

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Таврійський національний університет
імені В.І. Вернадського
Навчально-науковий інститут муніципального управління
та міського господарства
Кафедра інженерних систем та технологій

На правах рукопису

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ БУДИНКУ
ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ
ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

Здобувача вищої освіти
Янчинського Дениса Сергійовича
Освітня програма
«Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»
(Спеціальність
174 «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та
робототехніка»)

(підпис)

Науковий керівник:
ст. викл. Мінаєва Ю.Ю.

(підпис)

Національна шкала _____
Кількість балів _____
Оцінка: ECTS

Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського
 Навчально-науковий інститут муніципального управління
 та міського господарства
 Кафедра Інженерних систем та технологій
 Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
 Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
 робототехніка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Завідувач кафедри
 _____ Наталія ОМЕЦІНСЬКА
 « ____ » _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Янчинського Дениса Сергійовича

1. Тема роботи: Термомодернізація системи опалення будинку шляхом впровадження автоматизованої теплонасосної установки
 керівник роботи: ст.викл. Мінаєва Ю.Ю.

затверджені Наказом ТНУ імені В.І Вернадського:
 від «7» листопада 2025 № 138/1-ОД

2. Строк подання студентом роботи: 25.05.2026

3. Вихідні дані до роботи: Параметри існуючої системи централізованого теплопостачання; експлуатаційні характеристики теплонасосної установки; температурні графіки 90/70 °С, 80/60 °С, 70/50 °С."

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Проаналізувати існуючі вітчизняні та закордонні системи теплопостачання та навести їх класифікацію; Обґрунтувати вибір температурного графіка системи централізованого теплопостачання для м. Києва; Провести аналіз роботи опалювальної котельні та дослідити роботу теплонасосної установки за допомогою методу циклів; Провести математичне моделювання для визначення впливу зміни температурних графіків на роботу нагрівального приладу; пропрацювати охоону праці та безпеку в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу: графічна робота виконана у вигляді мультимедійної презентації

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	старший викладач Юлія МІНАЄВА		
Розділ 2	старший викладач Юлія МІНАЄВА		
Розділ 3	старший викладач Юлія МІНАЄВА		
Розділ 4	старший викладач Юлія МІНАЄВА		

7. Дата видачі завдання _____ 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Заключний документ етапу
1	Вибір теми бакалаврської роботи, призначення керівника	до 31.10.2025	Затвердження переліку тем бакалаврських робіт
2	Пошук і відбір літератури по темі роботи, складання плану бакалаврської роботи	до 14.12.2025	Список літературних джерел, план роботи
3	Визначення об'єкта, предмета, мети, завдань та методів дослідження, написання вступу до теми бакалаврського дослідження	до 25.01.2026	Текст вступу
4	Написання тексту бакалаврської роботи відповідно до її структури:	26.01.2026-17.05.2026	Текст розділів
	4.1 I розділ	26.01.2026-6.03.2026	Текст розділу
	4.2 II розділ	9.03.2026-27.03.2026	Текст розділу
	4.3 III розділ	30.03.2026-17.04.2026	Текст розділу
	4.4 IV розділ	20.04.2026-8.05.2026	
5	Підготовка графічних матеріалів чи іншого унаочнення	11.05.2026-15.05.2026	Роздатковий матеріал, презентація
6	Оформлення кінцевого списку використаних джерел та додатків	11.05.2026-15.05.2026	Список літературних джерел
7	Оформлення та попередній захист бакалаврської роботи	18.05.2026-22.05.2026	Бакалаврська робота, рішення кафедри про допуск до захисту
8	Внесення коректив та кінцеве редагування бакалаврської роботи	25.05.2026-29.05.2026	Бакалаврська робота
9	Реєстрація бакалаврської роботи на кафедрі	1.06.2026-5.06.2026	Бакалаврська робота внесена до журналу реєстрації випускових робіт
10	Захист бакалаврської роботи	10.06.2026-28.06.2026	Рішення Екзаменаційної комісії про захист

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	09
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. ЦЕНТРАЛІЗОВАНЕ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТА ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ	12
1.1. Енергетична та економічна ефективність систем централізованого теплопостачання	13
1.2. Комплексна ефективність централізованого опалення та когенерації ...	16
1.3. Інтеграція систем централізованого теплопостачання в інфраструктуру сучасних міст	19
1.4. Стан сектора централізованого теплопостачання в окремих групах країн	20
Висновки до розділу 1	31
РОЗДІЛ 2. АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	33
2.1 Організація схем централізованого теплозабезпечення	36
2.2 Критерії вибору та обґрунтування комплексів теплозабезпечення	44
2.3 Організаційні та технічні засади експлуатації систем теплопостачання ..	46
Висновки до розділу 2	48
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ПРИ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	50
3.1 Опалювальні котельні. Загальні характеристики та принципи функціонування	50
3.2 Теплонасосні установки. Основні експлуатаційні характеристики та принципи дії	54
3.3 Математичне моделювання теплообмінних процесів у нагрівальному обладнанні	58
Висновки до розділу 3	69
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	71
4.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації котельні	72
4.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці і виробничої санітарії	78
4.3 Забезпечення пожежної безпеки котельні, що проектується	80
4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях при експлуатації теплогенеруючого комплексу	82
Висновки до розділу 4	84
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89

АНОТАЦІЯ

Янчинський Д. С. Термомодернізація системи опалення будинку шляхом впровадження автоматизованої теплонасосної установки. – Рукопис.

Кваліфікаційна бакалаврська робота за спеціальністю 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка". – Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, Київ, 2026 рік.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі досліджено сучасні системи теплопостачання України та розроблено комплексні інженерні заходи із термомодернізації системи опалення будинку шляхом впровадження автоматизованої теплонасосної установки. Проведено аналіз роботи опалювальних котелень та досліджено роботу теплонасосної установки за допомогою термодинамічного методу циклів. Виконано математичне 3D-моделювання теплообмінних процесів у чавунному радіаторі MC-140 M2-500 для визначення впливу зміни температурних графіків (90/70 °С, 80/60 °С, 70/50 °С) на роботу нагрівального приладу та його тепловіддачу. Опрацьовано питання охорони праці, зокрема розроблено комплекс превентивних технічних рішень та заходів безпеки в надзвичайних ситуаціях при експлуатації теплогенераторних установок (котелень). Практичне значення полягає у можливості значного скорочення обсягів споживання традиційних енергоносіїв (природного газу) та підвищенні загальної енергоефективності та енергонезалежності систем теплопостачання.

Об'єкт дослідження – процес термомодернізації системи теплопостачання та опалення будинку.

Предмет дослідження – методи підвищення енергоефективності, експлуатаційні характеристики автоматизованої теплонасосної установки та теплообмінні процеси в нагрівальних приладах.

Мета роботи – аналіз сучасних систем теплопостачання, обґрунтування та розробка комплексних інженерних заходів із термомодернізації системи

опалення будинку шляхом впровадження автоматизованої теплонасосної установки.

Методи дослідження – системний аналіз, термодинамічний аналіз (метод циклів), математичне 3D-моделювання.

Ключові слова: термомодернізація, система опалення, теплонасосна установка, енергоефективність, математичне моделювання, централізоване теплопостачання, радіатор, автоматизація котельні.

ABSTRACT

Yanchinsky D. S. Thermal modernization of the heating system of a house by implementing an automated heat pump installation. – Manuscript.

Qualification bachelor's thesis in specialty 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics". – V.I. Vernadsky Tavrichesky National University, Kyiv, 2026.

In the bachelor's qualification work, modern heat supply systems of Ukraine were studied and comprehensive engineering measures for thermal modernization of the heating system of the house were developed by implementing an automated heat pump installation. The operation of heating boiler rooms was analyzed and the operation of the heat pump installation was studied using the thermodynamic method of cycles. Mathematical 3D modeling of heat exchange processes in the cast-iron radiator MS-140 M2-500 was performed to determine the impact of changing temperature schedules (90/70 °C, 80/60 °C, 70/50 °C) on the operation of the heating device and its heat transfer. Occupational safety issues were studied, in particular, a set of preventive technical solutions and safety measures in emergency situations during the operation of heat-generating installations (boilers) was developed. The practical significance lies in the possibility of significantly reducing the consumption of traditional energy carriers (natural gas) and increasing the overall energy efficiency and energy independence of heat supply systems.

The object of the study is the process of thermal modernization of the heat supply and heating system of the house.

The subject of the research is methods of increasing energy efficiency, operational characteristics of an automated heat pump installation and heat exchange processes in heating devices.

The purpose of the work is to analyze modern heat supply systems, justify and develop comprehensive engineering measures for thermal modernization of the heating system of a house by implementing an automated heat pump installation.

Research methods – system analysis, thermodynamic analysis (cycle method), mathematical 3D modeling.

Keywords: thermal modernization, heating system, heat pump installation, energy efficiency, mathematical modeling, district heating, radiator, boiler room automation.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Умовні позначення:

- Q - теплова потужність;
- N - електрична потужність;
- B - витрата палива;
- V - об'ємна витрата;
- G - масова витрата;
- E - річні витрати електроенергії;
- ΔP - гідравлічний або аеродинамічний опір;
- D_y - діаметр умовного проходу;
- t - температура;
- Δt - температурний перепад;
- ρ - густина;
- c - теплоємність;
- O - опалення;
- B - вентиляція;

Скорочення:

- ГВП - гаряче водопостачання;
- ТВЕЛ –тепловиділяючий елемент;
- АЕС – атомна електростанція;
- США – Сполучені Штати Америки;
- ПАР – Південно-Африканська Республіка;

Індекси верхні:

- g - гаряча вода;
- h - холодна вода;
- e - димові гази;
- dx - димохід;

Індекси нижні:

- n - навколишня
- m - мережна;
- K - котла;
- $цирк$ - циркуляційна;

ВСТУП

Сучасний енергетичний сектор України з точки зору забезпечення енергоресурсами перебуває у складному становищі та змушений імпортувати всі їхні ключові види, зокрема природний газ, нафтопродукти, вугілля та електроенергію.

Особливо гостро стоїть питання забезпечення паливом тих об'єктів, на яких встановлені пиловугільні котли. Внаслідок бойових дій на сході країни вони втратили доступ до належної кількості пального. Частково цю нестачу вугілля покривають за рахунок імпорту з Південно-Африканської Республіки (ПАР), Австралії та інших країн. Проте транспортування вугілля на відстань, що перевищує 400 кілометрів, є економічно не вигідним. Окрім цього, критично важливим є той факт, що топки існуючих енергоблоків були спроектовані спеціально для роботи на вугіллі Донецького басейну, тому вони не можуть максимально ефективно спалювати імпортоване паливо з іншими фізико-хімічними характеристиками.

Ядерне паливо, а саме тепловиділяючі елементи (ТВЕЛ) для атомних електростанцій (АЕС), також є предметом імпорту. Історично значна його частина закуповувалася в Росії, проте наразі відбувається планомірний перехід на використання паливних збірок компанії Westinghouse (США) [1]. Що стосується природного газу, то в Україні є власні запаси, які забезпечують приблизно 37% внутрішніх потреб, тоді як уся решта обсягів змушено імпортується.

Через нестачу пального, морально та фізично застаріле обладнання електрогенеруючих станцій, а також воєнні події на сході країни суттєво впало виробництво електроенергії, що перетворило її на ще одну вагому статтю імпорту.

У зв'язку з усім вищезгаданим, особливу увагу потрібно приділяти раціональному використанню енергетичних ресурсів. Обмеження енергоспоживання та управління попитом на енергію є одними з основних принципів збалансованого енергетичного розвитку. Енергозбереження

виступає своєрідною суттєвою добавкою до наявних енергетичних ресурсів, інакше кажучи, воно дає можливість ефективно заощадити енергоносії. При цьому необхідне не лише впровадження новітніх енергозберігаючих технологій, а також повноцінна заміна та енергетична модернізація тих систем, що вже існують.

Серед основних недоліків у паливно-енергетичному комплексі України варто виділити низький коефіцієнт корисної дії (ККД) вітчизняних електростанцій, який становить 29–31%, тоді як найкращі зарубіжні енергоблоки досягають показника ККД у 41%. До того ж енергетична система страждає від морально застарілого обладнання, поганого технічного стану розподільчих мереж теплопостачання, низької частки використання відновлюваної енергетики, а також вкрай низького рівня енергоефективності будівель житлово-комунального сектору.

Враховуючи зазначену проблематику, метою бакалаврської роботи є аналіз та дослідження сучасних систем теплопостачання України.

РОЗДІЛ 1. ЦЕНТРАЛІЗОВАНЕ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТА ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Протягом останніх десятиліть антропогенне навантаження на природні екосистеми безпрецедентно зросло. Сучасна модель розвитку суспільства має яскраво виражений нестійкий характер, що супроводжується стрімким вимиранням біологічних видів, масштабним виснаженням запасів природних ресурсів та тотальним забрудненням довкілля. Найбільш небезпечним наслідком такого дисбалансу є глобальні кліматичні трансформації, які ставлять під серйозний удар перспективи безпечного та повноцінного існування людства у найближчому майбутньому. У разі збереження поточних тенденцій нераціонального господарювання, постійно зростаюче населення Землі неминуче наблизиться до критичної межі, зумовленої остаточною втратою екологічно здорового середовища для проживання.

Ситуація ускладнюється тим, що на сьогоднішній день у світі відсутній єдиний та дієвий механізм глобального управління, здатний ефективно координувати спільні зусилля всіх держав. Локальні ініціативи окремих країн чи міжнародних інституцій щодо запобігання кліматичним змінам виявляються занадто слабкими та недостатніми, щоб відвернути екологічну катастрофу. Серед усього спектру існуючих загроз саме неефективне та нераціональне споживання енергії виступає тим ключовим фактором, що здатний спровокувати повномасштабну світову кризу.

У цьому контексті технологія централізованого теплопостачання розглядається як один із найефективніших інструментів, здатних забезпечити колосальну економію енергоресурсів за умови її раціонального застосування. Використання високотехнологічних та сучасних систем центрального опалення відіграє критично важливу роль у подоланні вищезазначених глобальних викликів. Це зумовлено низкою вагомих техніко-економічних переваг. Зокрема, будівництво та експлуатація кількох потужних теплогенеруючих установок з фінансової точки зору обходяться значно дешевше, ніж утримання еквівалентної кількості дрібних індивідуальних джерел тепла.

Крім того, великі генераційні потужності надають можливість використовувати низькосортні види палива, гарантуючи при цьому високу ефективність процесу згоряння та суворий контроль за мінімізацією шкідливих викидів. Важливим екологічним аспектом є також те, що завдяки використанню високих димових труб забруднюючі речовини розсіюються у значно вищих шарах атмосфери. Можливість диверсифікації енергоносіїв на великих централізованих станціях (спалювання кількох видів палива) дозволяє оперативно обирати найбільш економічно доцільні та безпечні логістичні ланцюжки їх постачання. У підсумку, саме потужні теплогенеруючі підприємства є запорукою підтримки належного санітарного стану та високої екологічної якості сучасних урбанізованих територій.

На сьогоднішній день сектор централізованого опалення (ЦО) набув значного поширення і здатний задовольняти близько 50% і більше загального попиту на теплову енергію. Найбільший розвиток ця галузь отримала у постсоціалістичних державах, а також у країнах Скандинавського регіону, таких як Швеція, Фінляндія, Данія та Ісландія. Хоча енергетичні стратегії багатьох європейських держав зазвичай активно декларують підтримку та просування технологій ЦО, практичний процес їх масштабного розгортання просувається досить важко та повільно. Враховуючи той факт, що за статистичними оцінками приблизно 75% населення Європи мешкає у містах і саме ці території відповідальні за продукування 80% усіх забруднюючих речовин, централізоване виробництво енергії має розглядатися як один із найпотужніших та найдієвіших інструментів для комплексного вирішення екологічних проблем.

1.1. Енергетична та економічна ефективність систем централізованого теплопостачання

Порівнюючи генеруючі потужності, варто зазначити, що великі підприємства централізованого опалення (ЦО) характеризуються вищими показниками загальної сезонної ефективності порівняно з локальними теплогенераторами, встановленими на рівні окремих будинків чи квартир. Ця

перевага досягається шляхом впровадження високотехнологічного обладнання, безперервного диспетчерського моніторингу, оперативного налаштування режимів та систематичного технічного сервісу. Хоча малі теплогенеруючі установки також здатні демонструвати хороші робочі параметри, їхнє функціонування носить періодичний характер, що неминуче призводить до суттєвих тепловтрат під час кожного пускового розігріву системи. Як наслідок, сезонна ефективність виробництва енергії індивідуальними газовими котлами, обчислена за нижчою теплотою згоряння палива, переважно коливається в межах 75–85%. Натомість грамотно спроектована та професійно експлуатована централізована станція здатна забезпечувати середньорічну ефективність на рівні 90%. Цей розрив у показниках продуктивності стає ще більш відчутним під час аналізу установок, які використовують як енергоносії газойль або деревну сировину.

З фінансової точки зору процеси будівництва, технічного обслуговування та повсякденної експлуатації одного потужного теплогенеруючого комплексу вимагають значно менших витрат, ніж утримання сотень чи тисяч дрібних автономних котелень із сумарно аналогічною тепловою потужністю. Подібна закономірність спостерігається і в інфраструктурному аспекті: розбудова розгалужених газорозподільних мереж із масою допоміжного обладнання для локальних споживачів обходиться дорожче, ніж прокладання єдиної потужної магістралі до централізованої станції теплопостачання. Конкурентні переваги масштабних підприємств над індивідуальними джерелами тепла стають беззаперечними у тих випадках, коли доцільно використовувати економічно вигідні, але складні у спалюванні види енергоресурсів, до яких належать важкі фракції нафти та буре вугілля.

Попри очевидні плюси, системи централізованого опалення мають і вагомий недолік, який обов'язково береться до уваги на етапі енергетичного планування. Мова йде про необхідність створення та обслуговування складної системи теплових мереж, що генерує додаткові інвестиційні та експлуатаційні витрати, а також супроводжується втратами частини теплової

енергії під час транспортування. Обсяг цих фізичних втрат виступає головним індикатором якості тепломережі, і його найкраще аналізувати через порівняння теплотехнічних параметрів. Для прикладу, магістралі ЦО, змонтовані кілька десятиліть тому, оснащувалися ізоляційними матеріалами з коефіцієнтом теплопровідності від 0,04 до 0,175 Вт/(м·К). Сучасні ж трубопровідні системи використовують новітню ізоляцію, що забезпечує зниження цього показника до рівня 0,02–0,03 Вт/(м·К). Така різниця в матеріалах кардинально впливає на зменшення розсіювання тепла. Фактичні тепловтрати піддаються ефективному контролю та мінімізації завдяки впровадженню передових методів прокладання труб і застосуванню інноваційних засобів інструментальної діагностики.

Рівень відносних тепловтрат у магістралях ЦО перебуває у прямій залежності від сумарного обсягу енергії, що транспортується системою. Цей показник формується під впливом таких факторів, як щільність теплового навантаження споживачів на одиницю площі, специфіка місцевих кліматичних умов та обраний температурний графік. У випадку подачі високотемпературного теплоносія через труби з пошкодженою або неякісною теплоізоляцією, обсяги втраченої енергії можуть сягати 30% і більше від загальної кількості згенерованого тепла.

Аналіз історичного досвіду держав, які пройшли етап енергетичних трансформацій, дозволяє виокремити кілька типових сценаріїв еволюції систем ЦО. Перший сценарій передбачав децентралізацію малоефективних систем із мінімальним тепловим навантаженням шляхом встановлення місцевих джерел генерації. Другий, негативний шлях, стосувався масштабних та потенційно життєздатних мереж, які через відсутність належного державного регулювання та підтримки зіткнулися з масовими відключеннями. Це зробило їх нерентабельними, ненадійними та призвело до остаточної децентралізації. Натомість третій, позитивний сценарій довів, що теплові мережі, які вдалося зберегти та піддати поетапній модернізації, сьогодні перетворилися на надзвичайно корисну та перспективну енергетичну інфраструктуру. Для забезпечення технічної та економічної

ефективності схеми ЦО режим державного регулювання повинен формувати дієві стимули та адекватні цінові сигнали для її безперервного оновлення. Яскравим підтвердженням цього є досвід Литви, де грамотне регулювання сектору стимулювало скорочення вимірюваних втрат тепла при транспортуванні з 32,3% до 15,7% у період з 1996 по 2009 рік.

Проводячи порівняльний аналіз економічної ефективності систем ЦО на противагу альтернативним методам опалення, необхідно враховувати комплекс визначальних критеріїв. До них належать доступність різних видів палива та прогнозована динаміка їхньої вартості, поточний стан ринку енергоносіїв, перспективи розвитку національної та муніципальної енергетичної інфраструктури, показники щільності споживачів, а також жорсткість санітарних та екологічних вимог щодо спалювання конкретних матеріалів. Варто визнати, що в багатьох державах із перехідною економікою втрати в системах ЦО залишаються значними, через що послуги централізованого постачання часто змушені конкурувати з індивідуальними газовими котлами за умови наявності доступу до природного газу.

Водночас використання сучасних попередньо ізольованих труб із високими теплозахисними властивостями відкриває широкі перспективи для проєктування надзвичайно довгих і розгалужених магістралей. У європейській практиці існують успішні проєкти, де трубопроводи централізованого опалення протяжністю до 50 кілометрів об'єднують між собою окремі міста. Такі масштабні мережі часто інтегрують у свою структуру потужні сміттєспалювальні підприємства або великі промислові заводи, що дозволяє утилізувати скидне тепло та створювати максимально ефективні з економічної точки зору регіональні схеми теплопостачання.

1.2. Комплексна ефективність централізованого опалення та когенерації

Поняття когенерації застосовується для опису технологічного процесу, який передбачає одночасне паралельне виробництво електричної та корисної теплової енергії в рамках єдиного робочого циклу. Електростанції,

що здійснюють таке комбіноване генерування з подальшою передачею тепла до систем централізованого теплопостачання або для забезпечення інших промислових чи побутових потреб, традиційно називають теплоелектроцентралями (ТЕЦ). Варто зазначити, що споживання теплової енергії носить яскраво виражений сезонний характер і досягає максимуму переважно в найхолодніші періоди року (за винятком стабільного цілорічного попиту на гаряче водопостачання), тоді як електрична енергія використовується постійно. З цієї причини максимальна продуктивність когенераційного методу має певні часові обмеження, хоча сам по собі цей спосіб комбінованої генерації визнаний надзвичайно ефективним.

