

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка системи побутового опалення на основі  
електродного котла на 5 кВт

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»  
Шифр, назва  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Шифр, назва  
Освітня програма «Електропобутова техніка»

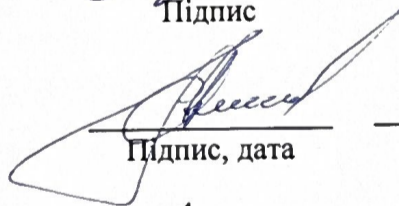
Шифр МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу  
група ЕТм-24-1

  
Підпис

А. С. Корецький  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

С. Л. Горяченко  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

С. І. Кузнецов  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

  
Підпис, дата

В. С. Неймак  
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС  
10 12 2025 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, механіки і архітектури  
Кафедра матри і апаратів, електроенергетики та енергетичних систем  
Освітній рівень Магістр  
Галузь знань 14, Електротехніка і інженерія  
Шифр і назва  
Спеціальність 141, Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Шифр і назва  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
Освітня програма Електрообудова механіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

К.Т.Н. д-р. Нейман В.С.

10.12.2015

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Корелюк Андрій Сергійович  
Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка системи побутового опалення на основі електричного котла на 5 кВт.

керівник роботи Горюхін С.І.  
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 25 08 2015 р. № 65

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10.12.2015.

3. Вихідні дані до роботи Планувальна потужність котла 5 кВт, Напруга мережі 230В, Площа приміщення 50 м<sup>2</sup>.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Випуск. 1. Аналізснуючих електричних опалювальних систем. 2. Розробка системи опалення та електричного котла. 3. Розробити конструкції котла на системі опалення. Випуск. Перелік джерел коштів.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв


7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

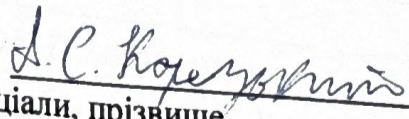
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

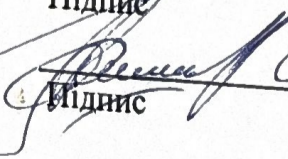
Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Аналіз існуючих систем опалювальної системи	28.10.25	
2. Розробка системи опалення та електричного котла	15.11.25	
3. Розробка конструкції котла та системи опалення	17.11.25	
4. Оформлення виконавчої документації та графічного матеріалу.	13.12.25	

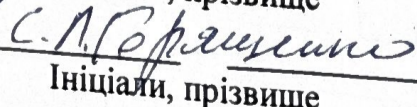
Студент

Керівник роботи

  
 Підпис

  
 Ініціали, прізвище


  
 Підпис

  
 Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Корезуєв Андрій Сергійович
2. Тема магістерської роботи Розробка системи побутового опалення на основі електроенергії котла на 5 кВт
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента \_\_\_\_\_
4. Об'єм магістерської роботи: креслень 7 арк., сторінок записки 71
5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки: 1. Аналіз існуючих електричних опалювальних систем. 2. Розробка системи опалення на електроенергію котла. 3. Розробка конструкції котла та системи опалення. Висновки. Перелік джерел пошуків

Підпис студента 

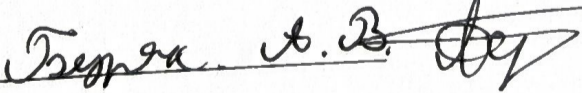
" 10 " 12 20 25 р.

## РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 2 від " 23 " 12 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК добре / С / 78  
Рекомендації ЕК -

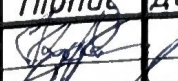
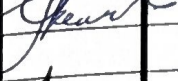

Особливі відмітки -

Технічний секретар 

" 23 " 12 20 25 р.

# ЗМІСТ

	с.
Вступ.....	4
1 Аналіз існуючих електричних опалювальних систем .....	5
1.1 Системи опалення приміщень.....	5
1.2 Стан питання стосовно електродному опалювальному котлу.....	12
1.3 Технічні вимоги до електродкотлів .....	14
1.4 Огляд існуючих патентних рішень.....	16
Висновки до першого розділу.....	26
2 Розробка системи опалення та електродного котла.....	27
2.1 Основні параметри електродного котла.....	27
2.2 Розробка моделі роботи електродного котла.....	31
2.3 Математичне моделювання процесу нагріву приміщення електродним котлом.....	37
2.4 Проектування системи автоматизованого регулювання системи....	48
Висновки до другого розділу.....	53
3 Розробка конструкції котла та системи опалення.....	54
3.1 Розробка електродного котла.....	54
3.2 Експериментальні дослідження енергоефективної системи опалення приміщень.....	57
3.3 Порядок проведення експериментальних досліджень та аналіз одержаних результатів.....	63
Висновки до третього розділу.....	67
Висновки.....	68
Перелік джерел посилань.....	69
Додаток А.....	73
Додаток Б.....	75

МРМА 25.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Розробка системи побутового опалення на основі електродного котла на 5 квт	Літера	Аркцш	Аркцішв
Виконав		Корецький А				д	3	71
Перевір.		Горяченко				ХНУ зр. ЕТМ-24-1		
Н.контр.		Неймак В.Г.						
Затвер.								

## ВСТУП

Сучасні електродні опалювальні системи використовуються переважно в опалювальний період, забезпечуючи зниження витрат на обігрів завдяки застосуванню електроенергії за нічним зниженим тарифом. Одночасно, їх масове впровадження сприяє оптимізації добового споживання електроенергії шляхом використання нічного ресурсу для нагрівання теплоносія. У денний час звільнена потужність може бути спрямована на виробничі, побутові та інші потреби. Дослідження спрямоване на вивчення процесів нагріву й охолодження теплоносія в котлі та радіаторі, а також на підтримку оптимальних температурних умов у промислових приміщеннях. Головним об'єктом аналізу є автономна система опалення, яка здатна забезпечувати комфортний тепловий режим у побутових приміщеннях. Метою роботи є створення системи опалення, що включає функції підігріву на основі електродних нагрівальних пристроїв. Для досягнення зазначеної мети передбачається вирішення таких завдань:

- розробка математичної моделі процесу електродного нагріву зі зворотним зв'язком;
- створення методики розробки систем опалення;
- виготовлення дослідного зразка котла;
- проведення експериментальних досліджень роботи запропонованої системи.

									Арк.
									4
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

# 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ОПАЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

## 1.1 Системи опалення приміщень

Децентралізоване опалення передбачає використання індивідуального джерела тепла для кожного приміщення чи навіть зони в кімнаті, замість централізованого теплоносія. Такі системи працюють на основі електричних або газових конвекторів, інфрачервоних панелей та масляних радіаторів. В залежній системі теплоносії надходить безпосередньо ззовні (зазвичай з теплотраси) у внутрішню систему опалення. Його можна застосовувати виключно для обігріву, хоча часто він слугує ще й джерелом гарячої води для побутових потреб. Більшість міських будинків функціонує за цією схемою. Незалежна система опалення використовує тепловий вузол із теплообмінником, який дозволяє тепловій енергії води з теплотраси нагрівати замкнутий контур системи. Цей варіант особливо ефективний для приватних будинків, якщо теплоносієм виступає антифриз. Завдяки теплолічильникам така система дозволяє тимчасово відключати опалення, наприклад, під час тривалої відсутності господарів, не ризикуючи заморожуванням контурів. Відкрита водяна система опалення працює без надлишкового тиску і сполучається з атмосферою. У верхній точці для такої системи встановлюють, як правило, відкритий розширювальний бак для виведення повітряних пробок. Системи закритого типу в свою чергу підтримують постійний надлишковий тиск, який зазвичай коливається в діапазоні від 1 атмосфери для приватних будинків до 6 – для багатоповерхових. Системи з природною циркуляцією сьогодні використовуються рідко, але вони є оптимальним рішенням для невеликих будинків, оскільки забезпечують незалежність опалення від електропостачання [1, 2]. Їх принцип роботи ґрунтується на фізичному явищі: при нагріванні вода стає менш щільною, і більш холодна рідина природним чином витісняє нагріту у верхній частині контуру. Це дозволяє забезпечити постійний рух теплоносія за відповідної конфігурації. Коротка інструкція зі створення гравітаційної системи:

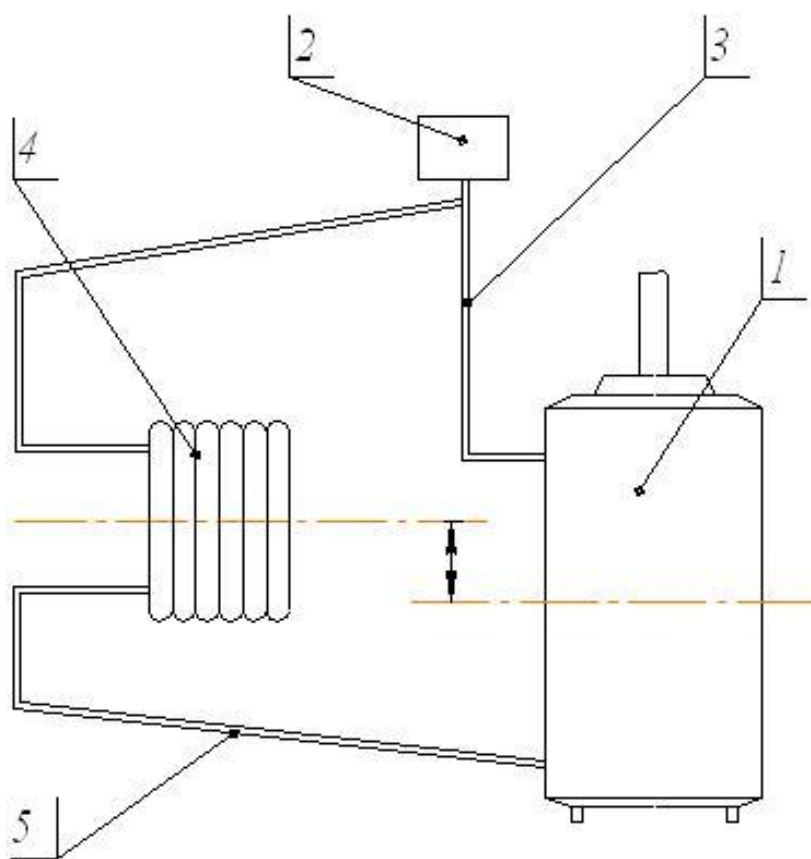
									Арк.
									5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

1. Котел слід розмістити якомога нижче. У будинках без підвалу часто обладнують поглиблення в підлозі для його установки.

2. Від котла вертикально вгору прокладають розгінний колектор до найвищої точки системи.

3. Відповідно до типу системи, у верхній точці встановлюють або відкритий розширювальний бак (для відкритих систем), або автоматичний чи ручний повітровідводчик (для закритих). Розширювальний бак мембранного типу може бути змонтований будь-де у замкнутому контурі.

4. Від найвищої точки контур повертається до котла з невеликим постійним ухилом, що сприяє руху охолодженої води самопливом. При цьому теплоносій віддає тепло радіаторам або іншим обігрівальним пристроям.



1 – котел, 2 – розширювальний бак, 3 – подаюча труба, 4- зворотня труба

Рисунок 1.1 - Найпростіша система опалення

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

6

Особлива увага в гравітаційних системах приділяється дотриманню вимог щодо гідравлічного опору контуру. Для цього застосовуються труби з мінімальним діаметром не менше ДУ 32, а кількість запірної арматури зводиться до мінімуму. Будь-які дроселі на трубопроводах категорично заборонені. Варто зазначити, що гідравлічний опір сучасного кульового вентиля значно нижчий, ніж у його чавунних або латунних гвинтових аналогів – у десятки разів. Таке порівняння, а також аналіз інших характеристик, приводять до справедливого висновку: під час вибору матеріалів використання гвинтових вентилів варто повністю виключити. У системах із примусовою циркуляцією для забезпечення руху теплоносія застосовуються або зовнішній перепад тиску (наприклад, від теплотраси), або власний циркуляційний насос. Насоси можуть функціонувати як у закритих, так і у відкритих системах. У разі схеми з циркуляційним насосом передбачена можливість переведення системи в режим гравітаційної роботи при відсутності електроенергії. Для цього розлив виконується за допомогою труби великого перерізу, яка в одному місці обладнана вентиляем. Паралельно до цієї ділянки встановлюється насос із грязьовиком. Якщо байпас закритий і насос працює, система функціонує в режимі примусової циркуляції. Байпас перекривають, щоб уникнути "прокачування" води по колу без корисного ефекту. При відкритому байпасі система переходить у режим гравітаційної роботи, використовуючи мінімальний гідравлічний опір для забезпечення циркуляції теплоносія.



Рисунок 1.2 – Схема підключення вентиля

									Арк.
									7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

На фото замість вентиля використаний кульковий зворотний клапан, який забезпечує автоматичне перемикання на примусову циркуляцію при запуску насоса. Така система менш відмовостійка, але має свої переваги. Циркуляційний опалювальний насос дає можливість прокладати трубопровід строго горизонтально, використовуючи труби меншого діаметру. Це не лише зменшує витрати матеріалів, але й позитивно впливає на естетику приміщення. Однак, у будинках з підвалами або горищами подачу та зворотний розлив можна винести за межі житлової частини. Примусова циркуляція сприяє більш швидкому і рівномірному нагріванню опалювальних приладів. У гравітаційній системі ж радіатори, розташовані далеко від котла, завжди залишаються холоднішими за ті, що знаходяться ближче до нього. Найпростіша однотрубна схема (відоміша як барачна або лєнінградка) виглядає так: по периметру приміщення проходить кільце трубопроводу, до якого паралельно або з розривом підключені опалювальні прилади. Ця схема характеризується мінімальними витратами матеріалів і високою відмовостійкістю. Її недоліком є відчутна різниця температур між першими та останніми в ланцюзі радіаторами. Проте цей недолік можна усунути шляхом використання радіаторів з різною кількістю секцій або установкою дроселюючої арматури на кожен прилад, не розриваючи основне кільце розливу. У двотрубній схемі потрібні два розливи – подаючий і зворотний, а кожен опалювальний прилад служить перемичкою між ними. Така система дозволяє уникнути обов'язкової потреби в замкненому контурі по всьому периметру приміщення, що дає змогу обійти двері або панорамні вікна. Температура всіх опалювальних приладів у цій схемі може бути більш рівномірною, хоча на практиці можливий певний дисбаланс. Для запобігання нерівномірного розподілу теплоносія необхідна обов'язкова балансувальна регуляція за допомогою дроселів або термоголовок. Без них існує ризик, що весь потік теплоносія буде спрямований через ближні прилади, залишивши віддалені частини системи без належного обігріву, що може призвести до їх замороження в холодну пору року.

									Арк.
									8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				



Рисунок 1.3 - Двотрубна схема з обов'язковим використанням дроселя для балансування

Розібратися в різниці між цими схемами систем водяного опалення не так складно, як може здатися на перший погляд. Приміром, популярна "ленінградка" є характерним прикладом горизонтальної схеми. У той же час, опалювальний стояк типових п'ятиповерхових будинків радянської забудови є вертикальною схемою. На практиці частіше зустрічаються комбіновані системи, які поєднують у собі горизонтальні та вертикальні ділянки розводки. У стоячих системах старих будинків, зведених за радянських часів, крім вертикальних стояків є також і горизонтальні розливи. У сучасних новобудовах застосовуються ще більш складні комбінації: горизонтальні розливи з'єднуються вертикальними стояками, від яких у кожній квартирі на поверсі прокладена окрема горизонтальна розводка. Що стосується тупикових водяних систем опалення, то вони представляють собою двотрубні схеми, у яких напрямки руху води в подаючому та зворотному розливі протилежні. У такій конструкції теплоносій проходить усю мережу до віддалених радіаторів і повертається назад. Якщо ж рух теплоносія відбувається в одному напрямку і без зміни до котла чи теплового пункту, така схема класифікується як

									Арк.
									9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

попутна. Варто зазначити, що попутна схема розводки має дуже мало переваг у порівнянні з однотрубною, якщо мова йде про одноповерховий будинок. Її основною перевагою можна вважати лише більш рівномірний прогрів радіаторів.

Різні типи підключення опалювальних приладів використовуються залежно від їх конструкції та особливостей. Для секційних радіаторів популярні кілька варіантів підключення, кожен з яких має свої переваги й недоліки. Конвектори з підведеннями мають фіксований напрямок циркуляції теплоносія, визначений виробником. Бокове підключення є найпоширенішим у міських квартирах. У цьому випадку підвідні труби під'єднуються до двох пробок з одного боку радіатора. Основний плюс такої схеми – мінімальна довжина підвідних труб від стояка. Однак недоліками залишаються нерівномірний прогрів ближніх і дальніх секцій, а також накопичення забруднень у кінцевій частині радіатора. Діагональне підключення, яке передбачає з'єднання верхньої пробки з одного боку і нижньої – з іншого, дозволяє забезпечити більш рівномірний прогрів усіх секцій радіатора. Але навіть за такого підключення можливе замулювання нижніх частин пристрою, тому періодична промивка стає необхідною. Підключення знизу вниз гарантує рівномірний розподіл тепла по всій довжині радіатора і зменшує ризик накопичення забруднень у секціях. Водночас цей варіант може спричинити утворення повітряної кишені, що потребує встановлення крана Маєвського або автоматичного повітрявідводника для усунення цієї проблеми. Система водяного опалення в приватному будинку вимагає детального проектування, адже, на відміну від міських квартир зі встановленою інфраструктурою, тут усе облаштовується з нуля. Основу системи складає джерело тепла, яке перетворює енергію пального чи електрики на тепло, що передається теплоносієм. Серед різновидів котлів виділяють твердопаливні, солярові та електричні. Твердопаливні котли забезпечують недорогий обігрів і використовують дрова, вугілля, торф чи тирсу як паливо. Їхній мінус – потреба у частій завантаженні пального. Солярові котли працюють в автоматичному режимі, однак висока вартість пального обмежує їхнє використання. Електричне опалення є найбільш зручним і безпечним, але й

									Арк.
									10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

найдорожчим способом обігріву житла. Матеріали для труб також мають істотний вплив на роботу системи опалення. Наприклад, оцинкована сталь поєднує в собі високу міцність із захистом від корозії. Гофрована нержавіюча сталь не лише міцна, але й гнучка, а легкість монтажу з використанням силіконових ущільнень є додатковою перевагою. Поліпропіленові труби відзначаються низькою вартістю та простотою монтажу за допомогою паяльника. Для гарячої води та опалення використовуються армовані версії таких труб – із шаром алюмінію чи фібри – через їхню стійкість до теплового розширення. Зшитий поліетилен є чудовим матеріалом для променевої розводки, адже він легко гнеться і витримує високі температури та механічні навантаження. Важливим елементом системи є розширювальний бак, який компенсує збільшення об'єму теплоносія при його нагріванні. Мембранний бак зазвичай має об'єм, який становить близько 10% від загальної кількості теплоносія, що є в системі. А запобіжний клапан виконує страхувальну функцію на випадок перевищення тиску, скидаючи надлишкову воду. Манометр дозволяє контролювати у будь-який момент тиск в системі.

Чавунні радіатори вирізняються високою термостійкістю та стійкістю до корозії. Їхні секції мають значний внутрішній об'єм, тому через уповільнений рух теплоносія в системах із боковим підключенням вони схильні до замулювання. Сталеві радіатори поділяються на кілька типів: пластинчасті, трубчасті, конвектори та реєстри. Однак використання сталей, що не стійкі до корозії, робить їх вразливими до іржі, а тонкі стінки пластинчастих моделей зменшують їхню механічну міцність. Алюмінієві радіатори є доступними за вартістю та мають високу тепловіддачу. Водночас вони схильні до пошкоджень при перевищенні тиску та негативного впливу гальванічних процесів, які можуть виникати під час поєднання різних металів у системі, наприклад, алюмінію і міді. Біметалеві радіатори складаються з алюмінієвих корпусів і сталевих сердечників, що забезпечує їм вищу міцність і стійкість до розривів. До цього різновиду також належать мідно-алюмінієві конвектори, які мають мідну трубку з алюмінієвими пластинами для покращення тепловіддачі. На відміну від суто алюмінієвих

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	MPMA 25.00.00.000 ПЗ					11

моделей, біметалеві радіатори можна безпечно підключати до системи з використанням мідних труб..

