових цін на додаткові ресурси, заробітні плати робітників та обладнання, яке використовується для здійснення підприємницької діяльності.

Таблиця 3.14 – Характеристика постійних і змінних витрат виробників теплової енергії

№ Виробника	Змінна складова (грн./Гкал)	Постійна складова (грн./рік)
Основний виробник	1210	$150000 \cdot Q^{0,8} + 300000 \cdot Q^{0,4} + 500000 \cdot Q^{0,6} + \frac{1000000 \cdot W^{0,55}}{W} + 200000$
Виробник №1	682	$250000 \cdot Q^{0,8} + 400000 \cdot Q^{0,4} + 600000 \cdot Q^{0,6} + \frac{1500000 \cdot W^{0,6}}{W} + 300000$
Виробник №2	570	$220000 \cdot Q^{0,8} + 500000 \cdot Q^{0,4} + 550000 \cdot Q^{0,6} + \frac{1800000 \cdot W^{0,7}}{W} + 300000$
Виробник №3	10	$100000 \cdot Q^{0,8} + 100000 \cdot Q^{0,4} + 300000 \cdot Q^{0,6} + \frac{3500000 \cdot W^{0,8}}{W} + 400000$

Виробник №4	200	$120000 \cdot Q^{0,8} + 300000 \cdot Q^{0,4} + 200000 \cdot Q^{0,6} + \frac{3000000 \cdot W^{0,7}}{W} + 300000$ 20
Виробник №5	757	$250000 \cdot Q^{0,8} + 400000 \cdot Q^{0,4} + 400000 \cdot Q^{0,6} + \frac{1900000 \cdot W^{0,65}}{W} + 400000$ 16
Виробник №6	810	$220000 \cdot Q^{0,8} + 450000 \cdot Q^{0,4} + 700000 \cdot Q^{0,6} + \frac{1700000 \cdot W^{0,6}}{W} + 300000$ 8
Виробник №7	609	$240000 \cdot Q^{0,8} + 500000 \cdot Q^{0,4} + 650000 \cdot Q^{0,6} + \frac{2200000 \cdot W^{0,6}}{W} + 400000$ 8

В даній системі існують наступні правила проведення аукціону з куплі-продажу теплової енергії:

- аукціон проводиться раз на місяць протягом опалювального періоду;
- заявки від кожного виробника подаються перед аукціоном на обсяг теплової енергії, який виробник готовий продати протягом місяця, та ціну, за якою виробник готовий продати цей обсяг;
- за результатами аукціону проводиться розподілення заявок, які перемогли, по графіку теплових навантажень на наступний місяць;
- за заявками, які перемогли, формується середньозважена ціна на наступний місяць на виробництво теплової енергії, за якою транспортувальна організація формує тариф для перепродажу з врахування складових транспортування та постачання споживачами.

При варіюванні коефіцієнту частки ринку спостерігається зміна відносної ефективності ЛРТЕ при визначених виробниках теплової енергії. В роботі, процес оптимізації відносної ефективності ЛРТЕ виконаний шляхом перебору коефіцієнту частки ринку від 0 до 1 з кроком в 0,01. Оптимальний коефіцієнт частки ринку, визначений за допомогою моделі, приймається для функціонування в рамках ЛРТЕ для забезпечення максимальних вигод споживачів і виробників при визначених умовах. Залежність відносної ефективності РТЕ від коефіцієнта частки ринку представлений на рис. 3.13.

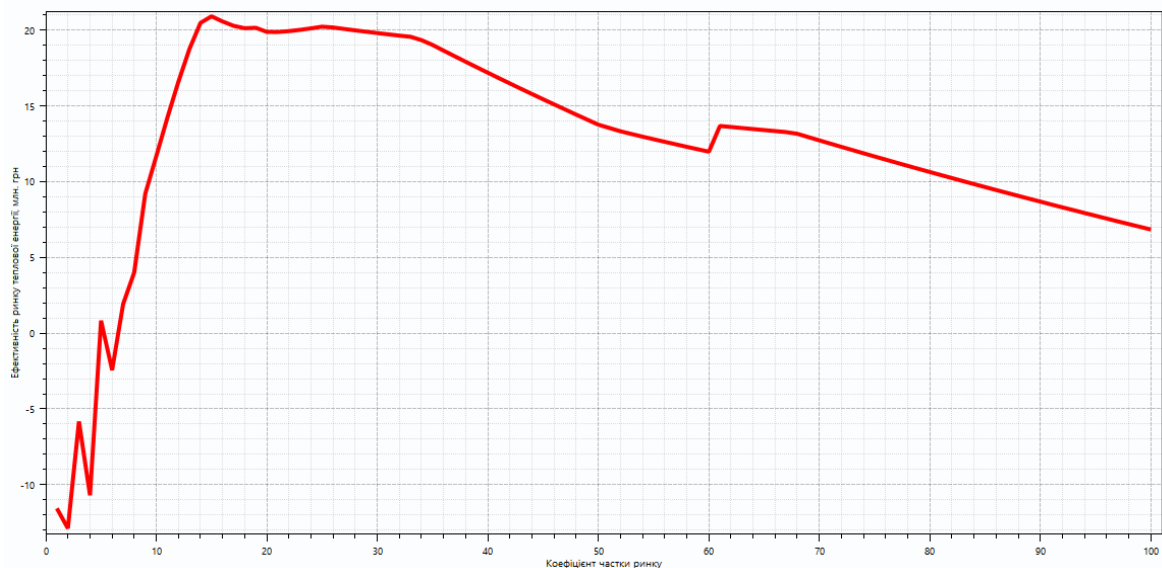


Рисунок 3.13 – Графік залежності відносної ефективності РТЕ від коефіцієнта частки ринку

Отже, оптимальний коефіцієнт частки ринку на основі проведених розрахунків становить 0,15. Функція залежності відносної ефективності РТЕ від коефіцієнта частки ринку в діапазоні  $[0, X_{\text{опт}}]$  не є монотонно зростаючою і в діапазоні  $[X_{\text{опт}}, 1]$  не є монотонно спадною в силу реалізації результатів аукціону при визначеному коефіцієнті частки ринку, де виникають ситуації, при яких, постійні статті витрат незалежних виробників не компенсуються обсягами проданої теплової енергії на ринку.

Характеристика виробників теплової енергії при функціонуванні РТЕ при коефіцієнті частки ринку 0,15 представлена в табл. 3.15.

Таблиця 3.15 – Характеристик виробників теплової енергії на РТЕ в м. Ірпінь

Назва виробника	Кількість об'єктів теплогенерації	Вид енергетичного ресурсу	Прогнозований тариф, грн./Гкал	Прогнозована норма прибутку, %	Ліміт теплової енергії за рік, Гкал
Основний виробник	23	Природний газ	1608,77	3	53107
Незал. виробник №1	3	Біомаса (пелети деревини)	1124,94	35	7927
Незал. виробник №2	2	Біомаса (пелети соломи)	1356,54	32	7927
Незал. виробник №3	2	Сонячна енергія	1281,12	40	7927
Незал. виробник №4	3	Енергія навколишнього	1366,58	36	7927

		середовища			
Незал. виробник №5	1	Біомаса (дровяна тріска)	1006,5	33	7927
Незал. виробник №6	2	Торф (пелети)	1257,41	34	7927
Незал. виробник №7	2	Біомаса (пелети з лушпиння соняшника)	886,73	30	7927

На основі поданих заявок виробників, які містять кількість теплової енергії та ціну на неї, за яку виробники готові її продати проводиться аукціон, де визначаються виробники які будуть виробляти і продавати теплову енергію за вказаною в заявці ціною. Результати проведення аукціону представлені в табл. 3.16 та 3.17.

*Таблиця 3.16 – Результати проведення аукціону на РТЕ, Гкал (за опалювальний сезон)*

№	Назва виробника	Жовтень	Листопад	Грудень	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Сума
1	Виробник №7	398,3	1035,6	1593,2	2111,5	1752,5	796,6	239,0	7927
2	Виробник №5	398,3	1035,6	1593,2	2015,5	1752,5	796,6	239,0	7927
3	Виробник №1	398,3	1035,6	1593,2	2063,5	1752,5	796,6	239,0	7927
4	Виробник №6	398,3	1035,6	1593,2	2111,5	1752,5	796,6	239,0	7927
5	Виробник №3	398,3	1035,6	1593,2	2111,5	1752,5	796,6	239,0	7927
6	Виробник №2	398,3	1035,6	1593,2	2111,5	1752,5	796,6	239,0	7927
7	Виробник №4	265,5	690,4	1062,1	1814,1	1168,4	531,1	159,3	5691
8	Основний виробник	0	0	0	0	0	0	0	0

*Таблиця 3.17 – Фінансові результати проведення аукціону на РТЕ (за опалювальний сезон)*

№	Назва виробника	Виторг, грн.	Витрати, грн	Прибуток, грн	Відхилення, грн	Рентабельність, %
1	Виробник №7	7 028 836	3 141 885	3 886 950	0	55,3
2	Виробник №5	7 881 634	6 828 732	1 052 902	0	13,36
3	Виробник №1	8 863 099	6 708 699	2 154 400	0	24,31
4	Виробник №6	9 967 122	8 718 730	1 248 392	0	12,53
5	Виробник №3	10 155 112	9 201 221	954 891	0	9,39
6	Виробник №2	10 752 899	8 655 560	2 097 339	0	19,5
7	Виробник №4	7 777 272	6 936 985	840 287	-1 370 651	10,8
8	Основний виробник	0	6 222 469	- 6 222 469	-6 344 735	0

За результатами проведеного аукціону маємо результати з точки зору фінансових показників кожного з виробників, а також сумарні величини, які характеризують ефективність РТЕ. В табл. 3.18 представлені результати роботи РТЕ в місті Ірпінь.

Таблиця 3.18 – Прогнозовані результати роботи РТЕ в м. Ірпінь (за опалювальний сезон)

	При функціонуванні РТЕ без компенсації	При функціонуванні РТЕ з компенсацією	При відсутності РТЕ
Вартість спожитої теплової енергії, грн.	62 425 801	68 648 270	77 325 682
Середній тариф для споживача, грн/Гкал	1481,5	1629,1	1835,1
Абсолютна вигода для споживачів, грн	11 788 645	8 677 411	-
Абсолютна вигода для виробників, грн	15 345 396	12 234 161	-
Абсолютна ефективність РТЕ	27 134 041	20 911 573	-
Відносна вигода для споживачів, %	15,24	11,22	-
Відносна вигода для виробників, %	19,84	15,82	-
Відносна ефективність РТЕ, %	35,08	27,04	-

Розраховано суму капітальних затрат на створення РТЕ в місті Ірпінь згідно існуючих технічних засобів на даний момент:

$$C_{\Sigma}^{\text{РТЕ}} = C_{\Sigma}^{\text{В}} + C_{\Sigma}^{\text{ТО}} + C_{\Sigma}^{\text{С}} + C_{\Sigma}^{\text{ДО}} = 20 + 90 + 20 + 10 = 140 \text{ млн. грн}$$

За визначеними результатами функціонування РТЕ в м. Ірпінь визначено простий термін окупності:

$$T^{\text{пр}} = \frac{C_{\Sigma}^{\text{РТЕ}}}{E} = \frac{140\,000\,000}{20\,911\,573} \approx 6,7 \text{ років}$$

Розраховано ДТО ЛРТЕ в місті Ірпінь при умові  $i = 14\%$ . Результати розрахунку для кожного  $s$  років представлено в табл. 3.19. Графік залежності NPV від року представлений на рис. 4.14.

Таблиця 3.19 – Розрахунок дисконтованого терміну окупності РТЕ в м. Ірпінь

Рік	NPV (i), млн. грн.
0	-140,00
1	-119,09
2	-100,74
3	-84,65
4	-70,54
5	-58,16
6	-47,30
7	-37,77
8	-29,41
9	-22,08
10	-15,65
11	-10,01
12	-5,06
13	-0,72
14	3,08

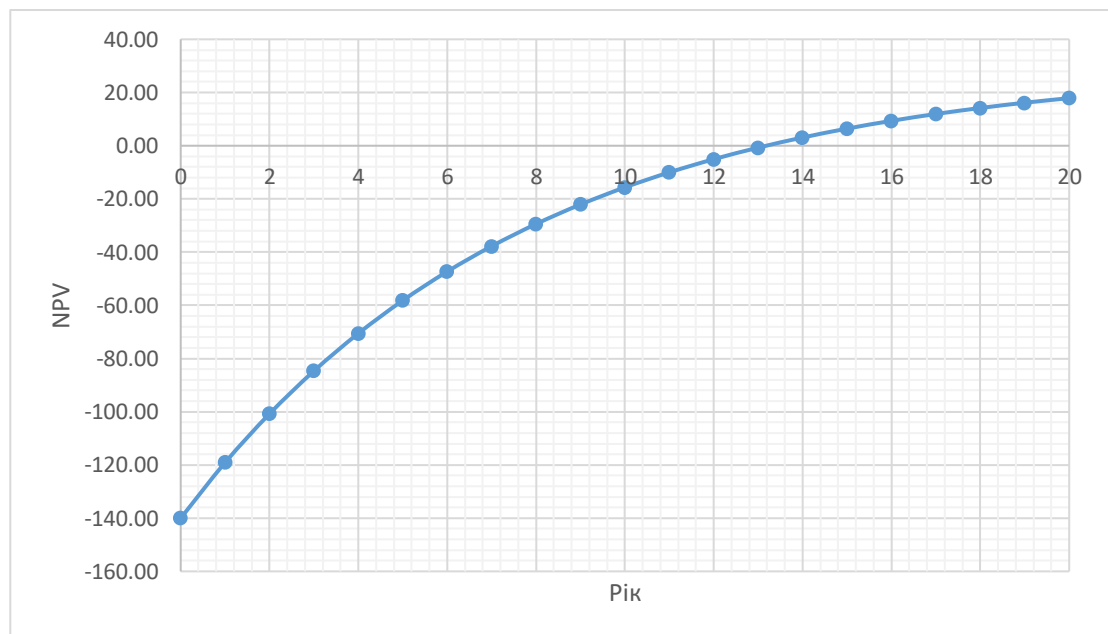


Рисунок 3.14 – Графік залежності NPV від року

Отже, ДТО ЛРТЕ в м. Ірпінь становить:

$$T = (14 - 1) + \frac{0,72}{3,08 - (-0,72)} \approx 13,2 \text{ років}$$

### 3.4. Вплив рівня річного обсягу споживання теплової енергії на ефективність локального ринку теплової енергії

Споживачі теплової енергії в рамках ЛРТЕ характеризуються рівнем річного споживання теплової енергії будівлею. Кожна будівля характеризується своїм складом огорожуючих конструкцій та географічним розташуванням, які в свою чергу впливають на теплове навантаження будівлі для забезпечення комфортних умов перебування в будівлі, або, в меншій мірі, на параметри теплоносія для технологічних процесів або гарячого водопостачання.

Рівень споживання теплової енергії можна визначити двома шляхами:

- емпіричним, за допомогою лічильника теплової енергії;
- аналітичним, за допомогою нормативних документів, які визначають методику розрахунків теплових навантажень будівель.

Сума показників рівня споживання теплової енергії всіх споживачів в єдиній об'єднаній системі тепlopостачання визначає обсяг споживання теплової енергії в рамках ЛРТЕ. Обсяг споживання теплової енергії ЛРТЕ є показником, який є одним із визначних при розрахунку абсолютної та відносної ефективності функціонування ЛРТЕ.

В процесі функціонування ЛРТЕ, збільшення обсягу споживання теплової енергії, при зафіксованому коефіцієнті частки ринку, впливає безпосередньо на частку потенціального обсягу споживання теплової енергії, яка може бути надана незалежному виробнику теплової енергії в рамках аукціону. В свою чергу, підвищення частки незалежного виробника може вплинути на його прогнозований тариф на товар у бік зниження, що збільшує ринкову вигоду споживачів, і, відповідно, абсолютну ефективність ЛРТЕ. Важливим є визначення характеру впливу зміни обсягу споживання теплової енергії на відносну ефективність ЛРТЕ.

Для визначення характеру впливу зміни обсягу споживання теплової енергії на відносну ефективність ЛРТЕ, запропоновано збільшення кількості існуючих споживачів теплової енергії, які будуть підключені до системи тепlopостачання на базі якої функціонує ЛРТЕ. Пропонується виконати моделювання із збільшенням кількості споживачів де обсяг споживання теплової енергії буде складати 84274 Гкал. Схема системи тепlopостачання на базі якої функціонує ЛРТЕ при збільшенні кількості споживачів представлена на рис. 3.15.