Справжню енергетичну ефективність когенераційного режиму найкраще ілюструє його порівняння з роздільними методами виробництва. Згідно із законами термодинаміки, процес генерування електроенергії за допомогою викопних видів палива, ядерного пального або навіть відновлюваних джерел невідворотно супроводжується викидом значної частки залишкової теплової енергії у навколишнє середовище. На сьогодні ледь частка електроенергії на європейському континенті продовжує генеруватися за допомогою парових котлів, бойлерів високого тиску та парових турбін. Хоча протягом останнього десятиліття активно впроваджуються новітні газотурбінні установки, адаптовані під технологію ТЕЦ, рівень теплових втрат у них зменшився, але все ще залишається вагомим. У класичному циклі відпрацьована в турбінах пара має пройти етап конденсації, під час якого виділене тепло переважно просто розсіюється у просторі. Енергетичні об'єкти, що працюють за такою схемою і скидають основний обсяг тепла без корисної утилізації, класифікуються як конденсаційні електростанції.

Під час оцінки загальної енергетичної ефективності заведено вважати базовий обсяг теплової енергії, що виділяється при спалюванні палива, за 100% (так звана первинна енергія, розрахована за нижчою теплотою згоряння). Якщо генерація тепла відбувається окремо, майже весь енергетичний потенціал палива успішно трансформується у корисну теплову енергію. Натомість при роздільному виробництві виключно електричної

енергії від 45% до 70% первинної енергії безповоротно втрачається, залежно від застосованої технології та технічних параметрів конкретної станції. Навіть найсучасніші конденсаційні електростанції здатні перетворити в кінцевий електричний струм лише близько 40% енергії первинного палива. Як наслідок, у країнах Європи, як і в глобальному масштабі, колосальні обсяги енергетичних ресурсів витрачаються марно. Наочним прикладом цього є те, що спалювання одного кубічного метра природного газу за нормальних умов дозволяє отримати лише 3,72 кВт·год електричної енергії, тоді як ледова частка потенціалу, а саме 5,57 кВт·год, перетворюється на безповоротні теплові втрати [5].

Ситуація докорінно змінюється за умови одночасного комбінованого виробництва обох видів енергії. Хоча в режимі когенерації питома частка виробленої електрики може бути дещо меншою, загальний коефіцієнт ефективності використання енергетичних ресурсів стрімко зростає. Проте повноцінна реалізація цього потенціалу стикається з інфраструктурними перешкодами: у більшості держав ЄС існують значні обмеження щодо транспортування виробленого тепла до кінцевих споживачів. Це зумовлено відсутністю розгалужених систем теплорозподілу та недостатньою зацікавленістю з боку абонентів. Утилізація залишкового тепла стає можливою виключно там, де розбудовуються мережі централізованого опалення, які фізично підключаються до когенераційних установок (ТЕЦ). Низькопотенційне тепло з температурним показником нижче 100 °С, що відводиться від електростанцій, виступає ідеальним ресурсом для обігріву житлових будівель і забезпечення потреб у гарячій воді. Навіть з урахуванням втрат у тепломагістралях під час транспортування, вони є неспіврозмірно меншими порівняно з тими обсягами теплової енергії, що просто скидаються в атмосферу на класичних електростанціях.

У підсумку, комплексна енергоефективність інтегрованої системи, що поєднує централізоване теплопостачання та теплоелектроцентральною, значною мірою залежить від фактичних обсягів теплової енергії, успішно доставленої та реалізованої кінцевим користувачам. Цей кінцевий показник формується

під впливом багатьох об'єктивних зовнішніх чинників, серед яких ключову роль відіграють місцеві кліматичні умови, географічна щільність розташування споживачів та інші супутні параметри.

1.3. Інтеграція систем централізованого теплопостачання в інфраструктуру сучасних міст

Масштабні комплекси централізованого теплопостачання відкривають широкі можливості для об'єднання різноманітних джерел генерації теплової енергії в єдину мережу, одночасно сприяючи вирішенню суміжних муніципальних завдань, зокрема проблеми ефективної утилізації міських відходів. Актуальність цього напрямку стрімко зростає у глобальному масштабі, оскільки традиційні полігони та звалища для складування побутового сміття швидко переповнюються і вичерпують свій просторовий ресурс. Вагомим додатковим стимулом до енергетичного використання відходів виступає необхідність суттєвого скорочення неконтрольованих викидів метану — небезпечного парникового газу, що інтенсивно утворюється на сміттєзвалищах у процесі природного розкладання органічних залишків.

Незважаючи на значні екологічні ризики, у багатьох державах муніципальні тверді відходи продовжують масово вивозити на відкриті полігони. Альтернативним і значно раціональнішим підходом є термічна утилізація на спеціалізованих сміттєспалювальних підприємствах. Завдяки впровадженню сучасних автоматизованих систем контролю та багатоступеневої фільтрації димових газів, такі заводи дозволяють запобігти потраплянню в атмосферу колосальних обсягів токсичних речовин. При цьому енергія, що вивільняється в процесі високотемпературного спалювання, не втрачається, а ефективно збирається та спрямовується на корисне використання [6].

З інженерно-технологічної точки зору сучасні сміттєспалювальні комплекси, обладнані передовими засобами керування котельними агрегатами, є цілком співставними з традиційними тепловими

електростанціями, що працюють на вугіллі. Головна відмінність полягає в тому, що експлуатаційна потужність заводу з утилізації жорстко лімітується річними обсягами доступної сировини, придатної для переробки. Як свідчить статистика, підприємство середнього масштабу здатне стабільно переробляти та спалювати близько 200 000 тонн муніципального сміття протягом одного календарного року [6].

Відповідно, залучення міського сміття як альтернативного паливного ресурсу для генерації енергії дає змогу суттєво зменшити частку споживання дороговартісного природного газу чи інших традиційних видів вуглеводнів. У комплексі всі ці інноваційні кроки — від заміщення первинних енергоносіїв до технологічної оптимізації процесів теплогенерації — створюють міцні передумови для зниження собівартості послуг і здатні вкрай позитивно вплинути на оптимізацію тарифних сіток для кінцевих споживачів теплової енергії.

1.4. Стан сектора централізованого теплопостачання в окремих групах країн

Системи централізованого теплопостачання відіграють ключову роль в енергетичному балансі більшості держав із перехідною економікою, особливо в тих географічних зонах, де використання цієї технології історично вкорінене і продиктоване суворими кліматичними умовами. Проте серйозною проблемою залишається той факт, що функціонування комплексів централізованого опалення переважно спирається на використання дороговартісного енергоресурсу — природного газу. Як наслідок, значна кількість країн постсоціалістичного табору виявляється критично залежною від цінових коливань на глобальних ринках вуглеводнів. У таких умовах автономне (індивідуальне) опалення починає складати серйозну конкуренцію централізованим мережам. Ця тенденція особливо помітна там, де фіксуються масштабні втрати теплової енергії під час її транспортування та розподілу, що в поєднанні з високою вартістю палива призводить до надмірного фінансового навантаження на споживачів.

Стратегічне значення технологій централізованого опалення (ЦО) для формування національних енергосистем визначається комплексом факторів: об'єктивною потребою в обігріві через кліматичні особливості, загальними обсягами теплової енергії, що транспортується існуючими магістралями, а також специфікою історичного та соціально-економічного розвитку кожної окремої держави.

Аналіз обсягів теплової енергії, що реалізується через системи ЦО в європейських країнах, наочно проілюстровано на рисунку 1.1. Наведені дані підтверджують, що наявний сектор централізованого теплопостачання у цих державах формує надійний фундамент для подальшого впровадження технологій когенерації та активної інтеграції відновлюваних джерел енергії у загальний енергобаланс [4].

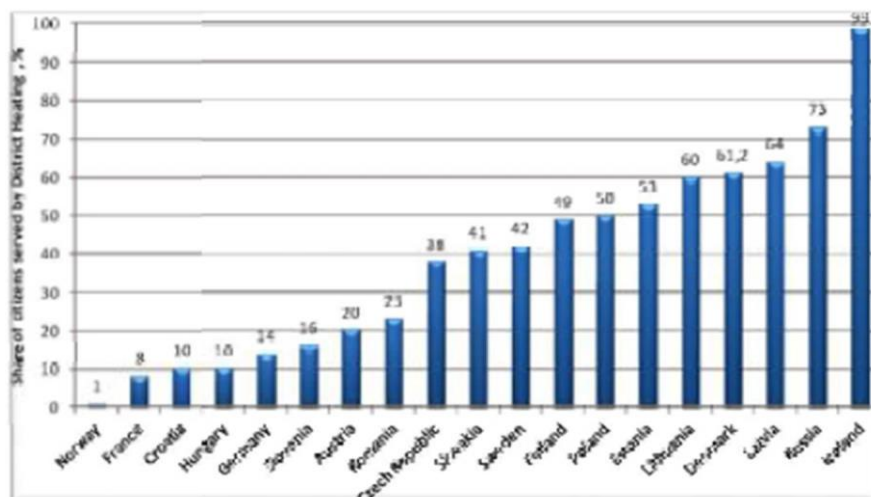


Рисунок 1.1 — Частка ЦО в загальному попиті на тепло країн Європи

Найпотужніші сектори централізованого опалення в межах Європейського Союзу функціонують у Німеччині, Швеції та Польщі, де щорічні обсяги реалізації теплової енергії перевищують позначку у 50 ТВт·год. Однак, якщо оцінювати частку ЦО у структурі загальнонаціонального попиту на тепло, то беззаперечне лідерство належить країнам Скандинавського півострова (за виключенням Норвегії).

Історичний розвиток теплогенеруючих підприємств у державах, що є давніми членами Європейського Союзу, відбувався плановірно і без різких кризових явищ. Натомість еволюція секторів централізованого опалення у

низці колишніх соціалістичних країн зазнала потужного впливу кардинальних соціально-економічних трансформацій. Відповідно, спостерігається глибока розбіжність у характері реформ між постсоціалістичними державами, які нещодавно інтегрувалися до ЄС, та тими, що залишилися поза його межами. З огляду на це, подальший аналіз розвитку систем ЦО та оцінка відповідних регуляторних механізмів структурується на основі поділу країн на типологічні групи.

1.4.1. Розвиток централізованого теплопостачання в країнах, що давно вступили до ЄС

У країнах так званої «старої Європи» (давніх членах ЄС) інфраструктура централізованого опалення формувалася еволюційним шляхом. Вона масштабувалася адекватно до зростання попиту на теплову енергію та функціонувала на засадах ринкової конкурентоспроможності, уникаючи серйозних шоків у правовій, регуляторній чи економічній площинах. Така стабільність забезпечувала можливість чіткого прогнозування витрат, планомірного розширення теплових мереж шляхом приєднання нових абонентів та своєчасної адаптації до новітніх технічних і екологічних стандартів.

Високорозвинений та масштабований сектор ЦО є характерною ознакою трьох скандинавських держав. Зокрема, Фінляндія та Швеція виступають класичними прикладами ринків, де галузь теплопостачання працює за умов мінімального державного втручання. Більшість споживачів, для яких підключення до центральних мереж є економічно виправданим, вже користуються послугами компаній ЦО. Згідно з аналітичними даними організації Euroheat [2], загальні обсяги реалізації тепла у цих двох країнах залишалися стабільно високими протягом тривалого періоду початку 2000-х років. Протилежна динаміка спостерігалася в Данії: там у жорстко регульованому секторі ЦО загальний обсяг проданого тепла за аналогічний період зріс приблизно на 50%, що нап'язує пов'язують із суворою державною політикою регламентації методів опалення.

На території Швеції теплопостачальні компанії функціонують у висококонкурентному середовищі, що надає їм право самостійно формувати цінову політику. При цьому загальний контроль за прозорістю енергетичного ринку здійснюють Інспекція енергетичного ринку та Агентство з питань конкуренції Швеції. До кінця першого десятиліття 2000-х років ринкова частка ЦО охоплювала майже 42% від сумарного місцевого попиту на теплову енергію. За останні півстоліття споживання енергії від систем централізованого опалення в цій країні продемонструвало колосальне зростання: з трохи більше ніж 10 ТВт·год у 1970 році до показника у 50 ТВт·год. У Фінляндії системи ЦО охоплюють практично всі великі та малі урбанізовані центри, забезпечуючи теплом понад 2,6 мільйона громадян. Фінський ринок має багато спільних рис зі шведським, зокрема щодо відсутності жорсткого тарифоутворення та вільного доступу до альтернативних джерел обігріву, що є особливо актуальним для власників приватних садиб. Загалом до мереж ЦО у Фінляндії підключено близько 49% усіх домогосподарств.

Досвід Данії та Фінляндії яскраво ілюструє, як наявність розвинених систем ЦО стимулює впровадження когенераційних технологій: у цих державах понад 30% усієї електроенергії генерується саме в комбінованому режимі. У Швеції цей показник є дещо нижчим через сильну конкуренцію з боку потужних гідроелектростанцій та атомної енергетики. У більшості інших давніх держав-членів ЄС частка когенерації у загальному балансі виробництва електрики залишається незначною. Експерти наголошують, що саме слабе проникнення технологій ЦО у багатьох європейських країнах виступає головною перешкодою для розбудови ефективної когенерації, що змушує інституції ЄС розробляти нові програми стимулювання розвитку теплових мереж. У цьому контексті лідерами залишаються Фінляндія та Данія, де частка тепла, виробленого на ТЕЦ, сягає вражаючих 75–85%.

Скандинавський регіон також демонструє ще одну вагому екологічну перевагу розвиненої інфраструктури ЦО: понад 30% теплової енергії, що постачається споживачам, генерується шляхом спалювання відновлюваних

видів палива та утилізації відходів. Завдяки орієнтації на місцеві енергоресурси, ці країни значно менше залежать від імпорتنих поставок природного газу порівняно з тими державами ЄС, де домінує газове опалення.

Серед країн Центральної Європи показовим є приклад Австрії, де розбудова сектору ЦО визначена як пріоритетний напрямок і демонструє стабільну динаміку зростання. Станом на кінець 2000-х років у країні успішно функціонувало близько 400 станцій централізованого теплопостачання, а забезпечення попиту лягло переважно на плечі муніципальних комунальних підприємств.

У свою чергу, Німеччина володіє найбільшим за абсолютними обсягами сектором централізованого опалення в ЄС, хоча у відносному вимірі він охоплює лише 13,3% загального фонду приміщень. Паралельно з цим у країні набирає обертів тенденція до енергетичної модернізації будівель, що передбачає масове впровадження індивідуальних геліотермальних систем для підвищення загальної енергоефективності.

Підсумовуючи стан розвитку систем централізованого теплопостачання в країнах «старої Європи», можна виділити кілька базових характеристик: По-перше, частка ринку ЦО суттєво варіюється в межах ЄС, але тотальне домінування цього методу обігріву зафіксовано лише у трьох скандинавських країнах. По-друге, масштабний потенціал когенерації, нерозривно пов'язаний із наявністю теплових мереж, наразі повноцінно реалізований лише у Фінляндії та Данії. По-третє, найвищих показників інтеграції відновлюваних ресурсів та енергії з відходів (понад 30% у структурі первинного палива) досягнуто виключно в країнах Скандинавії. По-четверте, за винятком суворо регульованої данської моделі, еволюція ЦО у давніх країнах ЄС базується на принципах вільного ринкового ціноутворення з мінімальним державним адмініструванням. По-п'яте, активне розгортання національних програм енергозбереження та встановлення автономних сонячних колекторів здатне у майбутньому дещо знизити попит на послуги систем ЦО.

Згідно з фундаментальним дослідженням Урбана Перссона (Urban Persson) [6], для досягнення оптимального балансу близько 60% території великих європейських міст має забезпечуватися теплом саме через централізовані системи. З огляду на поточну та прогнозовану цінову кон'юнктуру, така частка ринку вважається найбільш економічно доцільною за умов середнього рівня інтеграції. Однак досягнення такого показника у щільно забудованих урбанізованих зонах є складним інженерним завданням. На сьогодні до цієї еталонної позначки наблизилися лише Швеція, Фінляндія та Данія. Це свідчить про те, що колосальний потенціал технологій ЦО у більшості держав «старої Європи» залишається нерозкритим.

Успішні приклади впровадження когенерації беззаперечно доводять життєву необхідність збереження та розширення мереж ЦО. Усвідомлюючи це, уряди більшості західноєвропейських країн розробляють стратегічні плани та запроваджують заохочувальні заходи для стимулювання розвитку централізованого теплопостачання. Проте практична реалізація цих намірів — прокладання нових теплових магістралей в умовах існуючої міської забудови — регулярно стикається з масштабними технічними, логістичними та нормативно-правовими перепонами [2].

1.4.2. Розвиток централізованого опалення в країнах з перехідними економіками та в країнах, що нещодавно вступили до Європейського Союзу

Історично склалося так, що комплекси централізованого теплопостачання набули масового поширення на теренах колишніх соціалістичних держав, географічно розташованих у зонах із холодним кліматом. Завдяки реалізації комплексних містобудівних планів створювалися сприятливі умови для проектування та зведення масштабних систем централізованого опалення, які ефективно функціонували в тандемі з когенераційними установками. Проте наприкінці двадцятого століття ця налагоджена система зазнала кардинальних трансформацій.

На перших етапах впровадження ринкових реформ виникло явище масової та часто недобросовісної конкуренції з боку альтернативних засобів обігріву. Головними супротивниками традиційних мереж теплопостачання стали автономні газові котли, які споживачі почали масово встановлювати як для автономного обігріву цілих багатоквартирних будинків, так і в межах окремих квартир. Попри такі стрімкі та кризові зміни в теплоенергетичному секторі, державам із перехідною економікою та країнам, які відносно недавно приєдналися до ЄС, вдалося не лише зберегти існуючі схеми централізованого опалення, але й запустити процес їхньої планової модернізації. Завдяки стабілізації обсягів реалізації теплової енергії сформувалася економічна модель, орієнтована на покриття фактичних витрат. Це, у свою чергу, створило міцний і надійний фундамент для залучення інвестицій та подальшого технологічного вдосконалення систем централізованого теплопостачання.

Сьогодні централізоване опалення залишається стратегічно важливим сегментом енергетики для більшості постсоціалістичних держав, що поповнили лави Європейського Союзу, оскільки воно здатне задовольняти від 40% до 60% сумарних потреб населення в опаленні та гарячому водопостачанні. Протягом останніх років у цих країнах вдалося суттєво підвищити показники енергоефективності теплових мереж завдяки реалізації низки типових технічних заходів [5].

Зокрема, генеруючі потужності були чітко адаптовані до реальних обсягів попиту на тепло: надлишкові резервні котельні вивели з експлуатації та законсервували, а основне виробництво теплової енергії зосередили на потужних та високоефективних підприємствах, що дозволило радикально знизити собівартість генерації. Крім того, відбулася масштабна оптимізація розподільчих теплових магістралей шляхом переходу на децентралізовану схему підготовки гарячої води. У процесі реконструкції від 10% до 30% зношених трубопроводів замінили на сучасні попередньо ізольовані труби, паралельно впровадивши новітні методи інструментальної діагностики для оперативного виявлення тепловтрат та локалізації витоків теплоносія.

Важливим кроком стала також комплексна модернізація теплових пунктів, які оснастили передовими автоматизованими системами контролю та моніторингу споживання. Це інженерне рішення відкрило можливості для дистанційного керування режимами постачання та віддаленого зчитування даних із приладів обліку безпосередньо з об'єктів [5].

Попри такі вагомні досягнення у вдосконаленні всього ланцюга теплопостачання, нові держави-члени ЄС продовжують стикатися з низкою серйозних викликів. Найбільш гострими проблемами залишаються надмірно високе споживання теплової енергії у старому житловому фонді через критично низький рівень теплоізоляції будівель, а також обмежена платоспроможність переважної більшості побутових споживачів. Ситуація ускладнюється ще одним парадоксом: якщо в абсолютних показниках (у євро за мегават-годину) найвища вартість послуг централізованого опалення фіксується у країнах Північної Європи, то у відносному вимірі (як співвідношення суми в рахунку до загального доходу) цей вид обігріву є найдорожчим саме для жителів країн Східної Європи. Основною причиною такого дисбалансу є тотальне домінування у паливному балансі систем теплокомуненерго природного газу, який закуповується за високими світовими цінами.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що державам Центральної Європи та Балтійського регіону загалом вдалося вберегти власні комплекси централізованого теплопостачання у відносно доброму технічному стані порівняно з іншими країнами, де історично існувала широка розгалужена інфраструктура подібних систем опалення [5].

Ось оновлений варіант тексту, повністю перероблений для досягнення високої унікальності при збереженні всіх оригінальних фактів, статистичних даних та назв. Структуру адаптовано під суцільний академічний виклад із логічним абзацним поділом без використання маркованих або нумерованих списків.

1.4.3. Альтернативний досвід інших країн

У канадській практиці домінуючою концепцією теплозабезпечення

стало децентралізоване, або індивідуальне, опалення, базовим енергоносієм для якого виступає природний газ. Підготовка гарячої води для санітарно-побутових потреб традиційно реалізується за допомогою газових бойлерів із високим рівнем теплоізоляції. Поряд із цим, у сучасних умовах дедалі частіше впроваджуються проточні водонагрівальні комплекси без накопичувальних резервуарів. Такі безбойлерні установки здійснюють миттєвий підігрів теплоносія виключно в момент виникнення фактичного споживчого запиту, що дає змогу повністю нівелювати непродуктивні втрати теплової енергії, неминучі під час тривалого зберігання нагрітої води в ємностях. Щодо обігріву безпосередньо житлових площ, то тут беззаперечне лідерство утримують системи повітряного опалення типу «Furnace». Їхній принцип дії базується на нагріванні повітряних мас із подальшим їх примусовим розподілом по розгалуженій мережі повітропроводів за допомогою потужних вентиляторів. Вагомою інженерною перевагою таких конфігурацій є можливість безперешкодної інтеграції в єдину каналну мережу додаткового кліматичного обладнання, зокрема блоків кондиціонування та зволожувачів повітря.