## 1.2 Стан питання стосовно електродному опалювальному котлу

В Україні традиційно для опалення житлових і виробничих будівель використовують парові системи. Конструкції цих систем різноманітні: від застарілих, де теплоносієм є велика кількість води, до сучасних металопластикових систем із мінімальним обсягом води. Незалежно від типу системи, основна проблема – підігрів води. У централізованому опаленні, зазвичай, вода нагрівається через спалювання мазуту, природного газу чи вугілля. Індивідуальні системи опалення зазвичай працюють на природному газі. Вартість відповідних котлів стартує від 8000 гривень, але їх установка може бути доволі складною. Зростання тарифів на комунальні послуги та опалення спонукає людей до встановлення індивідуальних систем опалення у квартирах і приватних будинках. Однак значне подорожчання природного газу через недостатність власних запасів у країні ускладнює розв'язання проблеми високих комунальних витрат. Водночас в Україні перевиробництво електроенергії, але електричні теніві котли не отримали широкого поширення через їхні низькі експлуатаційні характеристики. Вони споживають багато енергії на самонагрівання, вимагають періодичного технічного обслуговування, чищення нагрівальних елементів або використання дорогих матеріалів. Розміри таких котлів схожі на газові аналоги через невелику площу контакту з теплоносієм. Незважаючи на це, використання електроенергії як основного джерела енергії в Україні має значний потенціал. Одним із перспективних рішень є впровадження електродного нагрівання теплоносія замість застосування традиційних тенів. Ефективність таких систем удвічі вища порівняно з тенівими нагрівачами. Крім того, електродні котли забезпечують набагато швидший нагрів води, перевершуючи всі інші типи котлів, зокрема газові й теніві електричні. На українському ринку були представлені електродні котли "Очаг",

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					12

"Вулкан" і "Гейзер", що виготовляє компанія "ГАЛАН" (Росія), а також котли "Форсаж" заводу "Меридіан" у Києві, які вироблялись за ліцензією тієї ж компанії. Технічні параметри цих котлів можна знайти в таблиці 1.1. Зображення самого котла та регулятора температури наведені на відповідних рисунках 1.4 і 1.5.

Таблиця 1.1 - Основні характеристики опалювальних котлів

Основні параметри і розміри електричних опалювальних котлів ГАЛАН	ГАЛАН ГЕЙЗЕР	ГАЛАН ВУЛКАН	ГАЛАН ОЧАГ -6	ГАЛАН ОЧАГ -5	ГАЛАН ОЧАГ -3
Напруга живлення, V	220/380	220/380	220	220	220
Опалювальне приміщення, м <sup>3</sup>	340	230/850	280	230	120
Сила струму, А	40/13	25/40	25	25	13
Потужність, кВт	9	5/25	6	5	3
Максимальна температура на виході, °С	95	95	95	95	95
Маса.кг	6.5	6.5	0.5	0.5	0.5
Діаметр, мм	130	130	35	35	35
Довжина, мм	440	440	330	260	260
Підключення до опалювальної системи муфти ДУ, мм	32	32	25	25	25



Рисунок 1.4 - Електродний опалювальний котел



Рисунок 1.5 - Блок регулювання температури

Експлуатаційні характеристики таких котлів дійсно відзначаються високою ефективністю. Розрахунки спеціалістів регіонального центру з теплозбереження свідчать, що використання електродного опалювального котла для обігріву житлової квартири дозволяє досягти середньомісячних витрат на електроенергію в опалювальний період в межах 1500–1600 грн на місяць за поточними тарифами на електричну енергію.

### 1.3 Технічні вимоги до електрокотлів

#### 1.3.1 Основні вимоги

1.3.1.1 Живлення котлів повинно відповідати напрузі мережі:  $230\text{ В} \pm 10\%$  або  $380\text{ В} \pm 10\%$  із частотою 50-60 Гц.

1.3.1.2 Котли мають відповідати вимогам кліматичного виконання типу УХЛ категорії розміщення 4 згідно з ГОСТ 15150.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

14

1.3.1.3 Вони повинні бути придатними до експлуатації за умов: - зниженої температури навколишнього середовища до 5 °С; - підвищеної температури до 50 °С; - вологості повітря до 85 % при температурі 25 °С.

### 1.3.2. Умови транспортування

1.3.2.1 Котли мають витримувати температуру навколишнього середовища в діапазоні від 5 °С до 50 °С під час перевезення з максимальною вологістю повітря 85 %, при цьому не допускається утворення конденсату за низьких температур.

1.3.2.2 За стійкістю до механічних впливів продукція повинна відповідати групі механічного виконання М1 за стандартом ДСТУ 3258-95.

1.3.2.3 Котли повинні функціонувати при дії вібрації в діапазоні частот 0,5-35 Гц із максимальною амплітудою прискорення 5 м/с<sup>2</sup>.

1.3.2.4 Під час транспортування продукція має бути стійкою до впливу транспортного трясіння з прискоренням до 30 м/с<sup>2</sup> і частотою ударів від 80 до 120 за хвилину.

### 1.3.3 Надійність і довговічність

1.3.3.1 Котли належать до виробів першої групи

1.3.3.2 Основні показники надійності:

- середній час безперебійної роботи (Т<sub>0</sub>) не менше 2000 годин;
- повний строк служби щонайменше 10 років з урахуванням технічного обслуговування і заміни електродів відповідно до експлуатаційних інструкцій;
- середній час на відновлення – не більше 2 годин.

1.3.3.3 Критеріями відмови є:

- механічні пошкодження елементів, які призводять до втрати функціональних можливостей котла або порушують технічні умови;
- несправності в системі управління;
- відмова роботи реле;
- вихід з ладу електродів;
- поломка вимикачів.

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					15

1.3.4 Граничний стан котла визначається неможливістю або економічною недоцільністю його подальшої експлуатації й ремонту.

1.3.4.1 Критерії граничного стану:

- тріщини у зварних швах становлять понад 2 % їх сумарної довжини;
- ступінь зношення корпусу теплообмінника перевищує 60 % номінальних розмірів. 1

1.3.5 Маркування та пакування

1.3.5.1 На зовнішній поверхні котлів має бути чітко зазначена така інформація:

- назва або торговий знак виробника;
- модель і маркування котла;
- заводський номер;
- дата виготовлення (рік, місяць);
- посилання на технічні умови;
- напис Виготовлено в Україні (для експорту – мовою, передбаченою контрактом);
- знак сертифікації (після сертифікації).

1.3.5.2 Транспортне маркування повинно відповідати стандартам КД і ГОСТ 14192.

1.3.5.3 Упаковка котлів виконується за правилами країни.

1.4 Огляд існуючих патентних рішень

1.4.1 Система опалення електродним котлом

Цей винахід належить до сфери теплотехніки і може застосовуватися для оцінювання теплового потоку, що проходить через систему. Основним технічним результатом є розширення функціональних можливостей електродного котла завдяки його адаптації для вимірювання теплового потоку. Поставлену задачу вирішено шляхом удосконалення конструкції котла, який включає теплоізолюваний корпус із кришкою, ізолятори та електроди. У конструкцію

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	MPMA 25.00.00.000 ПЗ					16

додано теплообмінник, встановлений із підключенням трубопроводів до кришки та нижньої частини корпусу, а також розширювальну ємність, з'єднану із нижньою частиною корпусу. Крім того, електроди інтегровано із джерелом живлення через спеціальний вимірювальний прилад.

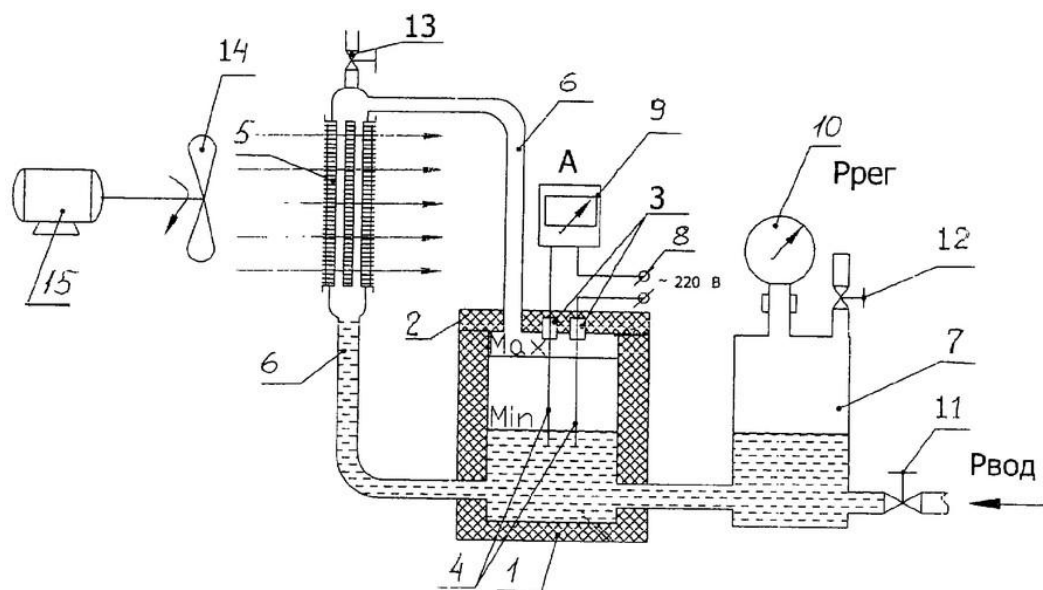


Рисунок 1.6 – Система опалення електродним котлом

Поставлена задача виконується тим, що електродний котел, який містить теплоізолюваний корпус з кришкою, ізолятори, електроди, включає теплообмінник, з'єднаний трубопроводом з кришкою та нижньою частиною корпусу, і розширювальну ємність, з'єднану з нижньою частиною корпусу, причому електроди підключені до джерела живлення через вимірювальний прилад. Крім того, теплообмінник розміщений вище рівня активної частини електродів, а розширювальна ємність обладнана манометром.

На кресленні показано принципову схему електродного котла. (рис.1.6)

Електродний котел містить теплоізолюваний корпус 1 з кришкою 2, ізолятори 3, електроди 4, теплообмінник 5, трубопровід 6, розширювальну ємність 7, джерело живлення 8, вимірювальний прилад 9, манометр 10. Розширювальна ємність 7 для заповнення водою забезпечена вентилем 11, а для випуску повітря – вентилем 12. На теплообміннику 5 встановлено вентиль 13 для спуску повітря. Для посилення

тепловіддачі теплообмінника 5 застосовують вентилятор 14, який приводиться у рух двигуном 15.

Електродний котел функціонує наступним чином. За допомогою вентиля 11 електродний котел наповнюють водою спочатку, при цьому вентиль 12 залишають у замкненому положенні, а вентиль 13 – у відкритому. Після повного витіснення повітря водою вентиля 11 та 13 закривають. За допомогою джерела живлення 8 на електроди 4 подають робочу змінну напругу 220 (380) В, унаслідок чого відбувається нагрівання всієї води. При підвищенні температури води до точки кипіння йде пароутворення, у результаті чого витіснена парою вода збирається у розширювальній ємності 7. Створений надлишковий тиск у системі за допомогою вентиля 12 скидається в атмосферу до рівня, при якому потрібно проводити вимірювання.

При досягненні рівноваги між потужністю, що генерується електродним котлом, і потужністю, що поглинається теплообмінником 5, на холостому ходу розпочинається відлік показників вимірювального приладу 9. Про настання рівноваги свідчать показники вимірювального приладу 9 та манометра 10. Після увімкнення вентилятора 14, що приводиться в обертання двигуном 15, інтенсивність тепловіддачі зростає, тому необхідне відновлення зниженого тиску за допомогою зовнішнього джерела (компресора) через вентиль 12 до встановлення у системі балансу генеруємої та поглиненої потужностей при відповідному тиску, що фіксується манометром 10. За вимірювальним приладом 9 здійснюється фіксація споживаної потужності з новою характеристикою тепловіддачі при увімкненому вентиляторі 14. Температуру повітря в межах зони вимірювання підтримують незмінною.

Таким чином, у порівнянні з прототипом, запропонований котел може бути використаний не лише для генерування тепла, а й для визначення теплового потоку при різних режимах їх навантаження та в інтервалах досліджуваних характеристик, що підвищує точність їх визначення та швидкодію.

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					18

#### 1.4.2. Електродний котел опалювальний

Електродний опалювальний котел містить вертикально розташований металевий трубчастий корпус із закріпленим у ньому за допомогою нарізного з'єднання електродним блоком, закритим ззовні захисним ковпаком і містить встановлений у штуцері сталевий електрод, забезпечений ізолятором і виконаний з різьбленням на тонкому кінці для підключення фазного проводу, при цьому корпус забезпечений різьбовими патрубками для підведення та відведення теплоносія і клемми для нульового проводу та для проводу заземлення. [6].

Електродний вузол закріплено у верхній частині оболонки, штуцер виготовлено з металу та оснащено фланцем, а ізолятор складається з верхньої та нижньої роздільних секцій із виступами, які заходять у отвір штуцера та охоплюють тонкий кінець електрода, причому нижня частина ізолятора також має виступи, що охоплюють стрижень електрода. Запропонована корисна модель удосконалює умови експлуатації, має вищу безпеку та довший термін служби, а також гарантує взаємозамінність із ТЕНовим нагрівальним блоком без потреби демонтажу ТЕНових котлів, де закріплення нагрівального блоку виконано гвинтовим з'єднанням. (рис.1.7)

Електродний опалювальний котел містить вертикально розташовану металеву трубчасту оболонку 1, стінка якої у верхній частині має потовщення 2 по внутрішньому діаметру для різьби 3. Вона призначена для кріплення за допомогою гвинтового з'єднання електродного вузла (на кресленні не позначено), що містить сталевий електрод (на кресленні не позначено), встановлений у металевому штуцері 4, оснащеному фланцем 5, що має шестигранну форму, яка спрощує вкручування електродного вузла в оболонку 1.

Останній має однакові габарити для різних варіацій нагрівачів як для однофазних, так і для трифазних. Електрод являє собою стрижень 6 з одного боку та тонший кінець з нарізаною різьбою з іншого боку. Для спрощення його конструкції він зроблений зі сталевго стрижня 6, на торці якого є різьбове заглиблення, де фіксується шпилька 7.

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					19

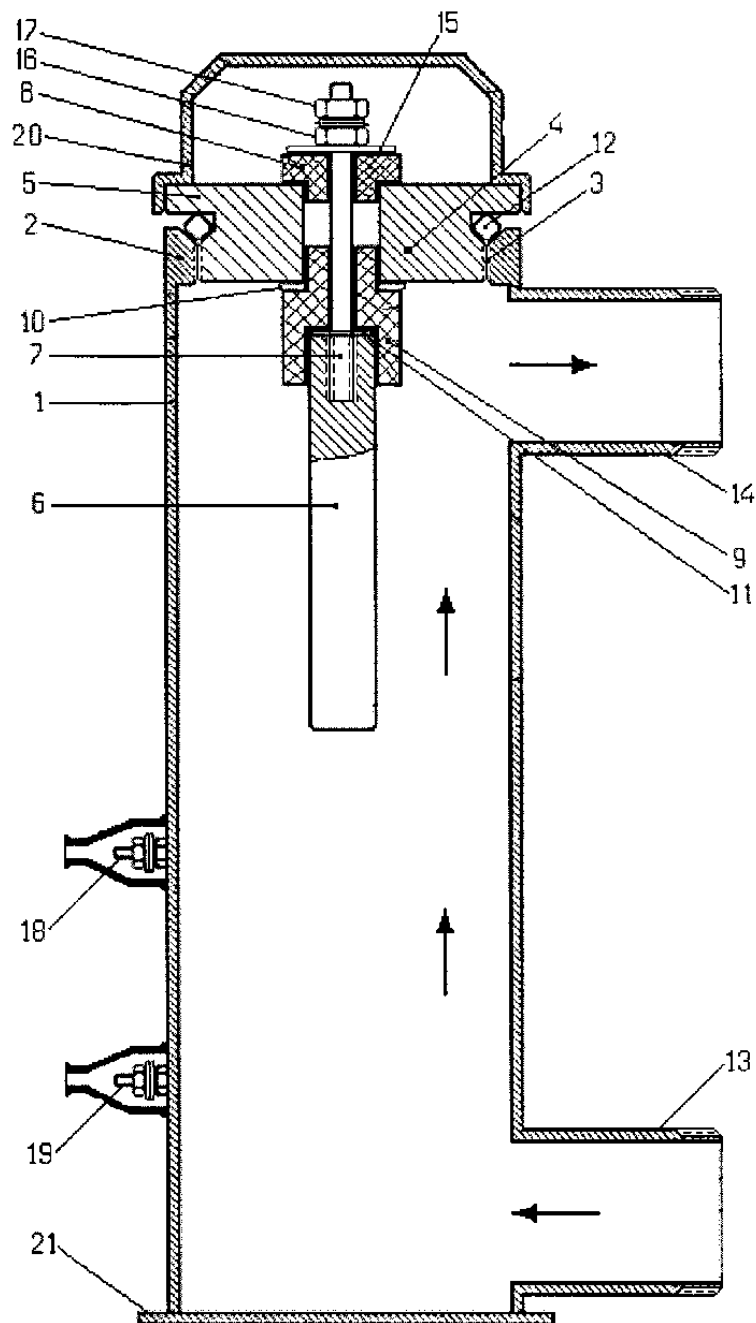


Рисунок 1.7 – Електродний котел опалювальний

Електрод забезпечений ізолятором (на кресленні не позначено), виконаним із фторопласту — термостійкого пластику, і складається з двох окремих частин: верхньої 8 і нижньої 9, з виступами (на кресленні не позначені), що входять в отвір штуцера 4 й охоплюють шпильку 7.

У випадку однофазного електродного котла у штуцері 4 зроблено один отвір по його центру для одного електрода. У трифазному електродному нагрівачі наявні

									Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				20

три отвори під три електроди. Відповідно кожен електрод забезпечений аналогічним ізолятором. Нижня частина 9 також має виступи, які охоплюють стрижень 6. Між штуцером 4 та виступами нижньої частини 9 ізолятора встановлено гумову прокладку 10. Між стрижнем 6 та нижньою частиною 9 ізолятора також встановлено гумову прокладку 11.

Така будова ізолятора унеможлиблює контакт фланця 5 та оболонки 1 з електродом, а наявність прокладок 10 та 11 допомагає уникнути витоку теплоносія до місця підключення фази. Між фланцем 5 та оболонкою 1 над місцем з'єднання різьби 3 зі штуцером 4 встановлено гумове кільце 12, що слугує прокладкою від витоку теплоносія назовні. Оболонка 1 має два бічні різьбові патрубкі: до нижнього патрубка 13 підводиться теплоносій, а з верхнього 14 він після нагрівання у котлі надходить у систему опалення або гарячого водопостачання.

З'єднання різьбових патрубків 13 та 14 із системою опалення здійснюється за допомогою муфт (на кресленні не показані). Кінець шпильки 7, що стирчить із верхньої частини 8 ізолятора, призначений для закріплення струмопровідного фазного дроту (на кресленні не зображений). Зверху на верхню частину 8 фторопластового ізолятора встановлено шайбу 15, що забезпечує її щільне притискання до фланця 5 за допомогою нижньої гайки 16, накрученої на кінець шпильки 7. Потім поверх нижньої гайки 16 розміщено дві шайби (на кресленні не позначені), між якими затискається фазний дріт, притиснутий верхньою гайкою 17.