*Рисунок 3.15 – Схема системи тепlopостачання на базі якої функціонує ЛРТЕ при збільшенні кількості споживачів*

Після підключення нових споживачів теплової енергії до системи тепlopостачання, загальна довжина теплових мереж збільшилась, що вплинуло на

кількість втрат теплової енергії і гідравлічних втрат в теплових мережах. Технічні характеристики системи тепlopостачання зі збільшеним обсягом споживання теплової енергії представлена в табл. 3.20.

*Таблиця 3.20 – Технічні характеристики системи тепlopостачання зі збільшеним обсягом споживання теплової енергії*

<b>Характеристика системи тепlopостачання</b>	<b>Величина</b>
Загальна довжина теплових мереж	36,865 км
Довжина новозбудованих теплових мереж	17,341 км
Споживання теплової енергії в системі тепlopостачання за рік	84 274 Гкал
Виробництво теплової енергії джерелами теплогенерації за рік	98 396 Гкал
Втрати теплової енергії в мережах за рік	14 122 Гкал
Відносні втрати в теплових мережах	14,35 %

За результатами моделювання роботи ЛРТЕ при збільшеній кількості споживачів теплової енергії видно, що відносна ефективність ЛРТЕ збільшилась з 27,04% до 33,21%. Таким чином, можна констатувати, що при збільшенні обсягу споживання теплової енергії в системі тепlopостачання в якій функціонує ЛРТЕ, його відносна ефективність зростає. Результати моделювання роботи ЛРТЕ при збільшеній кількості споживачів теплової енергії представлено в табл 3.21.

*Таблиця 3.21 – Результати моделювання роботи ЛРТЕ при збільшеній кількості споживачів теплової енергії*

	<b>РТЕ при споживанні 42 137 Гкал</b>	<b>РТЕ при споживанні 84 274 Гкал</b>
Вартість спожитої теплової енергії, грн.	68 648 270	130 218 099
Середній тариф для споживача, грн/Гкал	1629,1	1545,2
Абсолютна вигода для споживачів, грн	8 677 411	15 783 123
Абсолютна вигода для виробників, грн	12 234 161	27 462 308
Абсолютна ефективність РТЕ	20 911 573	43 245 431
Відносна вигода для споживачів, %	11,22	12,12
Відносна вигода для виробників, %	15,82	21,09
Відносна ефективність РТЕ, %	27,04	33,21

Збільшення загального обсягу споживання теплової енергії привело до збільшення частки теплової енергії (в абсолютному вимірі), яку кожний незалежний виробник теплової енергії використовує в якості планування власних витрат на виробництво теплової енергії. Таким чином, за рахунок зменшення впливу постійних витрат на рівень тарифу на теплову енергію, який визначає кожний виробник і подає на аукціон куплі-продажу теплової енергії, загальна ціна для кінцевого споживача теж зменшується. Таким чином, системи тепlopостачання з більшим обсягом споживання теплової енергії більш привабливі для впровадження ЛРТЕ, де рівень тарифів на теплову енергію може бути значно знижений для кінцевого споживача.

### 3.5. Питомий обсяг споживання системою теплової енергії, як міра оцінки доцільності впровадження конкурентних умов в системах тепlopостачання

Обсяг споживання товару на локальному РТЕ є одним з визначальних критеріїв доцільності впровадження конкурентних умов централізованих та помірно-централізованих системах тепlopостачання. Але, враховуючи фізичну природу теплової енергії, необхідно враховувати взаємне місцезнаходження споживачів та виробників теплової енергії, які сполучаються тепловими мережами між собою у тій чи іншій конфігурації.

Оскільки, процес втрат теплової енергії, в основному, відбувається по всій довжині теплових мереж, то абсолютною характеристикою оцінки масштабу ринку за територіальною ознакою може бути загальна довжина теплових мереж.

Однак, окремих абсолютних характеристик недостатньо для об'єктивної порівняльної оцінки різних систем тепlopостачання. Тому, пропонується використовувати питомий обсяг споживання системою теплової енергії, який визначається відношенням річного споживання теплової енергії на ринку до загальної довжини теплових мереж в системі тепlopостачання. Цей показник може бути доповненням до густини теплових потужностей в системі тепlopостачання, але при цьому він є більш показовим з точки зору оцінки доцільності впровадження

ЛРТЕ і можливої ефективності роботи в тій чи іншій системі теплопостачання. Отже, питомий обсяг споживання системою теплової енергії визначається як:

$$q = \frac{\sum_{n=1}^{j=1} Q_{сп, j}}{l_{\Sigma}} \quad (3.19)$$

де:

$l_{\Sigma}$  – загальна довжина теплових мереж, км.

На основі вищевизначеного показника пропонується встановити його взаємозв'язок з відносною ефективністю ЛРТЕ. Для цього, для існуючої схеми системи теплопостачання м. Ірпінь визначимо основні 4 незалежні зони, які мають скупчення споживачів, які можуть бути суб'єктами ЛРТЕ при впровадженні конкурентних умов у визначених зонах. Розбиття існуючої системи теплопостачання м. Ірпінь на 4 зони наведено на рис. 3.16.



Рисунок 3.16 – Схема розбиття існуючої системи теплопостачання на 4 зони

Для визначення відносної ефективності локального ринку та питомого обсягу споживання системою теплової енергії в кожній із зон, проведено моделювання процесу функціонування ЛРТЕ в авторському програмному забезпеченні «Thermal Energy Market».

Для моделювання процесу функціонування ЛРТЕ в кожній з 4 зон використані виробники теплової енергії з аналогічними функціями повних витрат з п.3 даного розділу. Всі об'єкти теплогенерації всіх виробників теплової енергії розподілені між зонами у рівній кількості відносно обсягу споживання теплової енергії в відповідній зоні для об'єктивної оцінки залежності відносної ефективності ЛРТЕ від питомого обсягу споживання теплової енергії.

Схема системи тепlopостачання в першій зоні з новозбудованими тепловими мережами і незалежними виробниками теплової енергії наведено на рис. 3.17.



*Рисунок 3.17 – Схема системи тепlopостачання в зоні №1*

Основні технічні характеристики системи тепlopостачання в зоні №1 представлені в табл. 3.22.

Таблиця 3.22 – Основні технічні характеристики системи тепlopостачання в зоні №1

<b>Характеристика системи тепlopостачання</b>	<b>Величина</b>
Загальна довжина теплових мереж	5,948 км
Довжина новозбудованих теплових мереж	1,507 км
Споживання теплової енергії в системі тепlopостачання за рік	9 902 Гкал
Виробництво теплової енергії джерелами теплогенерації за рік	11 594 Гкал
Втрати теплової енергії в мережах за рік	1 692 Гкал
Відносні втрати в теплових мережах	14,59 %
Питомий обсяг споживання теплової енергії за рік	1665 Гкал/км

За результатами проведеного аукціону в системі тепlopостачання зони №1 визначено сумарні величини, які характеризують ефективність РТЕ. В табл. 3.23 представлені результати роботи РТЕ в зоні №1 в місті Ірпінь.

Таблиця 3.23 – Прогнозовані результати роботи РТЕ в зоні №1 в м. Ірпінь (за опалювальний сезон)

	<b>При функціонуванні РТЕ з компенсацією</b>	<b>При відсутності РТЕ</b>
Вартість спожитої теплової енергії, грн.	15 037 725	18 171 160
Середній тариф для споживача, грн/Гкал	1518,7	1835,1
Абсолютна ефективність РТЕ	5 222 391	-
Відносна ефективність РТЕ, %	28,74	-

Схема системи тепlopостачання в другій зоні з новозбудованими тепловими мережами і незалежними виробниками теплової енергії наведено на рис. 4.18.



*Рисунок 3.18 – Схема системи теплопостачання в зоні №2*

Основні технічні характеристики системи теплопостачання в зоні №2 представлені в табл. 3.24.

*Таблиця 3.24 – Основні технічні характеристики системи теплопостачання в зоні №2*

<b>Характеристика системи теплопостачання</b>	<b>Величина</b>
Загальна довжина теплових мереж	6,053 км
Довжина новозбудованих теплових мереж	0,479 км
Споживання теплової енергії в системі теплопостачання за рік	12 430 Гкал
Виробництво теплової енергії джерелами теплогенерації за рік	13 942 Гкал
Втрати теплової енергії в мережах за рік	1 512 Гкал
Відносні втрати в теплових мережах	10,85 %
Питомий обсяг споживання теплової енергії за рік	2054 Гкал/км

За результатами проведеного аукціону в системі теплопостачання зони №2 визначено сумарні величини, які характеризують ефективність РТЕ. В табл. 3.25 представлені результати роботи РТЕ в зоні №2 в місті Ірпінь.

Таблиця 3.25 – Прогнозовані результати роботи РТЕ в зоні №2 в м. Ірпінь (за опалювальний сезон)

	При функціонуванні РТЕ з компенсацією	При відсутності РТЕ
Вартість спожитої теплової енергії, грн.	18 415 661	22 810 293
Середній тариф для споживача, грн/Гкал	1481,6	1835,1
Абсолютна ефективність РТЕ	7 324 385	-
Відносна ефективність РТЕ, %	32,11	-

Схема системи тепlopостачання в третій зоні з новозбудованими тепловими мережами і незалежними виробниками теплової енергії наведено на рис. 3.19.



Рисунок 3.19 – Схема системи тепlopостачання в зоні №3

Основні технічні характеристики системи тепlopостачання в зоні №3 представлені в табл. 3.26.

Таблиця 3.26 – Основні технічні характеристики системи тепlopостачання в зоні №3

<b>Характеристика системи тепlopостачання</b>	<b>Величина</b>
Загальна довжина теплових мереж	5,141 км
Довжина новозбудованих теплових мереж	1,173км
Споживання теплової енергії в системі тепlopостачання за рік	8 848 Гкал
Виробництво теплової енергії джерелами теплогенерації за рік	10 720 Гкал
Втрати теплової енергії в мережах за рік	1 872 Гкал
Відносні втрати в теплових мережах	17,46 %
Питомий обсяг споживання теплової енергії за рік	1721 Гкал/км

За результатами проведеного аукціону в системі тепlopостачання зони №3 визначено сумарні величини, які характеризують ефективність РТЕ. В табл. 3.27 представлені результати роботи РТЕ в зоні №3 в місті Ірпінь.

Таблиця 3.27 – Прогнозовані результати роботи РТЕ в зоні №3 в м. Ірпінь (за опалювальний сезон)

	<b>При функціонуванні РТЕ з компенсацією</b>	<b>При відсутності РТЕ</b>
Вартість спожитої теплової енергії, грн.	13 327 949	16 236 964
Середній тариф для споживача, грн/Гкал	1506,3	1835,1
Абсолютна ефективність РТЕ	4 848 358	-
Відносна ефективність РТЕ, %	29,86	-

Схема системи тепlopостачання в четвертій зоні з новозбудованими тепловими мережами і незалежними виробниками теплової енергії наведено на рис. 3.20.



*Рисунок 3.20 – Схема системи тепlopостачання в зоні №4*

Основні технічні характеристики системи тепlopостачання в зоні №4 представлені в табл. 3.28.

*Таблиця 3.28 – Основні технічні характеристики системи тепlopостачання в зоні №4*

<b>Характеристика системи тепlopостачання</b>	<b>Величина</b>
Загальна довжина теплових мереж	5,77 км
Довжина новозбудованих теплових мереж	0,857 км
Споживання теплової енергії в системі тепlopостачання за рік	10 956 Гкал
Виробництво теплової енергії джерелами теплогенерації за рік	13 080 Гкал
Втрати теплової енергії в мережах за рік	2 124 Гкал
Відносні втрати в теплових мережах	16,24 %
Питомий обсяг споживання теплової енергії за рік	1 899 Гкал/км

За результатами проведеного аукціону в системі тепlopостачання зони №4 визначено сумарні величини, які характеризують ефективність РТЕ. В табл. 3.29 представлені результати роботи РТЕ в зоні №4 в місті Ірпінь.

*Таблиця 3.29 – Прогнозовані результати роботи РТЕ в зоні №4 в м. Ірпінь (за опалювальний сезон)*

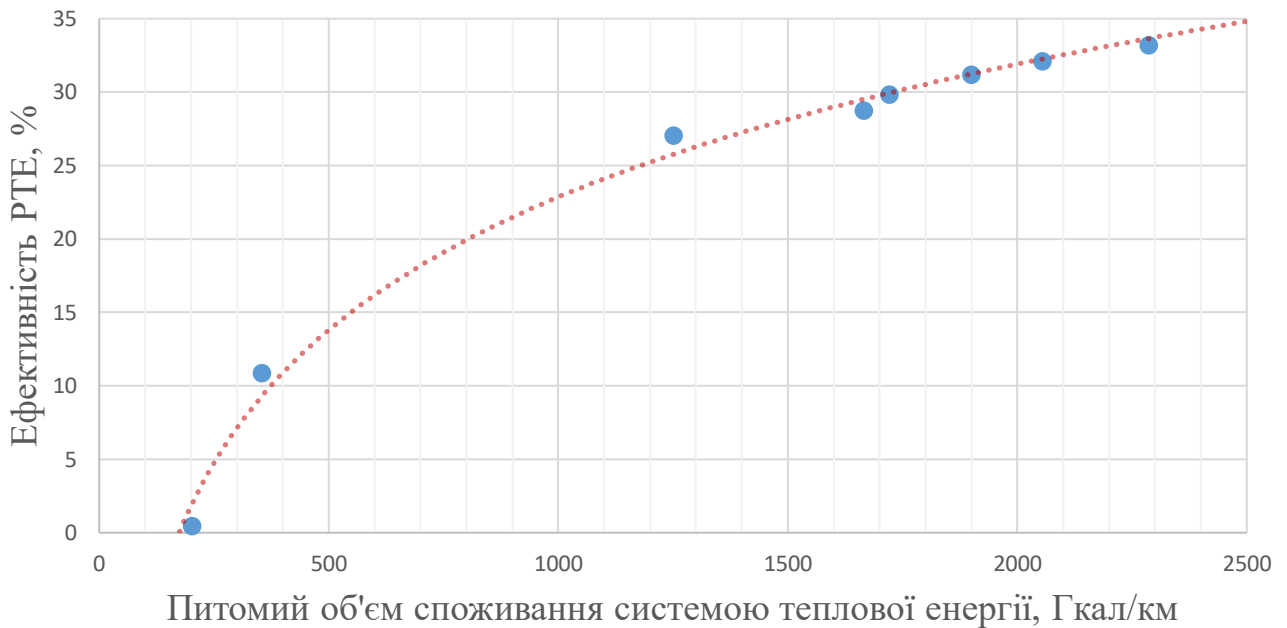
	<b>При функціонуванні РТЕ з компенсацією</b>	<b>При відсутності РТЕ</b>
Вартість спожитої теплової енергії, грн.	16 340 427	20 105 356
Середній тариф для споживача, грн/Гкал	1491,5	1835,1
Абсолютна ефективність РТЕ	6 274 882	-
Відносна ефективність РТЕ, %	31,21	-

Для оцінки впливу питомого обсягу споживання теплової енергії на відносну ефективність ЛРТЕ результати моделювання 4 зон системи тепlopостачання та об'єднаної системи тепlopостачання м. Ірпінь в п.3 та п.4. даного розділу зведені в табл. 3.30. Також, для оцінки взаємозв'язку рівня питомого споживання системою теплової енергії від низьких значень ефективності ЛРТЕ, були проведені додаткові розрахунки, де було імітовано функціонування ЛРТЕ при великих значеннях загальної довжини теплової мережі.

*Таблиця 3.30 – Результати розрахунків питомого обсягу споживання теплової енергії та відносної ефективності ЛРТЕ*

	<b>Питомий обсяг споживання теплової енергії, Гкал/км</b>	<b>Відносна ефективність локального ринку, %</b>
Зона №1	1665	28,74
Зона №2	2054	32,11
Зона №3	1721	29,86
Зона №4	1899	31,21
Об'єднана система п.4.3 (42137 Гкал)	1251	27,04
Об'єднана система п.4.4 (84274 Гкал)	2286	33,21
Об'єднана система п.4.3 (42137 Гкал), довжина мереж – 210км	201	0,46
Об'єднана система п.4.3 (42137 Гкал), довжина мереж – 119км	448	10,89

З таблиці 3.9 можна зазначити, що в кожній з 4 зон системи тепlopостачання м. Ірпінь, відносна ефективність вища, ніж в сполученій системі тепlopостачання з п.3.4, що означає, що питомий обсяг споживання теплової енергії відіграє важливу роль при функціонуванні ЛРТЕ. Графік залежності відносної ефективності ЛРТЕ від питомого обсягу споживання теплової енергії представлений на рис. 3.21.