На глобальному енергетичному ринку стрімко набувають актуальності дві інноваційні концепції. Перша з них полягає у переході до децентралізованого комбінованого виробництва теплової та електричної енергії на рівні окремих домогосподарств. Найвищих результатів у реалізації цього підходу досягла Японія, де було створено масштабний експериментальний житловий масив, що охоплює 25 тисяч домогосподарств. Кожен будинок у цьому районі оснащений автономною мікрокогенераційною установкою, алгоритм роботи якої жорстко прив'язаний до поточного теплового навантаження. Суть технології полягає в тому, що генерація теплової та електричної енергії відбувається паралельно, проте саме електрика розглядається як супутній, побічний продукт. Такий підхід є економічно доцільним, оскільки надлишки виробленого струму набагато простіше експортувати до загальної енергомережі та транспортувати на значні відстані. За умови роботи на максимальній

тепловій потужності така індивідуальна установка здатна генерувати 1,2 кВт електроенергії. Експлуатаційний графік цих систем ідеально збігається з добовими ритмами населення: повертаючись додому після робочого дня, мешканці підвищують температуру в приміщеннях, що автоматично ініціює додаткову генерацію струму саме в період вечірнього пікового навантаження на енергосистему.

Для здійснення трансформації теплової енергії в електричну в таких мікрокогенераційних модулях застосовуються різні інженерні рішення. Зокрема, у США та Японії перевагу віддають двигунам внутрішнього згоряння, в австралійських проєктах активно експлуатуються двигуни Стірлінга, а також знаходять застосування термоелектричні перетворювачі, відомі як термопари. Коефіцієнт корисної дії подібних систем зазвичай сягає межі у 30%, проте цей показник не розглядається як критичний недолік, оскільки згенерована в якості супутнього ресурсу електроенергія повністю інтегрується в корисний обіг і не втрачається марно.

Другим концептуальним напрямком є максимальне залучення теплового потенціалу сонячної радіації для потреб опалення. Яскравим прикладом практичної реалізації цієї ідеї є інноваційний мікрорайон у канадському місті Калгарі, що налічує 200 житлових об'єктів. Архітектура теплопостачання цього поселення базується на використанні індивідуальних геліоколекторів, змонтованих на кожному будинку, у комбінації з потужними накопичувачами теплової енергії. Усі локальні сонячні панелі об'єднані через мережу теплоізованих трубопроводів із централізованим акумуляторним комплексом. Останній структурно розділений на два блоки: наземний резервуар із подвійними термоізованими стінками, призначений для згладжування добових коливань температур, та підземний акумулятор, сформований із матеріалів із надвисокою теплоємністю для забезпечення сезонного резервування енергії. У процесі експлуатації протягом літніх місяців підземний накопичувач розігрівається до температури 85 °С, що згодом дозволяє покривати орієнтовно 90% річної потреби мікрорайону в тепловій енергії. Решта 10% дефіциту компенсується за рахунок роботи

традиційних газових пальників, встановлених у будинках. Капітальні витрати на спорудження такої інфраструктури в перерахунку на одне домогосподарство становлять близько 25 тисяч доларів США, що є доволі значною інвестицією. Враховуючи, що середньорічний комунальний платіж за спожитий газ у Канаді складає близько 1500 доларів, простий термін окупності такого проєкту за поточних цін наближається до 17 років. Проте економічна привабливість подібних систем неминуче зростатиме на тлі прогнозованого подорожчання класичних енергоносіїв, а також за рахунок поступового зниження вартості самого обладнання внаслідок масштабування виробництва та еволюції технологій.

Варто відзначити, що навіть без застосування дороговартісного сезонного акумулювання, встановлення автономних теплопоглинальних сонячних батарей на даху стандартного житлового будинку здатне на 100% гарантувати потреби в гарячому водопостачанні та на 60% перекрити витрати на опалення. Кошторис такого базового рішення становить приблизно 8000 доларів. Додатковим фінансовим бонусом від експлуатації таких систем є суттєве зниження витрат на літнє кондиціонування приміщень, оскільки значна частина теплового навантаження відводиться на нагрівання води, відкриваючи також супутні перспективи для утилізації надлишкового тепла з метою генерації електрики. Паралельно з цим, дедалі більшої популярності набувають опалювальні комплекси на базі теплових насосів (thermo-pump), функціонування яких ґрунтується на вилученні та трансформації низькопотенційної теплової енергії з навколишнього середовища. Застосування цього обладнання створює реальні передумови для скорочення обсягів споживання природного газу щонайменше у два-три рази.

Оцінюючи загальні перспективи об'єктивно, можна стверджувати, що ідея відновлення та масштабної підтримки класичних систем централізованого опалення в умовах Канади виглядає економічно невиправданою. Стратегічне майбутнє енергетики в цій державі нерозривно пов'язане з розбудовою децентралізованих когенераційних мереж у тісному симбіозі з удосконаленими технологіями акумулювання сонячної енергії.

Подібні гібридні підходи успішно реалізуються і в інших регіонах світу. Наприклад, низка енергетичних компаній у Каліфорнії та Ізраїлі активно впроваджують комбіновані методи генерації, коли у світлу пору доби виробництво електрики забезпечується масштабними сонячними полями, а вночі естафету перехоплюють традиційні котельні установки, що спалюють викопне паливо. Не менш показовим є інноваційний австралійський проєкт «Solar Tower», реалізований корпорацією «Enviromission», концепція якого дозволяє акумулювати сонячну енергію протягом дня та продовжувати ефективну генерацію струму навіть після заходу сонця.

Висновки до розділу 1

На основі проведеного у першому розділі аналізу можна зробити низку важливих висновків щодо сучасного стану та перспектив розвитку систем теплопостачання. Передусім варто відзначити стратегічну роль технології централізованого теплопостачання (ЦО), яка виступає одним із найефективніших інструментів для забезпечення колосальної економії енергоресурсів та вирішення глобальних екологічних проблем. Великі підприємства ЦО демонструють значні економічні та енергетичні переваги над дрібними індивідуальними джерелами тепла, забезпечуючи середньорічну ефективність на рівні 90%, тоді як показники індивідуальних газових котлів переважно коливаються в межах 75–85%. Незважаючи на об'єктивну проблему тепловтрат під час транспортування енергії мережами, ці негативні явища можна суттєво мінімізувати завдяки використанню сучасних попередньо ізольованих труб та впровадженню новітніх засобів інструментальної діагностики.

Надзвичайно високу комплексну ефективність демонструє технологія когенерації — одночасне паралельне виробництво електричної та теплової енергії на базі ТЕЦ. При традиційному роздільному генеруванні електрики від 45% до 70% первинної енергії палива безповоротно втрачається, розсіюючись у навколишньому середовищі, тоді як комбінований підхід дозволяє корисно утилізувати це тепло для потреб опалення. Крім того,

масштабні системи ЦО створюють унікальні інфраструктурні можливості для залучення альтернативних ресурсів, зокрема для термічної утилізації міських твердих відходів на спеціалізованих сміттєспалювальних заводах. Це не лише ефективно вирішує гостру муніципальну проблему переповнення полігонів і зменшує неконтрольовані викиди парникового метану, але й дозволяє суттєво скоротити споживання дороговартісного природного газу.

Аналіз міжнародного досвіду яскраво показує, що найуспішнішою на сьогодні є модель Скандинавських країн, де домінує ЦО з надзвичайно високою часткою когенерації (у Фінляндії та Данії цей показник сягає 75–85%) та масштабним використанням відновлюваних ресурсів (понад 30% у загальному балансі). Водночас країни з перехідною економікою та нові члени ЄС, незважаючи на складні кризові трансформації наприкінці минулого століття, зуміли вберегти свої історичні магістралі ЦО. Наразі вони проводять їхню планомірну модернізацію шляхом заміни зношених трубопроводів та масового впровадження сучасних автоматизованих теплових пунктів із системами дистанційного моніторингу.

Паралельно з розбудовою централізованих мереж, досвід таких країн, як Канада та Японія, переконливо доводить перспективність альтернативних децентралізованих підходів. Йдеться про впровадження індивідуальних систем опалення, побутових мікрокогенераційних установок, ефективних комплексів на базі теплових насосів та активне залучення теплового потенціалу сонячної радіації. Ці інноваційні технології створюють реальні передумови для зменшення обсягів споживання традиційного природного газу в кілька разів і виступають економічно та технічно виправданою стратегією для тих регіонів, де відновлення чи розширення класичного централізованого теплопостачання є економічно не вигідним.

РОЗДІЛ 2 АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Головне призначення будь-якої системи теплопостачання споруди полягає у безперебійному забезпеченні необхідною тепловою енергією різноманітних інженерних комунікацій, які для своєї повноцінної роботи потребують постійної подачі попередньо нагрітого робочого середовища (теплоносія). Варто зазначити, що окрім класичних та найбільш звичних напрямків використання, таких як радіаторне опалення та підготовка гарячої води для побутових потреб (ГВП), у сучасних архітектурних проєктах передбачається інтеграція значно ширшого спектра теплоспоживаючих комплексів. До їхнього переліку входять установки припливної вентиляції, складні агрегати для кондиціювання мікроклімату, системи підігріву підлоги, а також обладнання для підтримання температурного режиму в басейнах та інших специфічних зонах. Структурно будь-яка така мережа є комплексною та обов'язково складається з кількох ключових вузлів. По-перше, це первинне джерело енергії, яким може слугувати природний газ, тверде вугілля, біомаса або навіть енергія стисненого повітря. По-друге, невіддільною частиною є енергоперетворювальний пристрій, наприклад, котельний агрегат або теплообмінний апарат. По-третє, транспортування здійснюється через розгалужені розподільчі трубопровідні мережі, які доставляють ресурс безпосередньо до місцевих систем тепловикористання, що відповідають за обігрів приміщень, роботу вентиляційних калориферів, технологічні процеси та забезпечення гарячою водою.

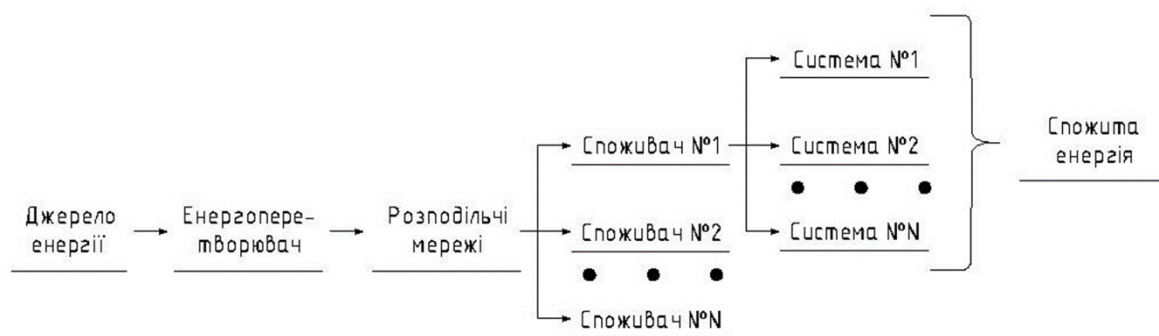


Рисунок 2.1 – Принципова структурна схема функціонування сучасного теплопостачального комплексу

Функціональність та ефективність кожної конкретної системи визначається низкою базових параметрів, серед яких головними виступають загальна теплова потужність генеруючого обладнання, специфіка самого джерела генерації, різновид використовуваного теплоносія, а також його фізико-хімічні показники. Якщо розглядати класифікацію з точки зору сумарної потужності, то такі комплекси різняться за максимальною дальністю транспортування теплової енергії та загальною кількістю підключених кінцевих споживачів. За цим критерієм усі існуючі інженерні рішення поділяють на місцеві, централізовані та децентралізовані. До категорії місцевих систем відносять такі конфігурації, де всі три базові стадії (генерація, транспортування та безпосереднє споживання тепла) конструктивно об'єднані та розташовуються в межах одного приміщення або ж у суміжних кімнатах. Зазвичай подібні локальні рішення знаходять своє застосування у невеликих цивільних будівлях або ж у допоміжних промислових спорудах, які територіально віддалені від головних виробничих цехів. Яскравими прикладами таких місцевих установок є традиційні печі, а також автономні газові чи електричні обігрівачі, де процеси вироблення необхідного тепла та його подальшої віддачі акумульовані в одному пристрої безпосередньо в зоні обігріву.

У сучасній теплоенергетиці виділяють три фундаментальні різновиди джерел генерації. Першим із них є високоорганізоване централізоване теплозабезпечення, яке базується на принципах комбінованого виробництва електричної та теплової енергії на потужних теплоелектроцентралях (ТЕЦ). Другим напрямком виступає класичне централізоване постачання від великих районних опалювальних котелень. Третім варіантом є децентралізовані схеми, що живляться від дрібних локальних котелень або індивідуальних печей. Залежно від агрегатного стану робочого тіла, усі системи діляться на дві основні групи: водяні та парові. Крім того, ці групи додатково деталізуються залежно від робочих параметрів теплоносія, які підбираються під конкретні потреби споживача. Серед водяних контурів виділяють низькотемпературні, де вода нагрівається менш ніж до 100 °C, та

високотемпературні, в яких рідина перебуває під тиском і її температура перевищує 100 °С. Парові аналоги класифікують на системи низького тиску ($p = 0,1 - 0,17$ МПа) та комплекси високого тиску ($p = 0,17 - 0,3$ МПа). Окремо виділяють специфічні вакуум-парові установки, що функціонують у розрідженому середовищі при тиску $p < 0,1$ МПа.

Деталізуючи масштабні інфраструктурні рішення, централізованими комплексами називають такі інженерні мережі, у яких від єдиного потужного джерела транспортується тепло для значної кількості відокремлених приміщень або цілих будівель. Натомість децентралізовані конфігурації передбачають подачу тепла від генераторів, які монтуються в безпосередній близькості до споживача — прямо в опалювальних зонах підприємств чи житлових будинків. Для промислових об'єктів джерелами отримання теплової енергії можуть виступати власні ТЕЦ на території заводу (теплофікація), локальні виробничі котельні або ж масштабні районні чи міські теплові магістралі (як парові, так і водяні). Використання міських мереж переважно є характерним для відносно невеликих підприємств, які отримують енергію від районної ТЕЦ. Проте для великих виробництв найбільш раціональним підходом є спорудження власних теплоелектроцентралей чи потужних котелень на промисловому майданчику. У таких випадках згенеровані надлишки теплової та електричної енергії можуть успішно постачатися на сусідні підприємства та прилеглі об'єкти цивільної інфраструктури.

Протягом останніх років, завдяки розвитку нових економічних відносин, в Україні простежується стійка тенденція до децентралізації генеруючих потужностей. Цей процес охоплює як промислові підприємства, так і будівлі житлового сектора. Надзвичайно активно розвивається будівництво автономних джерел теплопостачання: сучасних блокових, компактних модульних та інноваційних дахових котелень. Усі вони оснащуються повністю автоматизованими агрегатами, які демонструють високі енергетичні показники та відповідають найсучаснішим екологічним стандартам.

2.1 Організація схем централізованого теплозабезпечення

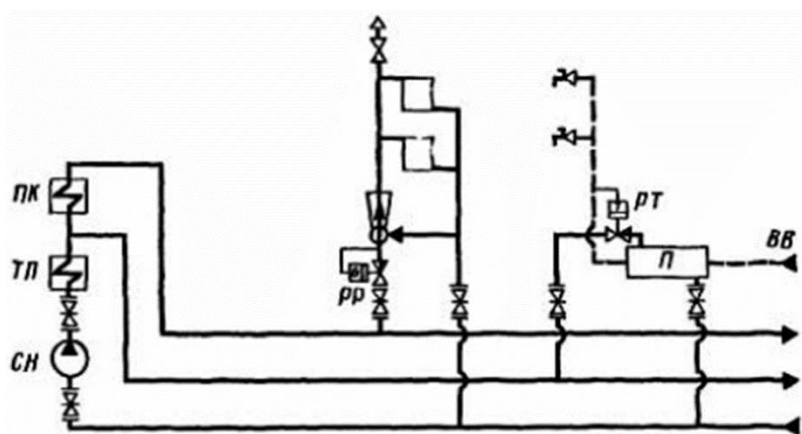
2.1.1 Водяні комплекси теплопостачання

У сучасній теплоенергетиці водяні комплекси теплопостачання класифікують за кількома базовими інженерними критеріями. Залежно від методу підключення контурів гарячого водопостачання (ГВП), такі інфраструктурні рішення поділяються на дві великі категорії: закриті та відкриті мережі. Іншим важливим параметром є кількість магістралей, якими нагріте робоче середовище транспортується в одному напрямку. За цією ознакою виділяють однотрубні, двотрубні, а також багатотрубні конфігурації. Крім того, підключення місцевих опалювальних систем до центральних магістралей може реалізовуватися за залежною або незалежною схемою. Якщо застосовується залежний принцип, гаряча вода з магістралі надходить прямо в радіатори та калорифери вентиляційних установок кінцевого споживача. Натомість незалежна конфігурація передбачає, що мережевий теплоносій доходить виключно до теплового пункту (абонентського вводу). Там він не змішується з водою внутрішньої мережі, а лише віддає свою теплову енергію через спеціальні теплообмінні апарати, нагріваючи ту рідину, яка вже безпосередньо циркулює в локальному опалювальному контурі будівлі.

Закритими заведено називати такі водяні комплекси, у яких підготовка води для потреб ГВП здійснюється виключно через систему водо-водяних теплообмінників. Головною перевагою такої архітектури є відсутність прямого відбору теплоносія з магістралі. Завдяки цьому, а також мінімальним втратам через нещільності трубних з'єднань і арматури, у закритих контурах підтримується стабільно висока якість та незмінний об'єм циркулюючої рідини. Важливою інженерною особливістю таких мереж є те, що вони проєктуються виключно як багатотрубні. Найбільш поширеним варіантом є двотрубна замкнута конфігурація, що складається з подавальної та зворотної ліній. Подавальною магістраллю гаряча вода з температурою t_1 доставляється від генератора енергії до абонента, а після віддачі тепла охолоджена рідина з температурою t_2 повертається зворотною трубою на

джерело для повторного нагрівання. Порівняно з іншими багатотрубними аналогами, двотрубні комунікації вирізняються простотою монтажу та меншою вартістю, тому їх найчастіше використовують для комплексного забезпечення цивільних об'єктів теплом для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання.

Для великих промислових зон, які характеризуються значними технологічними навантаженнями, високими вимогами до параметрів теплоносія або можливістю утилізації вторинних енергоресурсів підприємств, раціональним є впровадження багатотрубних систем (зокрема, чотиритрубних або тритрубних). Наприклад, у чотиритрубних теплових мережах перша пара магістралей повністю виділяється під загальні потреби опалення, вентиляції та ГВП, причому температурний графік у її подавальній трубі регулюється відповідно до поточних кліматичних умов. Друга пара труб транспортує енергію виключно для забезпечення безперервних виробничих процесів, тому температура в її подавальній лінії залишається стабільно високою та незмінною протягом усього року. Наявність ізольованих трубопроводів дозволяє підтримувати в них екстремально високі температури, що зі свого боку призводить до зниження об'ємних витрат теплоносія, дозволяє суттєво зменшити діаметри труб і навіть генерувати технологічну пару шляхом випаровування перегрітої мережевої води.



ПК — піковий котел; ТП — теплофікаційний підігрівач; СН — мережевий насос; ВВ — водопровідна вода.

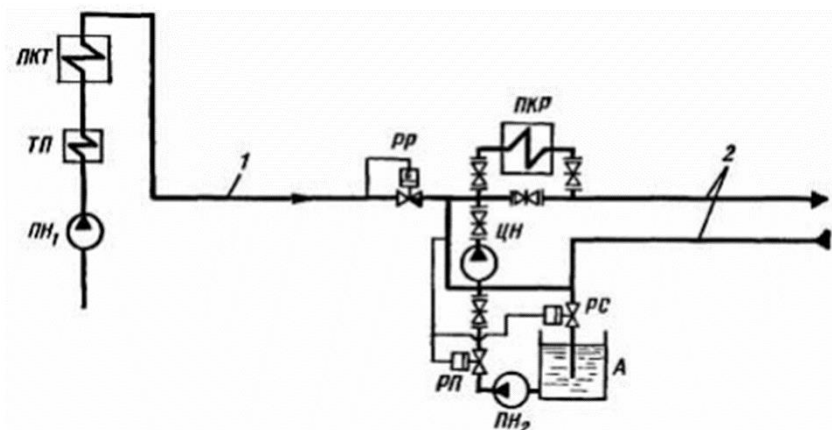
Рисунок 2.2 — Принципова конфігурація тритрубною закритою мережі теплозабезпечення

Чотиритрубні конфігурації також знаходять успішне застосування у сільській місцевості, де навантаження на ГВП є відносно малим і локалізується в окремих громадських чи господарських спорудах (школах, лазнях, їдальнях, тваринницьких комплексах). Повне гідравлічне розмежування різних типів споживачів суттєво полегшує керування процесом централізованого відпуску тепла. Існують також тритрубні модифікації (рис. 2.2), де один подавальний трубопровід транспортує тепло для побутових потреб, а інший — для технологічних (або ж реалізується розділення на лінії опалення та ГВП). При цьому зворотна магістраль залишається спільною. Алгоритми регулювання в таких мережах ідентичні чотиритрубним, проте за рахунок відмови від однієї зворотної труби дещо оптимізується обладнання генеруючого джерела: замість дублювання встановлюються загальні мережеві насоси та підігрівачі. Втім, попри певну економію матеріалів, тритрубні комплекси створюють складний залежний гідравлічний режим. Об'єднання потоків у зворотній трубі провокує значні коливання тиску перед елеваторними вузлами, що за відсутності дорогої автоматики призводить до розбалансування всієї мережі. Саме тому на практиці тритрубні системи будують вкрай рідко.

На противагу закритим, відкриті водяні системи характеризуються значно простішим апаратним оформленням вузлів підготовки води для ГВП, оскільки мережевий теплоносій відбирається кінцевим споживачем безпосередньо з труб. Однак цей прямий водорозбір вимагає колосальних обсягів постійного підживлення теплових мереж. Відкриті інфраструктури можуть проектуватися як однострубними, так і багатотрубними, хоча базовим стандартом залишається двотрубна модель. Відкриті багатотрубні мережі доцільно будувати там само, де й закриті аналоги. Особливої уваги заслуговують відкриті чотиритрубні комплекси в сільській місцевості та великих містах. У мегаполісах розбудова відокремлених мереж ГВП допускається лише за умови, що генеруюче джерело має змогу підживлюватися безпосередньо з міського питного водопроводу. Перевага такої ізоляції полягає в тому, що водорозбірні точки підключаються без

необхідності монтажу дорогих змішувальних клапанів та терморегуляторів на абонентських вводах. Крім того, чотиритрубні системи ідеально підходять для літнього періоду: витрати на прокладання тонких додаткових труб часто виявляються вигіднішими, ніж складна боротьба з гідравлічними перепадами у двотрубних мережах поза опалювальним сезоном. Якщо ж проектується однотрубна мережа, вона апріорі повинна бути відкритою, адже весь об'єм води, що подається по єдиній трубі, має бути повністю розібраний споживачами.