На оболонці 1 ззовні розташовані клеми 18 — «нуль» та 19 — «земля». Для цієї мети використано звичайні болти, приварені до оболонки 1 голівками. Відповідні дроти закріплені між шайбами, підібраними гайкою (на кресленні не позначені). Клеми 18 та 19 захищені гумовими ковпачками (на кресленні не позначені) від випадкових дотиків руками. Після того, як електродний вузол встановлено в оболонку 1 і фазний дріт зафіксовано між гайками 16 та 17, зверху одягається захисний пластмасовий ковпак 20, що охоплює фланець 5 по зовнішньому периметру.

									Арк.
									21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

Він оберігає споживача від випадкового дотику руками оголеного фазного дроту та шпильки 7, а також служить для захисту контактів від пилу, вологи та інших забруднень. Знизу до оболонки 1 приварено опорний майданчик 21, виконаний з металевого листа. Майданчик 21 виконує подвійну функцію: він герметично затуляє оболонку 1 нагрівача знизу і слугує опорою для встановлення на підлогу чи іншу горизонтальну площину. Ззовні на поверхню оболонки 1 нанесено порошкове покриття та лак. Таке декоративне покриття потрібне не стільки з естетичних міркувань, скільки для безпеки, захисту від уражень струмом.

Підключення електродного котла до електричної мережі виконується за допомогою фазного дроту. Для підключення невеликих нагрівачів потужністю до 6-7 кВт достатньо однофазної мережі 220 В, для котлів від 12 кВт і вище потрібна трифазна мережа 380 В. При монтуванні однофазного електродного вузла роль другого електрода виконує внутрішня поверхня стінки оболонки 1.

Електрод є головним нагрівальним елементом. Як теплоносій використовується вода, що є складовою електричного кола. До її якості висуваються особливі вимоги (вона має мати певну провідність). При проходженні електричного струму через електродний вузол відбувається розщеплення молекул води на позитивно і негативно заряджені іони, які рухаються до негативного і позитивного електродів, відповідно, при цьому виділяючи енергію, що спричинює нагрівання теплоносія.

Напруга, прикладена до електродів, дозволяє іонізувати воду, але явища електролізу не стається, оскільки катод і анод змінюють позиції з частотою електричної мережі, при цьому виділяється кількість тепла, пропорційна силі струму та опорі води. Процес нагрівання теплоносія, на відміну від ТЕНових електродних котлах відбувається напряму, без "посередника", а не так, як це відбувається безпосередньою ТЕНових нагрівачах. Оболонка електродного котла, де відбувається процес нагріву, невеликого об'єму, тому спостерігається стрімке розігрівання теплоносія і, як наслідок, зростання його тиску (при максимальній потужності приладу — до 2 атмосфер).

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					22

### 1.4.3. Котел електродний для генерації тепла

Винахід стосується теплотехніки і може бути застосований для визначення теплового потоку [7]. Відомий електродний котел що містить оболонку, електрод, порцеляновий ізолятор, штуцер для продувки, патрубков для приєднання до парового колектора. Мінусом даного електродного котла є низька ефективність використання електродного нагрівача, оскільки він працює лише для генерації тепла. Передбачено, що результатом винаходу буде його застосування для визначення теплового потоку, що дасть розширення функціональних можливостей електродного котла.

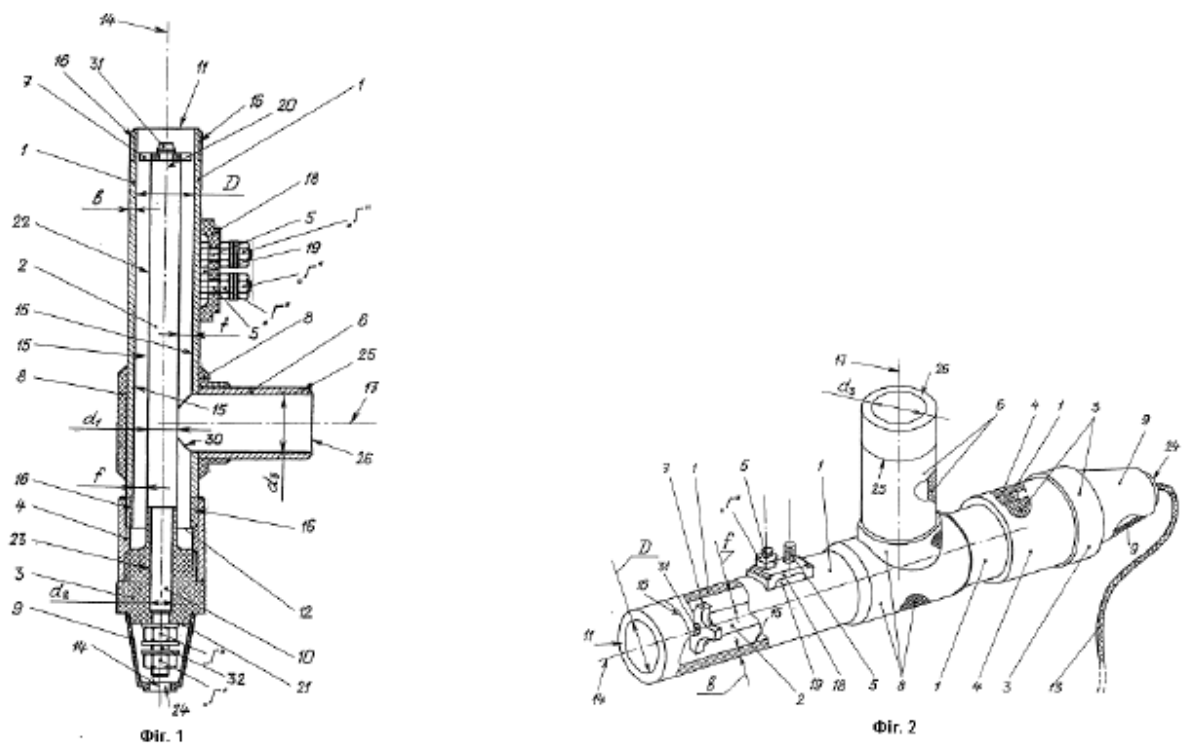


Рисунок 1.8– Електродний котел

### 1.4.4 Електродний водогрійний котел

Електродний водогрійний котел складається з трубчастого нульового електрода (корпус), фазного електрода, вхідного патрубків (патент РФ 2160411) та вихідного патрубків (перехідник). Відповідно до винаходу, активна частина фазного електрода виготовлена з чавуну, а нульовий електрод і токопровід проходять

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

хіміко-термічну обробку. Вихідний патрубок (перехідник) виконаний з діелектричного матеріалу.

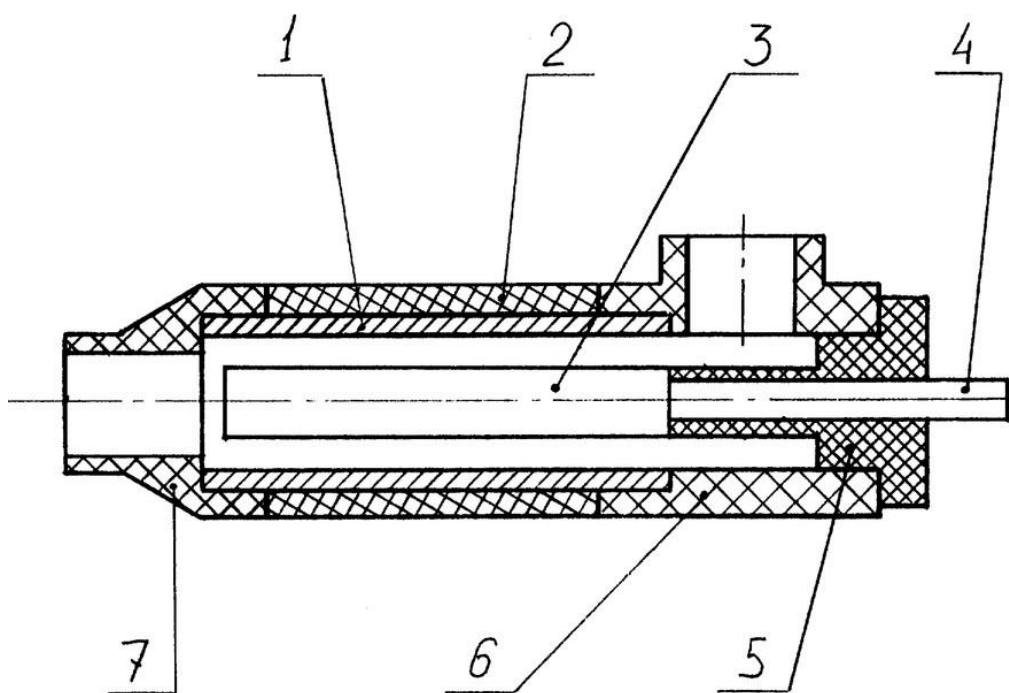


Рисунок 1.9 - Електродний водогрійний котел

Котел містить нульовий електрод 1, що піддається хіміко-термічній обробці, суть якої полягає у насиченні сталевих і чавунних деталей азотом та вуглецем при обробці їх у необмежених розплавах солей на базі ціаніду калію при температурі 500-600°C. Сформовані нітриди та карбонітриди заліза і легуючих складників надають деталям підвищену твердість поверхні, зносостійкість, жаро- та корозійну стійкість. Зміцнений шар товщиною 0,2 - 0,3 мм є відносно в'язким, що усуває його викришування та відшарування при роботі.

Нульовий електрод 1 піддається такій обробці для посилення корозійно-стійкості. Окрім того, електродний водогрійний котел складається з діелектричного покриття 2 (поліпропілен - для роботи до 150°C, кераміка - для роботи вище 150°C), активної частини фазного електрода 3, виконаної із чавуну, що зазнає хіміко-термічній обробці для збільшення жаро- та корозійно-стійкості його, а також зменшення формування накипу, струмопроводу 4, виконаного зі сталі, підданій хіміко-термічній обробці для підвищення корозійно-стійкості його, діелектричного

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

24

покриття 5, виконаного з діелектрика (поліпропілену або кераміки), Трійника 6 з вхідним патрубком, виконаного з поліпропілену або кераміки, вихідного патрубка (перехідника) 7..

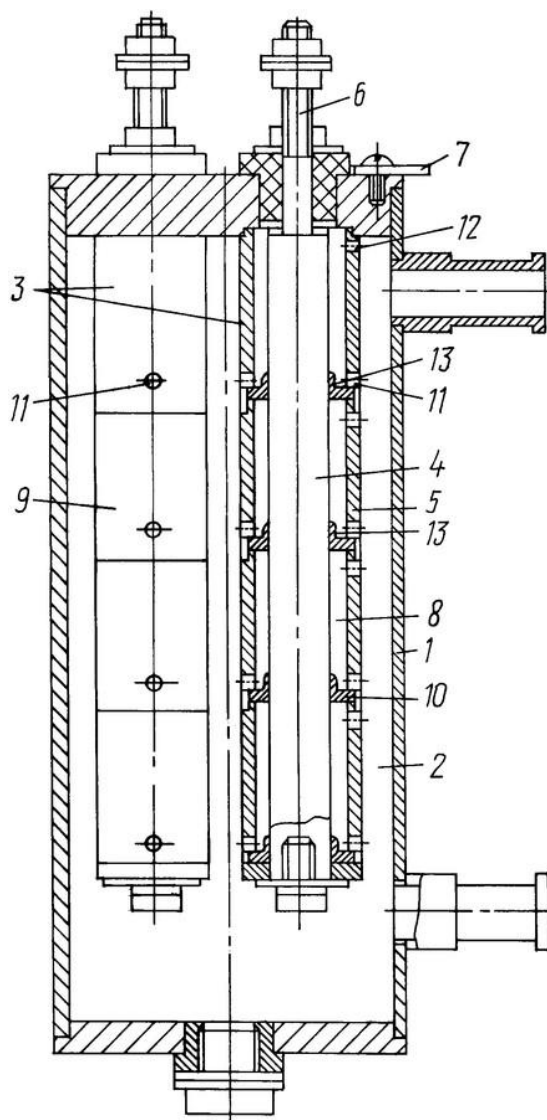


Рисунок 1.10 – Котел електродний

Котел монтується вертикально, вихідним патрубком (перехідник) 7 догори, трійник 6 чіпляється до зворотної гілки системи опалення (на схемі не відображена), вихідний патрубок (перехідник) 7 приєднується до розширювача води. У розширювач наливається вода, яка заповнює систему опалення та внутрішню порожнину котла. Нульовий електрод 1, підданий хіміко-термічній обробці, злучається з нулем електричної мережі, струмопровід 5 зі сталі з'єднується

						Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ	25

з фазою мережі. Електричний струм протікає у шарі рідини між нульовим електродом 1 та активною частиною фазного електрода 3, підігріваючи воду. Нагріта у корпусі вода підіймається до вихідного патрубку (перехідника) 7 та по трубопроводу потрапляє у систему опалення (на схемі не відображена).

При нагріванні води рідина розширюється і надлишок її з котла через вихідний патрубок (перехідник) 7 потрапляє у розширювач (на схемі не показаний) системи опалення. Виготовлення корпусу та ізоляція струмопроводу від корпусу діелектричним покриттям 2 та 5 оберігає користувача від опіків та ураження електричним струмом. Запропонований електродний водогрійний котел на відміну від наявних дозволяє дієво обігрівати приміщення, при цьому термін служби його завдяки використанню хіміко-термічної обробки значно перевищує відомі.

#### Висновки до першого розділу

Зроблений аналіз поточних рішень демонструє головні вектори розвитку систем опалення завдяки електричним системам. Отже для наступних досліджень обираємо систему опалення без тиску та електродний котел.

Після проведеного аналізу ми визначили подальші завдання досліджень:

- 1) розробити електродні прилади нагрівання теплоносія з підвищеною ефективністю роботи;
- 2) розробити систему обігріву приміщень;
- 3) провести дослідні випробування системи.

## 2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ТА ЕЛЕКТРОДНОГО КОТЛА

### 2.1 Основні параметри електродного котла

Під час виготовлення електродного котла необхідно дотримуватись таких вимог:

1. Приєднувальні розміри: довжина різьблення вхідного та вихідного патрубків має бути не менше 10 мм; діаметр різьблення вхідного та вихідного патрубків — 3/4 дюйма.

2. Поверхня гнутих і штампованих деталей має бути без тріщин, сколів, свищів та гострих крайок.

3. З'єднання металевих деталей повинні бути зварними, за винятком знімних елементів. Зварювальні роботи слід виконувати без напливів та пропалів. Шви на зварних з'єднаннях мають відповідати вимогам стандарту.

4. Усі різьбові з'єднання повинні бути надійно затягнуті та захищені від самовільного розкручування.

5. Ступінь захисту оболонок, що забезпечує недопущення проникнення твердих предметів. Має бути захист людей від вільного доступу до небезпечних частин виробів, а також певний захист електрообладнання від впливу води, що повинен відповідати класу не нижче IP31 згідно ДСТУ 2858—94 [15].

6. Зовнішні та внутрішні облицювальні поверхні котлів, виготовлені з матеріалів, схильних до корозії, мають бути покриті захисним лакофарбовим шаром у відповідності до креслень. Це покриття має забезпечувати термічну та корозійну стійкість і може бути будь-якого типу та кольору.

7. Приєднання електричних ланцюгів до вимикачів та інших пристроїв слід виконувати відповідно до електричних принципових схем, схем з'єднань та експлуатаційної документації на встановлене обладнання.

8. Розбірні і нерозбірні контактні з'єднання повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 61204:2016.

									Арк.
									27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	MPMA 25.00.00.000 ПЗ				

9. Електричні з'єднання повинні бути чітко марковані згідно з електричними принциповими схемами та схемами підключення.

10. Тиск води на вході в котел при температурі  $20 \pm 5$  °С повинен бути в межах від 0,1 до 0,2 МПа.

11. Основні технічні параметри котлів мають відповідати зазначеним у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 -Основні параметри

Умовне позначення котла	Назва показника		
	Споживана потужність, кВт	Діапазон регулювання температури, °С	Гістерезис температурного режиму ввімкнення – вимкнення, не більше (°С)
5 років	5±2	30 - 85	10

Сучасні системи опалення демонструють, що одними з найрозумніших рішень з точки зору економічності, безпеки та ефективності є теплоакумуючі установки з електричним способом нагріву теплоносія. Для правильного функціонування така система повинна включати кілька ключових компонентів. Структура даної системи складається з таких елементів:

- 1) електричний котел (зокрема, електродного типу);
- 2) радіатор;
- 3) система керування.

Детальніше розглянемо роботу кожної складової. У електроводонагрівачі електродного типу нагрівання теплоносія здійснюється за принципом омичного нагріву, тобто тепло утворюється без посередників, таких як ТЕН. При цьому явища електролізу не виникає, оскільки катод і анод постійно змінюють місцями відповідно до частоти електричної мережі.



Рисунок 2.1 – Порівняння електродного і тенового принципу нагріву

Переваги електродних котлів, це відсутність води в котлі під час роботи (так званий сухий хід) не створює серйозних наслідків чи виходу з ладу, оскільки відсутній процес нагрівання води.

Утворення накипу на електродах лише знижує потужність котла, але не спричиняє пошкодження або руйнування електродів.

Електродні котли зазвичай компактніші порівняно з їх теновими аналогами. Недоліки електродних котлів:

- Електричний струм у таких котлах проходить безпосередньо через теплоносій, що значно підвищує ризик ураження струмом. Також через високі струми витоків неможливо використовувати пристрої захисного відключення (ПЗВ).

- Електроліз теплоносія, викликаний проходженням струму, призводить до змін хімічного складу теплоносія і, відповідно, його електропровідності. Крім того, під час електролізу виділяються гази, які можуть спричинити завоздушення системи.

- Залежно від складу теплоносія, виділені гази можуть бути токсичними.
- Теплоносії потребує ретельної підготовки щодо його електропровідності.
- Потужність котла не є постійною і залежить від температури теплоносія.

За підвищенням температури зростає його електропровідність та споживана потужність. У холодну пору року первинного пуску системи потужності котла може бути недостатньо для прогрівання. Збільшення електропровідності теплоносія при холодному запуску може спричинити сильне перевантаження системи після прогріву, що загрожує аваріями в електромережі та виходом з ладу обладнання.

Підвищення електропровідності теплоносія при зростанні його температури іноді провокує пробій міжелектродного простору (по суті, коротке замикання). Це супроводжується різким стрибком струму в мережі, що може спричинити одночасний вихід з ладу приєднаних до живлення пристроїв. - Використання звичайних рідин-охолоджувачів (наприклад, тосола, антифризу) чи дистильованої води як теплоносія неприйнятне.

Для гарячого водопостачання за одноконтурною схемою електродні котли не підходять.

Неможливість реалізації ступінчастого або плавного регулювання потужності без суттєвих змін конструкції часто призводить до значних скачків напруги при ввімкненні/вимиканні котла. Це особливо помітно у пристроях високої потужності.

Робота котла потребує кваліфікованого обслуговування, знань щодо електропровідності води та регулярного контролю споживання струму.

Антизамерзаючі речовини для таких котлів є дорогими і не завжди доступними.

Структурна схема підключення електродної системи опалення зображена на рисунку 2.2.