*Рисунок 3.21 – Залежність відносної ефективності ЛРТЕ від питомого обсягу споживання системою теплової енергії*

На основі результатів моделювання представлених на рис. 3.21 виконано регресійний аналіз, де визначено функцію залежності відносної ефективності РТЕ від питомого обсягу споживання системою теплової енергії на локальному РТЕ.

Визначено наступне рівняння із коефіцієнтом кореляції  $r^2 = 0,9929$ :

$$e(q) = 13,063 \cdot \ln(q) - 67,384 \quad (3.20)$$

Отже, значення питомого обсягу споживання теплової енергії, в якій функція  $e(q) = 0$  буде дорівнювати 174 Гкал/км, що означає, що якщо  $q < 174$ , то ефективність ЛРТЕ буде нижче 0, і, відповідно, будь-яка доцільність впровадження РТЕ відсутня.

Таким чином, визначене рівняння може використовуватись при проектуванні системи тепlopостачання в рамках ЛРТЕ для м. Ірпінь при ретрансформації системи тепlopостачання в частині теплових мереж, де загальна довжина теплових мереж і загальне річне споживання теплової енергії в системі має вплив на відносну ефективність ринку, при визначених виробниках теплової енергії і їх техніко-економічних характеристик.

### 3.6. Вплив кількості виробників теплової енергії на ефективність локального ринку теплової енергії

Вводячи в процес функціонування ЛРТЕ таке поняття, як «коефіцієнт частки ринку», важливим є дослідження розподілу обсягу теплової енергії між виробниками відповідно до можливих варіацій цього коефіцієнту. Оскільки, він обирається оптимальний для визначеного кола виробників теплової енергії, зміна кількості виробників теплової енергії може впливати на ефективність ЛРТЕ.

Тому, важливо визначити залежність і вплив кількості виробників теплової енергії, які приймають участь в процесі функціонування ЛРТЕ на його ефективність в розрізі зміни змінних та постійних витрат виробників і їх впливу на кінцеву ціну на теплову енергію для споживача.

Для визначення цього впливу, на основі розробленої моделі проведено розрахунок абсолютної ефективності ЛРТЕ, яка визначає рівень вигод по відношенню до монопольного стану в системі тепlopостачання, при варіації числа виробників теплової енергії із зміною загального обсягу споживання теплової енергії на ринку. Від'ємний рівень абсолютної ефективності показує недоцільність функціонування РТЕ при визначених умовах.

Для проведення процесу моделювання, необхідно виконати ряд припущень для визначення передумов, які відображають технічний стан системи тепlopостачання. Цей ряд припущень може виступати як вихідні данні для побудови спрощеної моделі.

Припущення:

1. В системі тепlopостачання, що розглядається, загальне виробництво теплової енергії за рік варіюється від 10 000 до 100 000 Гкал із дискретністю в 30 000 Гкал.

2. В якості обмеження вводиться поняття частки ринку, тобто максимальна межа кількості теплової енергії, яку може відпустити кожен із виробників за кожен місяць.

3. На РТЕ варіюється кількість виробників від 5 до 10, які використовують різні технології з виробництва теплової енергії. При зменшенні кількості виробників, на ринку залишаються з найбільшим рівнем ефективності.

Для часткової візуалізації результатів розрахунків на рис. 3.22 представлено графіки залежностей абсолютної ефективності ЛРТЕ від коефіцієнту частки ринку при 10 виробниках і змінному обсязі споживання теплової енергії на ринку.

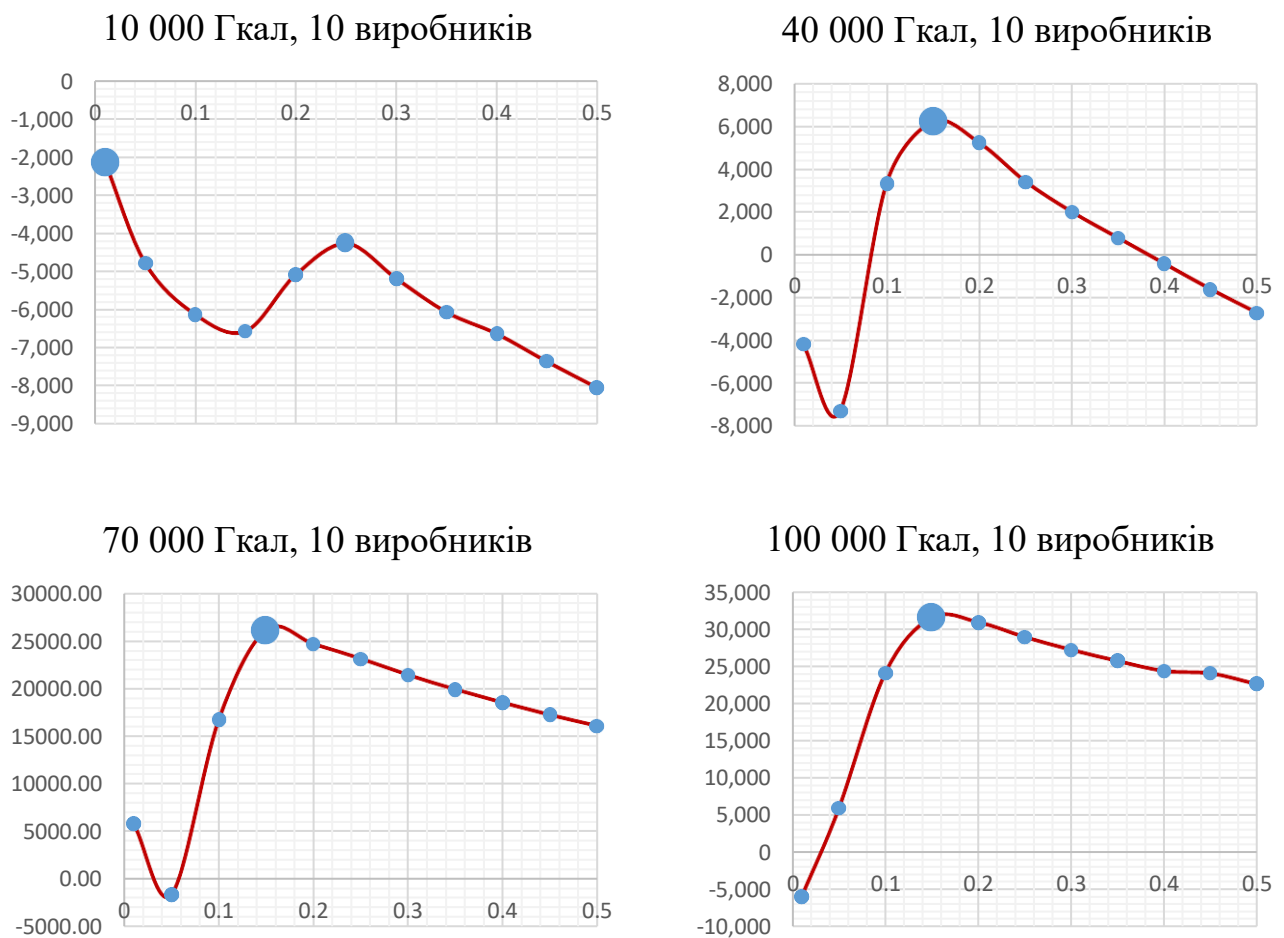


Рисунок 3.22 – Результати моделювання залежності ефективності РТЕ від обсягу споживання

Також, для часткової візуалізації результатів розрахунків на рис. 3.23 представлено графіки залежностей абсолютної ефективності ЛРТЕ від коефіцієнту частки ринку при обсягу споживання теплової енергії на ринку рівному 100 тис. Гкал/рік та змінній кількості виробників теплової енергії від 6 до 10.

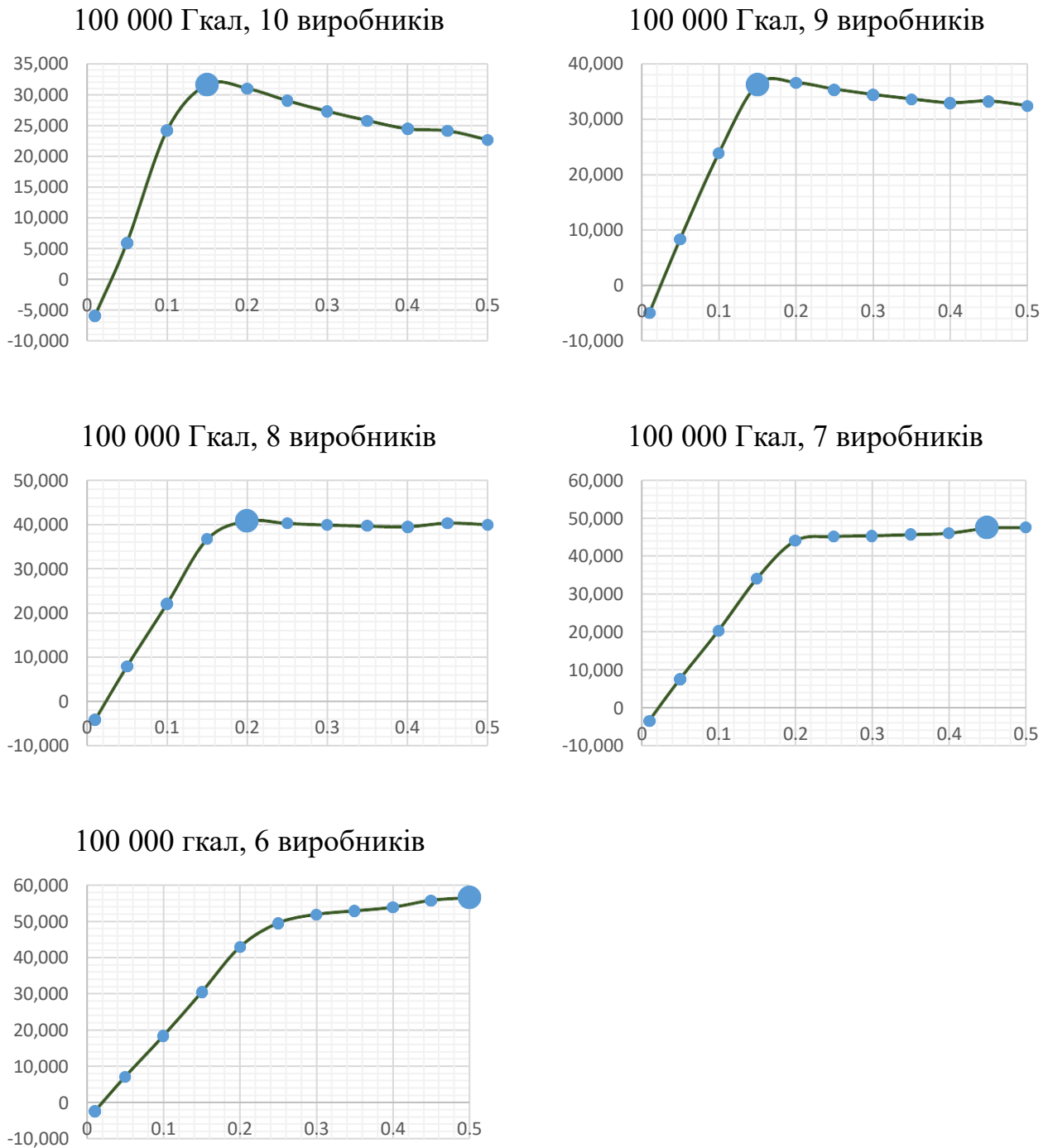


Рисунок 3.23 – Результати моделювання залежності ефективності РТЕ від кількості виробників

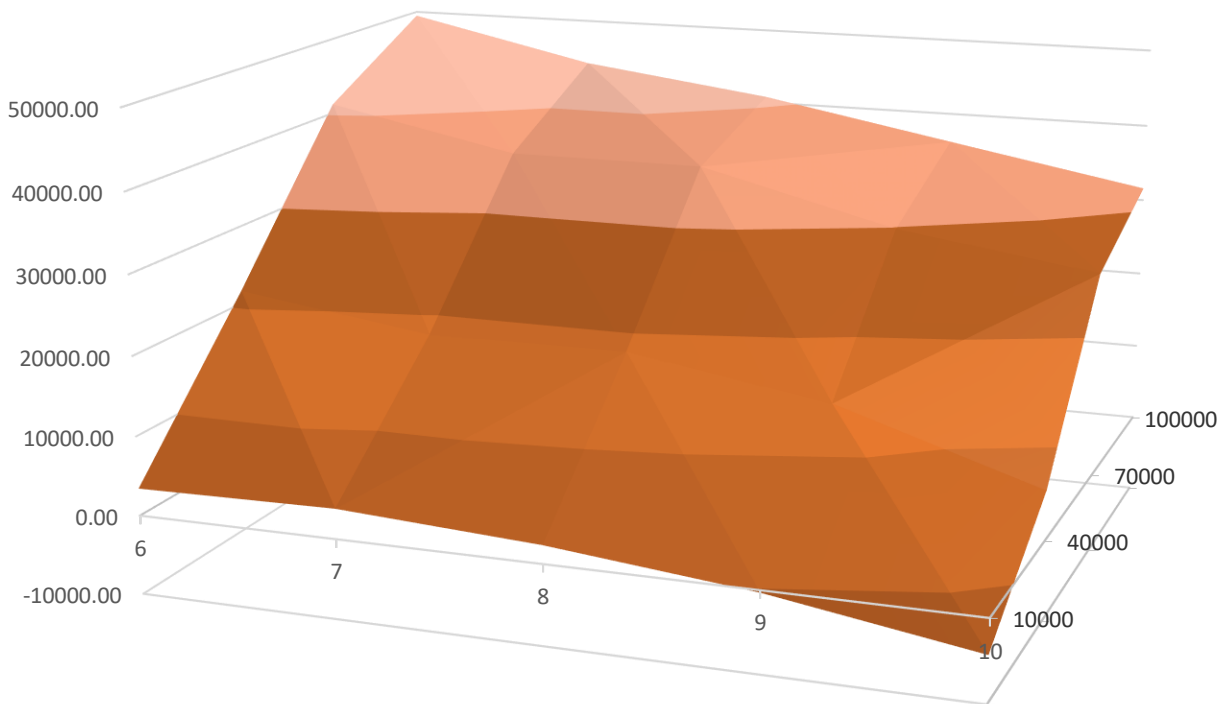
На основі результатів моделювання процесу функціонування РТЕ визначено критичні точки доцільності впровадження РТЕ, як такого. Визначено критичний обсяг споживання теплової енергії, та кількість виробників на ринку. Результати розрахунків ефективності РТЕ представлені в табл. 3.31.

*Таблиця 3.31 – Ефективність РТЕ в залежності від кількості виробників та обсягу споживання*

К-сть учасників Обсяг споживання теплової енергії	6	7	8	9	10
10000	3 429	3 774	2 293	-287	-4 271
40000	21 639	18 181	18 351	14 279	6 209
70000	41 184	36 172	36 172	29 863	26 154
100000	49 454	44 043	40 790	36 182	31 587

Таким чином, бачимо зростання ефективності ЛРТЕ при збільшенні обсягу споживання теплової енергії та зменшенні кількості учасників на ринку. Треба зазначити, що позитивна динаміка, при зменшенні кількості виробників теплової енергії обумовлюється загальним зменшенням постійних витрат на виробництво теплової енергії, які компенсуються збільшенням кількості обсягу виробництва теплової енергії.

Тривимірна діаграма залежності ефективності РТЕ від кількості учасників на ринку та обсягу споживання представлена на рис. 3.24



*Рисунок 3.24 – Результати моделювання залежності ефективності РТЕ від кількості виробників та обсягу споживання*

### Висновки до розділу 3

1. За рахунок підключення автономного об'єкта теплогенерації державного підприємства «Державтотрансдідпроект» до ЦСТ спостерігається зниження витрат на виробництво теплової енергії на власні потреби на 22,2%. Також, за рахунок продажу надлишкової кількості енергії по конкурентній ціні в теплову мережу, вдалося отримати додатковий прибуток, для подальшої модернізації об'єкта дослідження. Проведений аналіз дозволяє зрозуміти технічні аспекти підключення незалежних виробників до СЦТ міста для участі в ЛРТЕ.

2. Проведено аналіз умов функціонування РТЕ для міста Ірпінь. За результатами моделювання взаємодії 8 виробників, які мають різні технології виробництва теплової енергії на ринку обсягом споживання в 42 тис. Гкал, оптимізовано коефіцієнт частки ринку згідно визначених умов на РТЕ, який

дорівнює 0,15. В програмному забезпеченні «Thermal Energy Market» визначено, що при оптимальному коефіцієнті частки ринку, який складає 0,15, при тарифі основного виробника в 1835,1 грн./Гкал, середньозавжений тариф для споживачів буде приблизно на 11 % нижче при функціонуванні РТЕ і складає 1629,1 грн./Гкал. Згідно результатів моделі, відносна ефективність РТЕ в місті Ірпінь при заданих умовах склала 27,04 %. На основі розрахованої величини капітальних витрат для створення РТЕ в місті Ірпінь простий термін окупності РТЕ складає 6,7 років, а ДТО складає 13,2 років при ставці дисконту 14 %. В роботі не визначалися джерела фінансування створення РТЕ.