З огляду на жорсткі екологічні норми, санітарні вимоги та економічні чинники, спорудження потужних теплоелектроцентралей (ТЕЦ) у межах щільної міської забудови нині заборонено. Винесення ТЕЦ за межі міст, ближче до природних водойм та паливних баз, зумовлює потребу в прокладанні довгих магістралей, що вимагає величезних капіталовкладень. У цьому контексті однотрубні системи виглядають найбільш перспективними інженерними рішеннями, оскільки дозволяють значно зменшити металоємність трас. Вітчизняними фахівцями розроблено кілька ефективних концепцій далекого транспортування тепла. Зокрема, професор В. Б. Пакшвер запропонував схему (рис. 2.3), за якою від віддаленої ТЕЦ до приміської пікової котельні району (ПКР) прокладається єдина транзитна магістраль, а вже в самому місті функціонує стандартна двотрубна розподільча мережа. Ця однотрубна лінія виконує функцію транзитної передачі теплової енергії та безперервного підживлення міських комунікацій. Процес жорстко контролюється регулятором витрати (РР), змонтованим у ПКР. Оскільки споживання гарячої води мешканцями протягом доби є вкрай нерівномірним, у системі встановлюються великі баки-акумулятори, куди автоматично зливається надлишок теплоносія.



1 — транзитна тепломагістраль; 2 — місцеві розподільчі комунікації; ПКТ, ПКР — пікові генеруючі потужності ТЕЦ та окремого району відповідно; ТП — теплофікаційний підігрівач; ЦН, ПН1, ПН2 — насосне обладнання (циркуляційне та підживлювальне); РП, РР, РС — автоматичні регулятори підживлення, витрати та скидання; А — ємність-акумулятор.

Рисунок 2.3 — Структурна модель поєднання однострубно-транзитної лінії з двотрубною міською розподільчою мережею

Гідравлічний баланс у розподільчому контурі підтримується за допомогою автоматики (РП та РС). Коли водорозбір знижується, тиск у трубопроводах зростає, що викликає відкриття скидного клапана РС і спрямування води до акумуляторів. З відновленням масового споживання води тиск падає, клапан РП відкривається і запускаються підживлювальні насоси. Щоб мінімізувати непотрібні скиди води, транзитний потік від ТЕЦ розраховується на основі середньогодинного тижневого споживання ГВП. Таким чином, транзитна труба передає лише базову частину тепла, а пікові навантаження покриваються безпосередньо місцевою котельнею. Однострубний транзит рентабельний лише за умови екстремального нагрівання теплоносія. На дистанціях понад 25 км температура води може досягати 250–270 °С за тиску до 4 МПа. Проте подача води з температурою понад 200 °С у наявні міські мережі неможлива без їхньої повної реконструкції через слабкість арматури. Тому транзитна та міська мережі працюють у кардинально різних режимах, а зниження температури відбувається в піковій котельні шляхом підмішування охолодженої зворотної води. Будівництво таких районних котелень із дешевими водогрійними

котлами дозволяє швидко забезпечити нові житлові масиви теплом ще до того, як завершиться масштабне зведення великих ТЕЦ.

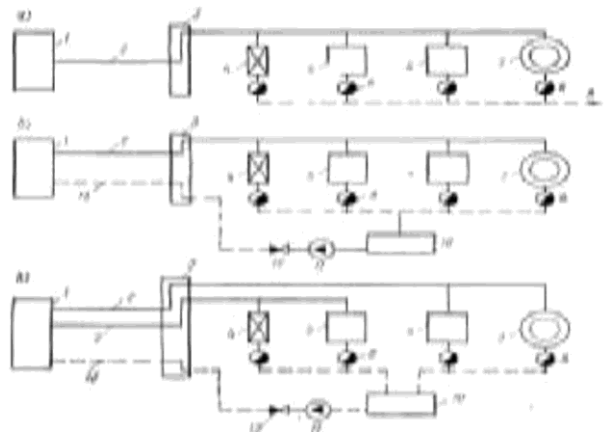
Альтернативна концепція однотрубної магістралі, розроблена Н. М. Аграчевим, Л. О. Мелентьєвим та С. Ф. Коп'євим, орієнтована на передачу теплоносія від ТЕЦ до центральних змішувально-акумуляторних пунктів (ЦЗП), що розміщуються безпосередньо в житлових районах. Від ЦЗП до будинків розходяться вже класичні двотрубні лінії з прямим розбором води на ГВП, причому жодних додаткових котелень у цій схемі не передбачено. Температура в місцевих мережах знижується шляхом ежекції — підмішування зворотної води до перегрітого транзитного теплоносія за допомогою елеваторів або змішувальних насосів. Ця модель дозволяє використовувати наявні міські мережі без глибокої модернізації, однак її впровадження є найбільш виправданим у теплих кліматичних зонах або курортних районах, де домінує колосальне навантаження саме на гаряче водопостачання. Підсумовуючи, прямоточні однотрубні магістралі забезпечують суттєву економію на етапі будівництва труб, проте вимагають бездоганної автоматизації абонентських вузлів. Загалом, залежно від обраної технології підключення, розрахункові об'ємні витрати теплоносія можуть відрізнятися в 1,5–2 рази, що яскраво підкреслює критичний вплив конструкції абонентських ввідів на загальну економічну ефективність усієї системи теплопостачання.

2.1.2 Парові комплекси теплозабезпечення

Використання водяної пари як основного робочого тіла (теплоносія) характеризується низкою суттєвих експлуатаційних та економічних переваг порівняно з традиційними водяними контурами. Насамперед пара відзначається надзвичайною універсальністю, оскільки її термодинамічні властивості дозволяють ефективно покривати абсолютно всі види теплових навантажень споживачів, включаючи безперебійне забезпечення специфічних високотемпературних технологічних процесів на виробництві. Другою вагомою перевагою є радикальне скорочення витрат електричної

енергії, необхідної для переміщення теплоносія магістралями. Це пояснюється тим, що процес перекачування порівняно невеликих об'ємів зібраного конденсату назад до джерела генерації потребує в рази менше потужності порівняно з постійною циркуляцією важкої води у водяних мережах. Крім того, завдяки суттєво меншій густині пари порівняно з рідкою фазою води, у паропроводах виникає значно нижчий гідростатичний тиск, що зменшує навантаження на труби, арматуру та обладнання.

За аналогією з водяними мережами, структурна організація парових систем теплопостачання також класифікується за кількістю магістралей. Залежно від інженерного задуму, вони можуть проектуватися як однотрубні, двотрубні або багатотрубні конфігурації, принципові відмінності яких наочно продемонстровано на рисунку 2.4. Якщо розглядається функціонування базової однотрубної парової системи (рис. 2.4, а), то її головною особливістю є повна відсутність процесу повернення відпрацьованого конденсату від кінцевих абонентів назад до генеруючого джерела. У таких випадках охолоджений конденсат знаходить своє подальше застосування в місцевих контурах гарячого водопостачання, використовується для різноманітних технологічних чи господарських потреб підприємства, або ж просто скидається в дренажну каналізацію. Через постійну втрату хімічно очищеної води такі інженерні рішення вважаються вкрай малоекономічними, тому їхнє впровадження виправдане виключно за умови відносно невеликих загальних обсягів споживання пари.



а — конфігурація з однією магістраллю без збереження конденсату; б — двотрубна система із лінією повернення конденсату; в — тритрубний комплекс із єдиним конденсатопроводом; 1 — генератор теплової енергії; 2

— лінія подачі пари (паропровід); 3 — вузол приєднання абонента (тепловий пункт); 4 — калорифер системи вентиляції; 5 — теплообмінний апарат внутрішньої мережі опалення; 6 — теплообмінник локального контуру ГВП; 7 — промисловий технологічний апарат; 8 — пристрій для відведення конденсату (конденсатовідвідник); 9 — система дренажу; 10 — резервуар для акумулювання конденсату; 11 — насосна установка для перекачування конденсату; 12 — захисний зворотний клапан; 13 — магістраль повернення конденсату (конденсатопровід).

Рисунок 2.4 — Структурно-принципові схеми організації парового теплопостачання

Найбільшого практичного поширення в сучасній теплоенергетиці набули класичні двотрубні парові комплекси, які передбачають обов'язкове повернення утвореного конденсату назад до джерела генерації тепла (рис. 2.4, б). Технологічний процес у такій мережі організований таким чином, що конденсат від усіх відокремлених локальних систем теплоспоживання спочатку акумулюється в спеціальному загальному баці-збірнику, який монтується безпосередньо в тепловому пункті будівлі. Після цього він за допомогою потужних конденсаційних насосів примусово транспортується по трубах назад до котельні. Економічна доцільність такого підходу зумовлена тим, що багатоступенева хімічна підготовка та деаерація нових порцій сирової живильної води для парових котлів зазвичай вимагає величезних фінансових витрат, які значно перевищують вартість електроенергії, витраченої на перекачування вже чистого конденсату. Втім, остаточне інженерне рішення щодо необхідності та рентабельності повернення конденсату завжди ухвалюється індивідуально для кожного об'єкта, спираючись на ретельні техніко-економічні розрахунки.

Що стосується багатотрубних парових систем (рис. 2.4, в), то їхнє розгортання є найбільш актуальним на масштабних промислових майданчиках, які живляться безпосередньо від теплоелектроцентралей (ТЕЦ). Це особливо важливо у тих випадках, коли специфіка виробничих ліній заводу вимагає одночасного постачання пари з кардинально різними показниками робочого тиску. Як свідчить досвід, капітальні інвестиції у спорудження кількох відокремлених паропроводів для транспортування

теплоносія з різними параметрами окупаються набагато швидше, ніж колосальні фінансові втрати від перевитрати палива на ТЕЦ. Адже єдиною альтернативою є відпуск у мережу виключно пари найвищого тиску з її подальшим штучним редукуванням (дроселюванням) безпосередньо на вводах тих абонентів, технологія яких вимагає низьконапірного середовища.

Для оптимізації витрат металу, у тритрубних конфігураціях зазвичай проєктують кілька ліній подачі пари, але лише один спільний трубопровід для повернення конденсату. Трапляються ситуації, коли подвійні паропроводи прокладають навіть за умови однакового робочого тиску в них — це робиться з метою стовідсоткового резервування та гарантування надійного, безперебійного постачання енергії стратегічно важливим споживачам. Загальна кількість магістралей може бути й більшою за дві чи три одиниці: наприклад, при необхідності паралельної подачі від ТЕЦ пари трьох різних номіналів тиску. Варто також зазначити, що наймасштабніші промислові вузли, які об'єднують відразу кілька суміжних підприємств, проєктуються на базі комплексних комбінованих систем. У таких гібридних мережах високопотенційна пара спрямовується виключно на покриття технологічних потреб виробництва, тоді як нагріта вода забезпечує стабільну роботу контурів опалення та припливної вентиляції адміністративних корпусів.

2.2 Критерії вибору та обґрунтування комплексів теплозабезпечення

Процес визначення найбільш оптимального типу системи теплопостачання є складним інженерним завданням, вирішення якого безпосередньо залежить від специфіки та характеру теплового споживання конкретного об'єкта, а також від технологічних та конструктивних особливостей наявного джерела генерації теплової енергії. Кожен проєкт вимагає ретельного техніко-економічного аналізу, під час якого враховуються необхідні температурні графіки, обсяги споживання теплоносія та добовий або сезонний режим роботи кінцевих абонентів.

Традиційним водяним системам теплопостачання віддається

беззаперечна перевага у тих випадках, коли основними споживачами виступають об'єкти житлового чи адміністративно-побутового фонду. У таких будівлях теплова енергія витрачається переважно на забезпечення роботи класичного радіаторного опалення та підготовку нагрітої води для санітарних потреб (ГВП). Навіть за умови наявності певного технологічного навантаження, яке вимагає постачання тепла з дещо підвищеним енергетичним потенціалом, фахівці вважають цілком раціональним продовжувати використання води як базового робочого тіла. Однак для забезпечення таких специфічних вимог інженерним проєктом має бути обов'язково передбачено прокладання додаткового, третього відокремленого трубопроводу, який функціонуватиме за індивідуальним температурним графіком, не порушуючи гідравліку та тепловий баланс стандартних побутових контурів.

Зовсім інший підхід застосовується при проєктуванні інженерних комунікацій на великих промислових майданчиках. Якщо на виробничому підприємстві абсолютно домінує технологічне теплове навантаження, що вимагає стабільної подачі теплоносія з високим енергетичним потенціалом (наприклад, для роботи пресів, сушильних камер, хімічних реакторів тощо), а потреби в енергії для фонових опалення цехів та роботи припливної вентиляції є відносно мізерними, найбільш доцільним і економічно виправданим є впровадження саме парових систем теплопостачання. У таких жорстких умовах експлуатації лише пара здатна забезпечити необхідні термодинамічні параметри для безперебійного перебігу виробничих процесів.

У масштабах нашої держави протягом багатьох років послідовно реалізується стратегічний курс на широке впровадження вискоелективних теплофікаційних систем (когенерації), які дозволяють суттєво заощаджувати паливно-енергетичні ресурси завдяки комбінованому виробництву електрики та тепла. Описані вище численні експлуатаційні та економічні переваги водяних теплових мереж зумовили їхнє тотальне домінування у сфері житлово-комунального господарства сучасних міст, селищ та об'єднаних

територіальних громад. Водночас у промисловому секторі спостерігається кардинально інша картина: тут застосування водяних контурів є значно вужчим, оскільки понад дві третини від загальної потреби всіх вітчизняних підприємств у тепловій енергії традиційно покривається саме за рахунок водяної пари. Зважаючи на те, що частка промислового споживання тепла становить близько 66 % від загальнонаціонального обсягу тепловикористання, загальна роль пари в енергетичному балансі країни залишається надзвичайно вагомою та критично важливою для підтримки вітчизняного виробничого потенціалу.

2.3 Організаційні та технічні засади експлуатації систем теплопостачання

Головним завданням у процесі практичної експлуатації будь-яких теплових мереж є безперебійне та надійне забезпечення всіх підключених кінцевих споживачів робочим теплоносієм. При цьому фізико-хімічні та термодинамічні параметри цього середовища повинні суворо відповідати заздалегідь встановленим нормам та підтримуватися згідно із затвердженим температурним графіком. Важливою умовою стабільного функціонування всієї інфраструктури є постійний контроль за приєднаними навантаженнями: у разі повного вичерпання фактичної генеруючої потужності наявних джерел тепла або ж досягнення граничної пропускної здатності магістральних трубопроводів, будь-яке приєднання нових абонентів до мережі категорично забороняється до моменту проведення відповідної модернізації чи розширення генеруючих потужностей.

На теплопостачальну організацію, яка безпосередньо здійснює експлуатацію мереж, покладається відповідальність за ведення систематичного контролю та нагляду. Цей аудит охоплює перевірку поточного технічного стану та загальної механічної справності магістральних і розподільчих трубопроводів, індивідуальних чи центральних теплових пунктів, а також усього супутнього інженерного обладнання, навіть якщо воно юридично перебуває на балансі самих споживачів. Крім того,

експлуатуюча служба зобов'язана моніторити експлуатаційні режими роботи абонентських вузлів. Проте такий технічний нагляд має здійснюватися виключно в межах інженерної компетенції та з дотриманням законодавчих норм, що передбачає повну відсутність права у постачальника на втручання у внутрішню господарську чи комерційну діяльність підприємства-споживача.

Ефективність та безпека роботи всього комплексу значною мірою залежать від правильно розробленої оперативної схеми теплових мереж, а також від коректного налаштування систем автоматизації та пристроїв технологічного захисту. Ці інженерні компоненти в сукупності повинні гарантовано виконувати низку критично важливих функцій. Насамперед ідеться про стабільну подачу абонентам теплоносія із заданими показниками, що є базовою вимогою офіційно укладених договорів на користування тепловою енергією. Також автоматика має забезпечувати максимально збалансований та оптимальний розподіл потоків теплоносія по всіх гілках мережі. Не менш важливою вимогою є створення умов для гнучкого керування процесом генерації: система повинна безперебійно підтримувати як можливість паралельної (спільної) роботи відразу кількох джерел тепла на єдину об'єднану магістраль, так і здатність оперативного переходу до ізольованої, роздільної роботи від різних генераторів у разі виникнення такої технологічної або аварійної потреби.

Перед безпосереднім введенням магістралей в експлуатацію, зокрема після завершення початкових монтажних робіт або проведення капітальних ремонтів, усі трубопроводи теплових мереж обов'язково повинні пройти процедуру ретельного внутрішнього очищення (гідропневматичного чи хімічного промивання). Сам процес стартового заповнення системи здійснюється за суворими правилами: труби заповнюються спеціально підготовленою (деаерованою) водою, температура якої в жодному разі не повинна перевищувати позначку в 70 °С. Під час цієї відповідальної процедури всі місцеві системи теплоспоживання абонентів мають бути надійно відключені від центральної магістралі за допомогою запірної арматури. Що стосується повсякденного функціонування класичних

двотрубних водяних теплових мереж, то в основу їхнього експлуатаційного режиму відпуску теплової енергії обов'язково закладається спеціальний графік центрального якісного регулювання, який дозволяє плавно адаптувати тепловіддачу залежно від поточних погодних умов надворі.

Особливі температурні та гідравлічні вимоги висуваються до систем, які, окрім базового опалення, несуть додаткове навантаження на забезпечення гарячого водопостачання (ГВП). Для гарантування санітарно-гігієнічних норм мінімальна температура нагрітої води в подавальному трубопроводі суворо регламентується державними стандартами: для закритих схем теплопостачання вона має становити не менше ніж 70 °С, тоді як для відкритих схем ГВП цей мінімальний поріг не може опускатися нижче 60 °С. Окрім дотримання температурних графіків, експлуатаційні служби повинні щорічно, на основі розрахунків, розробляти та затверджувати детальні гідравлічні режими роботи водяних мереж окремо для опалювального (зимового) та літнього (міжопалювального) періодів. Якщо розглядаються відкриті системи теплопостачання в зимовий час, то розрахунок їхніх режимів обов'язково здійснюється з урахуванням умов максимального пікового водозабору як із подавального, так і зі зворотного трубопроводів. На завершення варто відзначити, що для підтримання ідеальної гідравлічної стабільності перед кожним новим опалювальним сезоном інженери тепломереж повинні розробляти та впроваджувати індивідуальні заходи з регулювання, шайбування та балансування витрат води безпосередньо на вводах у споживачів.

Висновки до розділу 2

Системи теплопостачання є складними інженерними комплексами, які структурно об'єднують джерело енергії, енергоперетворювач, розподільчі мережі та місцеві системи теплоспоживання. Залежно від потужності генеруючого обладнання, дальності транспортування теплової енергії та загальної кількості підключених абонентів, сучасні інженерні рішення класифікують на місцеві, централізовані та децентралізовані. Вибір

оптимальної конфігурації завжди вимагає детального техніко-економічного аналізу, що враховує специфіку джерела генерації та характер теплового навантаження конкретного об'єкта. При цьому стратегічним напрямком розвитку енергетики залишається орієнтація на впровадження високоефективних теплофікаційних систем, що забезпечують комбіноване виробництво енергії та суттєву економію паливних ресурсів.

За видом використовуваного теплоносія комплекси теплозабезпечення поділяються на водяні та парові. Водяні системи, які можуть бути відкритими чи закритими, а також одно-, дво- або багатотрубними, є найбільш раціональними та домінуючими у сфері житлово-комунального господарства. Вони оптимально задовольняють базові потреби населення у радіаторному опаленні та гарячому водопостачанні. Натомість парові мережі мають беззаперечні технологічні та економічні переваги на великих промислових підприємствах зі значним технологічним навантаженням. Водяна пара вирізняється високою універсальністю, створює значно менший гідростатичний тиск в інфраструктурі та вимагає мінімальних витрат електроенергії на переміщення робочого середовища завдяки транспортуванню до джерела генерації лише конденсату.

Надійна та безпечна експлуатація будь-якої системи теплопостачання неможлива без суворого контролю параметрів теплоносія та впровадження сучасних засобів автоматизації. Правильно налаштовані автоматичні комплекси гарантують подачу теплоносія відповідно до укладених договорів, забезпечують оптимальний розподіл потоків по магістралях і дозволяють гнучко керувати спільною або роздільною роботою кількох джерел генерації. Крім того, підтримка належного санітарного та гідравлічного стану мереж вимагає неухильного дотримання експлуатаційних регламентів. Зокрема, для забезпечення санітарно-гігієнічних норм мінімальна температура води в подавальному трубопроводі має становити не менше 70 °C для закритих схем і 60 °C для відкритих систем гарячого водопостачання. Гідравлічні режими функціонування мереж повинні щорічно розраховуватися та детально розроблятися для кожного експлуатаційного періоду.