									Арк.
									30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

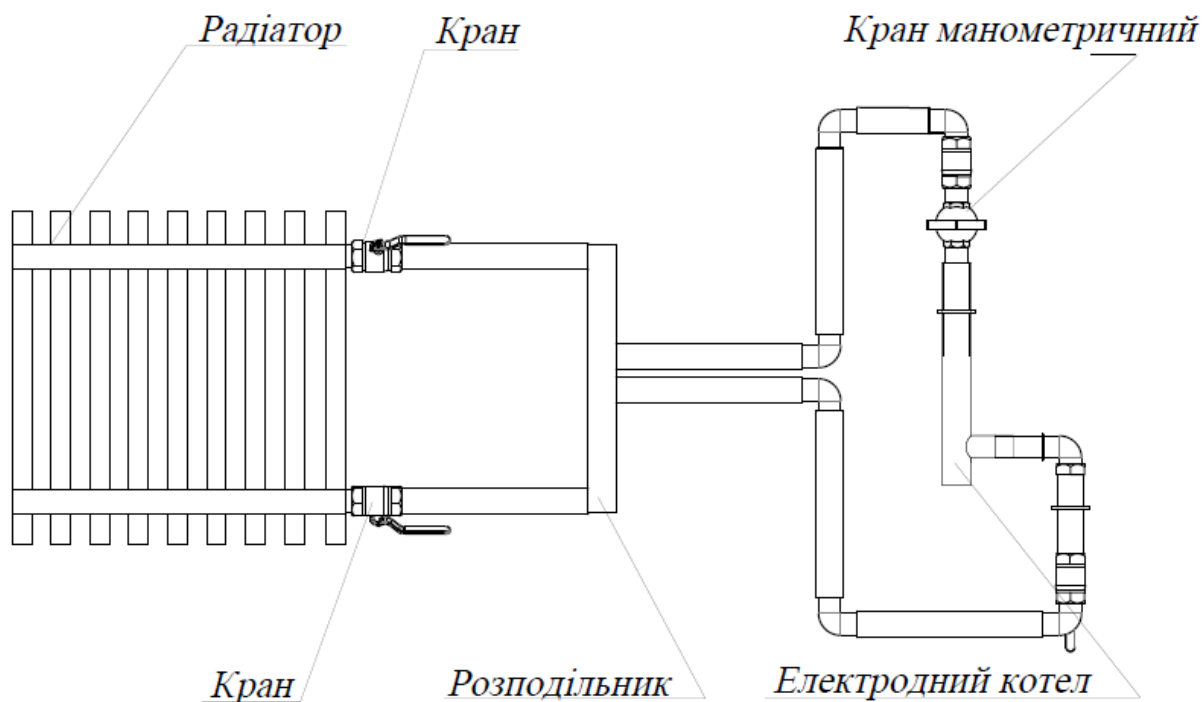


Рисунок 2.2 - Схема підключення електродної системи опалення

## 2.2 Розробка моделі роботи електродного котла

Електродний нагрів належить до методів резистивного нагріву, заснованого на принципі створення активного опору провідниками, що зроблені певних електротехнічних матеріалів для протікання електричного струму. Джерело струму витрачає певну енергію на подолання цього опору, перетворюється в теплову енергію згідно із законом Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t \quad (2.1)$$

де  $Q$  - кількість виділеної теплоти, Дж;

$R$  - опір провідника, Ом;

$I$  - сила струму у провіднику, А;

$t$  - тривалість проходження по провіднику електричного струму, с.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Теплова енергія, яка виділяється у провіднику, викликає підвищення ентальпії води, що своєю чергою сприяє підвищенню її температури. Існує два основні види резистивного електронагріву: прямий та непрямий. У прямому нагріванні електрична енергія безпосередньо перетворюється в теплову в середині провідникового матеріалу. У випадку непрямого нагрівання трансформація енергії відбувається в спеціальному нагрівальному елементі, після чого тепло передається іншим матеріалам за допомогою теплопровідності, конвекції або випромінювання. Прямий нагрів провідників першого роду, до яких належать метали та їх сплави, реалізується через метод електроконтактного нагрівання. Для провідників другого роду (наприклад, води, молока, водяних розчинів, розплавів солей та лугів) застосовується електродний метод. Класифікація цих методів базується на способах підведення електроенергії до нагриваючого матеріалу: у прямому нагріванні використовуються контакти, а у випадку електродного – електроди. У цьому матеріалі розглянута конструкція електродного нагривача, який широко застосовується в аграрному секторі для обігріву води та інших речовин. Електродний метод має чималий перелік переваг. Основні з них включають можливість рівномірного нагріву всього об'єму матеріалу, що зменшує час обробки і забезпечує високий температурний градієнт під час термічної обробки сільськогосподарської продукції. Серед інших переваг: висока технологічна надійність, простота експлуатації, високий коефіцієнт корисної дії, точне підтримання заданої температури та можливість автоматизації процесу. Крім того, система стійка до роботи "в сухому колі". Проте цей метод має і свої недоліки. Серед них можна виділити зміну електрофізичних властивостей матеріалу під час нагрівання; обмежену можливість застосування лише для матеріалів, які проводять струм; варіації потужності під час роботи, які вимагають ретельного вибору джерел живлення та параметрів системи провідників і електродів для максимальних навантажень. Також варто зазначити певні труднощі з використанням постійного струму через небезпеку виникнення аномального режиму і потребу в контролі електропровідності речовини перед початком процесу. Для підведення струму до

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					32

нагрівачого матеріалу використовуються різноманітні системи електродів, які розрізняються за схемою з'єднання, кількістю фаз, кількістю самих електродів, їхніми розмірами та матеріалами виготовлення. Для виробництва електродів рекомендується використовувати хімічно стійкі та корозійностійкі матеріали, наприклад вуглецеву сталь, нержавіючу сталь, титан або графіт. Уникають використання алюмінію, міді чи оцинкованої сталі через їх швидке розчинення та токсичність. Електродний метод широко застосовується для підігріву води за допомогою електродних водогрійних котлів і водонагрівачів. Водогрійні котли працюють під тиском  $6-10 \times 10^5$  Па і можуть нагрівати воду до температури понад  $100$  °С. Водонагрівачі забезпечують роботу при атмосферному тиску з отриманням температури води в межах  $60-95$  °С. Корпуси котлів повинні відповідати суворим вимогам із механічної міцності для забезпечення роботи під високим тиском. Матеріал, що нагрівається (наприклад, вода між електродами), поглинає енергію завдяки проходженню через нього електричного струму. Потужність електродного водонагрівача визначається незалежно від типу використовуваної електродної системи за певною формулою:

$$P = \frac{3U_{\Phi}^2}{R_{\Phi}} \quad (2.2)$$

де  $U_{\Phi}$  - напруга фази, В ;

$R_{\Phi}$  – опір фази нагрівача , Ом.

Визначається опір з залежності:

$$R_{\Phi} = \frac{K}{\sigma h}, \quad (2.3)$$

де  $K$  - геометричний чинник всієї системи електродів. Він залежить від форми та взаємного розміщення електродів. Для нашої моделі застосовується система

									Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				33

круглих електродів, які позитивно впливають на роботу нагрівача (рівномірний розподіл електричного та теплового полів).

$\sigma$  - питома електропровідність води,  $\text{Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$ ;

$h$  - висота електроду, м;

Зі зростанням температури питома електропровідність води у більшості випадків збільшується за лінійним законом, що спричинюється збільшенням ступеня дисоціації молекул солей на іони та підвищенням їхньої рухливості.

$$\sigma_{\theta} = \sigma_{20}(1 + \alpha\tau) \quad (2.4)$$

де  $\sigma_{20} = 0,06 \dots 0,01 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$  - питома електропровідність води при  $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$\alpha = 0,025 \dots 0,035 \text{ C}^{-1}$  - температурний коефіцієнт для провідності води;

$\tau = \theta - \theta_0$  перевищення температури нагріву води  $\theta$  над температурою оточуючого середовища  $\theta_0$ .

Питомий опір води  $\rho_{\theta}$ . Відомо, що з підвищенням температури питомий опір води відповідно зменшується. Однак характер зміни питомої електропровідності відповідає залежності (2.4) лише до моменту початку пароутворення, інтенсивність якого визначається тиском у котлі та струмовою густиною на електродах. Оскільки пара не проводить електричний струм, то в процесі пароутворення питомий опір води збільшується. Потужність електродного водонагрівача  $P_{\theta}$  при будь-якій температурі нагріву визначається, як;

$$P_{\theta} = \frac{3U^2h}{K\rho_{\theta}}, \quad (2.57)$$

Отже, зі збільшенням температури зростає потужність електродного водонагрівача, і її значення може бути відкориговане в процесі нагрівання за допомогою зміни робочої площі електрода. Формулу теплової рівноваги для електродного водонагрівача, що описує процес для об'єму води між електродами за проміжок часу  $dt$ , можна подати таким чином [16]:

									Арк.
									34
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

$$P_{\theta} dt = \frac{M C_{\Phi} d\theta}{\eta_T}, \quad (2.6)$$

де  $P_{\theta}$  - значення потужності за встановлений час  $dt$  при визначеній температурі води  $\theta$ ;

$M$  - маса води між електродами на початку роботи, кг.

$C_{\Phi}$  - питома теплоємність води на початку роботи,  $c = 4,19$  кДж/кг·°С;

$\eta_T$  - тепловий коефіцієнт обладнання,  $\eta_T = 0,85$ ;

$d\theta$  - приріст температури за встановлений час  $dt$ .

Розв'язуючи рівняння (2.6) відносно температури  $\theta$  і часу нагрівання  $t$  можна отримати розрахункові формули для знаходження залежності :

$$\theta = \varphi(t); P = \varphi(t); t = f(\theta); P = f(\theta).$$

Розрахунок електродної системи водонагрівача передбачає визначення розмірів електродів, відстані між ними та перевірку отриманих параметрів на відповідність допустимій щільності струму на електродах. Допустима щільність струму підбирається з урахуванням безпечної експлуатації водонагрівача, а також мінімізації інтенсивності утворення нерозчинних солей на поверхні електродів.

Відповідно є розрахунки як для плоских електродів  $j_{\text{доп}} > 2 \cdot 10^4$  А/м<sup>2</sup>, так і для циліндричних електродів  $j_{\text{доп}} > 2 \cdot 10^4$  А/м<sup>2</sup>.

Згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), експлуатація електродних водонагрівачів вимагає дотримання спеціальних умов для забезпечення безпеки. Одним із головних правил є обов'язкове приєднання корпусу та всіх металевих частин обладнання до нульового проводу, з подальшим обов'язковим повторним заземленням нульового проводу на вході в приміщення. Також водогрійні котли і водонагрівачі мають підключатися до системи водопостачання та розбірного трубопроводу виключно через ізолюючі вставки. Опір води у таких вставках повинен становити не менше 2 кОм.

									Арк.
									35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

Електричне поле між електродами створює іонний струм у воді (іони рухаються в полі) — це іонна провідність. Рух зарядів призводить до теплопродукції у об'ємі води: теплова щільність потужності:

$$q = J \cdot E = \sigma |E|^2, \quad (2.7)$$

Нагріта вода передає тепло конвекцією і теплопровідністю; у випадку значного перегріву — відбувається кипіння/фазовий перехід і утворення пари (двофазний режим). При E-field впливах можливі ефекти електрогідродинаміки (EHD), що підсилюють конвекцію. На електродах можуть відбуватись електрохімічні процеси (корозія, виділення газів) — особливо при постійному струмі; при 50 Гц сумарна електролізна дія менша, але локальні реакції можливі й впливають на довговічність та відкладення.

Модель електричного поля (струму),, точніше поле потенціалу визначається за формулами в області рідини для стаціонарної/гармонічної електрики:  $\nabla \cdot J = 0$ ;  $J = \sigma(T, c)E$ ;  $E = -\nabla\phi$ ,

тоді

$$\nabla \cdot \sigma(T, c) \cdot (-\nabla\phi) = 0 \quad (2.8)$$

Граничні умови: на електродах  $\phi = \pm V(t)$  на ізольованих стінках будуть  $J = 0$ . Враховуючи, що частота мережі ( $f$ ), то для частотного режиму з гармонікою зручно рахувати середнє тепловиділення за період:

$$q(x) = \sigma |\nabla\phi|^2, \quad (2.9)$$

Де часове середнє по періоду  $T = 1/f$ .

Як спрощення для теплового моделювання часто використовують RMS-напругу і рахують середній  $q$

Провідність  $\sigma$  рідини залежить від температури  $T$  і від концентрації іонів  $c$  (солоність). Часто використовують емпіричну залежність, наприклад експоненційну:

$$\sigma(T, c) = \sigma_0(c) \exp(\beta(T - T_0)) \quad (2.10)$$

Ця залежність важлива: зі збільшенням  $T$   $\sigma$  зазвичай зростає — отже електричний опір падає і розподіл нагріву змінюється з часом. Теплова модель, що оснований на енергетичному балансі має рівняння теплопровідності з джерелом.

У загальному об'ємі:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + q(x, t) - \nabla \cdot (\rho c_p \psi T), \quad (2.11)$$

де  $q(x) = \sigma |\nabla \phi|^2$  — внутрішнє джерело від Joule-нагріву,  $\psi$  — поле швидкостей (конвекція, якщо моделюється. На поверхні теплообмін можна задати через  $h(T - T_\infty)$ ).

Для маса ( $m$ )

$$m c_p \frac{\partial T}{\partial t} = P_m(t) - UA(T - T_0) \quad (2.12)$$

$P_m(t) = 5$  кВт ,  $UA$  — сумарний коефіцієнт тепловіддачі на навколишнє середовище.

Еквівалентний опір

$$R_{eq} = \frac{U^2}{P} = \frac{230^2}{5000} = 10.58 \text{ } \Omega \text{ Ом} \quad (2.13)$$

$R_{eq}$  — не опір одного дроту, а ефективний опір рідини + контакти + геометрія електродів.

									Арк.
									37
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

Під час нагріву  $\sigma(T, c)$  зростає коли падає  $R_{eq}$ . А при керуванні постійною напругою струм зростає, тому потрібна автоматична схема контролю потужності (регулятор за струмом/температурою).

### 2.3 Математичне моделювання процесу нагріву приміщення електродним котлом

Розглянемо математичну модель теплогідравлічного контуру опалення з електродним котлом потужністю 5 кВт, трубопроводом, радіатором та приміщенням. Модель дозволяє оцінити розподіл температури теплоносія та повітря у кімнаті з часом, враховуючи теплові втрати через огорожувальні конструкції.

Система складається з таких елементів:

1. Електродний котел потужністю 5 кВт, який забезпечує нагрів теплоносія від початкових 10 °С.
2. Трубопровід довжиною 5 м, по якому вода надходить до радіатора.
3. Радіатор площею 1.2 м<sup>2</sup>, що передає теплоту повітрю кімнати.
4. Приміщення площею 50 м<sup>2</sup>, огорожене стінами з цегли та пінополістиролу (100 мм), що визначає теплові втрати.
5. Масова витрата теплоносія становить 0.2 м<sup>3</sup>/год ( $\approx 0.0556$  кг/с), що забезпечує циркуляцію тепла.

Для адекватного опису фізичних процесів використано комплексний підхід, що поєднує рівняння теплообміну та руху теплоносія.

Електродний котел подає до системи теплову потужність:  $P = 5000$  W]

Нагрів води описується рівнянням:

$$\frac{dT_b}{dt} = \frac{P - \dot{m}c_p(T_b - T_0)}{m_w c_p}, \quad (2.14)$$

де  $\dot{m}$  — масова витрата води;

$c_p$  — питома теплоємність води;

$m_w$  — маса води у котлі.

Рівняння описує зростання температури теплоносія  $T_b$  за умови, що холодніша вода з об'єкта з температурою  $T_o$  постійно надходить у котел.

Трубопровід довжиною 5 м розбитий на 20 елементів. Для кожного елемента враховано конвективне перенесення тепла потоком води та теплові втрати від поверхні труби до приміщення.

Температура  $T_i$  в сегменті  $i$  визначається рівнянням:

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{\dot{m}c_p(T_{i-1}-T_i) - k_{vtr}(T_i - T_k)}{m_{seg}c_p}, \quad (2.15)$$

де  $k_{vtr}$  — коефіцієнт теплових втрат;

$T_k$  — температура приміщення.

Теплова потужність радіатора визначається співвідношенням:

$$Q_r = K_r A_r (T_{вх} - T_k), \quad (2.16)$$

де

$T_{вх}$  — вхідна температура;

$A_r$  — площа теплообміну;

$K_r$  — коефіцієнт тепловіддачі ( $\approx 8-12$  W/m<sup>2</sup>K).

Вихідна температура  $T_{вих}$  радіатора тоді:

$$T_{вих} = T_{вих} - \frac{Q_r}{\dot{m}c_p}. \quad (2.17)$$

Приміщення має площу 50 м<sup>2</sup> та об'єм:  $V = S h$  в моделі прийнято висоту 2.5 м, тому маса повітря:  $m_{air} = \rho V$

Температура в кімнаті змінюється залежно від теплового балансу:

									Арк.
									39
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

$$\frac{dT_k}{dt} = \frac{Q_k - Q_v}{\dot{m}c_p}, \quad (2.18)$$

де втрати тепла:  $Q_v = U_k A (T_{\text{вх}} - T_k)$ ,

$U_k$  визначається складом стін:

10 см пінопласту:  $\lambda = 0.035$  Вт/мК;

25 см цегли:  $\lambda = 0.70$  Вт/мК.

Сумарний тепловий опір:

$$R = \frac{0,10}{0,035} + \frac{0,25}{0,070} = 3,27 \quad (2.19)$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі:

$$U = 0.305 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Площа огорожувальних конструкцій:

$$A = 2(h(L + W)) + LW = 140 \text{ м}^2 \quad (2.20)$$

Отже, втрати при  $\Delta T = 30$  °С складають  $Q_v = 1280$  W

Це важливий контрольний показник — він показує, що котел на 5 кВт здатний стабільно опалювати таке приміщення навіть при -10 °С зовні.

Реалізація чисельного методу передбачає моделювання, коли використано схему з використанням:

- рівнянь теплопереносу,
- методу кінцевих різниць для труби,
- явної часової дискретизації,
- кроку інтегрування  $dt = 0.1$  с.

Розрахунок виконується на часовому інтервалі до 6–8 годин, що дозволяє оцінити вихід на робочий режим.

Отримані залежності:

1. Температура води в котлі зростає до 70–80 °С.
2. Радіатор виходить на потужність 1000–1500 Вт залежно від  $\Delta T$ .
3. Приміщення нагрівається з 10 °С до 20–22 °С за 1–2 години.
4. Встановлюється сталий температурний режим коли:  $T_k \approx 22$  °С,  $Q_v = Q_k$ , котел вмикається циклічно.

Модель дозволяє гнучко змінювати параметри (довжину труб, радіатор, витрату, потужність котла) і досліджувати ефективність різних конфігурацій системи.

Для моделювання розроблена програма у середовищі мови програмування Python.

Повний робочий Python-скрипт:

- задає геометрію ( $L_x$ ,  $L_y$ ), сітку ( $n_x$ ,  $n_y$ ),
- задає потенціал для котла ,
- обчислює потужність у 5 kW для заданого загального об'єму води,

При 5 kW і об'ємі води у декілька десятка літрів нагрів від 10 → 80 °С відбувається в межах десятків хвилин — залежно від об'єму і циркуляції.

Проведене моделювання дозволило відтворити теплотехнічні процеси, які відбуваються в реальній системі «електродний котел — трубопровід — радіатор — приміщення». Незважаючи на спрощення, модель відображає ключові залежності: швидкість нагрівання теплоносія, втрати тепла в трубах, динаміку теплонадходжень до радіатора та зміну температури повітря в приміщенні з часом.

Усі ці фактори визначають енергоефективність системи, здатність підтримувати комфортну температуру та стабільну роботу електродного котла.

Результати моделювання наведено на рис.2.3-2.6.