3. Отримано залежність ефективності РТЕ від обсягу споживання. Визначено, що при збільшенні обсягу споживання, ефективність РТЕ зростає, за рахунок згладжування постійних витрат виробників і рівня компенсації витрат основному виробнику. За результатами розрахунку при підвищенні обсягу споживання теплової енергії в 2 рази, відносна ефективність ЛРТЕ підвищилась до 33,21%.

4. Отримано залежність ефективності РТЕ від кількості виробників. Визначено, що питомий обсяг споживання теплової енергії віднесений до одиниці довжини теплової мережі має визначальний вплив на відносну ефективність ЛРТЕ. Для міста Ірпінь за допомогою регресійного аналізу, визначено функцію залежності відносної ефективності ЛРТЕ від питомого обсягу споживання системою теплової енергії, яка визначає критичну точку доцільності впровадження ЛРТЕ на рівні 174 Гкал/км.

Основні положення даного розділу опубліковані автором даної роботи у наукових працях [1, 5, 7, 4, 9]

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить нові науково обґрунтовані результати застосування методів та засобів оцінки впровадження конкурентних відносин в сфері теплопостачання України, які показують, що враховуючи енергетичний потенціал відновлюваних джерел в Україні, використання місцевих ресурсів в якості джерел теплової енергії має високий рівень конкурентоспроможності по відношенню до традиційної теплоенергетики. Локальні ринки теплової енергії виступають механізмом, який може забезпечити використання ВДЕ в СЦТ та СП-ЦТ. Висновки, що узагальнюють отримані наукові та практичні результати, полягають у наступному:

1. Визначено, що створення ЛРТЕ в системах теплопостачання міст України повинно супроводжуватись кардинальною зміною принципів тарифоутворення, створенням та прийняттям Закону України «Про ринок теплової енергії» та відповідними підзаконними актами на рівні постанов та правил, які мають визначати принципи, способи та механізми функціонування ЛРТЕ, переформатуванням функцій державного регулятора в сфері теплоенергетики, «анбандлінгом» теплопостачальних підприємств, які займають монопольне становище в системах теплопостачання України і виконують функції виробництва, транспортування та постачання теплової енергії, створенням позицій системного оператора та оператора ринку, з відповідним забезпеченням системи технічними засобами.

2. Визначено та розроблено принципи функціонування ЛРТЕ в межах існуючих систем теплопостачання міст України, де запропоновано структурні схеми взаємовідносин між суб'єктами ЛРТЕ та відповідний розподіл їх зон відповідальності, функціональну структуру ЛРТЕ, технічні засоби функціонування ЛРТЕ, використання моделі «єдиного покупця», що враховує особливості енергетичних ринків, як явища.

3. Порівняльний аналіз РТЕ та РЕЕ показав, що слід враховувати досвід впровадження РЕЕ в Україні через присутність спільних ознак, які притаманні енергетичним ринкам. Визначені відмінності між РЕЕ та РТЕ, а також, між

тепловою та електричної енергією, як товарами на відповідних ринках, дозволяють використовувати законодавче забезпечення щодо РЕЕ в частині їх адаптації для РТЕ.

4. Формалізовано міру ефективності ЛРТЕ для оцінки доцільності впровадження ринкових відносин в централізованих та помірно-централізованих системах теплопостачання. Розроблено метод оцінки впровадження та функціонування ЛРТЕ в рамках існуючих систем теплопостачання. Оцінка ефективності ЛРТЕ може бути визначальною при аналізі систем теплопостачання в частині впровадження конкурентних відносин між виробниками теплової енергії.

5. Розроблено аналітичний метод оптимізації витрат виробників теплової енергії в умовах «неповного виграшу» аукціону куплі-продажу теплової енергії в умовах наявності декількох об'єктів теплогенерації в одного виробника теплової енергії.

10. Дослідження державного підприємства «Державтотрансдніпроект», показало, що за рахунок підключення до ЦСТ вдалося максимально завантажити більш економічні потужності, що надало вигоду по відношенню до всіх сторін, які приймають участь в процесі постачання та споживання теплової енергії. В наслідок підключення об'єкта дослідження - державного підприємства «Державтотрансдніпроект» до ЦСТ спостерігається зниження витрат на виробництво теплової енергії на власні потреби на 22,2%. Також, за рахунок продажу надлишкової кількості енергії по конкурентній ціні в теплову мережу, вдалося отримати додатковий прибуток, для подальшої модернізації об'єкта дослідження.

11. За результатами моделювання взаємодії 8 виробників, які мають різні технології виробництва теплової енергії на ринку обсягом споживання в 42 тис. Гкал в місті Ірпінь, оптимізовано коефіцієнт частки ринку згідно визначених умов на РТЕ, який дорівнює 0,15. При оптимальному коефіцієнті частки ринку, який складає 0,15, при тарифі основного виробника в 1835,1 грн./Гкал, середньозавжений тариф для споживачів став на 11 % нижче при функціонуванні РТЕ і складає 1629,1 грн./Гкал. Згідно результатів моделі, відносна ефективність РТЕ в місті Ірпінь при заданих

умовах склала 27,04 %. На основі розрахованої величини капітальних витрат для створення РТЕ в місті Ірпінь простий термін окупності РТЕ складає 6,7 років, а ДТО складає 13,2 років при ставці дисконту 14 %. За результатами розрахунку при підвищенні обсягу споживання теплової енергії в 2 рази, відносна ефективність ЛРТЕ підвищилась до 33,21%.

12. Отримано залежність ефективності РТЕ від обсягу споживання. Визначено, що при збільшенні обсягу споживання, ефективність РТЕ зростає, за рахунок згладжування постійних витрат виробників і рівня компенсації витрат основному виробнику. Отримано залежність ефективності РТЕ від кількості виробників. Визначено, що питомий обсяг споживання теплової енергії віднесений до одиниці довжини теплової мережі має визначальний вплив на відносну ефективність ЛРТЕ.

13. Розроблено програмне забезпечення «Thermal Energy Market», яке дозволяє враховувати географічне розташування об'єктів (виробники, споживачі теплової енергії, теплові мережі) в просторі для оцінки теплових та гідравлічних втрат енергії при моделюванні функціонування ЛРТЕ. Програмне забезпечення дозволяє розробляти проекти з впровадження ринкових відносин в системах теплопостачання міст та оцінювати ефективність ЛРТЕ при визначених умовах. Отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

Результати дисертаційної роботи в подальшому можуть бути використані при формуванні законодавства про ринок теплової енергії в Україні. Розроблений інструментарій з аналізу ефективності ЛРТЕ може бути використаний при стратегічному плануванні розвитку систем централізованого та помірно-централізованого теплопостачання міст України.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] V. I. Deshko and D. S. Karpenko, "Analysis of aspects and simulation modeling of the thermal energy market in Ukraine," in *Management of technological processes in energy technologies under the general editorship of Anatoliy M. Pavelko*, Kielce, Politechnika Swietokrzyska, 2019, pp. 7-49.
- [2] Д. С. Карпенко та В. І. Дешко, «Побудова ефективної моделі ринку теплової енергії в реаліях України. Енергетика та електрифікація,» *Енергетика та електрифікація*, т. 2, № 390, pp. 18-23, Лютий 2016.
- [3] V. I. Deshko and D. S. Karpenko, "Analysis of conditions for the creation of the local thermal energy market in Ukraine," *Комунальне господарство міст*, vol. 7, no. 146, pp. 68-76, 2018.
- [4] В. І. Дешко, А. І. Замулко та Д. С. Карпенко, «Оцінка ефективності функціонування локального ринку теплової енергії,» *Проблеми загальної енергетики*, т. 3, № 50, pp. 41-49, 2017.
- [5] V. I. Deshko, A. I. Zamulko, D. S. Karpenko, A. Mahnitko and O. Linkevics, "Evaluation of the district heating market efficiency as the function of its size and number of competing suppliers," in *2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University*, Riga, 2018.
- [6] V. I. Deshko and D. S. Karpenko, "Functional structure of the local thermal energy market in district heating," in *2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems*, Kyiv, 2019.
- [7] В. І. Дешко та Д. С. Карпенко, «Імітаційне моделювання та оптимізація ринку теплової енергії,» в *Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем», Том 2, - сс. 231-232, Чернігів, 2018.*

- [8] В. І. Дешко та Д. С. Карпенко, «Методика оптимізації витрат об'єктів теплогенерації підприємств на локальному ринку теплової енергії,» в *Матеріали X науково-технічної конференції Інституту Енергозбереження та Енергоменеджменту «Енергетика. Екологія. Людина», - с. 191-194, Київ, 2018.*
- [9] В. І. Дешко та Д. С. Карпенко, «Техніко-економічний аналіз створення ринку теплової енергії в Україні,» *Енергетика: економіка, технології, екологія*, т. 2, pp. 26-37, 2018.
- [10] В. І. Дешко, А. І. Замулко та Д. С. Карпенко, «Аналіз принципів формування локальних ринків теплової енергії в системах централізованого теплопостачання,» *Проблеми загальної енергетики*, т. 4, № 55, pp. 51-58, 2018.
- [11] Л. Д. Гительман и Б. Е. Ратников, *Энергетический бизнес*, Москва: Дело, 2006. - 296 с..
- [12] В. Н. Башмаков и И. А. Папушкин, «Проблемы теплоснабжения и необходимость разработки программ развития, модернизации и реабилитации систем теплоснабжения,» *Журнал СОК*, № 4, 2005.
- [13] Stanislav Chicherin, "Low-temperature district heating distributed from transmission-distribution junctions to users: energy and environmental modeling," in *International Scientific Conference "Environmental and Climate Technologies", CONECT 2018*, 2018.
- [14] M. Lesko and W. Bujalski, "Modeling of district heating networks for the purpose of operational optimization with thermal energy storage," *Archives of thermodynamics*, vol. 4, no. 38, pp. 139-163, 2017.
- [15] Thomas Schmidt, Thomas Pauschinger, Per Alex Sorensen, Aart Snijders, Reda Djebbar, Raymond Boulter and Jeff Thornton, "Design aspects for Large-scale Pit and Aquifer Thermal Energy Storage for District Heating and Cooling," in *16th International Symposium on District Heating and Cooling*, Hamburg, 2018.

- [16] Haoran Li and Natasa Nord, "Transition to the 4th generation district heating - possibilities, bottlenecks, and challenges," in *16th International Symposium on District Heating and Cooling, DHC2018*, Hamburg, 2018.
- [17] Simone Buffa, Marco Cozzini, Matteo D'Antoni, Marco Baratieri and Roberto Fedrizzi, "5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 104, pp. 504-522, 2019.
- [18] Asset Khabdullin, Zauresh Khabdullina, Guldana Khabdullina, Dace Lauka, Dagnija Blumberga, "Demand response analysis methodology in district heating system," *Energy Procedia*, vol. 128, pp. 539-543, 2017.
- [19] Jona Maurer, Christoph Elsner, Stefan Krebs, Soren Hohmann, "Combined Optimization of District Heating and Electric Power Networks," *Energy Procedia*, vol. 149, pp. 509-518, 2018.
- [20] R. Baviere and M. Vallee, "Optimal Temperature Control of Large Scale District Heating Networks," in *16th International Symposium on District Heating and Cooling, DHC2018*, 2018.
- [21] Dietrich Schmidt, Anna Kallert, Markus Blesl, Svend Svendsen, Hongwei Li, Natasa Nord and Kari Sipila, "Low Temperature District Heating for Future Energy Systems," in *The 15th International Symposium on District Heating and Cooling*, 2017.
- [22] Antti Peltokorpi, Madis Talmar, Klaus Castren and Jan Holmström, "Designing an organizational system for economically sustainable demand-side management in district heating and cooling," *Journal of Cleaner Production*, no. 219, pp. 433-442, 2019.
- [23] Ece Calikus, Sławomir Nowaczyk, Anita Sant'Anna, Henrik Gadd and Sven Werner, "A data-driven approach for discovering heat load patterns in district heating," *Applied Energy*, no. 252, pp. 1-14, 2019.

- [24] Jin Hou, Peng Xu, Xing Lu, Zhihong Pang, Yiyi Chu and Gongsheng Huang, "Implementation of expansion planning in existing district energy system: A case study in China," *Applied Energy*, no. 211, pp. 269-281, 2018.
- [25] Axelle Delangle, Romain S.C. Lambert, Nilay Shah, Salvador Acha and Christos N. Markides, "Modelling and optimising the marginal expansion of an existing district heating network," *Energy*, no. 140, pp. 209-223, 2017.
- [26] Ivan Dochev, Irene Peters, Hannes Seller and Georg K. Schuchardt, "Analysing district heating potential with linear heat density. A case study from Hamburg," in *16th International Symposium on Distric Heating and Cooling, DHC2018*, Hamburg, 2018.
- [27] Тихомиров А.К., Теплоснабжение района города., Хабаровск: Издатель-ство ТГУ, 2006.
- [28] А.К.Громова, Е.П.Шубина, Водяные тепловые сети. Справочное пособие по проектированию, М: Энергоатомиздат, 1988.
- [29] В.В.Козин, Т.А.Левина, А.П.Марков, Теплоснабжение, М.: Высшая школа, 1980.
- [30] В.И. Манюк, Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей, М., Стройиздат, 1982.
- [31] Е.Я. Соколов, Теплофикация и тепловые сети, М.: Энергоиздат, 1982.
- [32] Строй В.П., Скальский А.Ф., Расчет и проектирование тепловых сетей, Киев.: Будывельник, 1981.
- [33] Є.М.Іншеков, Є.Є. Нікітін, М.В. Тарновський, А.В. Чернявський, Посібник з муніципального енергетичного менеджменту, К:Поліграф плюс, 2014.
- [34] Александров И.П., Белякина И.В., Далин А.М. и др., Справочник проектировщика. Проектирование теплових сетей, Москва: Издательство литературы по строительству, 1965.
- [35] Єнін П.М., Швачко Н.А., Теплопостачання (частина I „Теплові мережі та споруди”), К.: Кондор, 2007.

- [36] М. України, ДБН В.2.5-39:2008. ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ, Київ, 2009.
- [37] ДБН 360-92. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень..
- [38] КТМ 204 Україна 244-94. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні..
- [39] СНиП 2.04.07-86 Тепловые сети., 1987.
- [40] Lars Grundahl, Steffen Nielsen, Henrik Lund and Bernd Møller, "Comparison of district heating expansion potential based on consumer-economy or socio-economy," *Energy*, no. 115, pp. 1771-1778, 2016.
- [41] Lisa Brange, Jessica Englund, Kerstin Sernhed, Marcus Thern and Patrick Lauenburg, "Bottlenecks in district heating systems and how to address them," in *The 15th International Symposium on District Heating and Cooling*, 2017.
- [42] М. р. г. т. т. України, «Наказ Мінрегіону «Про затвердження Методики розроблення схем теплопостачання населених пунктів України»,» 28 01 2020. [Онлайнвий]. Available: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2020/01/Methodika-rozroblennya-shem-teplopostachannya-naselenih-punktiv-Ukrayini.pdf>. [Дата звернення: 12 03 2020].
- [43] Elisa Guelpa and Vittorio Verda, "Compact physical model for simulation of thermal networks," *Energy*, no. 175, pp. 998-1008, 2019.
- [44] Benny Bohm and Helge V. Larsen, "Simple models of district heating systems for load and demand side management and operational optimisation," Risø National Laboratory Systems Analysis Department, 2004.
- [45] Н. О. Є. Т. Ковалко О.М., Вертикально-інтегровані структури управління ефективністю функціонування систем комунальної теплоенергетики, Київ: Інститут технічної теплофізики НАН України, 2017.
- [46] K. Wojdyga and M. Chorzelski, "Chances for Polish district heating systems," in *15th International Symposium on District Heating and Cooling*, 2017.