РОЗДІЛ 3 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ПРИ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

3.1 Опалювальні котельні. Загальні характеристики та принципи функціонування

В основі роботи будь-якої опалювальної котельні (ОК) лежить процес генерації теплової енергії шляхом спалювання органічного палива. Під час горіння хімічна енергія паливних ресурсів трансформується у корисну теплоту, яка майже повністю складається з ексергії. З огляду на це, для виконання інженерних і техніко-економічних розрахунків можна з достатнім рівнем точності прийняти, що питома ексергія палива у кількісному вираженні відповідає нижчій теплоті згоряння цього палива, тобто $e = Q^P$. Специфіку термодинамічного перетворення ексергії в анергію можна наочно проаналізувати на прикладі ідеалізованої теплогенеруючої установки, у якій умовно знехтувано будь-якими втратами теплоти в навколишнє середовище. Як демонструє відповідна графічна схема, весь обсяг анергії теплоти Q_n формується з початкової ексергії палива $E_{нал}$. Це відбувається як прямий наслідок термодинамічної необоротності процесів горіння $\Pi_{зг}$ та теплообміну Π_T , що описується балансовим рівнянням

$$E_{нал} = E[Q_n] + \sum \Pi$$

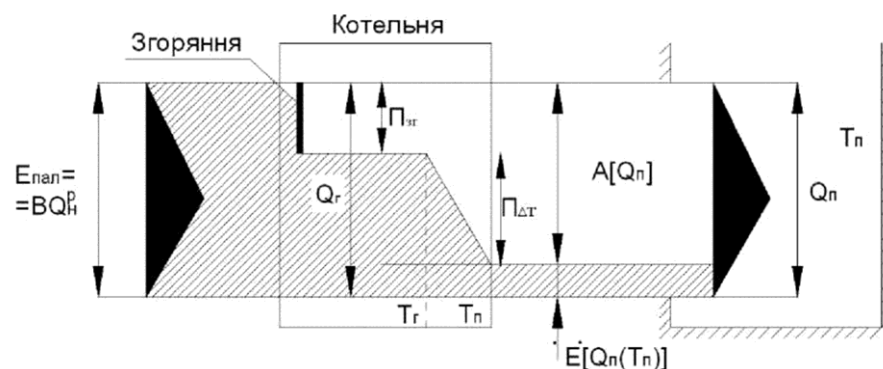


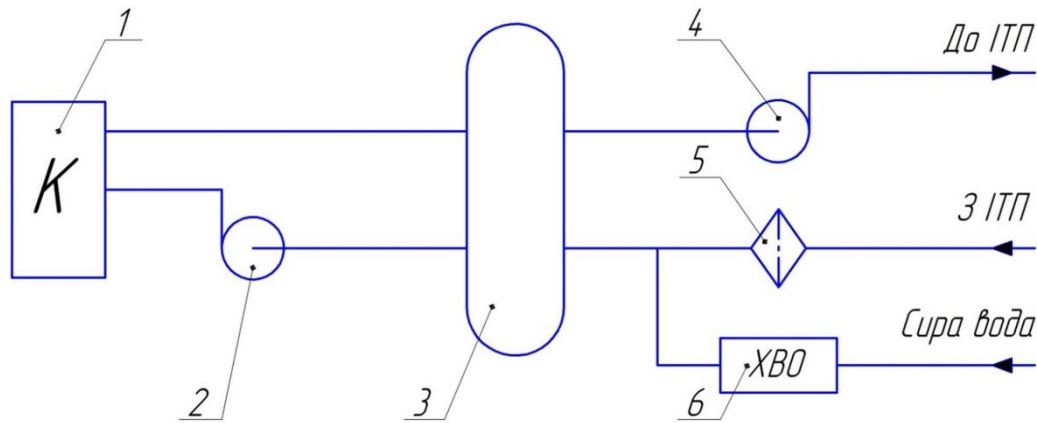
Рисунок 3.1 — Базова модель термодинамічного перетворення ексергії паливної маси в умовах опалювальної котельні

За своїм архітектурно-конструктивним виконанням сучасні опалювальні котельні можуть належати до різних категорій: вони будуються як окремо

розташовані споруди, інтегруються як вбудовані приміщення незалежно від поверховості будівлі, зводяться у вигляді прибудов або ж монтуються безпосередньо на даху (дахові котельні). Для генерації тепла може застосовуватися практично будь-який доступний вид енергоносія, хоча для дахових конфігурацій нормативними документами суворо заборонено використання твердого та рідкого палива через підвищені заходи пожежної безпеки. Сучасні автономні теплогенеруючі пункти, які функціонують на природному газі або рідкому пальному, обов'язково повинні оснащуватися комплексними системами автоматизації. Це дозволяє обладнанню працювати в повністю автономному режимі, виключаючи необхідність постійного перебування чергового оперативного персоналу безпосередньо в приміщенні. У разі функціонування котельної чи когенераційної установки в такому безлюдному режимі, інженерна інфраструктура повинна забезпечувати безперебійну передачу всіх життєво важливих телеметричних даних, а також попереджувальних і тривожних сигналів про виникнення аварійних ситуацій на віддалений диспетчерський пункт, де цілодобово перебуває черговий персонал.

Процес проектування та розробки оптимальних технологічних схем для котелень вимагає комплексного підходу та обов'язкового врахування низки критичних критеріїв. Насамперед інженери повинні проаналізувати поточний технічний стан та специфічні умови майбутньої експлуатації підключеної системи теплоспоживання, оскільки саме ці параметри є вирішальними під час затвердження остаточної теплової схеми. Не менш важливими є загальні теплотехнічні показники системи, вимоги до якості вихідної водопровідної води, яка подається в котельню для підживлення, а також географічне та просторове розташування самого об'єкта генерації тепла.

Для детального розуміння процесів варто розглянути класичну конфігурацію:



1 – водогрійний теплогенератор; 2 – циркуляційний насос котлового контуру; 3 – гідравлічний розділювач (гідрострілка); 4 – мережевий насосний агрегат; 5 – фільтр-грязьовик; 6 – комплекс установок для водопідготовки.

Рисунок 3.2 — Структурно-теплова схема водогрійної котельні з інтеграцією конденсаційних агрегатів у закриту мережу тепlopостачання

На наведеній вище ілюстрації зображено найбільш розповсюджену та універсальну принципову схему опалювальної водогрійної котельні, що забезпечує відпуск теплової енергії в умовах закритої системи тепlopостачання з активним застосуванням високоефективних конденсаційних котлів. Головне завдання такої теплової схеми полягає у безперебійному виробництві та стабільному постачанні теплоти для покриття навантажень систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання у вигляді гарячої води, температурні параметри якої суворо відповідають розрахунковому графіку. Технологічний цикл виглядає наступним чином: вода нагрівається в котлах і спрямовується до гідравлічного розділювача, де відбувається її охолодження за рахунок передачі теплоти зворотній воді, що повертається від індивідуальних теплових пунктів (ІТП), а також порціям сирі води, яка подається на підживлення системи. Пройшовши цей етап, вода потрапляє у зворотну магістраль котельні, звідки за допомогою котлового насоса знову нагнітається на вхідний патрубок водогрійного котла.

Паралельно з цим, зворотна вода з ІТП проходить механічне очищення крізь грязьовик, змішується з підживлювальною водою і також надходить у гідророзділювач для первинного нагрівання. Далі ця рідина перекачується потужним мережевим насосом на ввід ІТП споживача. Особлива увага в

системі приділяється сирій воді, яка призначена для компенсації природних витоків теплоносія. Перш ніж потрапити в контур, вона проходить багатоступеневу систему очищення, яка включає установку сорбційної фільтрації, автоматичну станцію дозування антискаланту, високотехнологічну установку зворотного осмосу, обладнання для пом'якшення води, станцію хімічної деаерації та вузол коригування рівня рН. Тільки після такої ретельної підготовки вода потрапляє у зворотну магістраль, де поєднується з основним потоком зворотної води від ІТП. У ситуаціях, коли проектом передбачено використання традиційних (не конденсаційних) котлів, технологічна схема обов'язково ускладнюється встановленням індивідуальних підмішувальних насосів для кожного теплогенератора. Це необхідно для підтримки стабільно високої температури в контурі, що запобігає випадінню кислотного конденсату з димових газів і захищає поверхню нагріву котла від руйнування.



Рисунок 3.3 — Принцип утилізації прихованої теплоти відпрацьованих газів у конденсаційному теплогенераторі під час спалювання природного газу

Як наочно демонструє схема, робота котла в конденсаційному режимі забезпечує надзвичайно істотний приріст загального коефіцієнта корисної дії. Процес інтенсивної конденсації водяної пари стартує в той момент, коли температура димових газів опускається до так званої точки роси при

поточному парціальному тиску пари. Варто зауважити, що температурний поріг точки роси для продуктів згоряння конкретного виду та складу палива має тенденцію до збільшення у разі зменшення коефіцієнта надлишку повітря (коли $\alpha \rightarrow 1$) та за умови підвищення абсолютного вологовмісту дуттьового повітря. Ці фізичні залежності стимулюють збільшення обсягів утвореного конденсату, що пропорційно призводить до зростання кількості корисної теплоти, яка виділяється під час фазового переходу пари в рідину.

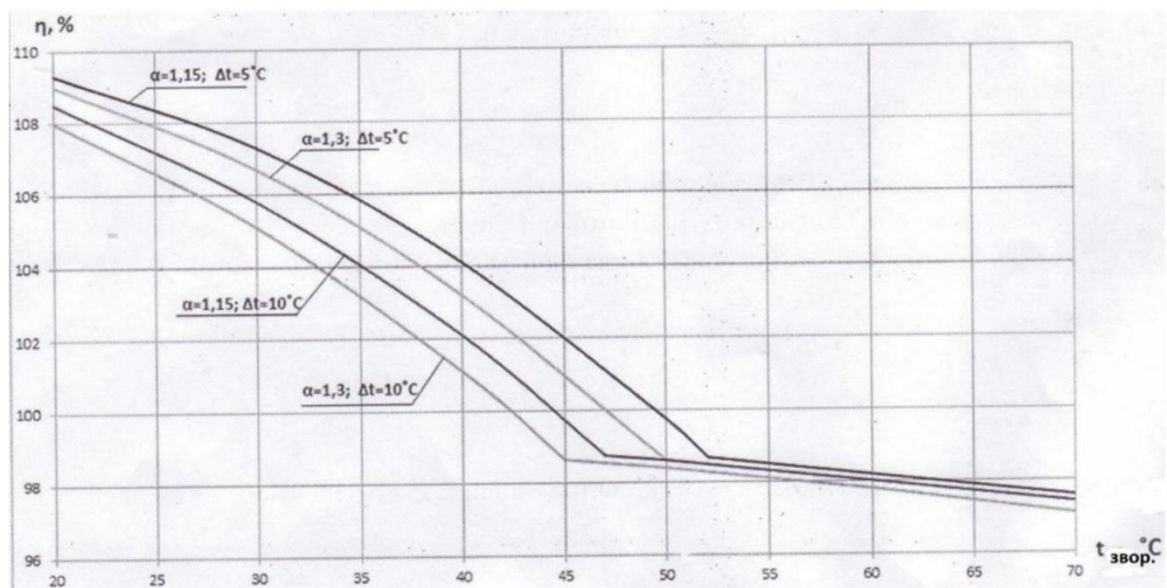


Рисунок 3.4 — Графік залежності ефективності (ККД) конденсаційного теплогенератора від температурних параметрів зворотної води

Аналогічні термодинамічні процеси та закономірності спостерігаються і при встановленні додаткових котлів-теплоутилізаторів. Широке застосування такого теплоутилізаційного обладнання є економічно обґрунтованим і раціональним кроком насамперед у випадках проведення комплексної модернізації вже існуючих та функціонуючих котелень.

3.2 Теплонасосні установки. Основні експлуатаційні характеристики та принципи дії

Теплонасосні установки є сучасним інноваційним рішенням, яке базується на раціональному використанні низькопотенційної теплової енергії, розсіяної в навколишньому середовищі. Цей технологічний процес здійснюється за рахунок складних термодинамічних перетворень, що

функціонують за принципом зворотного циклу Карно. Така фізична модель дозволяє ефективно підвищити загальний енергетичний потенціал основного робочого теплоносія до значно вищого, корисного рівня, при цьому витрачаючи від 2 до 4,8 раза менше первинної електричної енергії порівняно з прямим електричним нагріванням. На практиці теплонасосні установки (ТНУ) здатні успішно акумулювати приховану теплову енергію з атмосферного повітря, відкритих чи підземних вод, а також із глибокого ґрунтового масиву. Зібрана теплота передається споживачеві з набагато більшим температурним потенціалом за допомогою спеціальних низькотемпературних рідин (холодоагентів), до яких традиційно належать різноманітні фреони, аміак, рідкий азот та інші синтетичні суміші. Масове впровадження ТНУ в існуючі та нові системи централізованого чи індивідуального теплопостачання розглядається як критично важлива та невіддільна складова глобальної стратегії енергозбереження. Перехід на такі високотехнологічні рішення забезпечує радикальне скорочення викидів шкідливих парникових газів у земну атмосферу, а також веде до відчутного зменшення витрат традиційного органічного палива, необхідного для генерації 1 кВт корисної теплової енергії. З інженерної точки зору, застосування теплонасосних установок є найбільш доцільним та економічно виправданим у разі їхньої комбінованої роботи (так звані бівалентні схеми) разом з іншими класичними джерелами тепла.



Рисунок 3.5 — Зовнішній вигляд та конструктивне виконання водоводяних теплових насосів виробництва компанії Viessmann

Внутрішня динаміка термодинамічного процесу, що безупинно протікає в замкнених контурах теплонасосної установки, може бути наочно

продемонстрована за допомогою відповідних енергетичних схем. Для найбільш простого та поширеного базового випадку, коли роль нескінченного холодного джерела відіграє навколишнє природне середовище, деталізована діаграма дозволяє чітко відстежити всі етапи трансформації енергії. Зокрема, вона візуалізує векторний розподіл загального теплового потоку, принципово розділяючи його на корисну ексергію та неперетворювану анергію, що є ключовим фактором для розуміння різниці між ідеальними математичними моделями та реальними тепловими машинами.

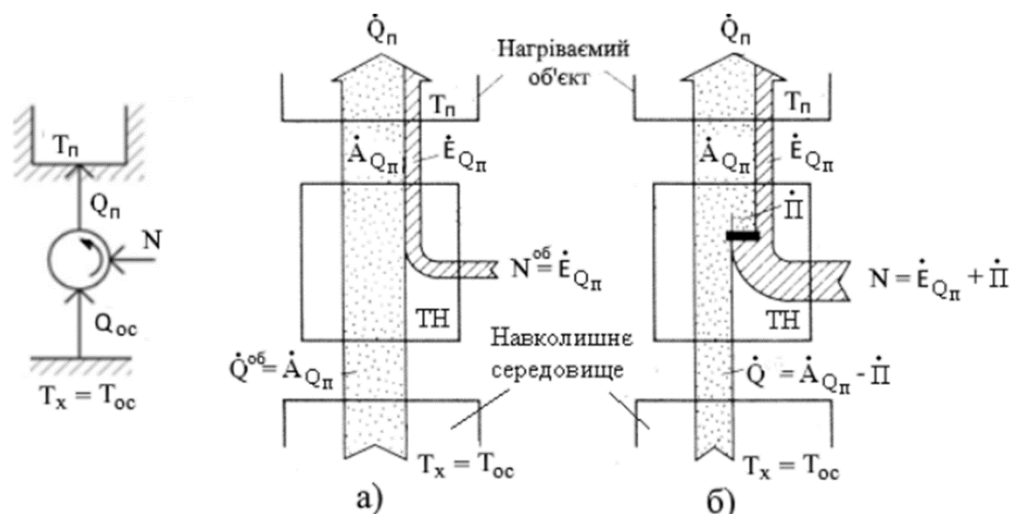


Рисунок 3.6 — Графічна діаграма розподілу потоків ексергії та анергії для ідеалізованих оборотних (а) та реальних необоротних (б) термодинамічних процесів у теплових насосах

Щодо методології аналізу ефективності функціонування теплонасосних установок, у сучасній інженерно-науковій практиці надзвичайно широко застосовується так званий метод циклів. Суть цього аналітичного підходу полягає в тому, що через розрахунок показників термодинамічних ефективностей здійснюється комплексна оцінка негативного впливу різноманітних відокремлених необоротностей на підсумковий коефіцієнт перетворення (COP) реального дійсного робочого циклу [12, 13]. Саме цей перевірений часом метод покладено в основу глибокого теоретичного аналізу загальної енергетичної ефективності парокомпресорної теплонасосної установки. Для кращого розуміння функціональних взаємозв'язків між вузлами агрегату розглядається його принципова схема, яка охоплює всі

базові елементи, необхідні для здійснення фазових переходів робочої речовини.

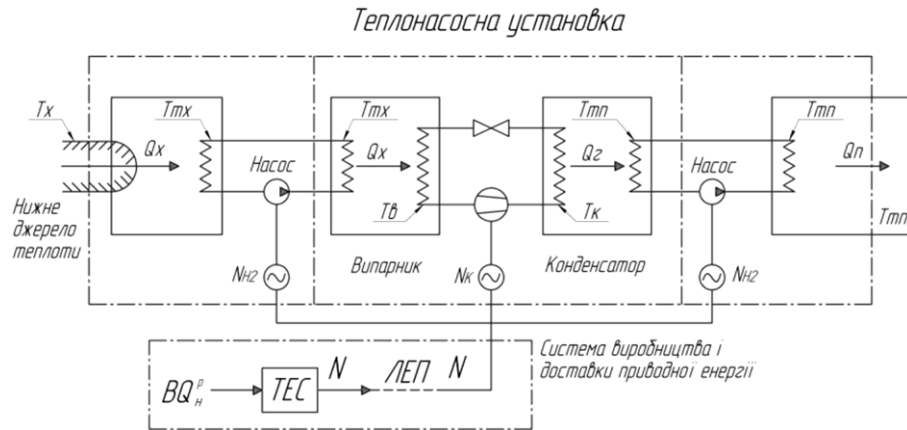


Рисунок 3.7 — Базова структурно-принципова схема функціонування парокompресорної установки теплового насоса

Для проведення повноцінного та достовірного теплового розрахунку необхідно чітко ідентифікувати базові температурні рівні в загальній інфраструктурі теплового насоса, які формують основні робочі температури всього процесу. До таких ключових параметрів належать T_k , T_b , які позначають абсолютні температури конденсації та кипіння (випаровування) робочої речовини (холодоагенту) всередині відповідних теплообмінних апаратів. Окрім цього, важливу технологічну роль відіграють параметри T_{tx} , T_{tn} , що відповідають середнім розрахунковим температурам проміжних теплоносіїв. Ці додаткові гідравлічні контури використовуються для фізичного транспортування теплової енергії: перший контур відповідає за поглинання та перенесення тепла від нижнього (холодного) джерела з температурою T_x безпосередньо до випарника, який функціонує при стабілізованій температурі T_b . Своєю чергою, другий проміжний контур призначений для ефективної доставки трансформованої та примноженої теплоти від конденсатора з температурою T_k до цільового опалювального приміщення, яке в цій системі координат виступає в ролі верхнього (гарячого) джерела теплоти з температурою T_{tn} .

Для того щоб математично точно та обґрунтовано визначити ступінь впливу термодинамічних необоротностей в усіх без винятку фізичних

елементах теплового насоса на підсумковий показник COP робочого циклу, у методі циклів застосовується строгий алгоритм послідовного нарощування втрат. Цей аналітичний процес завжди бере свій початок від теоретично досконалого, тобто повністю оборотного циклу Карно. Далі зазначена послідовність реалізується в декілька логічно взаємопов'язаних етапів, на кожному з яких до загальної математичної моделі обережно додаються та враховуються ті чи інші специфічні втрати (наприклад, теплопередача зі скінченною різницею температур або гідравлічний опір магістралей) [12, 13]. Деталізовані та структуровані етапи у формуванні фінального дійсного термодинамічного циклу, які практично моделюються та досліджуються в межах даної науково-кваліфікаційної роботи, наочно представлені у вигляді покрокової схеми.

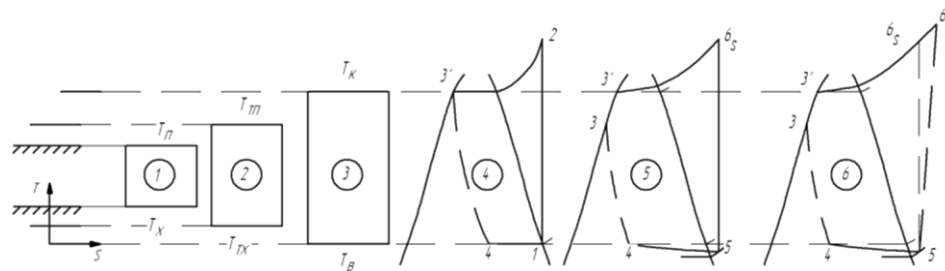


Рисунок 3.8 — Алгоритмічна послідовність етапів математичного переходу від теоретичного оборотного циклу до моделі реального дійсного процесу

Ось перероблений, розширений та унікалізований текст вашого підрозділу, адаптований під суцільний академічний виклад без використання списків. Усі табличні дані та збережену нумерацію рисунків інтегровано в текст із новими, більш розгорнутими назвами.

3.3 Математичне моделювання теплообмінних процесів у нагрівальному обладнанні

Головною метою цього етапу наукового дослідження є комплексне вивчення впливу різних температурних графіків теплоносія на фактичну теплову потужність, а також на еквівалентну опалювальну площу класичного секційного чавунного радіатора моделі MC-140 M2-500. Для досягнення

поставленої мети було сформовано чіткий алгоритм дій, який передбачає поетапне виконання кількох взаємопов'язаних завдань. Насамперед здійснюється розробка точної тривимірної геометричної моделі зазначеного опалювального приладу. Після цього проводиться серія віртуальних експериментів для аналізу ефективності роботи радіатора за трьох різних температурних режимів: високотемпературного графіка 90/70 °С, перехідного режиму 80/60 °С та низькотемпературного графіка 70/50 °С.

Розглядаючи конструктивні особливості та специфіку функціонування об'єкта дослідження, варто зазначити, що MC-140 M2-500 являє собою секційний чавунний радіатор, який історично набув надзвичайно широкого поширення в системах опалення найрізноманітніших будівель. Модульна конструкція цього агрегату є дуже зручною, оскільки дозволяє гнучко варіювати загальну теплову потужність приладу шляхом простого додавання або демонтажу окремих секцій відповідно до теплових потреб конкретного приміщення. З точки зору теплофізики, цей радіатор належить до опалювальних приладів конвективно-радіаційного типу. Попри свою назву, прилади цієї серії передають шляхом інфрачервоного випромінювання (радіації) лише близько 25% від загального теплового потоку. Основна ж частка теплової енергії (решта 75%) передається навколишньому середовищу завдяки конвективному теплообміну, тому термін «радіатор» у цьому випадку застосовується радше номінально.