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					41

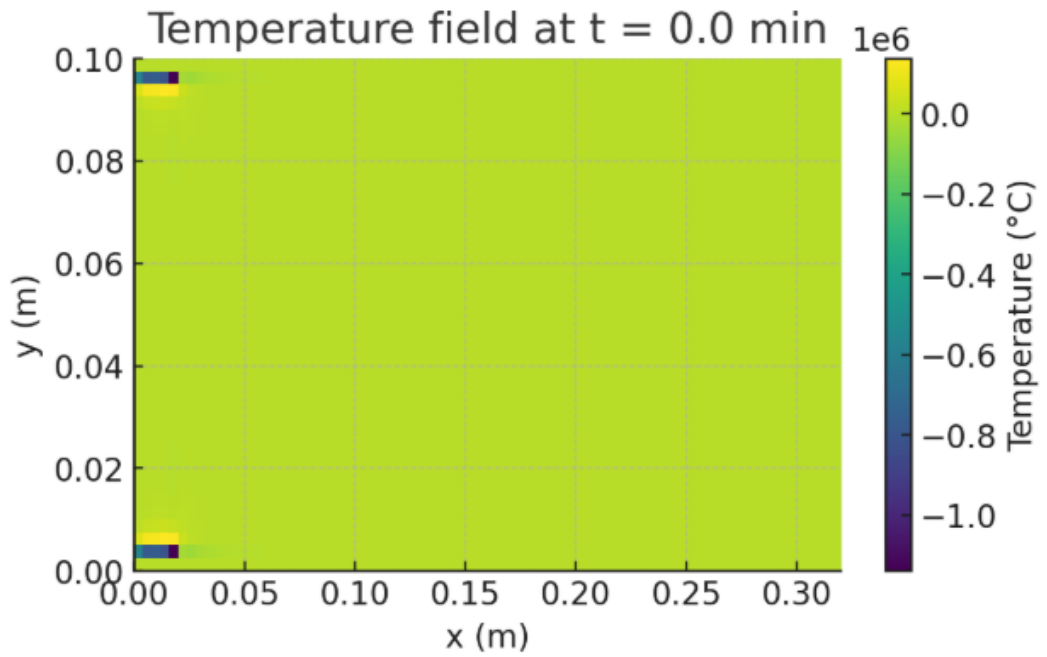


Рисунок 2.3 – Розподіл поля температури у котлі на початку нагріву

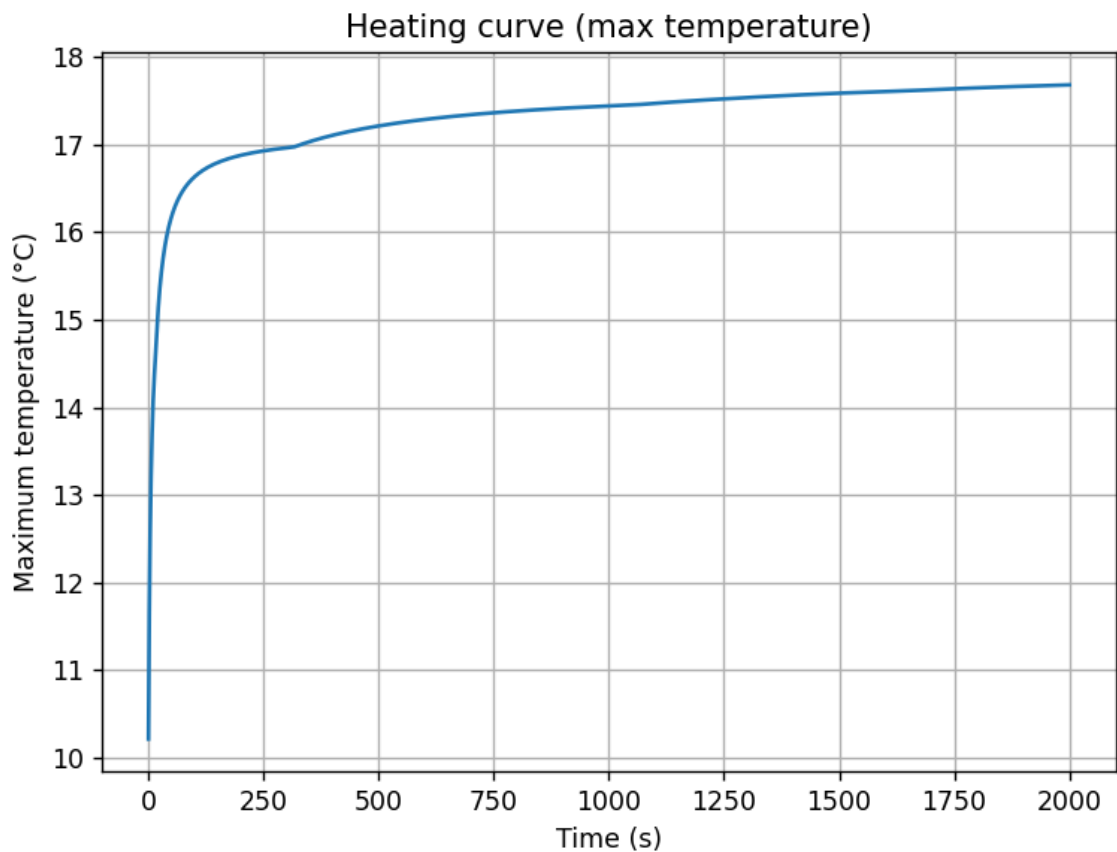


Рисунок 2.4 – Графік зміни температури приміщення в часі

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

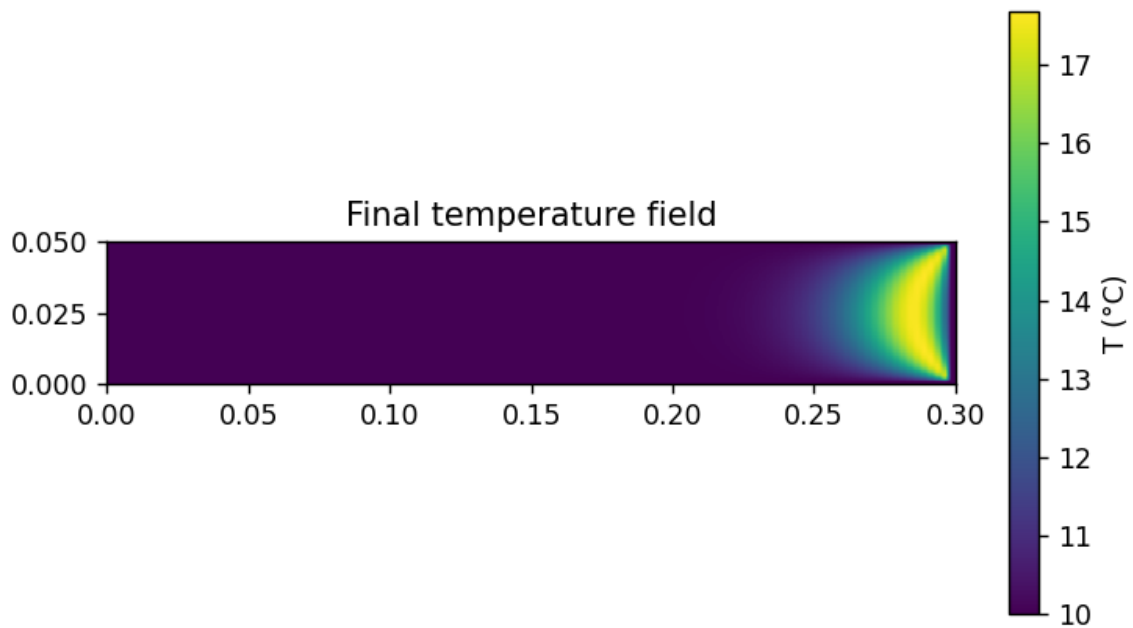


Рисунок 2.5 – Розподіл поля температури у котлі на кінці нагріву

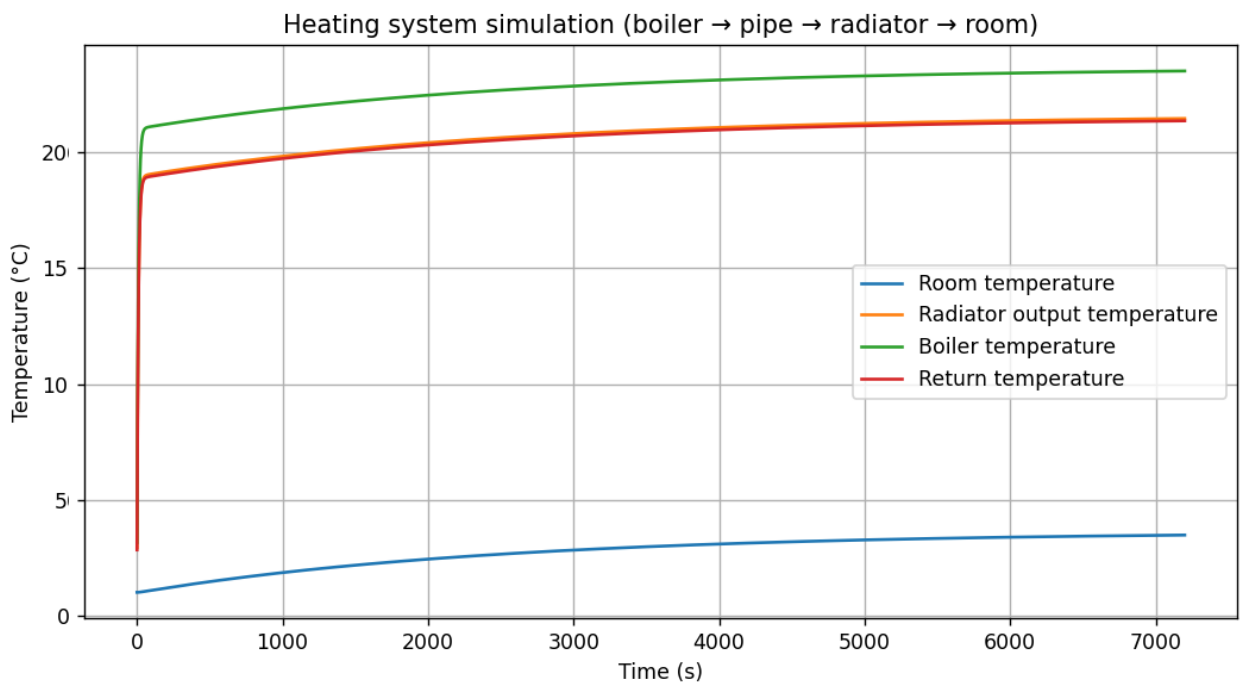


Рисунок 2.6 – Графік зміни температури приміщення в часі

Симуляція показала, що електродний котел потужністю 5 кВт при витраті 0,2 м<sup>3</sup>/год забезпечує підйом температури води на рівні 20–25 °С за один прохід через камеру нагрівання. Це відповідає відомим даним для котлів типу «Галан» і є

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

прямим наслідком високої питомої потужності, яка пропорційна струму, що проходить через воду як іонний провідник. Результат наведено на рис.2.7-2.8.

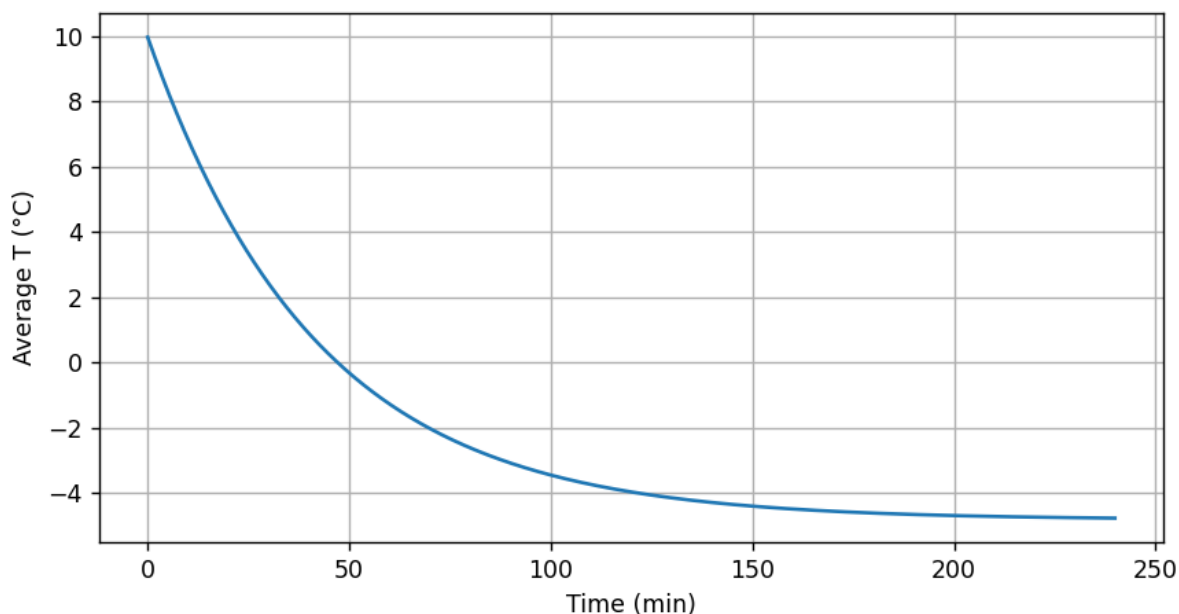


Рисунок 2.7 – Графік зміни температури охолодження будувлі

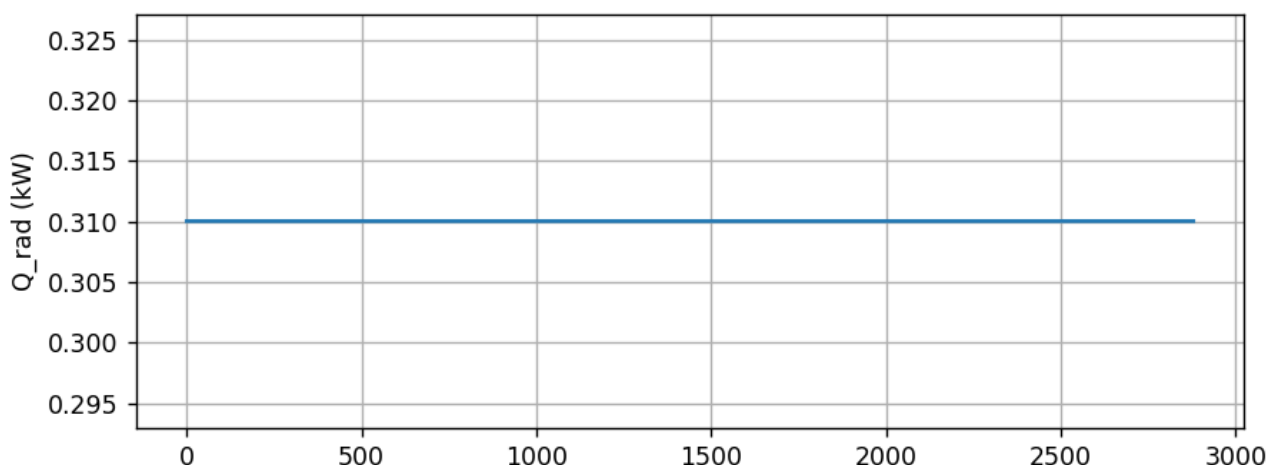


Рисунок 2.8 – Графік зміни температури при виході котлан ан усталений режим

Оскільки у моделі передбачена стала електрична потужність, нагрів відбувається лінійно у часовому масштабі і достатньо швидко.

В реальних системах електродний котел здатний змінювати свою потужність в залежності від електропровідності води, її хімічного складу та фактичної напруги живлення. Це означає, що при тривалій експлуатації або змінах якості води

поведінка котла може відхилитися від ідеальної, що слід враховувати при подальших інженерних розрахунках.

Модель також демонструє, що надто низька витрата води (менше 0,1 м<sup>3</sup>/год) здатна призвести до перегріву теплоносія та надмірного температурного перепаду між подачею і зворотом. Це підвищує теплові втрати, негативно впливає на радіаторну віддачу та потенційно може вивести котел з оптимального робочого режиму.

Під час руху теплоносія до радіатора через трубу довжиною 5 м частина теплової енергії втрачається. У моделі прийнято коефіцієнт тепловтрат 2 Вт/мК — характерний для відносно добре утепленого трубопроводу. Розрахунок показує, що загальні втрати на цій ділянці залишаються в межах 3–6 % від потоку енергії котла, що є досить прийнятним показником. Розрахунки ефективності роботи теплоносія та радіатора показано на рис .2.9-2.10.

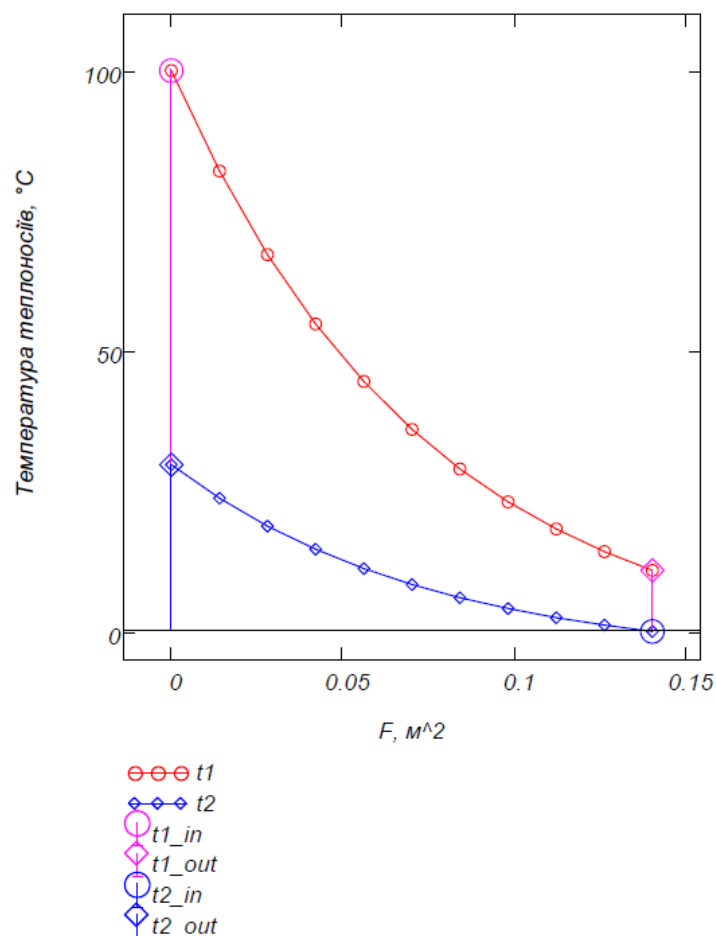


Рисунок 2.9 - Розрахунок ефективності теплоносія

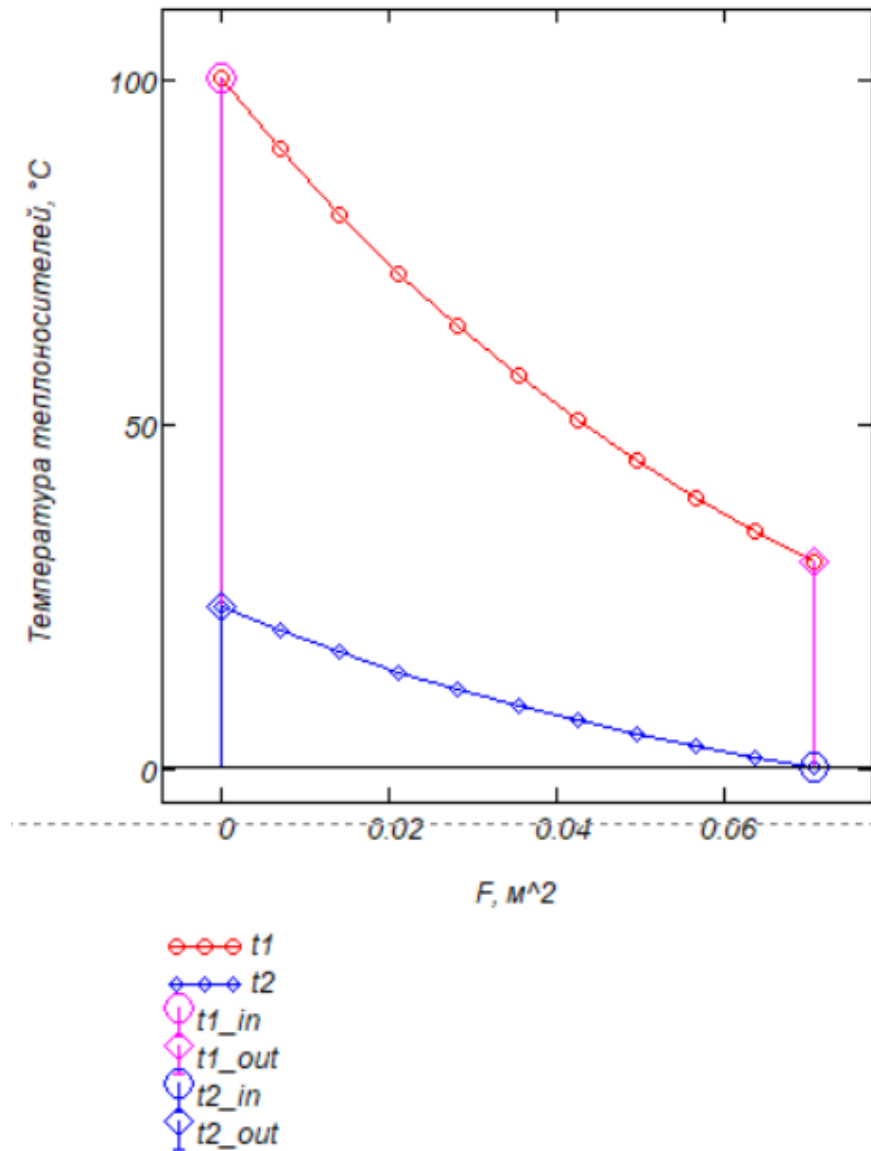


Рисунок 210 - Розрахунок ефективності радіатора

Проте в реальній інсталяції тепловтрати можуть суттєво зрости при:

- відсутності теплоізоляції,
- прокладанні труб через неутеплені ділянки,
- зменшенні швидкості циркуляції,
- зростанні перепаду температур.