- [47] Eduard Latosov, Anna Volkova, Aleksandr Hlebnikov and Andres Siirde, "Technical improvement potential of large district heating network: application to the Case of Tallinn, Estonia," in *16th International Symposium on District Heating and Cooling, DHC2018*, Hamburg, 2018.
- [48] Loic Quiquerez, Bernard Lachal, Michel Monnard and Jerome Faessler, "The role of district heating in achieving sustainable cities: comparative analysis of different heat scenarios for Geneva," in *The 15th International Symposium on District Heating and Cooling*, 2017.
- [49] Mei Gong and Sven Werner, "Mapping energy and exergy flows of district heating in Sweden," in *The 15th International Symposium on District Heating and Cooling*, 2017.
- [50] Sven Werner, "District heating and cooling in Sweden," *Energy*, no. 126, pp. 419-429, 2017.
- [51] Відділ інформаційно-аналітичної роботи департамент, «Зарубіжний досвід розвитку систем централізованого та автономного тепло- та електропостачання,» Міненерговугілля України, Київ, 2016.
- [52] Г. Г. Гелетука, Т. А. Железна та А. І. Баштовий, «Аналіз тарифоутворення у секторі централізованого теплопостачання країн Європейського Союзу. Аналітична записка №14 Біоенергетичної асоціації України,» 2016. [Онлайновий]. Available: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-14-ua.pdf>.
- [53] Sven Werner, "International review of district heating and cooling," *Energy*, no. 137, pp. 617-631, 2017.
- [54] M. J. Vahid-Pakdel, S. Nojavan, B. Mohammadi-ivatloo and K. Zare, "Stochastic optimization of energy hub operation with consideration of thermal energy market and demand response," *Energy Conversion and Management*, no. 145, pp. 117-128, 2017.

- [55] Natasa Nord, Dietrich Schmidt, Anna Marie and Dagmar Kallert, "Necessary Measures to Include more Distributed Renewable Energy Sources into District Heating System," in *The 15th International Symposium on District Heating and Cooling*, 2017.
- [56] Wen Liu, Diederik Klip, William Zappa, Sytse Jelles, Gert Jan Kramer and Machteld van den Broek, "The marginal-cost pricing for a competitive wholesale district heating market: a case study in the Netherlands," *Energy*, 2019.
- [57] Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Желе́зна та А. І. Баштовий, «Аналіз моделей функціонування сектору централізованого теплопостачання країн Європейського Союзу. Частина 2,» *Журнал «Промислова теплотехніка», т. 38, №5*, pp. 78-85, 2016.
- [58] I. Postnikov, V. Stennikov and A. Penkovskii, "Prosumer in the district heating systems: operationg and reliability modeling," in *10th International Conference on Applied Energy (ICAE2018), 22-25 August 2018, Hong Kong*, 2018.
- [59] A. V. Penkovskii, V. A. Stennikov and O. V. Khamisov, "Search for a market equilibrium in the oligopoly heat market," in *The 8th International Conference on Applied Energy – ICAE2016*, 2017.
- [60] В. А. Стенников, А. В. Пеньковский и О. В. Хамисов, «Поиск равновесия Курно на рынке тепловой энергии в условия конкурентного поведения источников тепла,» *Проблемы управления*, т. 1, pp. 10-18, 2017.
- [61] А. А. Ф. І. Воронков О.О., Реформування і розвиток регіональних ринків теплової енергії, Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019.
- [62] Р. С. Пиндайк и Д. Л. Рубинфельд, *Микроэкономика*, 2011.
- [63] б. ж.-к. У. Міністерство регіонального розвитку, «Реформування сектору централізованого теплопостачання,» 01 2017. [Онлайновий]. Available: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjZsOyb4rjqAhU10aYKHRdlDZIQFjAAegQIBhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.minregion.gov.ua%2Fwp->

content%2Fuploads%2F2017%2F01%2FPlan-dii---shhodo-reformuvannya-TKE.pdf&usg=AOvVaw26WFY0AhZPrrwhnC. [Дата звернення: 06 07 2020].

- [64] М. р. р. б. т. ж.-к. г. У. SlovakAid, «Децентралізоване опалення в Україні: потенціал та шляхи впровадження,» Київ, 2017.
- [65] «Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20.02.2003 № 555-IV з поточною редакцією від 11.06.2017 р,» [Онлайновий]. Available: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15>.
- [66] «Розробка концепції впровадження конкуренції в централізованому тепlopостачанні України,» Проект USAID "Муніципальна енергетична реформа в Україні", 2016.
- [67] Н. Димитри, Г. Пига и Д. Спаньоло, Руководство по закупкам, Высшая Школа Экономики (Государственный Университет), 2013.
- [68] Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, «Формування тарифів на теплову енергію, її виробництво, транспортування та постачання від "А" до "Я",» Київ, 2017.
- [69] «Про природні монополії: Закон України від 20.04.2000 № 1682-III з поточною редакцією від 11.06.2017 р.,» [Онлайновий]. Available: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1682-14>.
- [70] В. Брич, М. Федірко та І. Янік, «Організаційно-економічні передумови реінженірінгу бізнес-процесів на ринку комунальної теплоенергетики України,» *Журнал «Вісник ТНЕУ»*, № 2, pp. 7-19, 2016.
- [71] В. Г. Семенов, «Опыт Польши в теплоснабжении – урок для России,» *Журнал «Новости теплоснабжения»*, т. 3, № 16, pp. 8-15, 2002.
- [72] А. О. Гаврикова, «Критический анализ функционирующей модели энергетического рынка Украины,» [В Интернете]. Available: [vestnik.kpi.kharkov.ua/files/vestnik/2011/39/2\\_39\\_2011.pdf](http://vestnik.kpi.kharkov.ua/files/vestnik/2011/39/2_39_2011.pdf).

- [73] В. Н. Папушкин, С. О. Полянцев, А. П. Щербаков и А. А. Храпков, «Методика расчета радиуса эффективного теплоснабжения для схем теплоснабжения,» [В Интернетe]. Available: [http://www.rosteplo.ru/Npb\\_files/npb\\_shablon.php?id=1601](http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=1601).
- [74] «"Про теплопостачання" Закон України від 02.06.2005 № 2633-IV з поточною редакцією від 01.01.2016 р,» Верховна Рада України, Київ, 2016.
- [75] В. Г. Семенов, «Оценка возможности организации конкуренции в системах теплоснабжения,» [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=316](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=316).
- [76] «Методика розрахунку кількості теплоти, спожитої на опалення місць загального користування багатоквартирних будинків, та визначення плати за їх опалення: Наказ Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України,» [Онлайновий]. Available: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1237-06>.
- [77] «Правила надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення: Постанова Кабінету Міністрів України від 21 липня 2005 р. № 630,» [Онлайновий]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/630-2005-%D0%BF>.
- [78] *ДСТУ EN 1434:2006. Теплолічильники.*, 2007.
- [79] «Правила користування тепловою енергією: Постанова Кабінету Міністрів України від 3 жовтня 2007 р. № 1198,» [Онлайновий]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1198-2007-%D0%BF>.
- [80] «Кодекс комерційного обліку електричної енергії: Постанова НКРЕКП від 14 березня 2018 р. № 311,» [Онлайновий]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18>.
- [81] Стрелков М.Т., «Статична модель складу системи ринку електричної енергії,» *Енергетика: економіка, технології, екологія*, т. 3, pp. 117-123, 2015.

- [82] «Правила роздрібного ринку електричної енергії: Постанова НКРЕКП від 14 березня 2018 р. № 312.,» [Онлайновий]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18>.
- [83] «Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII з поточною редакцією від 10.06.2018 р.,» [Онлайновий]. Available: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.
- [84] «Правила ринку електричної енергії: Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 №307,» [Онлайновий]. Available: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18..>
- [85] І. В. Блінов, Теоретичні засади функціонування конкурентного ринку електроенергії, Київ: Наукова думка, 2015.
- [86] З. С. Люльчак, Н. І. Хтей та Л. М. Акімова, «Засади формування конкурентних відносин на регіональних ринках теплової енергії системи централізованого тепlopостачання». *Вісник №623 Видавництва національного університету «Львівська політехніка».*
- [87] А. С. Зябкин, «Рынок тепловой энергии и его специфика в классических и современных концепциях рыночных отношений,» *Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса*, т. 3, № 25, pp. 8-15, 2011.
- [88] В. А. Малафеев, «К вопросу о едином закупщике в теплоснабжении,» *НП «Российское теплоснабжение».*
- [89] И. А. Долматов, М. Панова и И. Дробыш, «Анализ возможных последствий и проблем внедрения новой модели рынка тепловой энергии,» *Энергорынок*, т. 3, № 128, pp. 57-66, 2015.
- [90] Г. Г. Гелетуха та Т. А. Желєзна, «Аналіз моделей функціонування сектору централізованого тепlopостачання країн Європейського Союзу. Частина 1,» *Журнал «Промислова теплотехніка», т.38, №4, pp. 63-70, 2016.*

- [91] «"Концепція реалізації державної політики у сфері теплопостачання". Розпорядження Кабінету Міністрів України №569-р,» 18 серпень 2017. [В Інтернеті]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/569-2017-%D1%80>.
- [92] В. Н. Папушкин, «Радиус теплоснабжения. Хорошо забытое старое,» *Журнал «Новости теплоснабжения»*, т. 9, № 25, pp. 44-49, 2010.
- [93] А. І. Шевцов, В. О. Бараннік, М. Г. Земляний та Т. В. Рязова, «Стан та перспективи реформування системи тепло забезпечення в Україні. Аналітична доповідь.».
- [94] О. В. Демина, «Рынки тепловой энергии:тенденции пространственной организации,» *Журнал «Пространственная экономика»*, № 4, pp. 33-60, 2016.
- [95] И. Л. Акулич, Математическое программирование в примерах и задачах: Учебное пособие. 3-е изд., СПб: Издательство "Лань", 2011. - 352 с..
- [96] М. р. р. т. б. України, «БУДІВЕЛЬНА КЛІМАТОЛОГІЯ ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010,» 2011. [Онлайновий]. Available: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjZ16GgjZfoAhXKwosKHRtCC6EQFjABegQICRAB&url=https%3A%2F%2Fgeodez.com.ua%2Fpdf%2Fdstu-n-b-v.1.1-27-2010.pdf&usg=AOvVaw0jecfF7\\_oNt3lxPHgrWsDK](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjZ16GgjZfoAhXKwosKHRtCC6EQFjABegQICRAB&url=https%3A%2F%2Fgeodez.com.ua%2Fpdf%2Fdstu-n-b-v.1.1-27-2010.pdf&usg=AOvVaw0jecfF7_oNt3lxPHgrWsDK).
- [97] В. І. Дешко, В. О. Виноградов-Салтиков та В. Г. Федоров, Гідрогазодинаміка, Київ: НТУУ "КПІ", 2014.
- [98] В. В. Каплун, О. П. Кравченко, В. В. Василенко, С. С. Макаревич та Р. В. Каплун, «Аналіз методів оптимізації мікроенергетичних систем (MicroGrid) на основі джерел розподіленої генерації,» *Вісник КНУТД*, т. 2, № 84, pp. 5-17, 2015.
- [99] Hrvoje Dorotić, Tomislav Pukšec and Neven Duić, "Economical, environmental and exergetic multi-objective optimization of district heating systems on hourly level for a whole year," *Applied Energy*, no. 251, pp. 1-16, 2019.

## ДОДАТОК А Список опублікованих праць за темою дисертації

### Список наукових праць здобувача,

#### *в котрих опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. V. I. Deshko and D. S. Karpenko, "Analysis of aspects and simulation modeling of the thermal energy market in Ukraine," in *Management of technological processes in energy technologies under the general editorship of Anatoliy M. Pavelko*, Kielce, Politechnika Swietokrzyska, 2019, pp. 7-49.
2. Д. С. Карпенко та В. І. Дешко, «Побудова ефективної моделі ринку теплової енергії в реаліях України. Енергетика та електрифікація» *Енергетика та електрифікація*, т. 2, № 390, pp. 18-23, Лютий 2016.
3. V. I. Deshko and D. S. Karpenko, "Analysis of conditions for the creation of the local thermal energy market in Ukraine," *Комунальне господарство міст*, vol. 7, no. 146, pp. 68-76, 2018.
4. В. І. Дешко, А. І. Замулко та Д. С. Карпенко, «Оцінка ефективності функціонування локального ринку теплової енергії,» *Проблеми загальної енергетики*, т. 3, № 50, pp. 41-49, 2017.
5. В. І. Дешко та Д. С. Карпенко, «Техніко-економічний аналіз створення ринку теплової енергії в Україні,» *Енергетика: економіка, технології, екологія*, т. 2, pp. 26-37, 2018.
6. В. І. Дешко, А. І. Замулко та Д. С. Карпенко, «Аналіз принципів формування локальних ринків теплової енергії в системах централізованого тепlopостачання,» *Проблеми загальної енергетики*, т. 4, № 55, pp. 51-58, 2018.

#### *які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

7. V. I. Deshko, A. I. Zamulko, D. S. Karpenko, A. Mahnitko and O. Linkevics, "Evaluation of the district heating market efficiency as the function of its size and number of competing suppliers," in *2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University*, Riga, 2018.

8. V. I. Deshko and D. S. Karpenko, "Functional structure of the local thermal energy market in district heating," in *2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems*, Kyiv, 2019.
9. Anatolijs Mahnitko, Yurii Veremiichuk, Valerii Deshko, Dmytro Karpenko, "Scenario analysis for increasing efficiency level of the autonomous generation object in central heat supply," in *2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University*, Riga, 2019.
10. В. І. Дешко та Д. С. Карпенко, «Імітаційне моделювання та оптимізація ринку теплової енергії,» в *Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем», Том 2, - сс. 231-232, Чернігів, 2018.*
11. В. І. Дешко та Д. С. Карпенко, «Методика оптимізації витрат об'єктів теплогенерації підприємств на локальному ринку теплової енергії,» в *Матеріали X науково-технічної конференції Інституту Енергозбереження та Енергоменеджменту «Енергетика. Екологія. Людина», - с. 191-194, Київ, 2018.*

## **ДОДАТОК Б Методика розрахунку втрат теплової енергії та гідравлічних втрат в теплових мережах**

При створенні РТЕ виникають питання пов'язані із використанням існуючих теплових мереж в системі теплопостачання міста та будівництва нових, які б утворювали об'єднану систему для підвищення масштабу ринку, і в наслідку, його абсолютної ефективності. Визначення втрат теплової енергії та гідравлічних втрат в мережах необхідно для аналізу технічної та економічної доцільності впровадження РТЕ в межах міста. Вплив на цей показник мають наступні параметри:

- густина теплових потужностей, яку характеризує загальна кількість споживання теплової енергії в системі теплопостачання віднесена до загальної довжини теплових мереж;

- масовий потік теплоносія;
- тип прокладки ділянок теплових мереж;
- стан зносу теплових мереж;
- діаметр та матеріал трубопроводів;
- матеріал та товщина ізоляції;
- температурний графік в системі теплопостачання;
- погодні умови та ін.

При транспортуванні теплової енергії від виробників до споживачів втрати теплової енергії визначаються різницею між загальною кількістю виробленої та спожитої теплової енергії. Ця різниця є однією із статей витрат собівартості теплової енергії, як товару для споживача, отже витрати на надлишкове виробництво енергії виробниками входить в тариф згідно моделі.

В додатку формалізовано методи оцінки втрат теплової енергії та гідравлічних втрат теплоносія в подаючих та зворотніх трубопроводах при функціонуванні локальних ринків теплової енергії. Метод покладено в основу моделі, для оцінки привабливості тих чи інших географічних розташувань об'єктів теплогенерації виробників теплової енергії.

Втрати теплової енергії за сезон можна визначати двома методами: емпіричним та теоретичним. Емпіричний метод передбачає розрахунок енергетичного балансу

системи тепlopостачання на основі теплових лічильників. Сума показів теплових лічильників всіх виробників за обраний період показує загальну кількість виробленої енергії, а сума показів лічильників у всіх споживачів визначає загальну кількість спожитої теплової енергії. При проектуванні РТЕ, використання емпіричного методу неможливе, тому тільки теоретичний розрахунок втрат здатен дати адекватну оцінку відповідно до характеристики ділянок теплових мереж.

Основні втрати теплової енергії відбуваються при таких процесах як:

- теплопровідність через стінки труби та теплоізоляцію;
- конвективний теплообмін з навколишнім середовищем;
- втрати теплоносія через витік внаслідок фізичного пошкодження трубопроводу.

Теплові втрати в теплових мережах визначаються як сума втрат теплової енергії з витокom води з трубопроводів та втрат теплової енергії за рахунок охолодження теплоносія в трубопроводах [97]:

$$Q_{\text{рік}}^{\text{т.м.}} = Q^{\text{вит}} + Q^{\text{с.т.}} \quad (1)$$

де:

$Q^{\text{вит}}$  – кількість втрат теплової енергії з витокom води з трубопроводів, Гкал,

$Q^{\text{с.т.}}$  – кількість втрат теплової енергії за рахунок охолодження теплоносія в трубопроводах, Гкал.