Конструктивно кожна окрема секція оснащена двома наскрізними отворами з обох боків. Під час монтажу та збирання батареї ці отвори щільно стикуються між собою, формуючи таким чином єдині верхній та нижній розподільчі колектори. Відповідні отвори, що розташовані на крайніх секціях зібраного приладу, виконують функцію точок підключення до подавальної та зворотної магістралей теплової мережі. До беззаперечних експлуатаційних переваг чавунних моделей серії MC-140 M2-500 традиційно відносять їхню надзвичайно високу стійкість до корозійних процесів, абсолютну невимогливість до хімічного складу та загальної якості теплоносія, здатність

витримувати раптові гідравлічні удари в системі, а також відносно низьку вартість виробництва, експлуатації та монтажу.

Таблиця 3.1 — Базові теплотехнічні та масогабаритні параметри однієї секції чавунного радіатора моделі MC-140 M2-500

Модель	Міжосьова відстань, мм	Ширина, мм	Глибина, мм	Висота, мм	Площа поверхні секції, м ²	Теплова потужність за н.у., Вт	Об'єм, л	Маса, кг
MC-140 M2-500	500	94	140	580	0,3	160	1,45	6,65

Як було детально описано раніше, повноцінний радіатор формується завдяки комбінуванню необхідної кількості базових секцій. Для проведення поточного математичного моделювання та комп'ютерного аналізу було створено віртуальну п'ятисекційну батарею. Сформована геометрична модель повною мірою відповідає всім реальним фізичним розмірам та пропорціям, які були попередньо наведені у зведеній таблиці технічних характеристик. Візуальне представлення розробленої моделі демонструється на відповідному рисунку нижче.

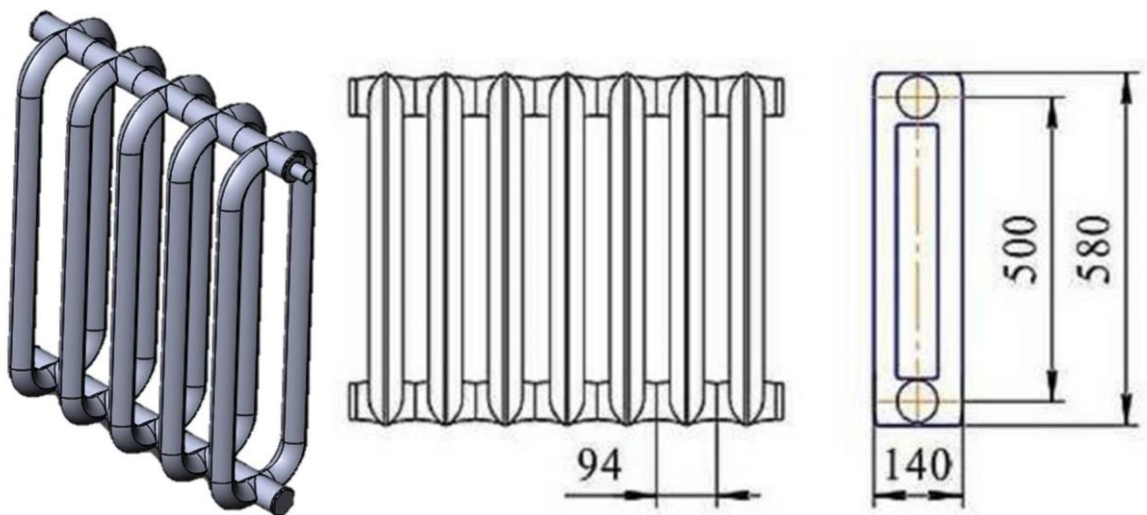


Рисунок 3.9 — Тривимірний геометричний моделювання п'ятисекційного чавунного радіатора MC-140 M2-500

Перший етап комп'ютерного моделювання передбачав дослідження теплових процесів у радіаторі за умови його роботи на класичному

високотемпературному графіку 90/70 °C. На початку симуляції було задано відповідні граничні умови, які відображають параметри температури подачі та звороту теплоносія. Після проведення розрахунків було отримано деталізовані картини розподілу температур. Візуалізація результатів дозволила проаналізувати температурне поле повітряного потоку, що вільно омиває прилад, а також оцінити нерівномірність прогрівання зовнішньої поверхні батареї. Крім того, побудовані температурні поля у поздовжньому та поперечному розрізах радіатора дали змогу дослідити внутрішню гідродинаміку та теплопередачу в чавунних порожнинах за умов максимальних теплових навантажень.

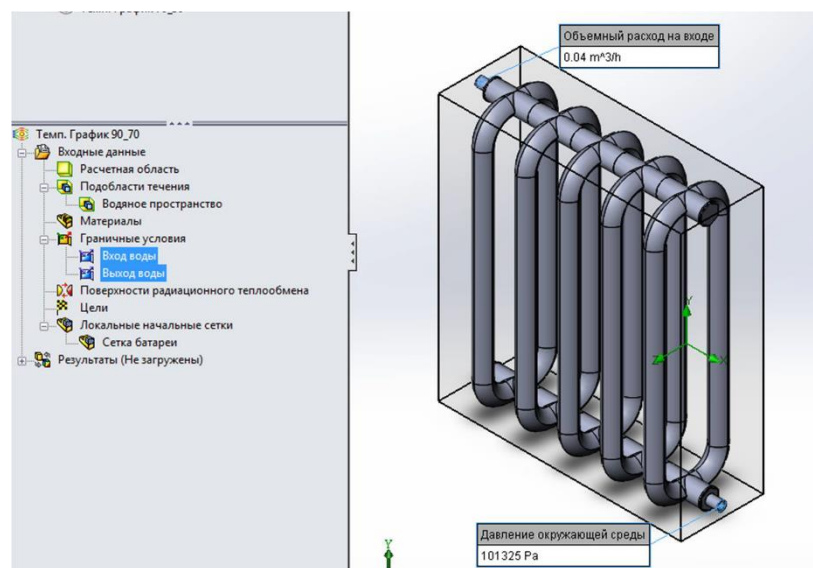


Рисунок 3.10 — Задані граничні умови для комп'ютерної симуляції режиму 90/70 °C

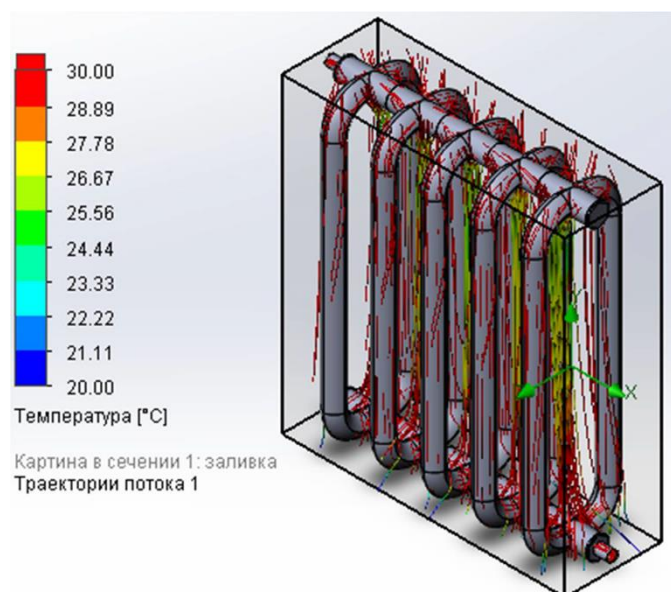


Рисунок 3.11 — Розподіл температурних градієнтів у повітряному

потоці для графіка 90/70 °C

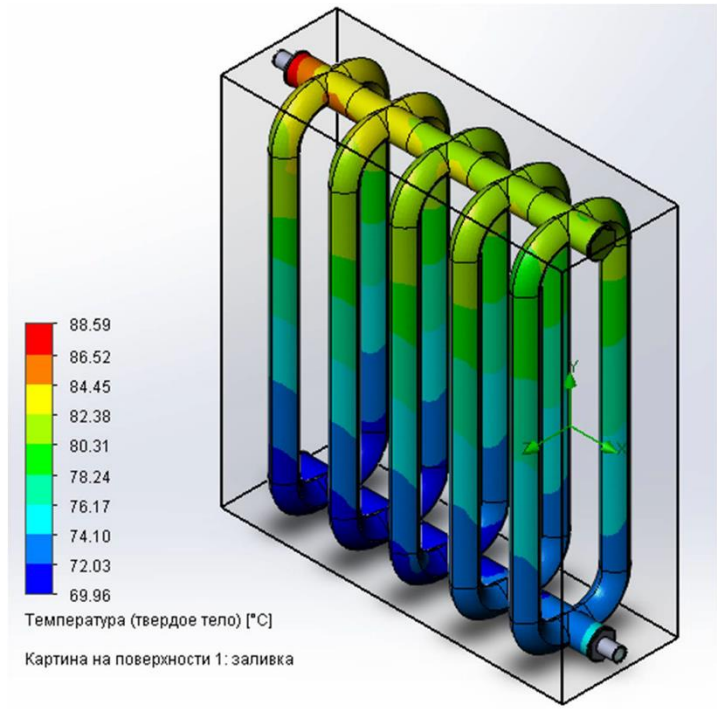


Рисунок 3.12 — Візуалізація температурного поля на зовнішній поверхні приладу (режим 90/70 °C)

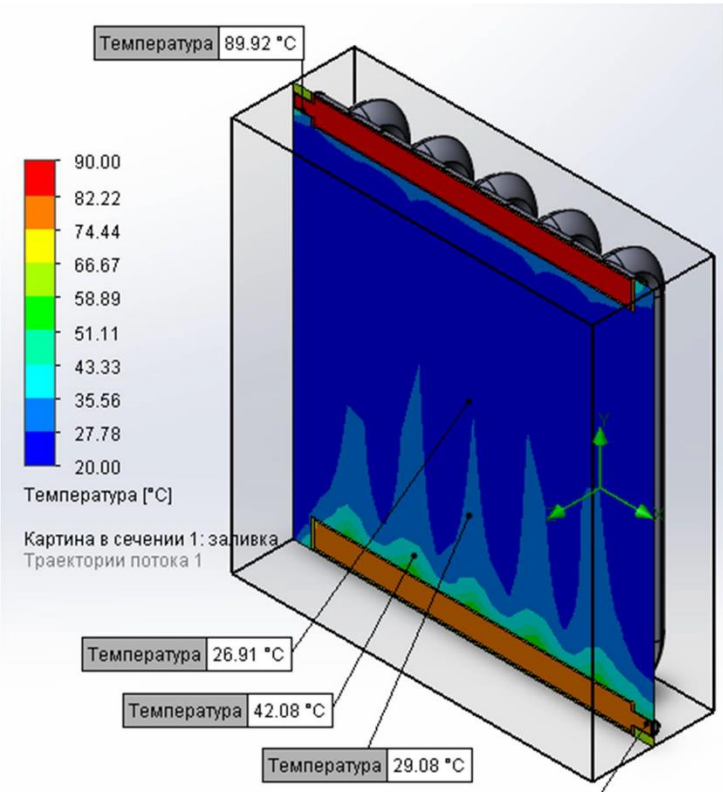


Рисунок 3.13 — Температурний зріз у поздовжній площині батареї за умов теплоносія 90/70 °C

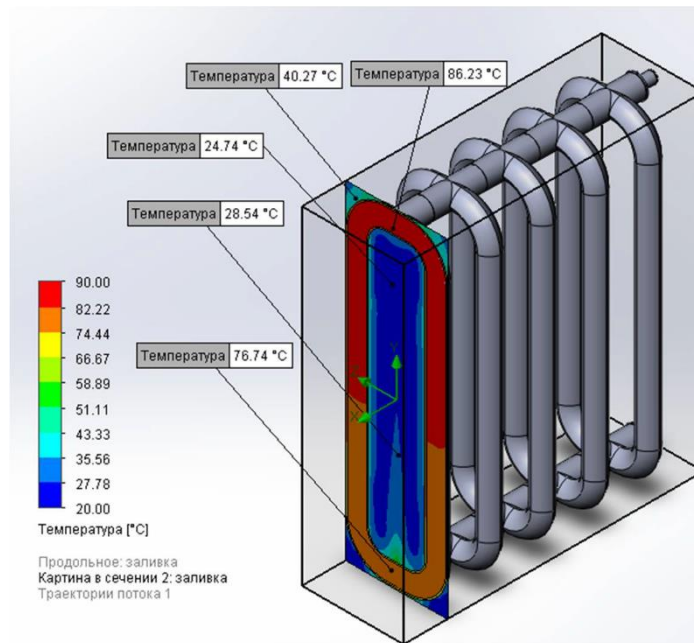


Рисунок 3.14 — Розподіл температур у поперечному перерізі секцій (режим 90/70 °C)

Таблиця 3.2

Підсумкові розрахункові показники ефективності радіатора при роботі за графіком 90/70 °C

Температурний графік	Тепловий потік радіатора, Вт	Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м ² ·K)	Еквівалентна опалювальна площа, м ²
90/70	561,4	10,47	2,58

Наступним кроком стало вивчення теплотехнічних характеристик радіатора при переході на знижений температурний графік 80/60 °C. Для цього етапу граничні умови були відповідним чином скориговані, щоб імітувати надходження менш нагрітого теплоносія в колектор. Отримані результати моделювання продемонстрували закономірне зниження інтенсивності конвективних потоків. Аналіз температурного поля повітряного середовища та поверхні самої батареї вказує на більш рівномірний, але відчутно менш інтенсивний прогрів порівняно з попереднім режимом. Дослідження поздовжнього та поперечного розрізів підтвердило пропорційне зменшення тепловіддачі, що є прямим наслідком зниження

температурного напору між розігрітою поверхнею чавуну та повітрям у приміщенні.

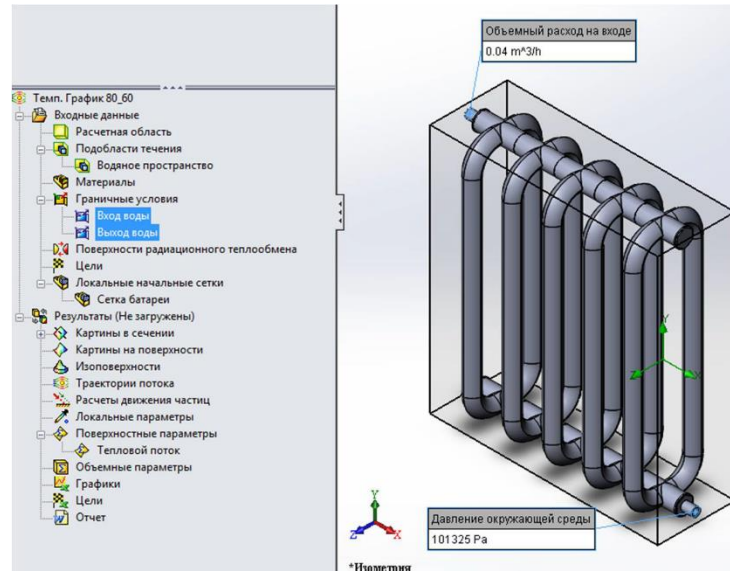


Рисунок 3.15 — Встановлені граничні параметри для моделювання роботи за графіком 80/60 °C

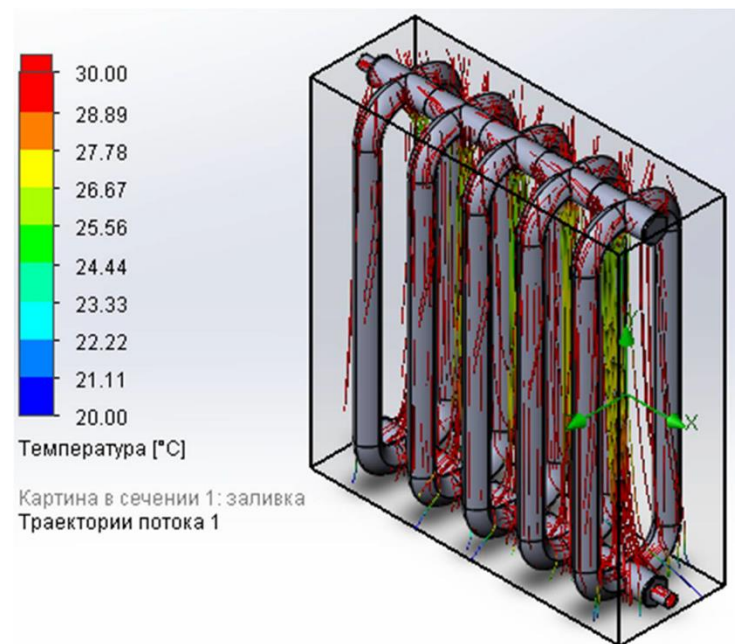


Рисунок 3.16 — Картина нагрівання повітряних мас навколо радіатора (режим 80/60 °C)

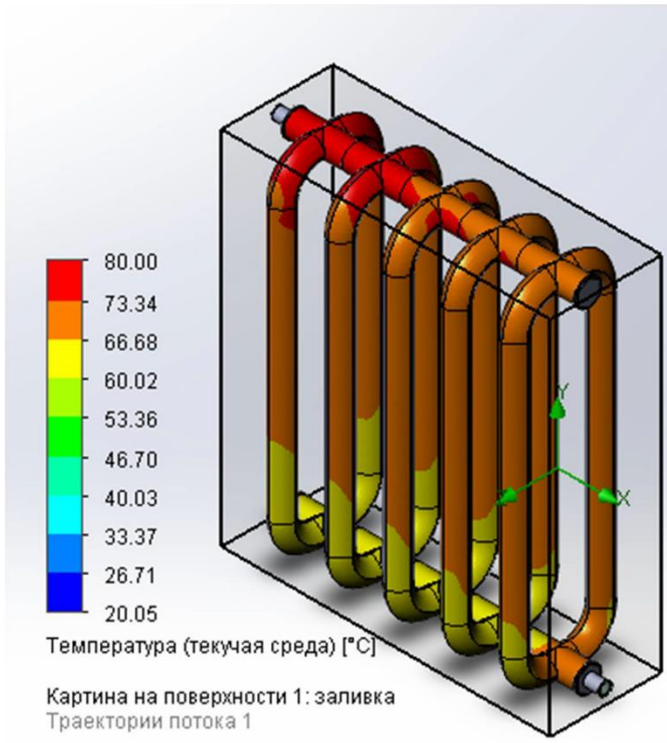


Рисунок 3.17 — Температурна мапа зовнішніх стінок опалювального приладу при 80/60 °C

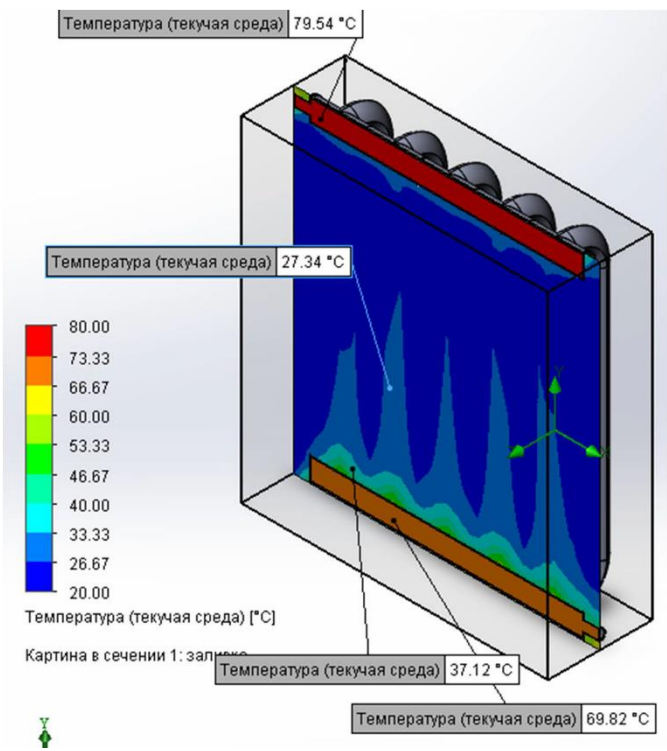


Рисунок 3.18 — Поздовжній температурний профіль внутрішньої порожнини для графіка 80/60 °C

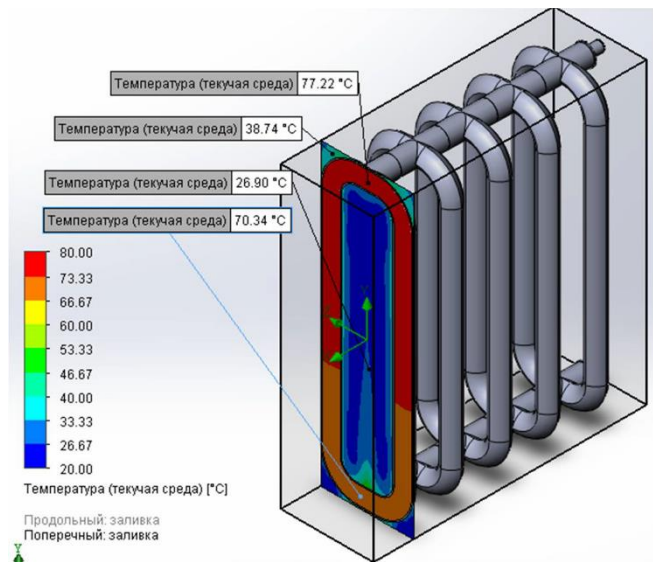


Рисунок 3.19 — Поперечний переріз температурного поля батареї (режим 80/60 °C)

Таблиця 3.3

Зведені результати математичного розрахунку для температурного режиму 80/60 °C

Температурний графік	Тепловий потік радіатора, Вт	Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м ² ·К)	Еквівалентна опалювальна площа, м ²
80/60	412,9	10,18	2,16

Завершальним етапом даного розділу стало дослідження ефективності функціонування чавунного радіатора в умовах низькотемпературного графіка 70/50 °C, який дедалі частіше застосовується в сучасних енергоефективних системах опалення. Введення нових граничних умов дозволило об'єктивно змодельовати процеси теплообміну при суттєво меншому енергетичному потенціалі теплоносія. Зафіксовані температурні поля повітряного потоку та поверхні батареї чітко ілюструють значне падіння теплової потужності приладу. Зображення температурних градієнтів у поздовжньому та поперечному розрізах секцій підтверджують, що за таких умов конвективна складова теплообміну різко слабшає, а загальний тепловий потік та еквівалентна опалювальна площа приладу закономірно досягають своїх мінімальних значень серед усіх досліджених робочих варіантів.