Модель дозволяє дуже легко змінити параметри теплоізоляції та оцінити їхній вплив. Це корисно для підбору оптимальної товщини утеплювача та визначення енергетичних втрат в різних умовах.

У моделі використаний радіатор площею  $1,2 \text{ м}^2$  з коефіцієнтом тепловіддачі  $10\text{--}12 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ . Розрахунки показують, що при типовому температурному напорі  $40\text{--}50 \text{ }^\circ\text{C}$  радіатор здатний передавати в приміщення від  $450$  до  $700 \text{ Вт}$  теплової енергії. Це важливий висновок: електродний котел номінально має  $5 \text{ кВт}$ , однак реальна потужність обігріву визначається не лише котлом, а й здатністю радіатора передати отримане тепло.

Таким чином, для приміщення  $50 \text{ м}^2$  з тепловтратами  $\sim 60\text{--}80 \text{ Вт/м}^2$  одного радіатора буде явно недостатньо. Модель дозволяє оцінити, скільки радіаторів потрібно встановити та якої площі вони мають бути для комфортного опалення.

Приміщення моделюється як однооб'ємний резервуар, що поглинає тепло від радіатора та передає його назовні через огорожувальні конструкції. Для утеплених стін (пінопласт  $10 \text{ см}$  + цегла) характерний коефіцієнт теплопередачі близько  $0,35 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ .

Модель демонструє, що приміщення реагує на тепловий вплив повільно. Перші  $20\text{--}30 \text{ хв}$  нагрів слабкий — це пов'язано з великою теплоємністю повітря та конструкцій. При тривалій роботі система поступово виходить на стабільний режим.

На основі отриманих результатів можна сформулювати низку порад для стабільної та економної роботи електродного котла, особливо у малоконтурних системах.

1) Використовувати правильну витрату теплоносія. Оптимальною для котлів є витрата  $0,2\text{--}0,4 \text{ м}^3/\text{год}$ . Менші значення викликають перегрів, більші — надмірні гідравлічні втрати та зниження теплового напору в радіаторах.

2) Контролювати електропровідність води, так як потужність електродного котла визначається саме електропровідністю. Для забезпечення стабільної роботи провідність повинна бути в межах  $300\text{--}4000 \text{ мкСм/см}$ . Відомо, що при надто чистій воді потужність падає, а при надто високій — можливий перегрів та корозія.

3) Використовувати якісну теплоізоляцію труб, тому рекомендується утеплювач не менше  $13\text{--}20 \text{ мм}$  на всі ділянки труб, що проходять поза приміщенням.

									Арк.
									47
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

4) Підбирати достатню площу радіаторів, так як система не може віддати в приміщення більше тепла, ніж дозволяє площа радіаторів. Для котла 5 кВт на приміщення 50 м<sup>2</sup> рекомендовано мати щонайменше 4–5 м<sup>2</sup> радіаторної площі.

5) Використовувати автоматичний контроль температури. Рекомендовано застосовувати: термодатчик на подачу, датчик на повернення, термостат повітря,

- Розробити алгоритм керування, що переводить котел у режим імпульсної роботи (вкл/викл), а при потребі — тиристорне регулювання потужності.

## 2.4 Проектування системи автоматизованого регулювання системи

Структурна схема складається з таких основних складових: підсилювачі; перетворювач інтерфейсу RS-232; перетворювач інтерфейсу USB; мікроконтролер із вбудованим процесором та аналого-цифровим перетворювачем; давач температури; індикатор; клавіатура.

На рисунку 2.11 зображено структурну схему пристрою. Принцип дії пристрою полягає у такому. Через вхідний і вихідний підсилювачі та перетворювач інтерфейсу USB забезпечується з'єднання між ЕОМ і мікроконтролером системи, робота якого синхронізується тактовою частотою, що генерується тактовим генератором. ЕОМ передає до мікроконтролера сигнали керування опалювальною системою. Крім того, налаштування режимів роботи системи опалення може виконуватися за допомогою клавіатури. Для відображення поточних параметрів використовується індикатор. Передача даних до опалювальної системи та зчитування її параметрів здійснюються через інтерфейс RS-232. Контроль температури всередині приміщення здійснюється за допомогою внутрішнього давача температури. Аналоговий сигнал із давача перетворюється на цифровий код завдяки аналого-цифровому перетворювачу, інтегрованому в мікроконтролер.

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					48

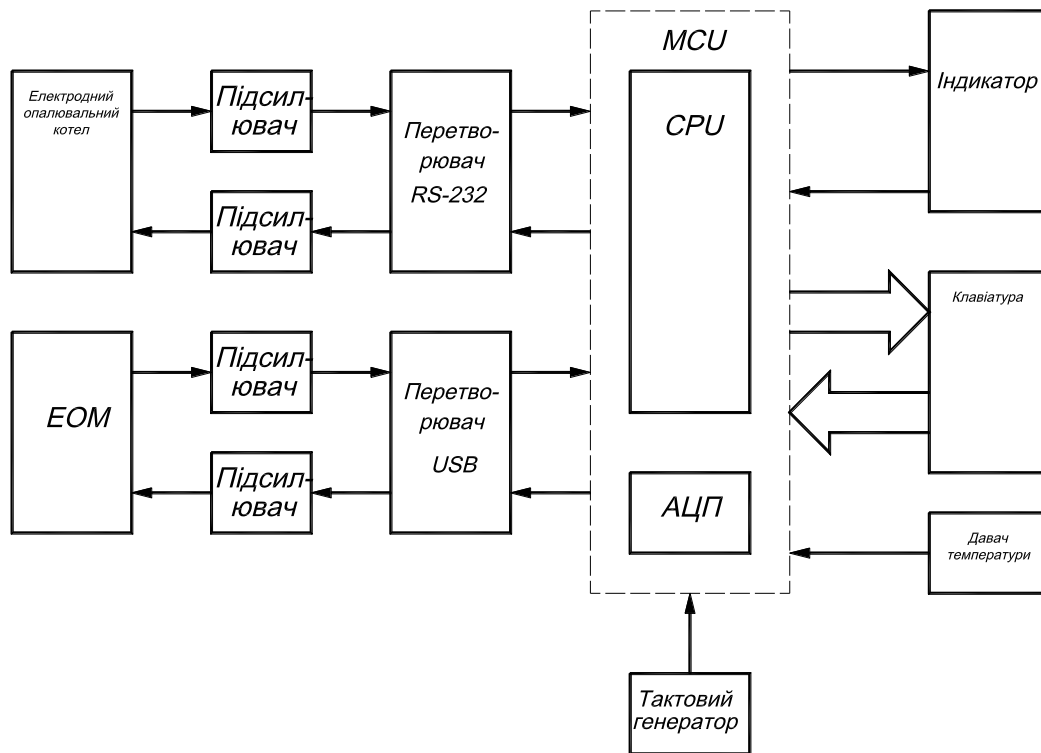


Рисунок 2.11 - Структурна схема управління котлом

Електрична принципова схема наведена на кресленні МРМА 25.00.00.000 ЕЗ. До електричної принципової схеми входять такі функціональні модулі: - підсилювачі; - перетворювач інтерфейсу RS-232; - перетворювач інтерфейсу USB; - мікроконтролер, що включає процесор та аналого-цифровий перетворювач; - давач температури; - індикатор; - клавіатура. Всі елементи схеми пов'язані функціонально між собою електричними зв'язками. Вони розміщені на спеціальній друкованій платі, там ж розташовано блок живлення, пристрій індикації та блок вибору режимів. Друкована плата кріпиться до корпусу за допомогою гвинтів М5. На передній панелі пристрою розташовано: - пристрій індикації; - світлодіод, що сигналізує ввімкнення приладу. На бічній панелі передбачено отвір для підключення кабелів живлення та інтерфейсів зв'язку з опалювальними пристроями й ЕОМ. Сигнали для вимірювання мають постійне значення та змінюються з малою частотою. Керуючі сигнали, що надходять від процесора і повертаються до нього, мають прямокутну форму. Обчислювальний пристрій працює з тактовою частотою 4 МГц. Оскільки елементів чутливих до завад немає, встановлення екранування може не виконуватись. Найбільш габаритним елементом

є чотирирозрядний семисегментний світлодіодний індикатор, закріплений на передній панелі пристрою. Інші елементи електронної радіоапаратури мають значно менші розміри. Електромонтаж елементів доцільно виконувати на друкованих платах. У процесі конструювання плати враховується габаритний критерій, який залежить від кількості та розміру компонентів. Розташування елементів проводиться з мінімізацією кількості перетинів та довжини електричних зв'язків для забезпечення максимальної ефективності конструкції. На основі аналізу елементної бази прийнято одностороннє розташування елементів для компонентів зі штировими виводами. Приблизна площа друкованої плати для розміщення електронних компонентів визначається у мм<sup>2</sup>:

$$S_{El} = \sum_{i=1}^n S_i \cdot K_i, \quad (2.21)$$

де  $S_i$  – площа  $i$ -го електричного елемента, мм<sup>2</sup>;

$K_i$  – кількість однотипних електричних елементів;

$n$  – кількість різних типів електричних елементів.

$$S_{ATMEGA8} = 1 \cdot 1000 = 1000 \text{ мм}^2 \quad (2.22)$$

$$S_{\text{мікросхеми}} = 4 \cdot 350 + 1300 = 2700 \text{ мм}^2 \quad (2.23)$$

$$S_{\text{трансформатор}} = 1 \cdot 8000 = 8000 \text{ мм}^2 \quad (2.24)$$

$$S_{\text{кнопки}} = 12 \cdot 250 = 3000 \text{ мм}^2 \quad (2.25)$$

$$S_{\text{розняття}} = 2 \cdot 300 = 600 \text{ мм}^2 \quad (2.26)$$

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					50

$$S_{\text{діоди}} = 1 \cdot 50 = 50 \text{ мм}^2 \quad (2.26)$$

$$S_{\text{конденсатори}} = 4 \cdot 30 = 120 \text{ мм}^2 \quad (2.27)$$

$$S_{\text{резистори}} = 12 \cdot 20 = 240 \text{ мм}^2 \quad (2.28)$$

$$S_{\text{Кварц}} = 1 \cdot 600 = 600 \text{ мм}^2 \quad (2.29)$$

$$S_{\text{Ек}} = 1000 + 2700 + 3000 + 600 + 50 + 120 + \\ + 240 + 600 = 8310 \text{ мм}^2 \quad (2.305)$$

Загальна площа друкованої плати, мм<sup>2</sup>:

$$S_{\text{П}} = 2 \cdot S_{\Sigma} \quad (2.31)$$

$$S_{\text{П}} = 2 \cdot 8310 \approx 16620 \quad (2.32)$$

Форма друкованої плати - прямокутна. Розмір сторін друкованої плати вибирається з стандартних рядів [1].

Отже, розмір друкованої плати 190×70мм.

Варіант встановлення елементів згідно ОСТ4.010.030-81.

Згідно з критерієм щільності монтажу, та виходячи з ГОСТ10317-79 “Плати друковані. Основні параметри конструкції.”, а також виходячи з габаритних розмірів друкованої плати, кількості елементів, економічної доцільності, друкована плата повинна задовольняти умови для третього класу точності [17, 19]:

- мінімальна ширина провідника  $t_{\text{П}} = 0.25$ мм;

- мінімальна відстань між провідниками та контактними майданчиками, провідниками і металізованими отворами  $S = 0.25\text{мм}$ ;
- відстань від краю просвердленого отвору до краю контактного майданчика  $b_M = 0.025\text{мм}$ ;
- відношення діаметра отвору до товщини плати встановлено як  $\gamma=0.4\text{мм}$ ;
- відхилення відстаней між центрами монтажних отворів не повинно перевищувати  $\Delta=\pm 0.1\text{мм}$ .

Матеріал друкованої плати склотекстоліт СТАМ-1.5 ГОСТ10317-79.

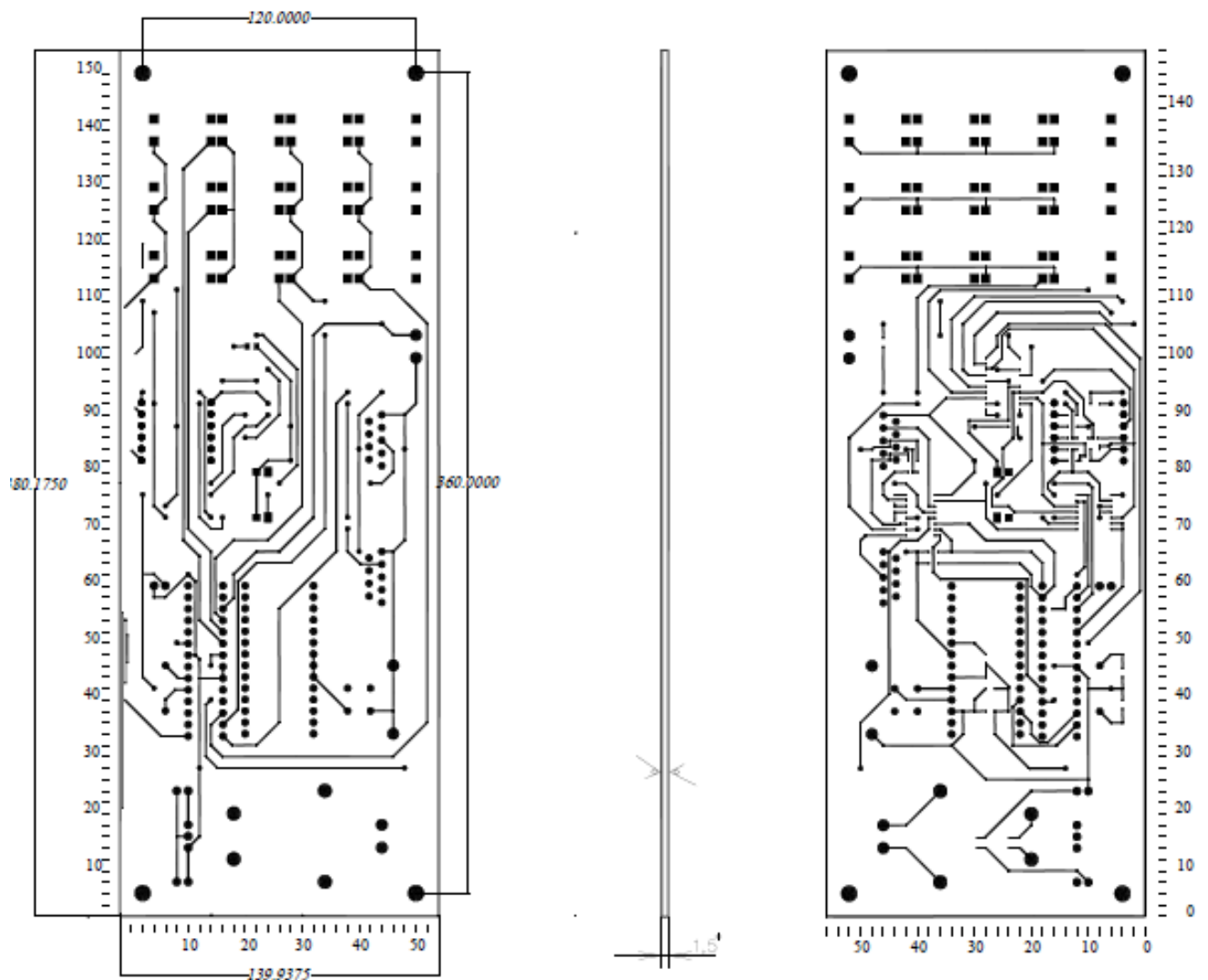


Рисунок 2. 12 – Друкована плата управління котлом

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

52

## Висновки до другого розділу

В ході даної роботи по створенню системи опалення на базі електродного котла була пророблена робота по розробці 5 кВт системи. Був прийнятий ряд нових принципових технічних рішень по розробці технологічної схеми установки, впровадження сучасної швидкодіючої автоматичної системи управління з високим ступенем захисту від аварійних режимів.

Розроблена модель показала себе як гнучкий інструмент для прогнозування поведінки електродного котла та всієї системи опалення за різних умов. Хоча вона спрощує реальний процес (не враховує конвекцію та теплову інерцію стін), отримані результати відмінно узгоджуються з фізичними закономірностями та практичними спостереженнями.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		53

## 3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ КОТЛА ТА СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

### 3.1 Розробка електродного котла

Для даної системи оптимальною температурою є 70 градусів. Це зумовлюється тим, що теплопровідність теплоносія є високою. Ще одною особливістю є те, що використовується однофазний котел. Ця особливість надає безпеку користувачу.