Втрати теплової енергії з витокom води з теплової мережі визначаються за формулою:

$$Q^{\text{вит}} = 0,5 \cdot c \cdot G_{\text{вит}} \cdot (t_1 + t_2 - 2 \cdot t_{\text{х.в.}}) \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

де:

$c$  – питома теплоємність теплоносія, ккал/(м<sup>3</sup>·°С),

$G_{\text{вит}}$  – витік теплоносія за рік, т,

$t_1$  – середня температура теплоносія в подаючому трубопроводі за опалювальний сезон, °С,

$t_2$  – середня температура теплоносія в зворотньому трубопроводі за опалювальний сезон, °С,

$t_{х.в.}$  – температура холодної водопровідної води, °С.

Витік теплоносія за рік визначається за формулою:

$$G_{\text{вит}} = G_{\text{п}} - (G_{\text{нап}} + G_{\text{г.в.}}^{\text{відкр.}}) \quad (3)$$

де:

$G_{\text{п}}$  – сумарне значення підживлення теплової мережі за рік, т,

$G_{\text{нап}}$  – витрата води на наповнення трубопроводів мережі та системи тепlopостачання за рік, т,

$G_{\text{г.в.}}^{\text{відкр.}}$  – сумарна витрата води на гаряче водopостачання споживачів за рік при безпосередньому водозборі з мережі, т.

Величина середньорічного витоку теплоносія не повинна перевищувати 0,25% в годину від обсягу, тобто 2,5 л/год на 1 м<sup>3</sup> обсягу теплових мереж і визначається за формулою:

$$G_{\text{вит}} = 0,0025 \cdot V_{\text{т.м.}} \cdot \rho \cdot n \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

де:

$V_{\text{т.м.}}$  – обсяг теплоносія в теплових мережах, м<sup>3</sup>,

$\rho$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>,

$n$  – кількість годин роботи в запланований період, год.

В моделі для розрахунку втрат теплової енергії в системі тепlopостачання міста в рамках РТЕ що проектується використовується три основні типи прокладки ділянок теплових мереж:

- надземна;

- підземна канална;
- підземна безканална;

Для кожного з вищенаведених типів прокладки ділянок теплових мереж визначена укрупнена методика розрахунку питомих втрат енергії.

Надземна. Питомі теплові втрати з 1 м довжини подаючого та зворотнього трубопроводів складають:

$$q_{11} = \frac{t_1 - t_{н.с.}}{R_1} \quad (5)$$

$$q_{12} = \frac{t_2 - t_{н.с.}}{R_2} \quad (6)$$

де:

$t_{н.с.}$  – середня температура навколишнього середовища за опалювальний сезон, °С,

$q_{11}$  - питомі втрати теплової енергії в подаючому трубопроводі, Вт/м,

$q_{12}$  - питомі втрати теплової енергії в зворотньому трубопроводі, Вт/м

$t_1$  – середня температура теплоносія в подаючому трубопроводі за опалювальний сезон, °С,

$t_2$  – середня температура теплоносія в зворотньому трубопроводі за опалювальний сезон, °С,

$R_1$  – лінійний коефіцієнт термічного опору подаючого трубопроводу, м·К/Вт

$R_2$  – лінійний коефіцієнт термічного опору зворотнього трубопроводу, м·К/Вт

Лінійний коефіцієнт термічного опору визначається за коефіцієнтом теплопровідності матеріалу ізоляції, товщиною ізоляції та коефіцієнтом тепловіддачі зовнішньої поверхні:

$$R = R_{i3} + R_{\alpha} = \frac{1}{2\pi\lambda_{i3}} \ln \frac{d_{i3}}{d_{тр}} + \frac{1}{\pi d_{i3} \alpha} \quad (7)$$

де:

$R_{i3}$  – лінійний коефіцієнт термічного опору ізоляції, м·К/Вт

$R_{\alpha}$  – лінійний коефіцієнт термічного опору зовнішньої поверхні, м·К/Вт

$\lambda_{i3}$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу ізоляції, Вт/м·К

$d_{i3}$  – зовнішній діаметр труби з ізоляцією, м

$d_{тр}$  – зовнішній діаметр труби без ізоляції, м

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні стінки трубопроводу, Вт/м<sup>2</sup>·К

Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні стінки трубопроводу визначається за наступною формулою:

$$\alpha = 11,6 + 7\sqrt{w} \quad (8)$$

де:

$w$  – середня швидкість повітря за опалювальний сезон, м/с

Підземна безканална. Лінійний коефіцієнт термічного опору визначається сумою коефіцієнтів термічного опору ізоляції та ґрунту:

$$R = R_{i3} + R_{г} = \frac{1}{2\pi\lambda_{i3}} \ln \frac{d_{i3}}{d_{тр}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \frac{4h}{d_{i3}} \quad (9)$$

де:

$R_{г}$  – лінійний коефіцієнт термічного опору ґрунту, м·К/Вт

$\lambda_{гр}$  – коефіцієнт теплопровідності ґрунту, Вт/м·К

$h$  – глибина закладання труб у ґрунті, м

У випадку підземної безканалної прокладки має місце взаємний вплив подаючих та зворотніх трубопроводів. Такий вплив враховується додатковим умовним коефіцієнтом термічного опору:

$$R_0 = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{тр}}} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{b}\right)^2} \quad (10)$$

де:

$b$  – відстань між осями подаючого та зворотнього трубопроводів, м

Таким чином, питомі теплові втрати з 1 м довжини подаючого та зворотнього трубопроводів складають:

$$q_{11} = \frac{(t_1 - t_r)R_2 - (t_2 - t_r)R_0}{R_1R_2 - R_0^2} \quad (11)$$

$$q_{12} = \frac{(t_2 - t_r)R_1 - (t_1 - t_r)R_0}{R_1R_2 - R_0^2} \quad (12)$$

Підземна канална. Для розрахунку теплових втрат в каналі необхідним є визначення величини температури в каналі. Температура повітря в каналі визначається з рівняння теплового балансу:

$$\frac{t_1 - t_k}{R_1} + \frac{t_2 - t_k}{R_2} = \frac{t_k - t_r}{R_k} \quad (13)$$

де:

$R_k$  – лінійний коефіцієнт термічного опору стінок каналу, м·К/Вт

$t_k$  – середня температура повітря в каналі за опалювальний сезон, °С

При каналній прокладці двотрубних теплових мереж термічний опір між повітрям каналу та ґрунтом визначається через еквівалентний діаметр каналу.

Таким чином, лінійний коефіцієнт термічного опору стінок каналу дорівнює:

$$R_k = R_{\text{с.к.}} + R_{\Gamma} = \frac{1}{2\pi\lambda_k} \ln \frac{d_{\text{е.к.}} + \delta_k}{d_{\text{е.к.}}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{тр}}} \ln \frac{4h}{d_{\text{е.к.}} + \delta_k} \quad (14)$$

де:

$R_{с.к.}$  – лінійний коефіцієнт термічного опору стінок каналу, м·К/Вт,

$d_{с.к.}$  – еквівалентний діаметр каналу, м,

$\delta_k$  – товщина стінки перекриття каналу, м,

$\lambda_k$  – коефіцієнт теплопровідності перекриття каналу, Вт/м·К

$h$  – глибина закладання каналу в ґрунті, м

Середня температура повітря в каналі:

$$t_k = \frac{\frac{t_1}{R_1} + \frac{t_2}{R_k} + \frac{t_{гр}}{R_k}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_k}} \quad (15)$$

Визначивши лінійні коефіцієнти термічного опору подаючого та зворотнього трубопроводів, питомі теплові втрати з 1 м довжини теплової мережі складають, Вт/м:

$$q_{11} = \frac{t_1 - t_k}{R_1} \quad (16)$$

$$q_{12} = \frac{t_2 - t_k}{R_2} \quad (17)$$

Загальні втрати теплової енергії на ділянці подаючого та зворотнього трубопроводів складають:

$$Q^д = Q_1 + Q_2 = (q_{11} \cdot l \cdot (1 + \beta) + q_{12} \cdot l \cdot (1 + \beta)) \cdot 24 \cdot n \cdot 0,86 \cdot 10^{-6} \quad (18)$$

де:

$Q^д$  – втрати теплової енергії на ділянці подаючого та зворотнього трубопроводів за опалювальний сезон, Гкал,

$Q_1$  – втрати теплової енергії на ділянці теплової мережі подаючого трубопроводу за опалювальний сезон, Гкал,

$Q_2$  – втрати теплової енергії на ділянці теплової мережі зворотнього трубопроводу за опалювальний сезон, Гкал,

$l$  – довжина ділянки теплової мережі у двотрубному вимірі, м,

$\beta$  – коефіцієнт, який враховує місцеві втрати енергії. ( $\beta \approx 0,2 \dots 0,3$ ),

$n$  – кількість діб в опалювальному сезоні.

Визначивши втрати теплової енергії на всіх ділянках теплової мережі системи тепlopостачання міста, повні витрати за опалювальний сезон складають:

$$Q^{c.t.} = \sum_{i=1}^k Q_i^д \quad (19)$$

де:

$k$  – кількість ділянок теплових мереж в системі тепlopостачання.

Гідравлічні втрати теплоносія напряду впливають на тип та потужність насосу, який має прокачувати теплоносій через теплову мережу для забезпечення споживачів теплової енергії товаром, згідно результатів аукціону ЛРТЕ. Робота насосу характеризується економічними витратами на електроенергію та експлуатацію насосу в частині ремонтів. Ці витрати визначають, в тому числі, рівень ціни та теплову енергію для кінцевого споживача.

В рамках моделі локального ринку теплової енергії взаємне розташування виробників та споживачів теплової енергії визначає конфігурацію теплових мереж, що у наслідку відображається в гідравлічних втратах теплоносія, які є одним з критеріїв оцінки ефективності ЛРТЕ.

Розрахунок трубопроводу виконується з метою визначення сумарного напору, що в свою чергу необхідно для правильного підбору машини для перекачування

рідкого або газоподібного середовища. Загальна формула для визначення сумарного напору виглядає наступним чином:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + H_{\Gamma} + \Sigma h_{\text{вт}} \quad (20)$$

де:

$p_1$  – тиск в смоктуючій ємності, Па,

$p_2$  – тиск в приймальній ємності, Па,

$\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>,

$H_{\Gamma}$  – геометрична висота підйому рідини, яка перекачується, м.

Перший з доданків формули розрахунку напору є перепад тисків, який повинен бути подоланий в процесі перекачування рідини. Можливі випадки, коли тиск  $p_1$  і  $p_2$  збігаються, при цьому створюваний насосом напор буде йти на підняття рідини на певну висоту і подолання опору.

Другий доданок відображає геометричну висоту, на яку необхідно підняти рідину, що перекачується. Важливо відзначити, що при визначенні цієї величини не враховується геометрія напірного трубопроводу, який може мати кілька підйомів і спусків.

Третя складова характеризує зниження створюваного напору, залежне від характеристик трубопроводу, по якому перекачується середу. Реальні трубопроводи неминуче будуть чинити опір току рідини, на подолання якого необхідно мати запас величини напору. Загальний опір складається з втрат на тертя в трубопроводі і втрат в місцевих опорах, таких як повороти і відводи труби, вентилі, розширення і звуження проходу і т.д.

Сумарні втрати напору визначається за формулою:

$$\Sigma h_{\text{вт}} = h_l + h_m \quad (21)$$

де:

$h_l$  - втрата напору по довжині, м;

$h_m$  – втрата напору при місцевих опорах, м.

Згідно заданого масового потоку теплоносія в ділянці теплової мережі, швидкість теплоносія буде дорівнювати:

$$w = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (22)$$

де:

$Q$  – масовий потік теплоносія в ділянці труби, кг/с;

$d$  – внутрішній діаметр труби, м.

Втрата напору, пов'язана з подоланням сил тертя при течії рідини в трубі по довжині, визначається рівнянням Дарсі-Вейсбаха:

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} \quad (23)$$

де:

$\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного тертя, безрозмірна величина, що характеризує співвідношення сил тертя та інерції, і саме її визначення і є предмет гідравлічного розрахунку трубопроводу;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Коефіцієнт тертя залежить від режиму течії, і для ламінарного і турбулентного потоку визначається по-різному. Режим течії визначається числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{wd}{\nu} \quad (24)$$

де:

$\nu$  – кінематична в'язкість рідини, м<sup>2</sup>/с.

При  $Re < 2320$  відбувається ламінарний режим потоку рідини в трубі, і коефіцієнт гідравлічного тертя не залежить від матеріалу труби. При ламінарному режимі потоку рідини коефіцієнт гідравлічного тертя знаходиться за формулою:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (25)$$

При значеннях  $Re \geq 2320$  спостерігається перехідний та турбулентний режими потоку теплоносія в трубі, і тому коефіцієнт гідравлічного тертя залежить від матеріалу труби. Матеріал труби, при розрахунку коефіцієнту гідравлічного тертя характеризується відносною шорховатістю труби:

$$e = \frac{\Delta}{d_e} \quad (26)$$

де:

$\Delta$  - абсолютна шорховатість труби, мм;

$d_e$  – еквівалентний діаметр труби, мм.

Еквівалентний діаметр використовується при розрахунку трубопроводів нециліндричної форми (овальні, прямокутні) і відповідає діаметру круглого трубопроводу, що створює аналогічні втрати на тертя, що і наявний трубопровід нециліндричної форми, при однаковій їх довжині. Існують різноманітні формули розрахунку еквівалентного діаметра для різних геометричних форм трубопроводів, але в загальному випадку застосовується наступна формула:

$$d_e = \frac{4F}{P} \quad (27)$$

де:

$F$  – площа поперечного перерізу труби,  $m^2$ ;

$P$  - внутрішній периметр поперечного перерізу трубопроводу, м.

Для трубопроводу циліндричної форми еквівалентний і внутрішній діаметри будуть співпадати за величиною.

При  $2320 \leq Re < 10/e$ :

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (28)$$

При  $10/e \leq Re < 560/e$ :

$$\lambda = 0,11 \left[ e + \frac{68}{Re} \right]^{0,25} \quad (29)$$

При  $Re \geq 560/e$ :

$$\lambda = 0,11e^{0,25} \quad (30)$$

Втрата напору, пов'язана з подоланням сил тертя при течії рідини в трубі в місцевих опорах:

$$h_m = \Sigma \xi_m \cdot \frac{w^2}{2g} \quad (31)$$

де:

$\Sigma \xi_m$  – сума коефіцієнтів місцевого опору.

Як видно з формули, втрати напору в місцевих опорах залежить тільки від швидкості і від суми коефіцієнтів місцевого опору, значення якого для спрощення розрахунку зведені в таблиці для різних видів місцевих опорів [ ].

Потужність, яка йде на передачу енергії рідині, яка перекачується, визначається за формулою:

$$N_{\Pi} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (32)$$

Споживана потужність насосної установки визначається за формулою:

$$N_d = \frac{N_n}{\eta_n \cdot \eta_{\Pi} \cdot \eta_d} \quad (33)$$

де:

$\eta_n$  – коефіцієнт корисної дії насосу,

$\eta_{\Pi}$  – коефіцієнт корисної дії передачі,

$\eta_d$  – коефіцієнт корисної дії двигуна.

## ДОДАТОК В Інструкція користувача програмного забезпечення «Thermal Energy Market»

### Вступ

Програмне забезпечення «Thermal Energy Market» призначене для виконання моделювання локальних ринків теплової енергії в межах міст, в яких існує будь-яка із типів систем тепlopостачання (централізована, помірно-централізована, децентралізована, автономна), або система тепlopостачання відсутня. В «Thermal Energy Market» проводиться розрахунок технічних та економічних показників теплоенергетичних систем з метою визначення прогнозованої ефективності функціонування РТЕ в місті, в якому він створюється. Програмне забезпечення «Thermal Energy Market» призначене для проектування та розрахунку моделей в системах тепlopостачання в частині стратегічного планування розвитку міст.