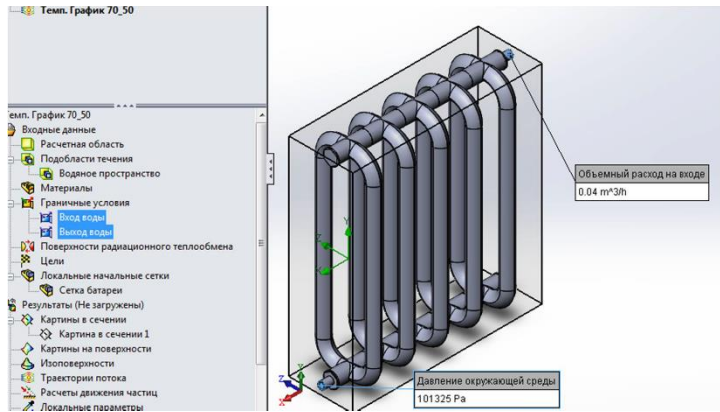


Рисунок 3.20 — Граничні показники для віртуального дослідження на графіку 70/50 °C

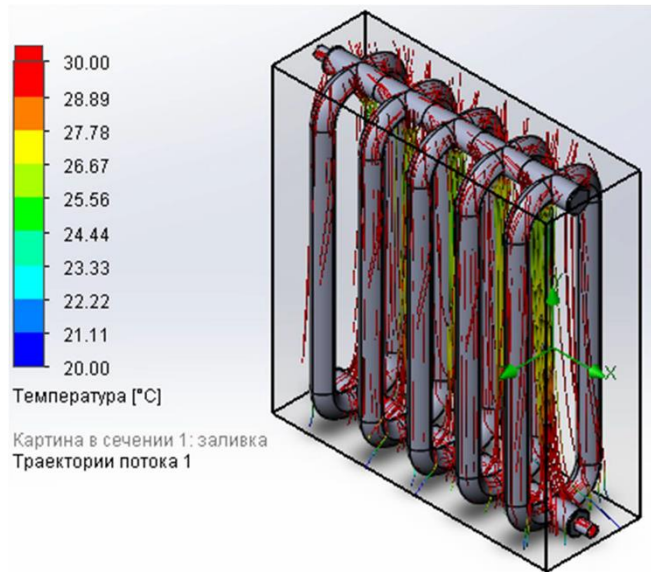


Рисунок 3.21 — Розподіл температур у конвективному потоці повітря при графіку 70/50 °C

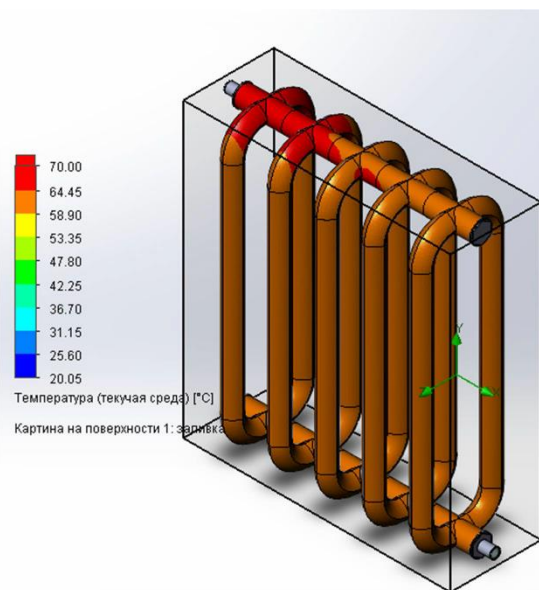


Рисунок 3.22 — Поверхневе температурне поле чавунних секцій (режим 70/50 °C)

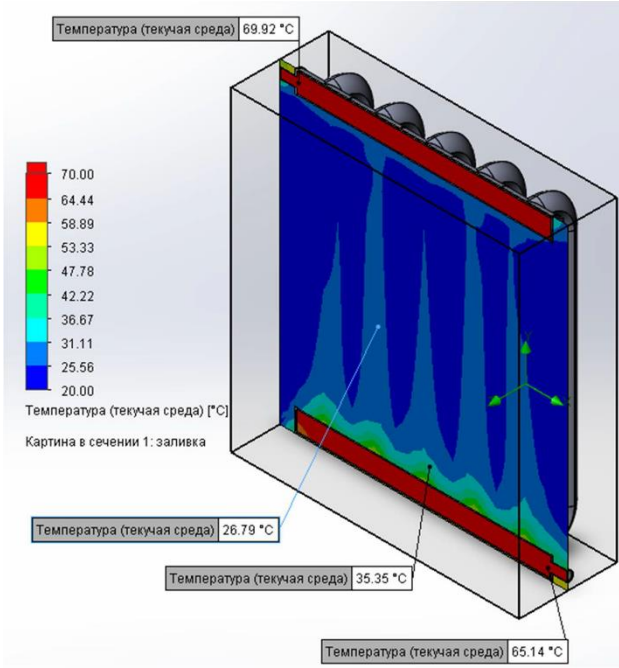


Рисунок 3.23 — Градієнт температур у поздовжньому розрізі радіатора за умов 70/50 °C

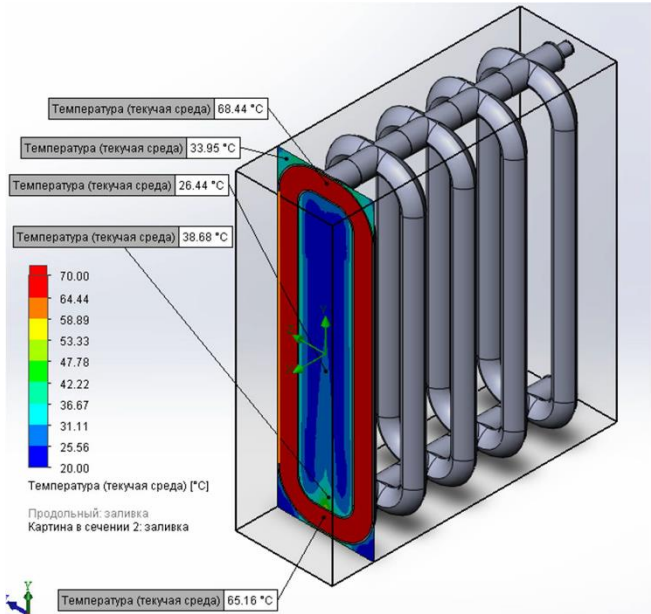


Рисунок 3.24 — Температурний стан у поперечному перерізі для графіка 70/50 °C

Таблиця 3.4

Розрахункові значення теплотехнічних параметрів при роботі за графіком 70/50 °C

Температурний графік	Тепловий потік радіатора, Вт	Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·K)	Еквівалентна опалювальна площа, м²
70/50	289,7	9,9	1,81

Висновки до розділу 3

У третьому розділі кваліфікаційної роботи було проведено комплексну оцінку ефективності теплотехнічного обладнання в контексті термомодернізації систем тепlopостачання. Аналіз роботи сучасних опалювальних котелень засвідчив, що найбільш раціональним технічним рішенням є впровадження конденсаційних теплогенераторів та котлів-теплоутилізаторів. Такі агрегати здатні суттєво підвищити загальний коефіцієнт корисної дії за рахунок використання прихованої теплоти фазового переходу (конденсації) водяної пари з відхідних димових газів. Забезпечення роботи котла у конденсаційному режимі при зниженні температури зворотної води дозволяє досягти максимальної теплової ефективності та значно скоротити витрати первинного органічного палива.

Дослідження експлуатаційних характеристик парокомпресорних теплонасосних установок підтвердило їхню надзвичайно високу енергоефективність як ключового елемента термомодернізації. Завдяки реалізації термодинамічних перетворень за зворотним циклом Карно, теплові насоси дозволяють корисно утилізувати низькопотенційну енергію навколишнього середовища, витрачаючи на генерацію теплоти від 2 до 4,8 рази менше електричної енергії порівняно з традиційними нагрівачами. Використання термодинамічного методу циклів для аналізу їхньої роботи дає змогу об'єктивно оцінити вплив різних теплових і гідравлічних необоротностей в елементах системи на підсумковий коефіцієнт перетворення (COP) дійсного циклу.

На основі проведеного математичного 3D-моделювання теплообмінних процесів у класичному чавунному радіаторі MC-140 M2-500 було кількісно доведено вплив зміни температурного графіка мережі на фактичну ефективність тепловіддачі. Результати віртуальних експериментів наочно показали, що перехід від класичного високотемпературного режиму 90/70 °C до знижених графіків 80/60 °C та 70/50 °C супроводжується різким падінням інтенсивності конвективної складової та зменшенням сумарного теплового потоку приладу з 561,4 Вт до 289,7 Вт відповідно. Отримані дані науково

обґрунтовують технологічну необхідність пропорційного збільшення еквівалентної опалювальної площі нагрівальних приладів (нарощування кількості секцій) під час переведення існуючих систем опалення будівель на енергоощадні низькотемпературні режими роботи спільно з теплонасосними установками.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Правильна організація роботи з охорони праці має першорядне значення для підвищення продуктивності праці, ліквідації причин нещасних випадків, попередження травматизму, загальних і професійних захворювань на виробництві.

У даній бакалаврській роботі розглянуто роботу водогрійної котельні та тепло насосної установки. Дане обладнання призначене для забезпечення тепловими навантаженням системи опалення, гарячого водопостачання.

Газопроводи прийняті із сталевих труб електрозварювань по ГОСТ 10705-80(група В) «Технічних умов» і ГОСТ 10704-91 «Сортамент», сталь ВСт2сп, ВСт3сп не менш 2-ої категорії ГОСТ 380-88 або 10, 15, 20 ГОСТ 1050-88 на різьбових з'єднаннях або на зварці. Продування газопроводів проєктована виробляється з далекої ділянки газового колектора і від котлів в атмосферу через продувальну лінію, що виводиться на 1 м. вище за парапет крівлі.

Система автоматизації котла призначена для автоматичного відключення подачі палива до пальника при аварійних режимах роботи /система автоматики безпеки/, світлозвукової сигналізації про параметри роботи котла, автоматичного регулювання температури води на виході з котла і процесу горіння - підтримка оптимального співвідношення "газ-повітря" /система автоматичного регулювання.

На димарях є можливість для виміру температури і складу димових газів переносним газоаналізаторам. Димарі прийняті двостінні фірми «Версія-Люкс». Перед вузлом введення проєктується швидкодіючий клапан - відсікач з електроприводом, що спрацьовує при загазованості котельної і відключенні електроенергії.

Припливне повітря для горіння газу а також 3-х кратного повітрообміну подається через існуючі жалюзійні ґрати в стіні котельного залу природним чином, витяг через існуючі дефлектори: Ду400 - 2 шт.

Монтаж газопроводів, здачу їх в експлуатацію виробляти відповідно до ДБН В.2.5-20- 2001 "Газопостачання" і ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека в будівництві.

Живлення електроенергією котельної виробляється від існуючих ввідних кабелів;

водопостачання - від існуючого введення водопроводу.

Устаткування розміщено усередині приміщення котельні.

Основними споживачами електричної енергії є засоби автоматики, асинхронні двигуни, панелі керування котлами, пальники та панелі їх керування, освітлення котельні.

Проект виробничо-опалювальної котельні виконаний згідно з системою стандартів безпеки праці (ССБП) і іншими нормативними документами, які вирішують питання дотримання вимог безпеки та виробничої санітарії.

При експлуатації котельні мають місце потенційно шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які за певних умов можуть негативно впливати на здоров'я і безпеку праці персоналу котельні. В даному розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації котелень, а також основні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії і пожежної безпеки котельні.

4.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації котельні

4.1.1 Вимоги безпеки до приміщення та розташування в ньому основного і допоміжного устаткування.

Площа віконних конструкцій, розглянутих як легко скидні конструкції при можливих вибухах, встановлених за котлами з боку відходячих димових газів становить 30 м².

Проектне розташування котлів задовольняє нормам приміщень для котлів та вимогам з проектування фірми-виробника. Відстань від виступаючих частин пальникових пристроїв до стіни, фронтальної для котлів

3,5 м, що задовольняє вимогам для котлів, що працюють на газоподібному паливі. Відстань від фронту котлів до протилежної стіни котельні 4,5 м, що не перевищує мінімально допустиму відстань згідно вимог з проектування фірми-виробника 4,6 м. Вільний прохід уздовж фронту котлів більше 1,5 м і встановлене устаткування не заважає їх обслуговуванню. Відстань від задньої стінки котла до стіни приміщення більше 1 м. Проходи в котельні мають вільну висоту більше 2м.

Допоміжне устаткування розташовується таким чином, щоб забезпечити максимальну доступність і зручність обслуговування. Забезпечено необхідну ширину проходів у світлі:

- між насосами, електродвигунами і стінкою – 1м;
- між допоміжними частинами устаткування і стінкою - 0,5м.
- навколо устаткування - 0,7м.

Для відводу димових газів служить димова труба, розташована поза приміщенням котельні висотою 30м. Труба призначена для створення штучної тяги для часткового подолання аеродинамічного опору відходячими димовими газами, та розсіювання останніх на висоті, для досягнення допустимої приземної концентрації шкідливих речовин.

4.1.2 Арматура, прилади та запобіжні пристрої по забезпеченню безпечної експлуатації котельні

Для керування роботою котлів і забезпечення безпечних режимів їхньої експлуатації вони обладнані:

- приладами, що запобігають підвищенню тиску (запобіжні пристрої);
- манометрами;
- приладами для виміру температур середовищ;
- показниками рівня води;
- живильними пристроями.

Кожний елемент котла, внутрішній обсяг якого обмежений запірними органами, захищений запобіжними пристроями, які автоматично запобігають

підвищення тиску вище, ніж на 10% розрахункового шляхом випускання робочого середовища в трубопроводи напірної каналізації (дренаж). Для цього в котлах використовуються запобіжні клапани пружинно-мембранного типу прямого дії. На кожний котел встановлено по одному запобіжному клапану без проміжних запірних пристроїв. Запобіжні пристрої обладнані зливами в дренаж води при їхньому спрацьовуванні.

Для спостереження за тиском у теплогенераторі на нього встановлені манометри. На теплогенераторі манометри встановлені на вході води в теплогенераторі на виході нагрітої води з теплогенератора до запірного пристрою. Клас точності манометрів 2,5 (оскільки робочий тиск до 2,5 МПа), робочий діапазон середня третина шкали. На шкалу нанесена червона мітка номінального робочого тиску. Діаметр манометрів, встановлених на висоті 2м

– 1000мм, а на висоті 2-5м 160мм. Манометрами контролюється тиск до і після циркуляційних насосів. Для забезпечення безпечної експлуатації устаткування адміністрацією підприємства робиться перевірка манометрів за допомогою контрольного манометра кожні 6 місяців із записом у журнал контрольних перевірок і кожні 12 місяців робиться перевірка у контрольно-вимірвальних лабораторіях.

Для контролю температури використовуються біметалічні термометри. Розмір шкал термометрів дозволяє візуально контролювати температури теплоносія. Контроль температури ведеться на трубопроводах, що подають і зворотних трубопроводах, на трубопроводах до споживача та котлових трубопроводах. Припустима різниця температур між прямим і зворотним трубопроводами вказується на термометрі червоною рисою.

На газопроводі, що подає, у котельню встановлюється клапан - відсічник, що автоматично закривається при умовах загазованості котельні, спрацьовуванні системи пожежної сигналізації та при зникненні електроживлення котельні. Відкриття клапана відбувається одночасно з подачею електричної енергії на блок живлення клапана (за умови відсутності загазованості котельні). Блок керування та сигналізації встановлені в

приміщенні котельні

Проектом передбачається встановлення необхідної запірної та регулюючої апаратури, зворотніх клапанів та повітрявідвідників у місцях, передбачених відповідними нормами.

4.1.3 Рекомендації по безпечній експлуатації газопроводів і трубопроводів котельні

Для безпечної експлуатації газообладнання передбачені продувні газопроводи та газопроводи безпеки з виводом вище даху будинку на 1 м. Продувка здійснюється за рахунок власного тиску газу. Продувні свічі загнуті на 180° щоб уникнути влучення атмосферних опадів. Для запобігання опіків обслуговуючого персоналу та зменшення теплових втрат трубопроводи, по яких рухається середовище з температурою вище 50°C разом із фланцевими з'єднаннями та арматурою вкриті тепловою ізоляцією. Трубопроводи пофарбовані по всій довжині у відповідні кольори. У приміщенні котельні вивішена схема трубопроводів в умовних кольорах і нумерацією вентилів і засувок. На магістральних лініях трубопроводів зроблені наступні написи: номер магістралі римською цифрою та стрілка, що вказує напрямок руху.

Для газоходів і колекторів прийнята тепла ізоляція із прошивних мінераловатних матів в обкладках з металевої сітки товщиною 60-90мм ГОСТ 21880-94. Для трубопроводів прийняті циліндри теплоізоляційні з мінеральної вати на синтетичному сполучнику М-100

ГОСТ 23208-83. Зовні теплоізоляція покривається сталевим листом із оцинкованої сталі товщиною 0,3-0,5 мм за ГОСТ 216131-76.

Для антикорозійного захисту поверхня трубопроводів покривається наступними захисними засобами:

- газоходи: зовнішня поверхня жаростійка емаль ПФ-837 ТУ 10-1309-81 у два шари;
- трубопроводи ізольовані: зовнішня поверхня - фарба БТ-177 ОСТ 10-

426-79 у два шари по ґрунтовці ГФ-121 за ГОСТ 25129-82;

- трубопроводи неізолювані: зовнішня поверхня олійною фарбою ГОСТ 8292-85 у два шари.

Прокладка трубопроводів здійснюється з врахуванням їх температурних розширень і напруг які з ними пов'язані. Трубопроводи кріпляться на рухомі та нерухомі опори. Теплові подовження компенсуються установкою компенсаторів, в якості яких також виступають повороти трубопроводів.

4.1.4 Заходи електробезпеки по безпечній експлуатації електроустаткування котельні

Тип електричної мережі, від якої живиться устаткування котельні (електродвигуни насосів, пальників; світильники робочого, аварійного, штучного та зовнішнього освітлення, повітряний опалювальний агрегат) - трифазна, чотирихпровідна електрична мережа напругою 380х220 V с глухозаземленою нейтраллю. По категорії умов небезпечності електротравматизма приміщення котельні відноситься до 3 категорії (згідно ОНТП 24-86 та ПУЕ) («Особливо небезпечне приміщення»), тому що є 2 фактора підвищеної небезпеки. До таких факторів відносяться:

- можливістю контакту обслуговуючого персоналу з корпусом споживача електричної енергії та з металоконструкціями, що мають контакт із землею;

- наявність струмопровідної підлоги.

Основними споживачами електричної енергії є асинхронні двигуни, повітряні опалювальні агрегати, панелі керування котлами, пальники, освітлення котельні. По ступені надійності електропостачання (згідно ПУЕ) електроприймачі котельні відносяться до II категорії. Блоки загазованості та контролю наявності угарного газу відносяться до I категорії.

Силове електроустаткування (пристрої живлення, розподілу, тощо) розміщається в приміщенні котельні. Апаратами захисту в системі живлення є автоматичні вимикачі з максимально-струмовими або комбінованими

роз'єднувачами. Пускова апаратура - магнітні пускачі. Силове устаткування, а так само пускова апаратура розміщені в щиті електроживлення. Апаратура сигналізації розташована в щиті реєстрації.

4.1.5 Технічні рішення по запобіганню електротравм від дотику до нормально струмоведучих частин

1) Ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування відповідно до вимог нормативів (відповідно до вимог опір ізоляції нового обладнання не менше 1 кОм на 1 V напруги).

2) Мережа, як силова, так і контрольна, прокладається по стінах, стелі та за допомогою опускних трубних чохлах. Силові магістралі та розподільчі мережі виконуються кабелями з мідними жилами та проводами в трубах і металевих рукавах. Зовнішні електропроводки виконані ізолюваним проводом і розміщені на висоті 2,5 м над робочими місцями.

3) Передбачено використання захисних блоків електроустаткування, що забезпечує вимикання напруги час ремонту, техогляду, при потраплянні персоналу в небезпечну зону.

4) На електроустаткуванні присутні попереджувачі засоби помилкових дії при обслуговуванні та експлуатації - написи, таблички, що попереджають знаки, сигналізація.

5) Стаціонарні мережі розеток 12 V для переносного освітлення, у системах місцевого освітлення та для ручного електроінструмента напруга 42 V;

4.1.6 Технічні рішення по запобіганню електротравм при переході напруги на нормально неструмоведучі частини

У зв'язку з тим що вся мережа трифазна, чотирихпровідна із глухозаземленою нетіраллю, то для усунення небезпеки поразки людини струмом, у випадку його дотику до неструмоведучих металевих частин електроустановок, що оказались під напругою, згідно проектом передбачено

використання занулення металевих корпусів електроустаткування, каркасів, щитів і шаф.

Метою занулення є усунення небезпеки поразкою електричним струмом персоналу при пробі на корпус устаткування однієї із фаз мережі.

Занулення устаткування організоване з'єднанням всіх металевих неструмоведучих частин устаткування з нулем мереж, тобто з нульовими провідниками по всьому колу. Спрацьовує захист від короткого замикання (автоматичний вимикач) - і ушкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно ПУЕ провідники занулення обрані таким чином, щоб забезпечити кратність струму, рівну трьом. Забезпечується цілісність нульового провідника та достатня його провідність - за рахунок вибору достатнього перерізу нульового провідника. Всі з'єднання нульового проводу виконані звареними. Нульовий провід приєднаний до корпусів електроприймачів зварюванням.

4.1.7 Засоби індивідуального захисту при обслуговуванні електроустаткування котельні, що проектується

При роботі з електроустаткуванням обслуговуючий персонал забезпечується діелектричними рукавичками, гумовими ботами, токовимірювальними кліщами, інструментами з ізольованими ручками; також використовують гумові килими та діелектричні підставки.

4.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Вибір, обґрунтування та забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату у приміщеннях котельні, що проектується

Основними факторами, які визначають мікроклімат на виробництві є:

- 1) температура повітря $t, ^\circ\text{C}$;
- 2) вологість повітря $W, \%$;
- 3) швидкість руху повітря $V, \text{м/с}$;

4) інтенсивність теплових випромінювань, Вт/м².