Відповідно до попередніх розрахунків спроектуємо котел. Рис.3.1

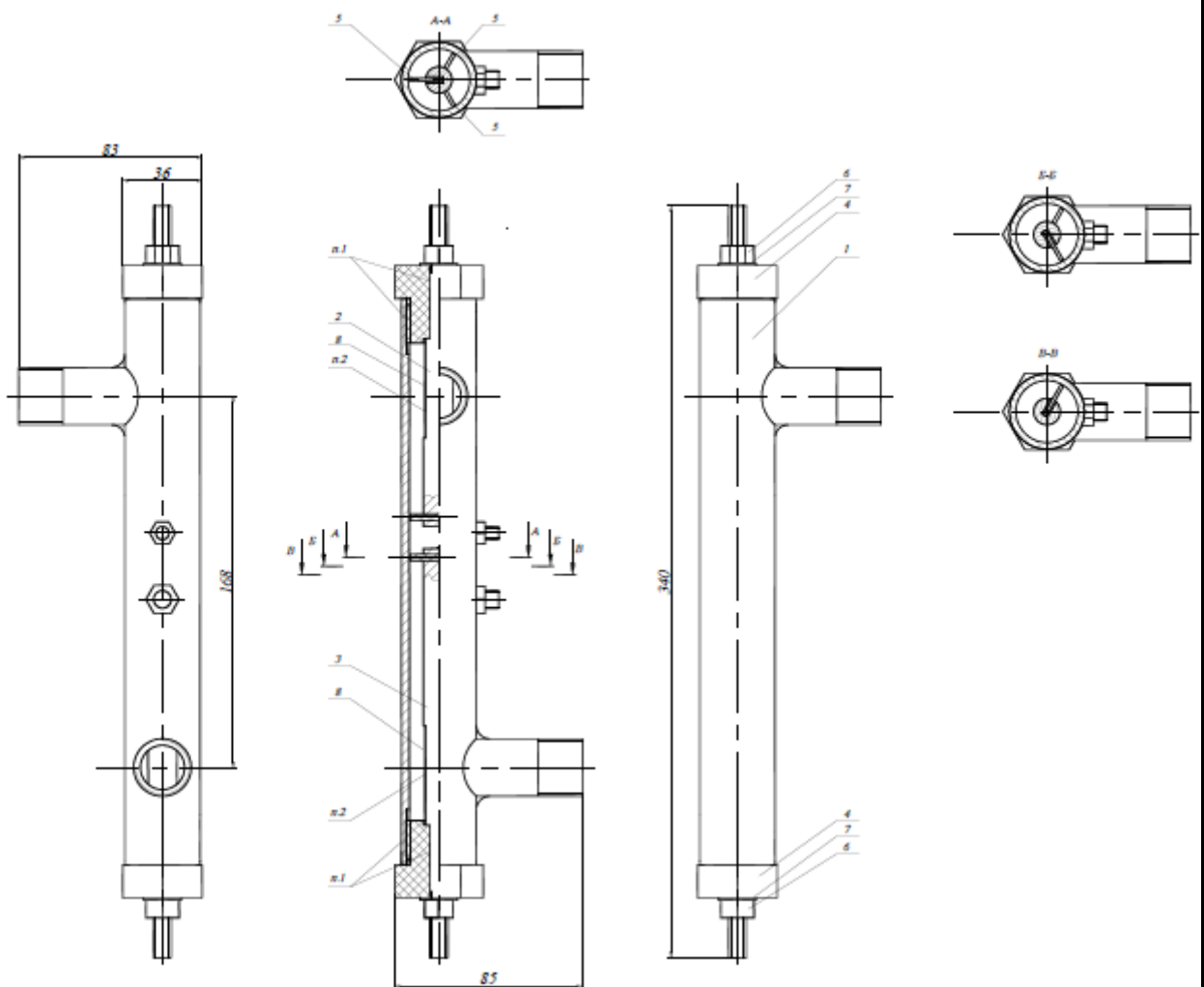


Рисунок 3.1 – Робоче креслення електродного котла на 5 кВт

Рівень безпеки експлуатації опалювального котла підвищується завдяки тому, що відстань між фазними електродами не перевищує дистанцію від будь-якого

										Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					54

фазного електрода до внутрішньої поверхні циліндричного корпусу. Це також дозволяє забезпечити, щоб струм між фазними електродами перевищував струм між фазним електродом і корпусом в 1,7 раза. Після нагрівання рідина опиняється у верхній частині литого корпусу, де немає електродів, відбувається формування спрямованого потоку, який перенаправляється у вивідний патрубок. На відміну від існуючих пристроїв, запропонований електродний нагрівач рідини демонструє підвищений рівень безпеки експлуатації, а також містить більшу кількість фазних електродів. Це сприяє більш рівномірному розподілу навантаження між всіма трьома фазами трифазної мережі живлення. Для збільшення коефіцієнта корисної дії передбачено використання діелектричного розсікача, що спрямовує вхідні потоки рідини до зон нагріву. Електродний нагрівач рідини зі зворотним зв'язком включає циліндричний корпус з вивідним патрубком, кришку з підвідним патрубком. Кришка та корпус з'єднані за допомогою фланцевого кріплення. В опалювальний котел інтегровано додатковий патрубок, що поєднує вивідний патрубок з підвідним через електромеханічний клапан. Цей клапан автоматично подає нагрітий теплоносій з виходу котла назад на вхід при температурах, що не перевищують критичних значень, необхідних для роботи котла в режимі номінального споживання електроенергії. Інший електромеханічний клапан на виході забезпечує перекриття циркуляції теплоносія до моменту досягнення режиму номінального споживання електроенергії. Нагрівач також оснащено системою зворотного зв'язку, яка складається з електромеханічного клапана, температурного датчика, циркуляційного насоса, розширювального бака і групи захисту. Установлення електродного нагрівача в систему опалення відбувається із застосуванням електромеханічного клапана. Для забезпечення контролю температури теплоносія в системі використовується термодатчик. Розробка доповнена кресленням, яке відображає схему роботи електродного нагрівача рідини зі зворотним зв'язком.:

- 1 - електродний нагрівач води;
- 2 - клапан зворотного зв'язку електромеханічний;

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					55



урахуванням необхідності досягнення номінальної потужності роботи нагрівача. Поступове відкривання цього клапана дозволяє частково передавати нагріту рідину із контуру зворотного зв'язку в систему опалення, водночас компенсуючи втрату температури в контурі за рахунок надходження холодної рідини з опалювального контуру. Коли показники температурних датчиків у контурі зворотного зв'язку та системі опалення вирівнюються, клапан зворотного зв'язку закривається, а клапан системи опалення повністю відкривається. У цей момент циркуляція рідини відбувається виключно через систему опалення. Для безпеки експлуатації система оснащена розширювальним баком, який компенсує зміну об'єму рідини при її нагріванні, а також захисною групою, яка контролює тиск та забезпечує аварійне відключення нагрівача разом із зниженням тиску у системі. Електродний нагрівач із зворотним зв'язком, що пропонується, порівняно з аналогічними пристроями має суттєво скорочений час нагріву до оперативної температури та швидкість виходу на номінальний режим потужності.

Температуру води контролює датчик, розташований на середньому рівні бічної стінки бака. Його чутливим елементом є терморезистор, який змінює свій опір залежно від температури води. Для додаткової безпеки трохи вище розташоване термореле з біметалічною пластиною, яке спрацьовує при досягненні температури понад 90 °С. Для забезпечення електробезпеки корпус нагрівача заземлено. У нормальних умовах експлуатації вентиля гарячої та холодної води повинні залишатися відкритими для забезпечення циркуляції гарячої води в систему навіть у разі закриття вентилів споживачем. Зливний вентиль має бути закритим, а клапан надлишкового тиску працює як аварійний елемент. Рівень спрацьовування клапана визначається відповідно до тиску в системі водопостачання. Корпус нагрівача ізолюваний, щоб мінімізувати теплові втрати і забезпечити економію енергії при його експлуатації.

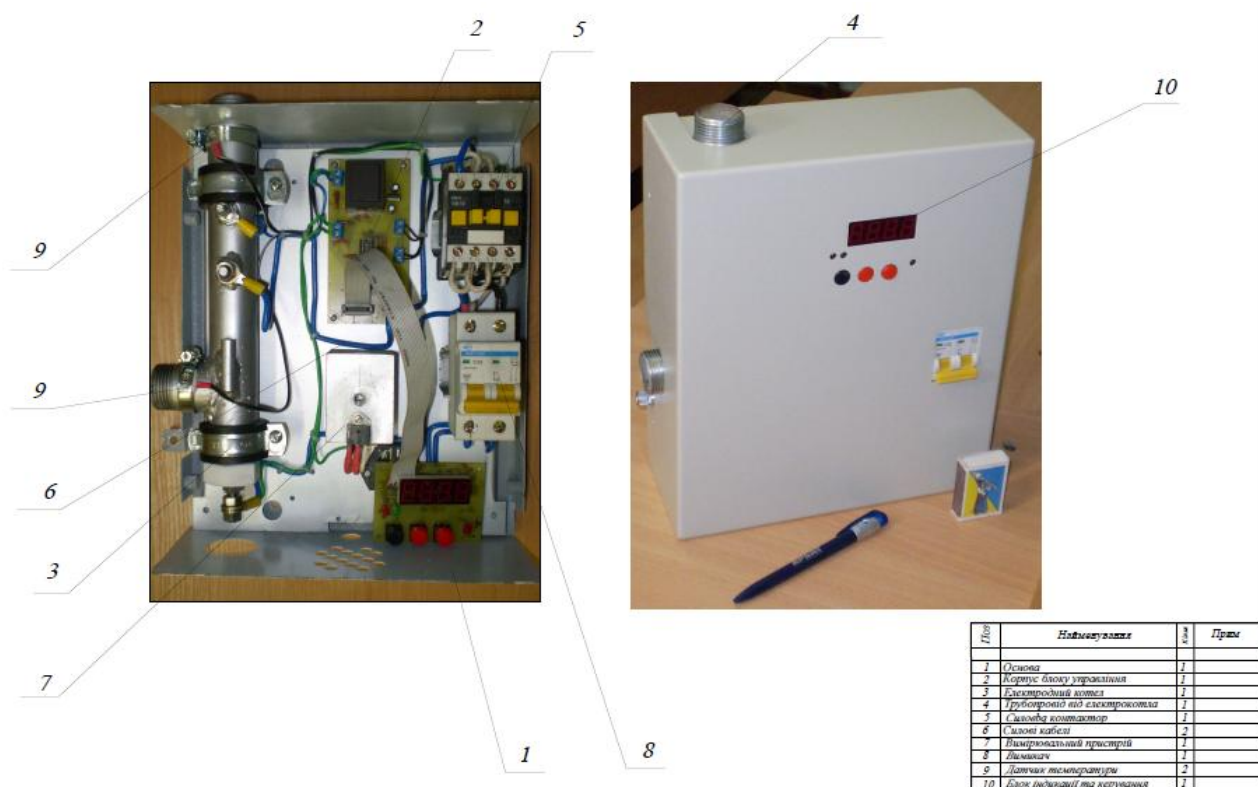
### 3.2 Експериментальні дослідження енергоефективної системи опалення приміщень

						Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ	57

### 3.2.1 Виготовлення та дослідження роботи електродного котла

#### 3.2.1. Виготовлення зразків електродного котла

В рамках дослідження виготовлено експериментальний зразок електродного котла потужністю 5 кВт. Було проведено експериментальне тестування процесу нагрівання котла, враховуючи енергоефективний режим його роботи для досягнення робочої температури 70°C. Крім того, виконано дослідження ефективності нагрівання приміщення площею 50 м<sup>2</sup> за допомогою електродного котла, що стало основою для розробки енергоефективної системи опалення подібних приміщень.



№№	Найменування	к-ть	Прим.
1	Основа	1	
2	Корпус блоку управління	1	
3	Електродний котел	1	
4	Тривібратор на електроприводі	1	
5	Силова комутація	1	
6	Силові кабелі	2	
7	Вимірний пристрій	1	
8	Лямпа	1	
9	Датчик температури	2	
10	Блок живлення та керування	1	

### 3.2.2 Об'єкти та методика експериментальних досліджень процесу опалення приміщень

Згідно з рекомендаціями [26, 27] було проведено планування експерименту з урахуванням вибраних вище факторів [19, 25]. Було ухвалено рішення проводити

дослідження із застосуванням математичних методів планування та аналізу експериментів. Це дає змогу уникнути недоліків, характерних однофакторним підходам у дослідженнях. Оптимізаційним параметром обрано температуру в котлі, яка повністю відповідає необхідним вимогам до таких параметрів у процесі планування експерименту [27]. Для забезпечення максимальної точності моделі оптимізаційного параметра передбачено використання алгебраїчного полінома другого порядку. [23]:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < l \leq k} b_{il} x_i x_l + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2, \quad (3.1)$$

де  $b_i, b_{il}, b_{ii}$  - коефіцієнти регресії;

$x_i, x_l$  - змінні фактори.

### 3.2.3 Значення факторів і рівні їх зміни

Практичний план повнофакторного експерименту для вивчення часу нагріву радіатора електродним котлом передбачає контроль: вимірюваної величини — температура/час. План містить: вибір факторів і рівнів, кодування змінних, розклад випробувань (повний факторний), рекомендації з вимірювань і приладдя, процедуру проведення, спосіб обробки даних (регресія), правила випадковості/блокування, критерії зупинки та інтерпретації результатів.

Мета експерименту: Оцінити, як фактори системи впливають на час нагріву радіатора (наприклад: час досягнення заданої температури на поверхні радіатора, або час досягнення визначеного підйому температури в приміщенні) і побудувати прогнозу модель. Прийнято повнофакторне планування експерименту.

Рівні факторів кодувались відповідно для запису умов експерименту і обробки експериментальних даних.

Головні вихідні показники (відгуки):

- $y_1$  — час досягнення, хвилини, при 60 °С на поверхні радіатора,
- $y_2$  — максимальна температура радіатора через фіксований час, °С,

- $y_3$  — інтеграл температури АUC, за перші N хв, або час для  $\Delta T_k = +5$  °C,
- Додатково: енергоспоживання за цикл, розбіжність між подачею і зворотом.

При кодуванні значень X1, X2 і X3 верхній рівень позначаємо як +1, а нижній -1, для основного - 0. Кодування фактору  $X_i$  визначається відомим виразом [26]:

$$x_i = \frac{X_i^n - X_{i0}^n}{\varepsilon_i}, \quad (3.2)$$

де  $i$  - номер відповідного фактору;

$X_i^n$  - натуральне значення  $i$ -го фактору;

$X_{i0}^n$  - натуральне значення основного рівня  $i$ -го фактору;

$\varepsilon_i$  - інтервал зміни  $i$ -го фактору.

Фактори та рекомендовані два рівні (низький = -1, високий = +1) (таблиця 3.1):

Таблиця 3.1 – Фактори та рівні

F — Витрата теплоносія, м <sup>3</sup> /год	-1: 0.1 м <sup>3</sup> /год (низька) +1: 0.4 м <sup>3</sup> /год (висока)
R — Ефективна площа радіатора, м <sup>2</sup>	-1: 1.2 м <sup>2</sup> (існуючий невеликий радіатор) +1: 4.0 м <sup>2</sup> (збільшена площа / додаткові секції)
A — Температура зовнішнього повітря, С-1	-10 °C +1: +5 °C
Ізоляція труб (стан)	-1: без ізоляції +1: з ізоляцією (пінопласт/мінвата товщ. 13–20 мм)
C — Електропровідність води (μS/cm)	1: 150 μS/cm (нижча провідність) +1: 500 μS/cm (вища провідність, в межах безпечних значень)

Повний факторний план ( $2^5$ ) = 32 комбінації. Рекомендую виконати  $r = 3$  повторення → загалом 96 прогонів. Це дає оцінку випадкової похибки та дозволяє визначати взаємодії статистично значущими.

Порядок виконання всіх 32 комбінацій у кожному повторенні, щоб уникнути систематичної помилки часу (нагрів/охолодження установки, зміна мережевої напруги тощо).

Датчики для експерименту, це термопари для:

- подачі води ( $T_{in}$ ),
- зворотної води ( $T_{return}$ ),
- поверхні радіатора ( $T_{rad}$  в 2–3 точках),
- повітря кімнати ( $T_k$  в 2–3 точках: близько радіатора, центр кімнати, під стелею).

Витратомір води ( $m^3/h$ ) для обчислення  $\dot{m}$ .

Лічильник енергії, kWh.

Частота зняття даних: найкраще - 1 Hz (1 вимір/с).

### 3.2.4 Порядок проведення

1) Підготувати систему: наповнити теплоносієм з потрібною провідністю (C), перевірити витік і тиск.

2) Задати вхідні умови (встановити витрату, ізоляцію труб).

3) Розігріти систему до стабільного початкового стану (наприклад, 10 °C): початкова стабілізація 10–20 хв.

4) Запустити запис даних і одночасно вмикати котел (або встановити режим). Зафіксувати час  $t=0$ .

5) Записувати час до досягнення  $T$  на поверхні радіатора або потрібного  $\Delta T$  в кімнаті. Також зберегти весь температурний профіль.

6) Після завершення прогона дати системі охолонути до початкового стану (чи промити) або виконати наступний прогін згідно плану.

7) Фіксувати додаткові умови: зовнішня температура (A), стан обладнання,

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					61

якість води, напруга мережі.

Модель (лінійна, з кодованими X) виначається як:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^5 \beta_i X_i + \sum_{i<j} \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i<j<k} \beta_{ijk} X_i X_j X_k + \varepsilon, \quad (3.3)$$

Для 5 факторів повний поліном включає 5 головних ефектів, 10 ефектів 2-го порядку, 10 ефектів 3-го порядку, 5 чотирьох- і 1 п'ятий- порядку. На практиці обмежимося головними + 2-го порядку; важливі виявлені взаємодії включити в модель.

Обчислення основних ефектів (на кодованих X). Ефект фактору (i) — це половина різниці середніх відповідей при ( $X_i=+1$ ) і ( $X_i=-1$ ):

$$\beta_i = \frac{1}{2^{k-1}} \sum_i y X_i \quad (3.4)$$

Таблиця 3.2 – Кодування значень

Фактор	-1 (low)	+1 (high)
F (м³/год)	0.10	0.40
R (м²)	1.20	4.00
A (°C)	-10	+5
I	без ізоляції	ізоляція 13 мм
C (µS/cm)	150	500

$r = 3$  дають можливість оцінити випадкову похибку та провести точне планування.

Час на один пробіг залежить від цільової метрики. Якщо вимірюється час при  $\approx 60$  °C на радіаторі, пробіг може займати 10–60 хв.

Значення було перевірено на однорідність дисперсій похибок за критерієм Кохрена [26]. Коефіцієнти рівняння регресії (3.1) обчислювалися з використанням матричного методу [25], а їх значущість оцінювалася за допомогою довірчих

інтервалів та критерію Стьюдента на 5%-му рівні значущості [26]. Дослідження показали однорідність отриманих результатів. Виконуючи регресійний аналіз і перевіряючи адекватність моделі за критерієм Фішера [25, 27], було сформовано відповідні рівняння регресії. Для отримання натуральних рівнянь у сформованій моделі підставлялися значення кодованого фактора  $X$  згідно з виразом (3.1), що дозволило визначити функціональну залежність часу нагрівання рідини.

### 3.3 Порядок проведення експериментальних досліджень та аналіз одержаних результатів

Експериментальні дослідження температури нагрівання рідини були проведені для певного значення. Дослідження проводились на рівнях та з інтервалами, які представлені в таблиці, згідно з матрицею плану [25]. Данні досліджень зведені до таблиці (додаток Б).

Отримано параметр оптимізації (температура) та рівняння регресії для:

$$t_k = 240 - 42X_1 - 38X_2 + 30X_3 - 26X_4 - 45X_5 + 18X_1X_2 + 14X_1X_3 + \varepsilon, \quad (3.3)$$

де  $\varepsilon$  – шум вимірювань, орієнтовно в межах 1200-3600 с (20-60 хв)

$X_1$  – витрати теплоносія;

$X_2$  – площа радіатора;

$X_3$  – зовнішня температура;

$X_4$  – утеплення;

$X_5$  – електропровідність.

На рис. 3.3-3.7. зображені впливи та залежності температури для входу у радіатор та на виході, що використовувались при експериментальних дослідженнях та аналітичних розрахунках. Провідність, згідно рис.3.3 має найбільший вплив.

На рис.3.4. та 3.5 видно залежності витрат від площі радіатора.