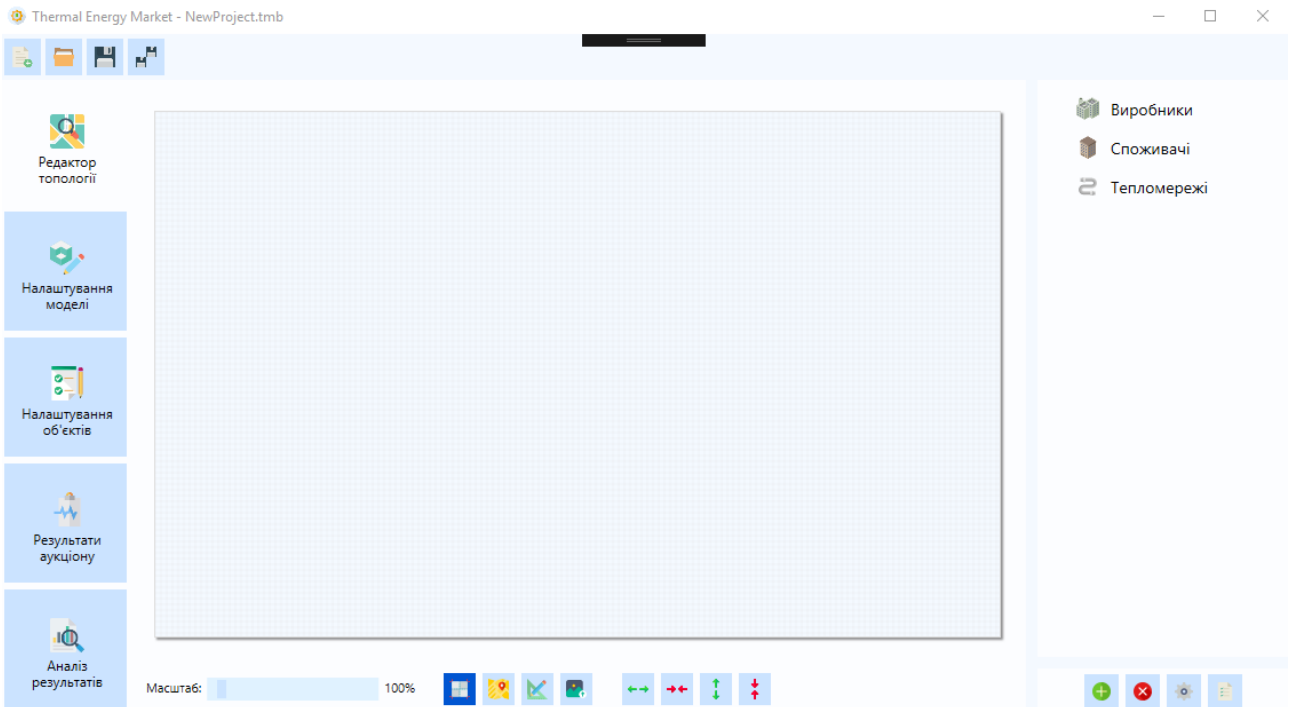
Суть моделювання полягає у визначенні об'єктів РТЕ на карті міста в проекті, їх налаштування, та отримання результатів на основі заданих умов.

Програмне забезпечення «Thermal Energy Market» має 5 основних вкладок:





1. Редактор топології
2. Налаштування моделі
3. Налаштування об'єктів
4. Результати аукціону
5. Аналіз результатів


### Вкладка «Редактор топології»

Вкладка «Редактор топології» є основною при запуску програмного забезпечення «Thermal Energy Market». Дана вкладка призначена для нанесення об'єктів моделі (виробники, споживачі та теплові мережі) на мапу міста, в якому проводиться моделювання. Вид вкладки представлений на рис. 1.




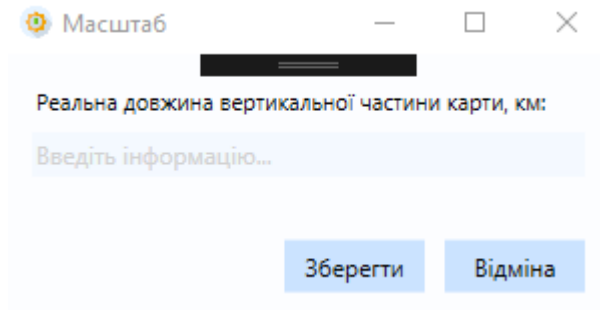
*Рисунок 1 – Вкладка «Редактор топології»*

Для початку розробки проекту необхідно створити проект натиснувши на кнопку «Створити новий проект» . У випадку наявності збереженого проекту, завантажити його можна за допомогою кнопки «Завантажити проект» . Для збереження прогресу розробки проекту існують кнопки «Зберегти»  та «Зберегти як...» . Усі проекти програмного забезпечення мають формат “.tmb”.





В основі вкладки «Редактор топології» є робоче поле, на якому знаходяться всі об'єкти моделі. На робоче поле можна завантажити мапу міста, на основі якого проводиться моделювання. Для цього необхідно натиснути кнопку «Завантажити мапу» . В якості мапи можна завантажити рисунки у форматах .JPG або .BMP.


Після завантаження мапи, для подальших адекватних розрахунків, необхідно встановити масштаб мапи, яка була завантажена. Для цього, необхідно визначити фактичну довжину в «км» від верхньої до нижньої точки фрагменту мапи, яка була обрана для завантаження. Для визначення фактичної «висоти» фрагменту можна використати інструмент «Аналіз відстані», який існує в більшості геоінформаційних систем. Після того, як фактична довжина буда визначена, необхідно натиснути на

кнопку «Масштаб» . В результаті натискання кнопки з'явиться діалогове вікно «Масштаб», в якому необхідно ввести визначену фактичну довжину. Вид діалогового вікна представлений на рис. 2.



*Рисунок 2 – Діалогове вікно редагування масштабу мапи*

На робочому полі вкладки «Редактор топології» існує допоміжна сітка, яку можна відключити натисканням на кнопку «Допоміжна сітка» . Для відключення мапи в робочому полі, необхідно натиснути на кнопку «Мапа» . Для редагування розмірів робочого поля існують кнопки  .

Для розробки проекту, необхідно створити закриту систему теплопостачання яка буде включати всі 3 типи об'єктів передбачені в даному програмному забезпеченні. Для створення будь-якого об'єкта необхідно натиснути на кнопку «Створити об'єкт...» . При натисканні на кнопку «Створити об'єкт...» з'явиться діалогове вікно, в якому необхідно задати ім'я та тип об'єкта. Вид діалогового вікна представлений на рис. 3.

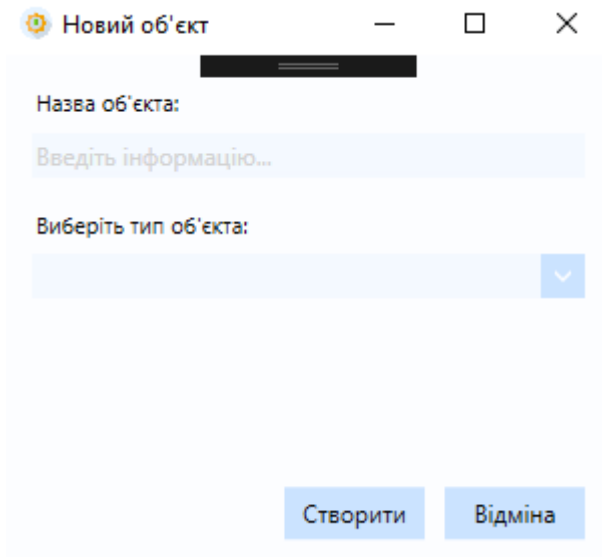


Рисунок 3 – Діалогове вікно створення об'єкта

Після натискання кнопки «Створити», з'явиться обраний об'єкт, який необхідно нанести на основне робоче поле проекту відповідно до його місцезнаходження на мапі. Після нанесення обраного об'єкта на мапі, його ім'я з'явиться в переліку об'єктів проекту з правої сторони вкладки. Результат проведеної операції показано на рис. 4.

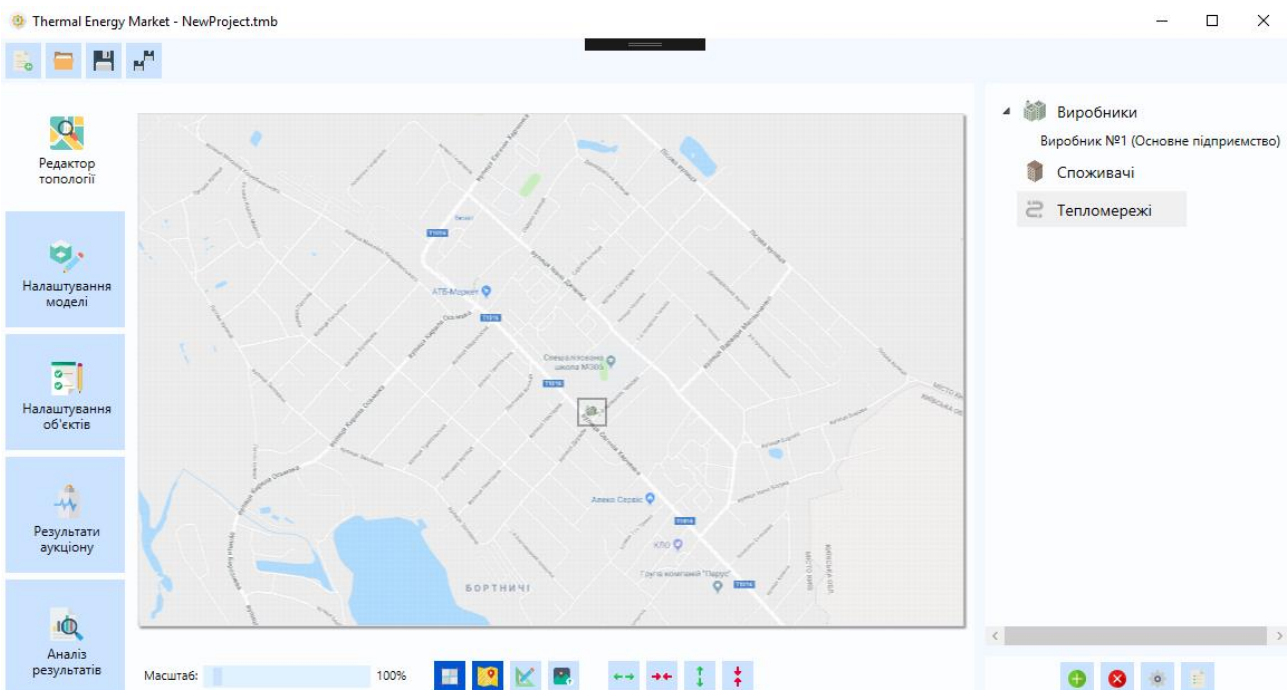




Рисунок 4 – Нанесення об'єктів на робоче поле програми

Для того, щоб видалити об'єкт з проекту, необхідно натиснути на сам об'єкт на робочому полі, або в переліку об'єктів, і після цього натиснути на кнопку «Видалити об'єкт» . Для зміни назви, або додаткових параметрів об'єкта, необхідно натиснути на кнопку «Налаштування об'єкта» . Після натискання на кнопку «Налаштування об'єкта» з'явиться діалогове вікно «Первинні налаштування», де можна змінити основні параметри об'єктів. Вид діалогового вікна представлений на рис. 5.

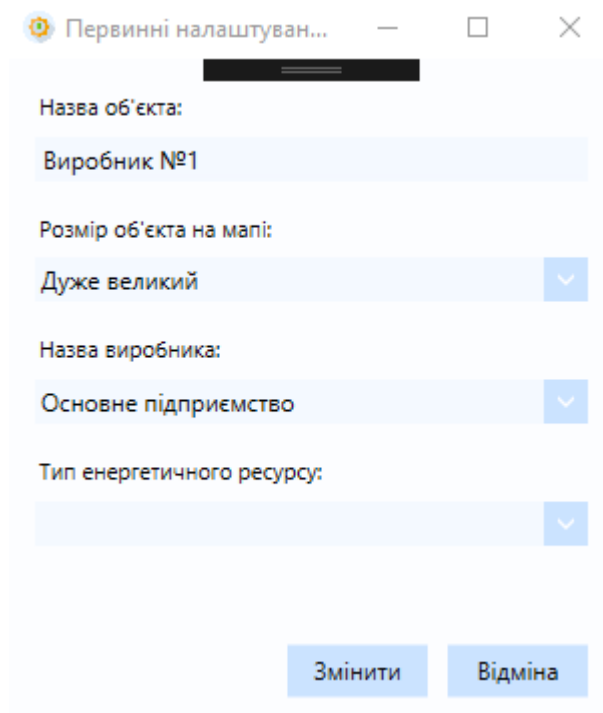



Рисунок 5 – Діалогове вікно «Первинні налаштування»

Для редагування переліку підприємств, які здійснюють діяльність з виробництва теплової енергії на РТЕ в моделі необхідно натиснути на кнопку «Список підприємств» . Після натискання на кнопку «Список підприємств» з'явиться діалогове вікно «Список підприємств», де можна додавати, змінювати назву та видаляти підприємства зі списку. Вид діалогового вікна представлений на рис. 6.

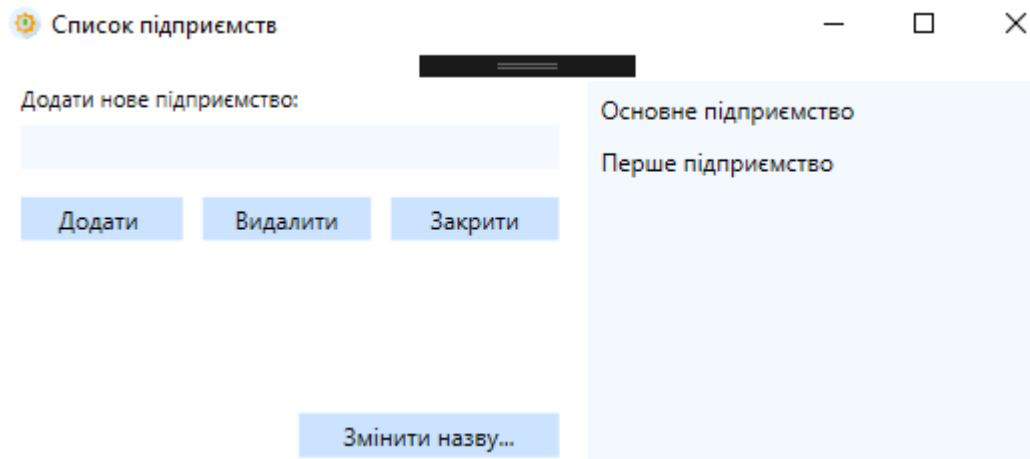


Рисунок 6 – Діалогове вікно «Список підприємств»

Після нанесення всіх необхідних об'єктів проекту необхідно провести налаштування моделі.

### **Вкладка «Налаштування моделі»**

На вкладці «Налаштування моделі» проводяться налаштування параметрів, які мають місце на локальному RTE де він аналізується. Загальний вид вкладки представлений на рис. 7.

На вкладці «Налаштування моделі» існують наступні параметри:

- Коефіцієнт частки ринку
- Опція оптимізації коефіцієнту частки ринку
- Розраховані параметри максимальної потужності основного та незалежних виробників, МВт
- Нормативні характеристики об'єкта дослідження (середня температура повітря в опалювальний сезон, кількість днів опалювального періоду, середня температура в подаючому трубопроводі, середня температура в зворотньому трубопроводі)
- Відносний графік теплового навантаження, %
- Розрахований графік річного теплового виробництва
- Розраховані загальні та відносні втрати в теплових мережах
- Розрахована загальна довжина та довжина новозбудованих теплових мереж

- Капітальні витрати на створення РТЕ, грн
- Відсоток компенсації збитків основного підприємства, %

Thermal Energy Market - NewProject.tmb

**Редактор топології**

**Налаштування моделі**

**Налаштування об'єктів**

**Результати аукціону**

**Аналіз результатів**

**Коефіцієнт частки ринку**

Коефіцієнт частки ринку: 0,15

Оптимізувати коефіцієнт частки ринку

Максимальна потужність основного виробника, МВт: 8,44

Максимальна потужність незалежного виробника, МВт: 1,27

**Нормативні характеристики об'єкта дослідження**

Середня температура повітря в опалювальний сезон, °C: 0

Кількість днів опалювального сезону: 174

Середня температура в подаючому трубопроводі, °C: 70

Середня температура в зворотньому трубопроводі, °C: 55

**Відносний графік теплового споживання, %**

Вересень:	0	Березень:	10
Жовтень:	5	Квітень:	3
Листопад:	13	Травень:	0
Грудень:	20	Червень:	0
Січень:	27	Липень:	0
Лютий:	22	Серпень:	0

**Графік річного теплового виробництва**

Загальне споживання: 20000 Гкал | Загальне виробництво: 20000 Гкал

Загальні втрати в теплових мережах, Гкал: 0

Відносні втрати в теплових мережах, %: 0,00

Загальна довжина всіх теплових мереж, км: 0,000

Довжина новозбудованих теплових мереж, км: 0,000

**Витрати на створення ринку теплової енергії**

Капітальні витрати на створення ринку теплової енергії, грн: 0

**Компенсація коштів основному підприємству**

Процент компенсації збитків основного підприємства, %: 100

[Зберегти](#)

Рисунок 7 – Вкладка «Налаштування моделі»

Після заповнення всіх необхідних параметрів, необхідно натиснути на кнопку «Зберегти», для збереження всіх заданих параметрів. Після проведених налаштувань моделі необхідно перейти на вкладку «Налаштування об'єктів».