Відхилення основних параметрів мікроклімату котельні можуть призвести до негативних наслідків, зокрема до погіршення самопочуття та захворювань які зменшують або унеможлиблюють працездатність персоналу котельні. Тому основні параметри мікроклімату нормуються [6].

Нормовані параметри наведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 - Допустимі та оптимальні параметри температури повітря, відносній вологості та рухливості повітря

Період року	Оптимальний (для щитового приміщення)			Допустимий (для приміщення котельні)		
	t, °C	W, %	V, м с	t, °C	W, %	V, м с
Теплий	22-24	40-60	0,2	21-28	60	0,1-0,3
Холодний	21-23	40-60	0,1	20-24	75	0,1-0,2

Для забезпечення необхідних нормативних параметрів мікроклімату проектом передбачено:

- теплова ізоляція теплотехнічного устаткування та трубопроводів в приміщенні котельні,

- що мають температуру поверхні - 45 °C ;

- використання природної та загальнообмінної механічної припливно- витяжної вентиляції: у холодний період року приплив повітря, що надходить на горіння - природний, витяжка - з дефлекторним спонуканням; у теплий період року для асиміляції теплопритоків приплив повітря природний через фрамуги, що відкриваються, вікна, а витяжка механічна осьовими вентиляторами та природна через дефлектори.

- для підтримки необхідної температури в приміщеннях запроектована двотрубна тупикова система опалення. Як опалювальні прилади прийняті: у котельному залі повітряно-опалювальні агрегати, в прибудованих приміщеннях - радіатори . Теплоносієм для потреб опалення та вентиляції служить вода з параметрами 95-70 °C, одержувана від

трубопроводів котельні. Магістральні трубопроводи опалення та тепlopостачання повітронагрівачів необхідно ізолювати трубою ізоляцією із пінополіуретану.

4.2.2 Контроль складу повітря робочої зони приміщення котельні

Повітря робочої зони нормується по [6], де регламентується гранично припустима концентрація різних шкідливих речовин у повітрі котельні.

Процеси, що відбуваються в котельні, характеризуються наявністю шкідливих речовин, а саме можливі витoki природного газу.

Кількість газу в приміщенні не повинна перевищувати 1% об'єму всього приміщення (при 16% утворюється вибухонебезпечна суміш).

У приміщенні котельні передбачена установка газоаналізатора з датчиками контролю загазованості, які налаштовані на гранично допустиму концентрацію природного газу. Газоаналізатор має світлову та звукову сигналізацію а також вихід на аварійне відключення подачі природного газу.

Для запобігання витоків газоподібних речовин фланцеві з'єднання газопроводів, по яких рухаються ці речовини ущільнюються паронітом.

Передбачений контроль за змістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони, що здійснюється не рідше одного разу на місяць;

4.3 Забезпечення пожежної безпеки котельні, що проектується

4.3.1 Оцінка рівня пожежної небезпеки котельні, що проектується

У котельних небезпека виникнення пожеж пов'язана з наявністю: великих кількостей палива (природного газу), різних масел у системах змащення технологічного устаткування та в електротехнічних установках; споживачів електроенергії власних потреб різної потужності та напруги; високих температур теплоносія, відхідних газів, поверхонь технологічного устаткування і трубопроводів.

Таким чином, джерела пожежі в котельні:

- 1) іскри, що утворюються при коротких замиканнях;
- 2) нагрівання електроустаткування при його перевантаженні;
- 3) вибух газу в топці котла.

Причиною пожежі в котельному відділенні може служити:

- утворення вибухонебезпечної суміші при змішанні природного газу та повітря;
- загоряння внаслідок нагрівання електроустаткування або електрокабелів

Категорія пожежної та вибухопожежної небезпеки приміщень котельні при використанні природного газу - "Г".

Відповідно до регламентації по ПУЕ, залежно від умов, у яких може утворитися вибухонебезпечна суміш, робочі зони котельні відносяться до класу В-1а, як приміщення, у якому вибухонебезпечна суміш не утворюється при нормальних умовах експлуатації устаткування, але може утворитися при аваріях і несправностях.

Показники пожежонебезпеки для газоподібного палива - природного газу згідно [11]:

- температура самозапалювання $I_{CB} = 550-750$ °С;
- нижня концентраційна межа запалення $K_H = 3\%$;
- верхня концентраційна межа запалення $K_B = 15\%$.

Суміш природного газу з повітрям відноситься до категорії ПА і групи ТІ.

4.3.2 Технічні рішення системи запобігання пожежі в котельні, що проектується

Технічні рішення системи запобігання пожежі спрямовані на запобігання утворення горючого середовища та недопущення виникнення в горючому середовищі джерел запалювання:

- 1) У приміщенні котельні передбачена установка газоаналізатора з датчиками контролю загазованості по приміщеннях. Газоаналізатор має світлову та звукову сигналізацію, а також вихід на аварійне відключення

подачі природного газу.

2) Для продувки газопроводів передбачені продувні свічі і штуцери із запірними органами та заглушками для підведення продувного агента гнучким шлангом. Обмін забезпечується п'ятикратний не більше ніж за 20 хвилин. Трубопроводи для продувки газопроводів виводяться назовні в місце, що забезпечує умови розсіювання газу на 1 м вище верхньої точки будівлі. Проектом передбачені продувні свічі.

3) Застосування для горючих речовин герметичного устаткування; для цього газопроводи виконуються тільки з безшовних або електрозварних труб.

4) Арматура застосовується сталева класу герметичності за ГОСТ 9544-75.

5) На газопроводах установлюються: засувка з електроприводом, штуцер для продувки, швидкодіючий запірний орган з дистанційним електричним і ручним керуванням.

6) Всі газопроводи заземлені.

7) Електродвигуни приводів насосів і вентиляції виконанні у вибухозахищеному виконанні.

8) У якості блискавкоприймача згідно [12] служать металеві конструкції споруджень, металоконструкції на димовій трубі на відм. 30 м. Захист від прямих ударів блискавки у димову трубу здійснюється шляхом приєднання її до штучного заземлення.

4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях при експлуатації теплогенеруючого комплексу

Експлуатація модернізованої системи опалення, що включає водогрійну котельню та автоматизовану теплонасосну установку, пов'язана з ризиком виникнення надзвичайних ситуацій (НС) техногенного, природного та воєнного характеру. До основних критичних сценаріїв належать: витoki природного газу, вибухи в топці котла, пожежі, раптове припинення

електропостачання, розгерметизація контурів теплонасоса, а також зовнішні загрози в умовах воєнного стану.

4.4.1 Дії персоналу при виникненні аварій техногенного характеру

При виявленні загазованості приміщення, наприклад, у разі спрацювання газоаналізатора, налаштованого на гранично допустиму концентрацію природного газу, або при виникненні пожежі, обслуговуючий персонал зобов'язаний діяти за чітким алгоритмом для мінімізації наслідків. Насамперед необхідно негайно припинити подачу природного газу до пальників, візуально переконавшись у спрацюванні швидкодіючого клапана-відсікача. У разі відмови автоматики слід перекрити газ вручну за допомогою запірних органів на магістралях. Наступним кроком є знеструмлення силового електроустаткування котельні, зокрема асинхронних двигунів та панелей керування, залишивши в роботі лише системи аварійного освітлення та витяжну вентиляцію. У разі пожежі персонал має викликати підрозділи Державної служби з надзвичайних ситуацій та розпочати локалізацію вогню наявними первинними засобами пожежогасіння, враховуючи, що категорія приміщення котельні за вибухопожежною небезпекою визначається як "Г". Паралельно організовується евакуація людей з небезпечної робочої зони, яка класифікується як В-1а, та обов'язково повідомляється керівництво підприємства.

4.4.2 Заходи при аварійному відключенні електропостачання

Враховуючи поточне складне становище енергетичного сектора України та можливі перебої у виробництві електроенергії, система автоматизації котельні має надійні алгоритми реагування на знеструмлення. При зникненні електроживлення автоматика безпеки гарантує автоматичне закриття клапана-відсікача на подавальному газопроводі, що унеможливорює вибух при неконтрольованому відновленні напруги. Разом з тим, черговий персонал повинен перекрити ручні засувки на трубопроводах прямої та зворотної подачі теплоносія. Це необхідно для запобігання гідравлічним ударами у

мережі після раптового відновлення живлення циркуляційних насосів. У разі тривалого, понад 24 години, відключення електроенергії в холодний період року при зовнішній температурі нижче 0 °С, керівництво об'єкта повинно ініціювати процедуру аварійного дренажу або зливу води з трубопроводів та теплообмінників для запобігання розриву труб внаслідок замерзання теплоносія.

4.4.3 Цивільний захист в умовах воєнного стану

Оскільки енергетична система країни систематично страждає від воєнних подій на сході та інших зовнішніх загроз, об'єкт теплопостачання повинен бути функціонально підготовленим до роботи в умовах підвищеного ризику. Увесь персонал котельні повинен пройти відповідний інструктаж щодо дій при отриманні сигналу «Повітряна тривога» та чітко знати маршрути руху до найближчих захисних споруд або укриттів. При оголошенні тривоги черговий оператор зобов'язаний перевести обладнання у безпечний режим очікування або зниженої потужності, якщо це передбачено технологічною картою, і негайно прослідкувати в укриття. Для оперативного відновлення роботи після можливих пошкоджень від вибухових хвиль, на підприємстві має бути заздалегідь сформований недоторканий аварійний запас матеріалів: труб, запірної арматури, пароніту для ущільнення фланцевих з'єднань та мінераловатної теплоізоляції. Після відбою тривоги та повернення на робоче місце персонал зобов'язаний провести ретельний візуальний огляд цілісності газопроводів, димових труб та несучих конструкцій будівлі перед повторним запуском котлів і теплонасосної установки.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи було детально розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях при експлуатації водогрійної котельні та теплонасосної установки. Правильна організація роботи з охорони праці має першорядне значення для ліквідації причин

нешасних випадків, попередження травматизму та професійних захворювань на виробництві. Для забезпечення безпечної роботи теплотехнічного обладнання передбачено комплекс технічних рішень, що включає надійну систему автоматизації для екстреного відключення подачі палива при аварійних режимах, використання швидкодіючих клапанів-відсікачів та суворе дотримання нормативних вимог щодо вільного розташування агрегатів у котельному залі. Безпека експлуатації газопроводів та трубопроводів гарантується використанням сталевих труб відповідних стандартів, наявністю запобіжних пристроїв від підвищення тиску та якісною тепловою ізоляцією поверхонь.

Особливу увагу приділено заходам електробезпеки, оскільки за рівнем небезпеки електротравматизму приміщення котельні відноситься до особливо небезпечних умов праці. Для надійного захисту обслуговуючого персоналу передбачено обов'язкове занулення всіх металевих неструмоведучих частин обладнання, застосування апаратів захисту від короткого замикання та регулярне забезпечення працівників необхідними засобами індивідуального захисту, зокрема діелектричними рукавичками, ботами та килимами. Разом із цим розроблено заходи з виробничої санітарії, які гарантують підтримання оптимальних параметрів мікроклімату за допомогою механічної та природної припливно-витяжної вентиляції. Систематичний контроль складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою газоаналізаторів, які налаштовані на гранично допустиму концентрацію природного газу та мають вихід на автоматичне блокування подачі палива у разі небезпеки.

Враховуючи специфіку об'єкта, приміщення якого належить до категорії "Г" за вибухопожежною небезпекою, а робочі зони класифікуються як В-1а, розроблено жорсткі превентивні заходи пожежної безпеки. Унеможливлення виникнення джерел запалювання в горючому середовищі досягається завдяки абсолютній герметизації устаткування, виведенню продувних свічей назовні будівлі, використанню електродвигунів у спеціальному вибухозахищеному виконанні та наявності надійного блискавкозахисту. Додатково опрацьовані

алгоритми реагування персоналу на надзвичайні ситуації дозволяють мінімізувати ризики під час аварій техногенного, природного або воєнного характеру. Комплексне та неухильне виконання всіх зазначених норм є запорукою надійної та безпечної роботи модернізованої системи тепlopостачання.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання, яке полягає в обґрунтуванні та розробці комплексних інженерних заходів із термомодернізації системи опалення будинку шляхом впровадження автоматизованої теплонасосної установки. З огляду на складний стан енергетичного сектору України, який постраждав від воєнних дій, та високу залежність економіки від імпорту викопних енергоносіїв (природного газу, вугілля, ядерного палива), раціональне управління попитом на енергію та тотальне енергозбереження є критично необхідними кроками для забезпечення енергонезалежності.

На основі аналізу світового та вітчизняного досвіду встановлено, що традиційне централізоване теплопостачання та технології когенерації здатні забезпечувати високу середньорічну ефективність (до 90%) за умови їхньої повної оптимізації. Проте для багатьох об'єктів цивільної та житлової інфраструктури надзвичайно перспективним є перехід до децентралізованих рішень. Застосування теплонасосних установок (ТНУ) виступає ключовим елементом такої модернізації. Працюючи за зворотним циклом Карно, теплові насоси дозволяють корисно утилізувати низькопотенційну енергію навколишнього середовища (грунту, води чи повітря), витрачаючи на генерацію тепла у 2–4,8 рази менше електричної енергії порівняно з прямим електричним нагріванням. Це створює міцні передумови для скорочення обсягів споживання дороговартісного природного газу щонайменше у два-три рази.

Доведено, що успішна термомодернізація неможлива без правильного вибору конфігурації теплових мереж та їхньої повної автоматизації. Надійно налаштовані автоматичні комплекси гарантують підтримку заданих температурних графіків, забезпечують гідравлічний баланс та дозволяють системі гнучко керувати потоками теплоносія. Водяні системи залишаються найбільш раціональним вибором для житлового сектору, забезпечуючи високу якість послуг з опалення та гарячого водопостачання.

Ключовим технічним етапом дослідження стало математичне 3D-моделювання теплообмінних процесів у класичному чавунному радіаторі MC-140 M2-500 за різних температурних режимів. Результати віртуальних експериментів підтвердили, що перехід від традиційного високотемпературного графіка 90/70 °C до енергоощадного низькотемпературного графіка 70/50 °C (який є типовим та найбільш оптимальним для роботи теплових насосів) призводить до різкого падіння загального теплового потоку приладу з 561,4 Вт до 289,7 Вт. Отримані дані науково та кількісно обґрунтовують експлуатаційну необхідність збільшення еквівалентної опалювальної площі (тобто нарощування кількості секцій або повної заміни радіаторів) під час переведення наявних систем опалення будівель на сучасні теплонасосні установки.

Окрім технологічних аспектів генерації та розподілу тепла, у роботі глибоко опрацьовано питання охорони праці та цивільного захисту. Оскільки приміщення теплогенераторних установок (котелень), які можуть використовуватися як пікові або резервні джерела, належать до категорії вибухопожежної небезпеки "Г", а їхні робочі зони — до класу В-1а, запропоновано жорсткий комплекс превентивних технічних рішень. Впровадження автоматичних швидкодіючих клапанів-відсікачів, газоаналізаторів, надійного занулення електрообладнання та дотримання нормативних параметрів мікроклімату гарантує повну безпеку обслуговуючого персоналу. Крім того, розроблені спеціальні алгоритми реагування на аварійні відключення електропостачання та інструкції на випадок оголошення повітряної тривоги адаптують енергетичну інфраструктуру до стабільного функціонування в кризових умовах воєнного стану.

Підсумовуючи результати проведеної роботи, можна стверджувати, що запропонований комплекс рішень із впровадження автоматизованих теплонасосних установок, доповнений обов'язковим перерахунком площі нагрівальних приладів та суворим дотриманням безпекових норм, є технічно обґрунтованим, екологічно доцільним та енергоефективним шляхом до модернізації сучасних систем теплопостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Теплопостачання та енергоефективність: теорія і практика / [Дешко В.І., Буячок І.В., Карп І.М.]: Підручник. — Київ: 2018. — 312 с.
- 2) Енергоефективність будівель та споруд / [Фаренюк Г.Г., Фадєєва М.А.]: Монографія. — Київ: 2019. — 280 с.
- 3) Теплонасосні установки в системах теплопостачання / [Безродний М.К., Притула Н.О.]: Навчальний посібник. — Київ: 2015. — 245 с.
- 4) Термодинамічний аналіз теплонасосних систем / [Морозюк Т.В., Гірник О.М.]: Монографія. — Одеса: 2017. — 198 с.
- 5) Автоматизація систем теплопостачання / [Кулаков П.І., Мірошник О.В.]: Підручник. — Харків: 2016. — 305 с.
- 6) ДБН В.2.5-39:2008. Теплові мережі / [Мінрегіонбуд України]: Державні будівельні норми. — Київ: 2009. — 82 с.
- 7) Термомодернізація житлових будівель / [Круковський П.Г., Новицький В.М.]: Підручник. — Київ: 2017. — 288 с.
- 8) Теплові насоси: теорія і практика застосування / [Гейнріх Г., Найков В.І.]: Навчальний посібник. — Львів: 2018. — 310 с.
- 9) Системи автоматичного керування котельними установками / [Іванов С.М., Сидоренко В.В.]: Навчальний посібник. — Харків: 2019. — 240 с.
- 10) Математичне моделювання систем теплообміну / [Дмитренко Ю.В., Савченко О.О.]: Монографія. — Київ: 2020. — 260 с.
- 11) Energy efficiency of buildings in Europe / [Persson U., Munster M.]: Monograph. — Stockholm: 2016. — 205 p.
- 12) ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування / [Мінрегіон України]: Державні будівельні норми. — Київ: 2013. — 141 с.
- 13) ДСТУ Б В.2.5-44:2010. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами / [Держспоживстандарт України]: Стандарт. — Київ: 2010 -56 с.
- 14) Сучасні системи теплопостачання з використанням теплових насосів / [Радченко М.І., Смирнов В.В.]: Посібник. — Миколаїв: 2019. — 220 с.
- 15) Опалювальні котельні та теплові мережі / [Павленко А.М., Ковальчук

В.С.]: Підручник. — Київ: 2015. — 420 с.

16) Енергозбереження та термомодернізація будівель / [Басок Б.І., Ткаченко А.В.]: Монографія. — Київ: 2021. — 340 с.

17) Heat pumps in district heating systems / [Lund H., Werner S.]: Research report. — Copenhagen: 2014. — 120 p.

18) Моделювання роботи нагрівальних приладів / [Василенко В.П.]: Навчально-методичний посібник. — Львів: 2019. — 195 с.

19) Сучасні опалювальні прилади: розрахунок та експлуатація / [Ткачук М.І., Лисенко О.В.]: Довідник. — Київ: 2022. — 215 с.

20) Охорона праці в теплоенергетиці / [Гавриш С.А., Гавриш А.С.]: Підручник. — Київ: 2016. — 440 с.

21) Безпека експлуатації тепломеханічного устаткування / [Семенюк О.В., Гончар В.М.]: Навчальний посібник. — Львів: 2018. — 260 с.

22) Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в енергетиці / [Коваленко О.М.]: Монографія. — Одеса: 2018. — 275 с.

23) Керування теплонасосними установками / [Мельник О.П., Бойко В.І.]: Посібник. — Дніпро: 2020. — 190 с.

24) Інтеграція теплових насосів у муніципальні мережі / [Шевченко О.В., Кудря С.О.]: Навчально-методичний посібник. — Харків: 2021. — 175 с.

25) Smart heating control systems and automation / [Schmidt D., Mueller A.]: Technical manual. — Berlin: 2018. — 230 p.

26) ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель / [Мінрегіон України]: Державні будівельні норми. — Київ: 2017. — 35 с.

27) Теплообмін у секційних радіаторах / [Гордієнко О.В.]: Збірник наукових праць. — Вінниця: 2016. — 140 с.

28) Оцінка ефективності термомодернізації систем опалення / [Степаненко В.М., Петренко О.І.]: Навчальний посібник. — Запоріжжя: 2021. — 210 с.

29) Ефективність централізованого теплопостачання / [Мазур А.К.]: Підручник. — Дніпро: 2015. — 310 с.

30) Термомодернізація як інструмент енергонезалежності / [Зайцев В.О.]: Збірник наукових праць. — Львів: 2018. — 150 с.

- 31) Конденсаційні котли в сучасних системах опалення / [Литвиненко В.О., Романюк А.І.]: Посібник. — Київ: 2018. — 175 с.
- 32) District heating and cooling in Europe / [Connolly D., Mathiesen B.V.]: Research publication. — Aalborg: 2015. — 180 p.
- 33) Охорона праці та промислова безпека в котельнях / [Навакатікян А.О., Кальніш В.В.]: Довідник. — Харків: 2015. — 298 с.
- 34) Пожежна безпека на об'єктах теплогенерації / [Коваль М.П., Дерев'янко О.І.]: Навчально-методичний посібник. — Київ: 2019. — 190 с.
- 35) Гідравлічні режими теплових мереж / [Тарасенко В.М.]: Навчальний посібник. — Харків: 2014. — 225 с.
- 36) Теплові мережі та системи теплоспоживання / [Кравченко О.П.]: Підручник. — Київ: 2020. — 350 с.
- 37) Аналіз режимів роботи котельних установок / [Рябчук В.І., Поліщук С.В.]: Монографія. — Одеса: 2017. — 210 с.
- 38) Електробезпека в системах автоматизації / [Бойченко О.В.]: Підручник. — Запоріжжя: 2017. — 315 с.
- 39) 4th Generation District Heating (4GDH) / [Lund H., Werner S., Wiltshire R.]: Research publication. — Aalborg: 2014. — 115 p.
- 40) Безпека в надзвичайних ситуаціях на інженерних об'єктах / [Щербак Г.В., Рубан І.В.]: Навчальний посібник. — Харків: 2021. — 240 с.
- 41) НПАОП 0.00-1.81-18. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском / [Держпраці України]: Нормативний документ. — Київ: 2018. — 85 с.
- 42) НПАОП 0.00-1.76-15. Правила безпеки систем газопостачання / [Держпраці України]: Нормативний документ. — Київ: 2015. — 110 с.
- 43) Safety in heating plant operations / [Johnson R., Smith T.]: Safety guidelines. — London: 2019. — 150 p.
- 44) Вентиляція та мікроклімат виробничих приміщень / [Дудник В.В.]: Навчальний посібник. — Миколаїв: 2016. — 180 с.
- 45) Когенераційні установки в комунальній теплоенергетиці / [Розенфельд М.Й.]: Підручник. — Київ: 2018. — 285 с.