### Вкладка «Налаштування об'єктів»

Відповідно до виконаного проекту в «Редакторі топології», для кожного нанесеного об'єкта необхідно вказати параметри для подальшого розрахунку моделі. Вид вкладки для кожного з типів об'єктів наведено на рис 8, 9 та 10.

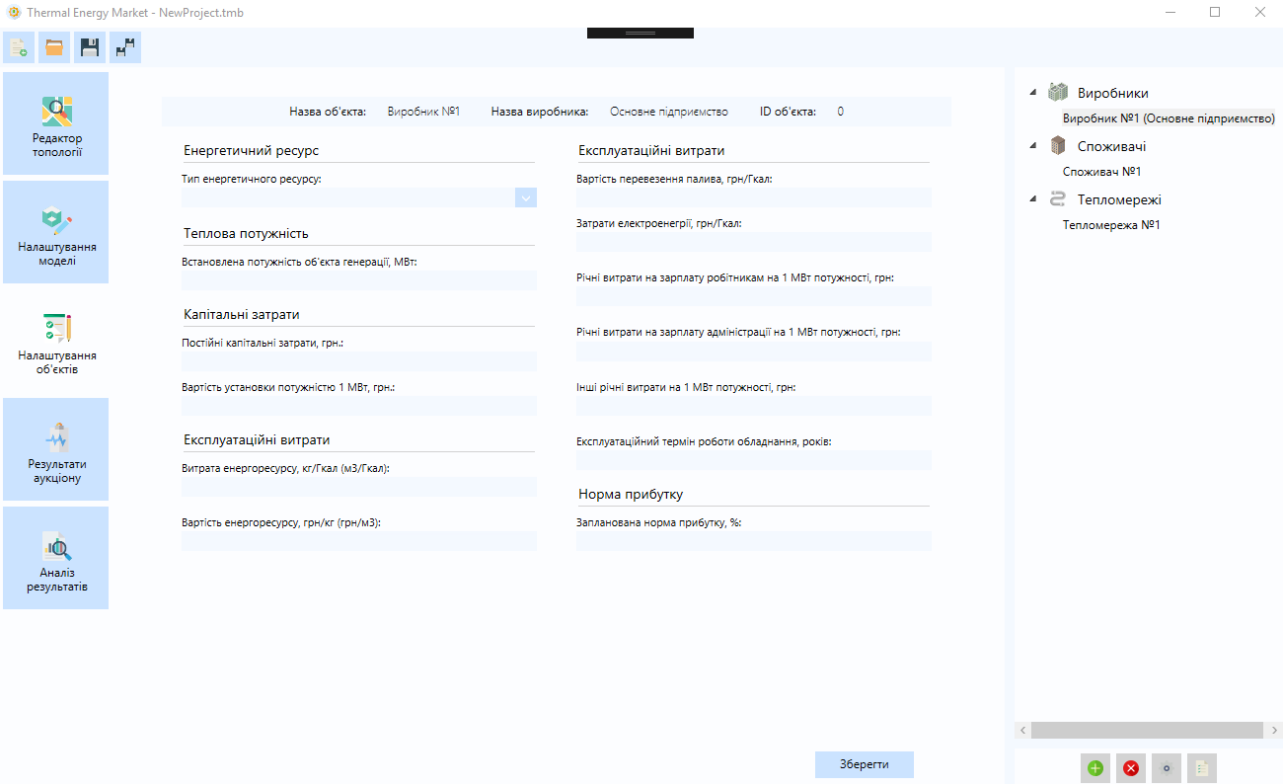


Рисунок 8 – Вкладка «Налаштування об’єктів» для типу об’єкта – виробник

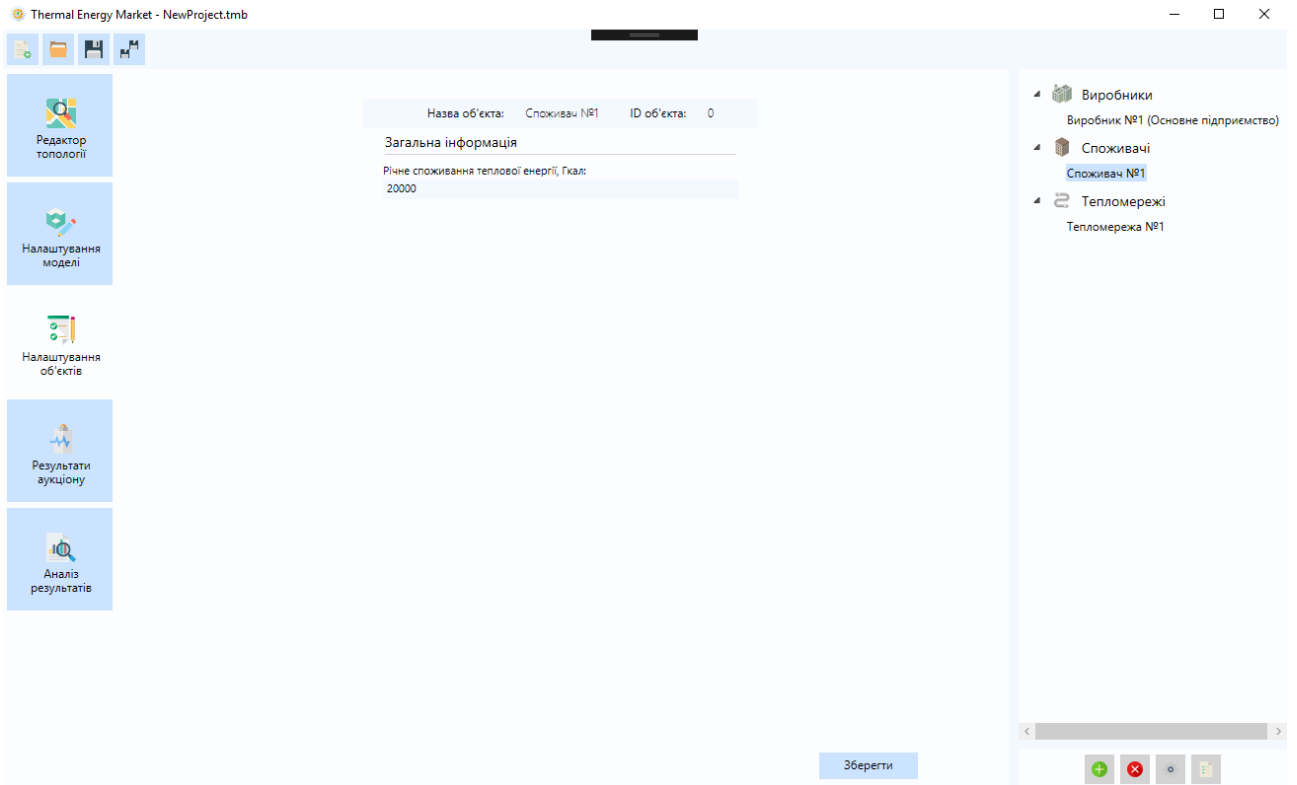


Рисунок 9 – Вкладка «Налаштування об’єктів» для типу об’єкта – споживач

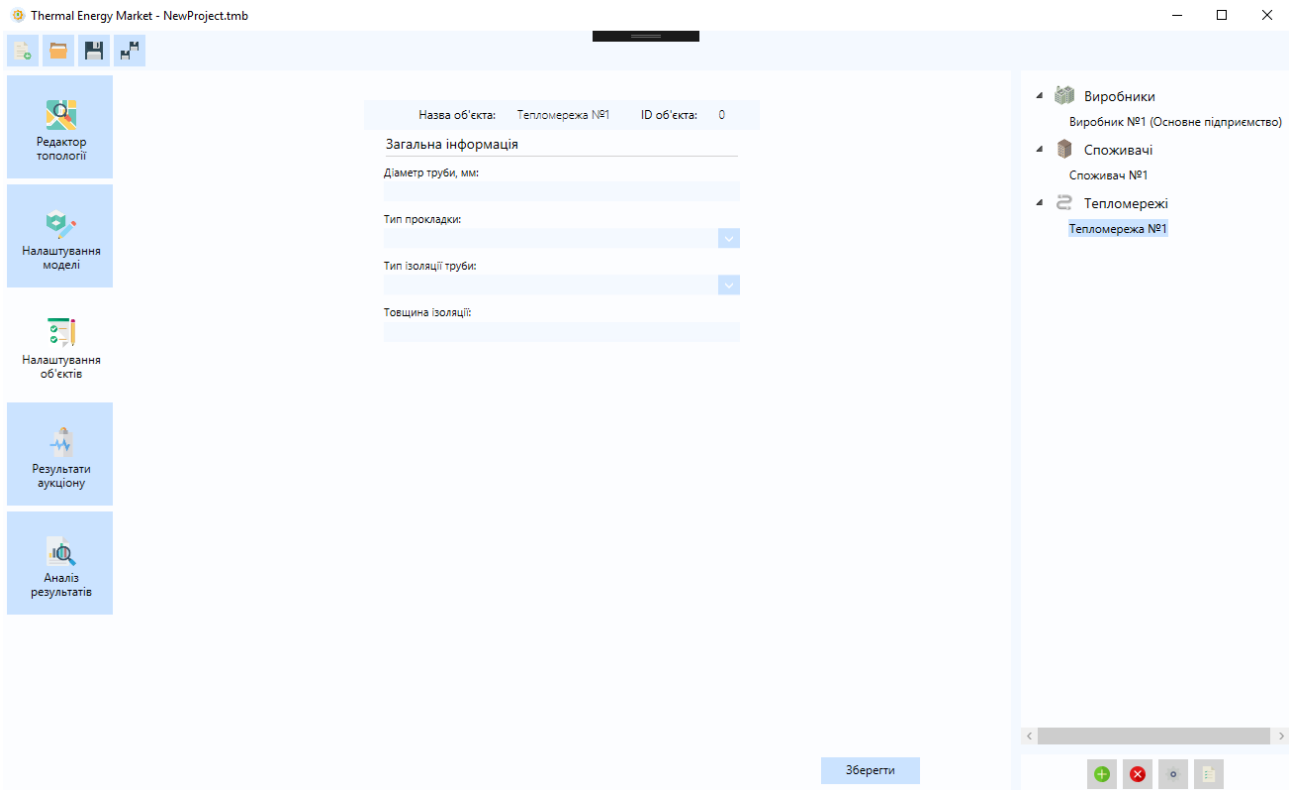


Рисунок 10 – Вкладка «Налаштування об'єктів» для типу об'єкта – тепломережа

Для кожного з типів об'єктів вносяться технічні та економічні параметри відповідно до існуючих або спроектованих умов, які мають місце при розрахунку моделі РТЕ.

Після завершення введення даних для кожного з об'єктів необхідно натискати кнопку «Зберегти» для збереження параметрів в проєкті.

Після завершення редагування кожного з об'єктів, необхідно перейти на вкладку «Результати аукціону».

### **Вкладка «Результати аукціону»**

Після завершення розробки проєкту і введення даних на вкладках «Редактор топології», «Налаштування моделі» та «Налаштування об'єктів», на вкладці «Результати аукціону» стає можливим виконати розрахунок моделі.

Для того, щоб почати розраховувати модель, необхідно натиснути на кнопку «Розрахувати модель». Після натискання на кнопку, буде виконаний розрахунок і

представлені результати. Вид вкладки «Результати аукціону» після прорахунку представлений на рис. 11.

The screenshot displays the 'Thermal Energy Market - Iipen.tmb' interface. It features a sidebar with navigation options: 'Редактор топології', 'Налаштування моделі', 'Налаштування об'єктів', 'Результати аукціону', and 'Аналіз результатів'. The main content area is divided into two tables.

**Таблиця результатів проведення аукціону**

Назва виробника	Потужність, МВт	Жовтень	Листопад	Грудень	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Сума, Гкал
Виробник NR7	3.30	398.3	1035.6	1593.2	2111.5	1752.5	796.6	239.0	7927
Виробник NR5	3.15	398.3	1035.6	1593.2	2015.5	1752.5	796.6	239.0	7831
Виробник NR1	3.23	398.3	1035.6	1593.2	2063.5	1752.5	796.6	239.0	7879
Виробник NR6	3.30	398.3	1035.6	1593.2	2111.5	1752.5	796.6	239.0	7927
Виробник NR3	3.30	398.3	1035.6	1593.2	2111.5	1752.5	796.6	239.0	7927
Виробник NR2	3.30	398.3	1035.6	1593.2	2111.5	1752.5	796.6	239.0	7927
Виробник NR4	3.23	265.5	690.4	1062.1	1814.1	1168.4	531.1	159.3	5691
Основне підприємство	22.40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0

**Таблиця фінансових результатів виробників**

Назва виробника	Потужність, МВт	Сума, Гкал	Тариф, грн/Гкал	Виторг, грн	Витрати, грн	Прибуток, грн	Відхилення, грн	Рентабельність, %
Виробник NR7	3.30	7927	886.73	7028836	3141885	3886950	0	55.30
Виробник NR5	3.15	7831	1115.50	8735185	7682284	1052902	0	12.05
Виробник NR1	3.23	7879	1148.94	9052189	6997769	2154400	0	23.80
Виробник NR6	3.30	7927	1257.41	9967122	8718730	1248392	0	12.53
Виробник NR3	3.30	7927	1321.12	10472181	9518290	953891	0	9.11
Виробник NR2	3.30	7927	1392.54	11036261	8940922	2097339	0	19.00
Виробник NR4	3.23	5691	1406.58	8004890	7164622	840268	-1370670	10.50
Основне підприємство	22.40	0	1885.11	0	6222469	-6222469	-6344735	-82939182432227000
		53107	1210.73	64298510	58286991	6011673	-7715405	

At the bottom right, there is a 'Розрахувати модель' button and a list of producers in the 'Виробники' sidebar.

Рисунок 11 – Вкладка «Результати аукціону» після розрахунку моделі

На вкладці «Результати аукціону» представлені результати розрахунку аукціону РТЕ за рік помісячно в таблиці «Таблиця результатів проведення аукціону» та «Таблиця фінансових результатів виробників», де представлені технічні і економічні показники кожного з підприємств (потужність, сума виробленої теплової енергії, тариф, виторг, витрати, прибуток, відхилення від запланованого прибутку, рентабельність), які приймали участь у функціонуванні РТЕ за рік.

Після аналізу отриманих даних, необхідно перейти на вкладку «Аналіз результатів».

### Вкладка «Аналіз результатів»

На вкладці «Аналіз результатів» представлені поглиблені результати розрахунку моделі в частині загальних показників. Дані результати характеризують ефективність всього РТЕ відповідно до виконаного проекту. На основі отриманих результатів аналізується доцільність впровадження РТЕ в місті, яке досліджувалось.

Загальний вид вкладки «Аналіз результатів» представлений на рис. 12.



Рисунок 12 – Вкладка «Аналіз результатів»

## ДОДАТОК Г Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

### Акти впровадження результатів дисертаційної роботи (Київ).

**Висновок щодо практичного використання  
результатів наукових та науково-практичних досліджень  
Інституту енергозбереження та енергоменеджменту**

**КШ ім. Ігоря Сікорського**

Цим висновком ДП "ДЕРЖАВТОТРАНСНДІПРОЕКТ" підтверджує, що результати наукових та науково-практичних досліджень фахівців Інституту енергозбереження та енергоменеджменту, зокрема к.т.н. Веремійчука Ю.А., к.т.н. Суходуб І. О., аспіранта Карпенка Д.С., щодо розробки динамічних моделей функціонування різних джерел енергії для енергозабезпечення підприємства дали змогу отримати корисний ефект.

Зазначені практичні рішення щодо об'єкту теплогенерації дали змогу встановити, що об'єкт має потенціал до підвищення рівня техніко-економічної ефективності шляхом будівництва додаткових джерел відновлюваної енергії, який визначається зниженням витрат на виробництво теплової енергії на рівні 4,6%.

В результаті виконаного сценарного аналізу роботи об'єкта теплогенерації, встановлено, що внаслідок можливої організації підключення до централізованої системи теплопостачання спостерігається зниження витрат на виробництво теплової енергії на власні потреби до 22,2%.

За результатами дослідження розроблені технічні рішення щодо встановлення сонячної електростанції, визначено її режими роботи та потенціал генерації електричної енергії, що становить лише 32,2% від обсягу споживаної підприємством енергії.

В результаті проведеного динамічного моделювання на об'єкті встановлено, що використання комбінованої системи дозволить зменшити споживання електричної енергії з мережі приблизно на 100 МВт·год в рік, а також заміщувати близько 55 МВт·год теплової енергії на потреби опалення та ГВП.

**Перший заступник  
директора з наукової роботи  
ДП "ДержавтотрансНДІпроект"**



**В.Б. Агєєв**

**Головний інженер**



**О. Калук**