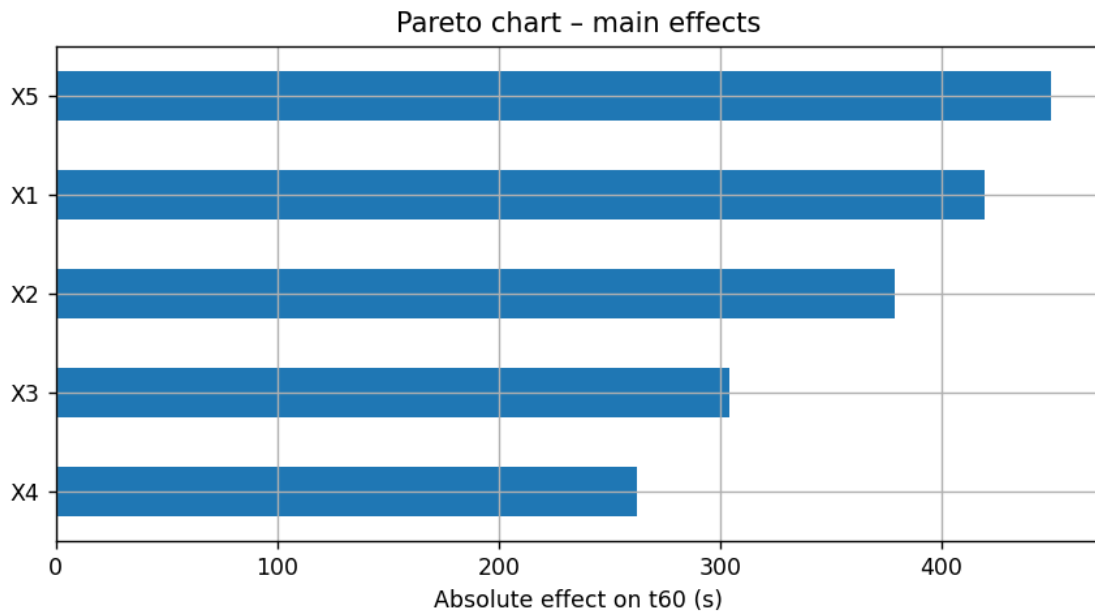


Рисунок 3.3 - Графіки впливу ефектів кожної складової рівняння

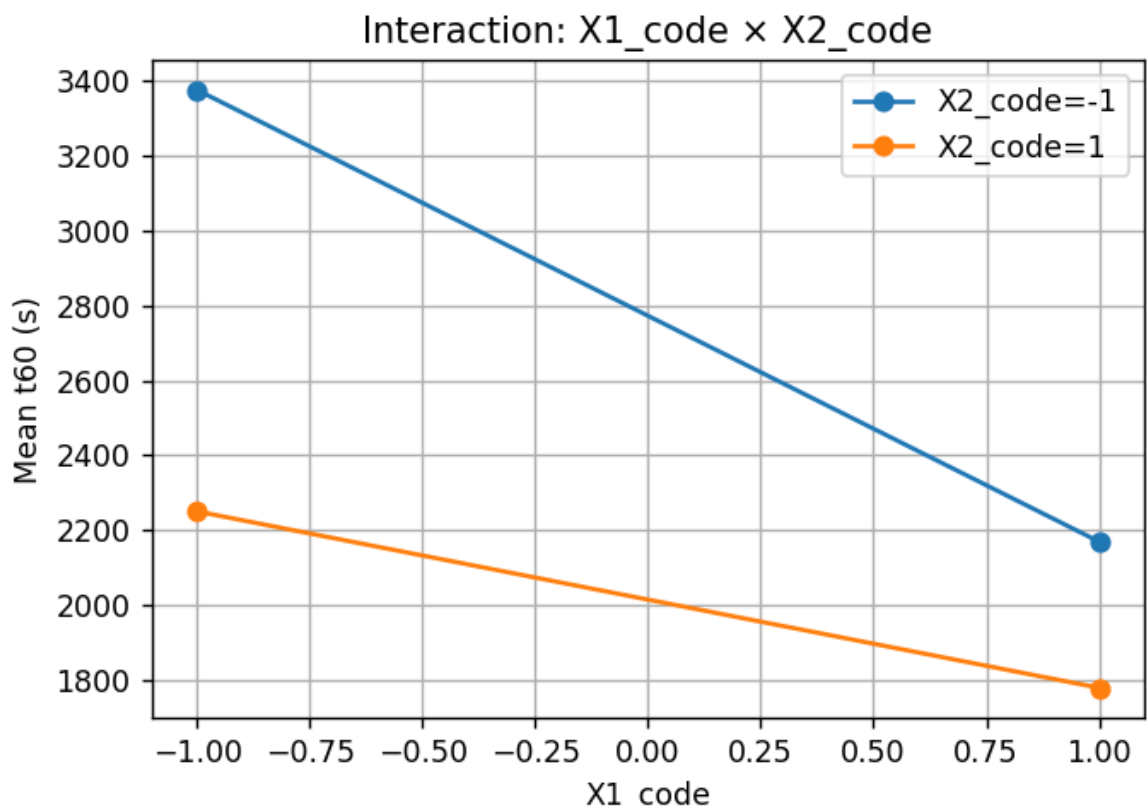


Рисунок 3.4 – Залежність витрат від площі радіатора

При малому радіаторі збільшення витрат не дає ефекту. При великому – ефективність значно зростає, однак при низькій зовнішній температурі можливий оптимальний режим (рис.2.5)

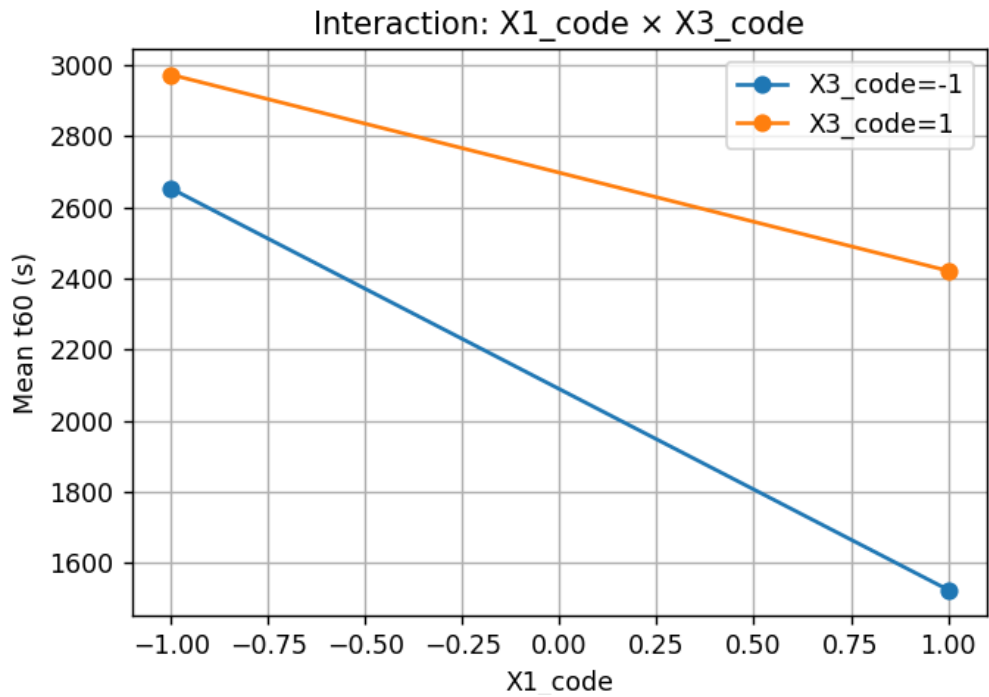


Рисунок 3.5 – Залежність витрат від площі радіатора

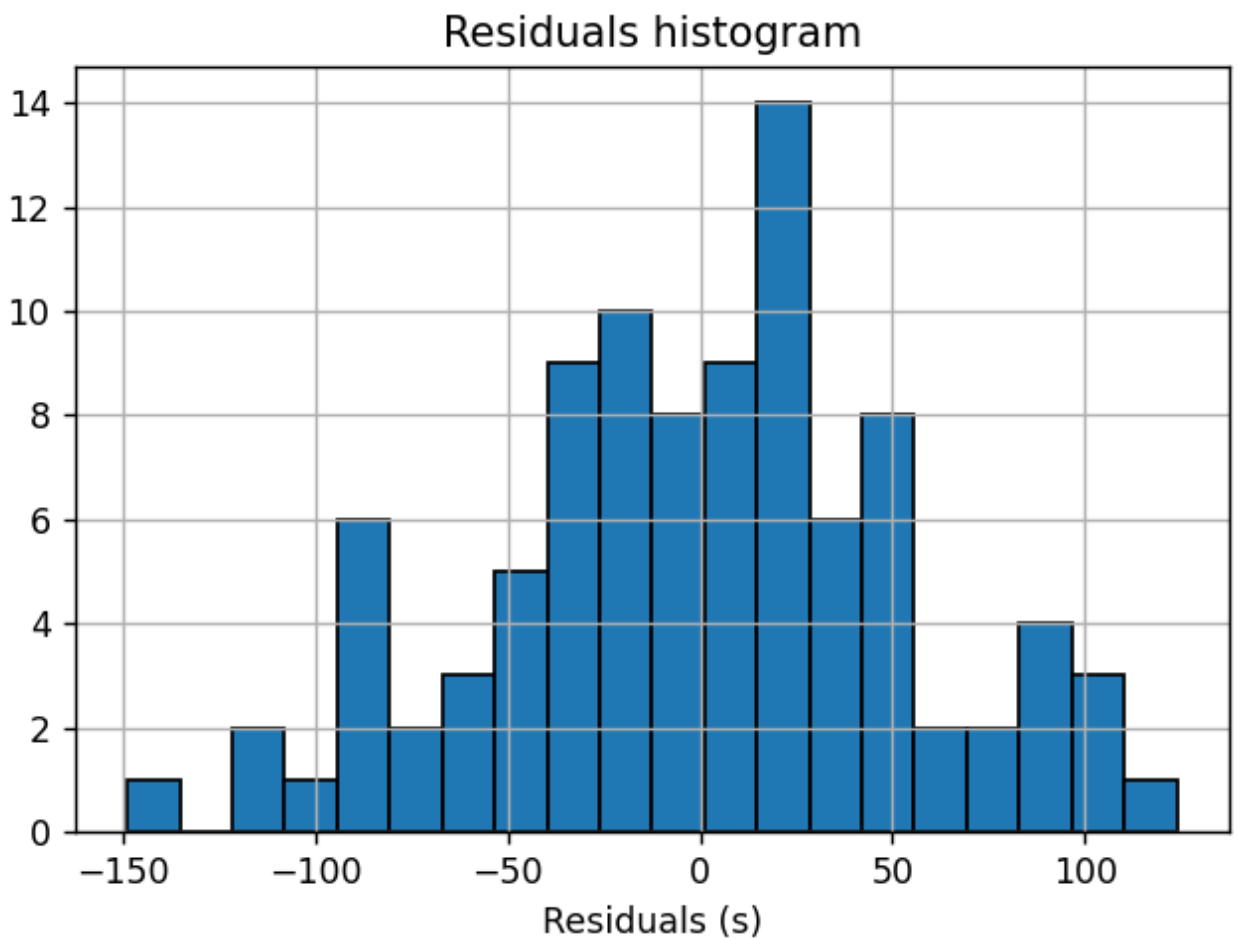


Рисунок 3.6 – Графіки різниці вхідної та вихідної Q

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Таблиця 3.2 - Параметри експерименту

Час, в	Датчики						
	1	2	3	4	5	6	7
0	61	63	62	53	61	62	36
5	61	63	60	51	61	62	86
10	61	63	62	51	61	63	87
15	61	63	62	51	61	63	72
20	61	64	63	51	61	63	75
25	61	64	63	52	61	63	83
30	62	64	63	53	62	64	72
35	62	65	64	56	62	64	74
40	62	65	64	58	63	65	85
45	63	65	65	60	63	65	72
50	63	66	65	62	64	66	78
55	64	66	65	63	64	66	74
60	65	67	66	64	65	66	76
65	65	67	66	64	66	66	76
70	66	68	67	65	66	67	77

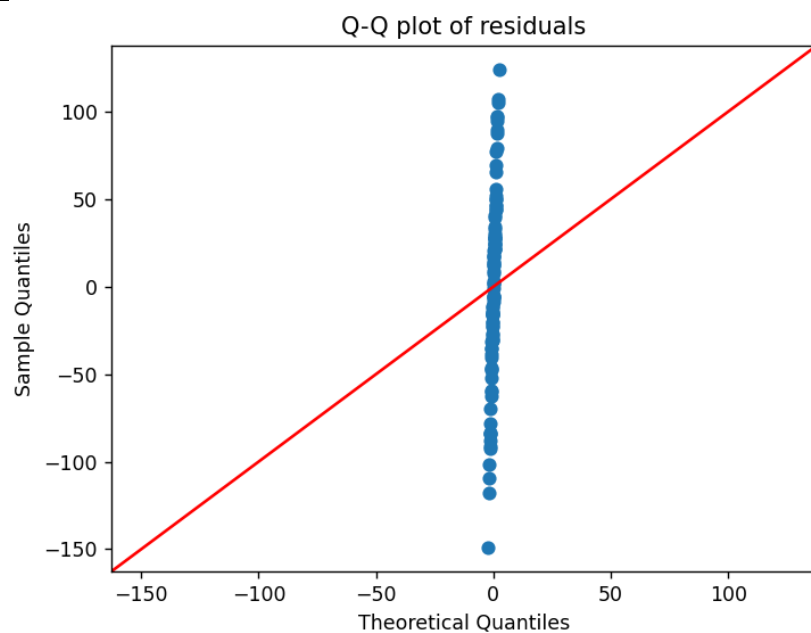


Рисунок 3.7 – Графіки різниці вхідної та вихідної  $Q$

Дисперсійний аналіз показав, що всі п'ять розглянутих факторів суттєво впливають на час нагрівання ( $p < 0,01$ ). Електропровідність та швидкість потоку були визначені як домінуючі параметри, водночас спостерігалися статистично значущі ефекти взаємодії між швидкістю потоку та площею радіатора, а також між швидкістю потоку та температурою навколишнього середовища. Аналіз залишків підтвердив адекватність припущень лінійної моделі.

#### Висновки до третього розділу

З графіків видно, що збільшення об'єму рідини та часу призводить до скорочення тривалості нагрівання, що пояснюється фактичною площею теплообмінника. Таким чином, аналітична модель з достатньою точністю описує процес нагрівання теплоносія в котлі. Це дозволяє застосовувати запропоновану в дослідженні модель для визначення конструктивних і технологічних параметрів електродного котла.

									Арк.
									67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

## ВИСНОВКИ

Питання ефективності системи опалення на основі електродного котла із використанням нічного тарифу заслуговує особливої уваги. Раціональність широкого застосування електричного опалення в Україні визначається наступними факторами: цей вид обігріву є економічнішою альтернативою газовому та центральному опаленню; забезпечує можливість накопичувати тепло вночі завдяки пільговому тарифу; гарантує незалежність від постійного зростання цін на газ; вирізняється простотою та швидкістю встановлення; забезпечує швидкий і рівномірний прогрів приміщення. Водночас відчутний комфорт досягається навіть при нижчій температурі повітря. У межах магістерської роботи було розв'язано актуальне завдання — розроблено систему електроопалення, результати якої можна узагальнити наступним чином:

1) Проведено аналіз існуючих систем опалення приміщень.

2) Досліджені системи теплопостачання з визначенням їхніх переваг і недоліків.

3) Розроблено математичні моделі для забезпечення прискореного нагріву електродного котла та стабільної тепловіддачі. На основі цих моделей створено конструкції електродних нагрівальних елементів із покращеними характеристиками, такими як швидкість нагріву, надійність, довговічність, компактність, а також оптимальне співвідношення теплової й електричної потужності. Зокрема, було розроблено креслення електродного котла потужністю 5 кВт. Сформовано методику розрахунку ключових конструктивних параметрів елементів пристроїв, враховуючи теплову й електричну потужність, швидкість руху теплоносія і передбачуваний термін служби обладнання.

4) Розроблено детальний план проведення експериментальних досліджень.

Отримано залежності розподілу температури в теплообміннику та інших елементах пристрою, що дозволяють оцінити його ефективність і функціональність.

									Арк.	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					68

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		69

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Пат. 513910 Україна, МКИ В65 В47/06. Пристрій для переміщення виробів з однієї технологічної позиції на іншу / І.Ф. Пінчук, Ф.І. Пінчук - № 93270580; Заявл. 15.12.93; Опубл. 26.12.94, Бюл. №5 – 1 с.

2. Пат. 1787903 Україна, МКИ В65 G47/80. Пристрій для подачі УП-1-1600 / А.І. Волчко, А.П. Кривопляс, І.І. Сторожко, А.Н. Гаава і В.Б. Захарович - № 4890740; Заявл.14.02.2002, Опубл. 15.07.2002, Бюл. №7-1 с .

3. Пат. 256711 Україна, МКИ В65 В65/47. Машина ПДН-1-О для кріплення низу взуття (устілок, напівустілок, простилок, супінаторів) одиночними цвяхами при зборці шкільного, жіночого й чоловічого взуття всіх фасонів і розмірів / Ю.І. Лаврінко, О.З. Носков - № 200500771; Заявл. 28.01.2005; Опубл. 15.07.2005, Бюл. №7-2 с.

4. Пат. 15433 Україна, МКИ В65 G47/76. Машина ЗКГ2ПРО для затягування гомілкової частини заготовок взуття із застосуванням пруткового поліамідного термопластичного клею, що має температуру плавлення до 220°C, діаметр прутка 6+1 мм / Б.А. Кузнєцова, М.В. Недра - № 93101324; Заявл. 22.02.93, Опубл. 25.12.98, Бюл. №6-2 с.

5. Пат. 569874 Україна, МКИ В65 В13/26 Машина ЗВЗ-О для глухої цвяхової затяжки заготовки взуття на колодці й прикріплення затяжної кромки до устілки цвяхами / В.М. Задорожня, О.Л. Кушніюк - № 96072823; Заявл. 01.12.94, Опубл. 17.09.2001, Бюл. №8-2 с.

6. Пат. 44369 Україна, МКИ В65 G47/82 Машина ВБЗ-О для прибивання в краях берців взуттєвих заготовок з шкіри, шкірозамінників і текстилю однорядної вставки й розклепування в них металевих відкритих, схованих і фігурних блочок / О.І. Душніюк, А.Н. Столяр - № 2000031528; Заявл. 18.09.98, Опубл. 15.02.2002, Бюл. №2-2 с.

8. Кононенко І.В., Чорний О.М. Паспорт машини ВБ-2 // Довідник по експлуатації та обслуговуванню. – 1984. – С. 38 – 50.

									Арк.
									70
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

Боженко М.Ф. Джерела теплопостачання та споживачі теплоти: Навч. посіб./ М.Ф.Боженко, В.П.Сало, – К.: ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2004. – 192 с.

9. High Voltage Electrode boiler for Steam and Hot water. PARAT IEH. URL: <https://www.parat.no/en/products/industry/parat-ieh-high-voltage-electrodeboiler/>

10. High Voltage Immersed Electrode Hot Water Boiler. ACME Engineering Products. URL: <https://www.acmeprod.com/immersed-electrode-hot-water-boilers>

11. Electrode Boilers. Water Technology Report. URL: <https://watertechnologyreport.wordpress.com/2016/06/06/electrode-boilers/>

12. Про енергозбереження :закон України // Відомості Верховної Ради України. – 1994. – №30. – Ст. 283.

13. Чабан В. Й. Математичне моделювання електромеханічних процесів / В. Й. Чабан. – Львів: Львівська політехніка, 1997. – 342 с.

14. Пат. 112247 Україна, МПК F24H 1/20. Трифазний електродний нагрівач рідини/ Любчик Віталій Романович; Рибалко Олег Петрович; Горященко Сергій Леонідович; Параска Георгій Борисович; Заявник та патентовласник Хмельницький національний університет, Патент опубліковано 12.12.2016, бюл. № 23/2016 – 5 с.

15. Пат.112572 Україна, МПК F24H 1/20. Електродний нагрівач рідини із зворотним зв'язком/Любчик Віталій Романович; Рибалко Олег Петрович; Горященко Сергій Леонідович; Параска Георгій Борисович; Заявник та патентовласник Хмельницький національний університет; Патент опубліковано 26.12.2016, бюл. № 24/2016 -5 с.

16. Пат. 89286 Україна, МПК F24D 11/00, F24D 15/02. Теплоаккумулятор з теплоізолюючою перегородкою/ Г. Б. Параска; С. Л. Горященко; В. Р. Любчик; А. В. Вітюк; заявник і патентовласник Хмельницький національний університет; опубліковано 10.04.2014, Бюл. № 7/2014 – 4 с.

17. Пат. 9148 Україна, F24D 11/00. Система опалення приміщень/ Г. Б. Параска; С. Л. Горященко; В. Р. Любчик; А. В. Вітюк; заявник і патентовласник

									Арк.
									71
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

Хмельницький національний університет; опубліковано 10.07.2014, Бюл. № 13/2014 – 5 с.

18. Пат. 99525, Україна. F24D 15/02, F24D 11/00. Теплоаккумулятор з теплоізолюючою перетинкою/ С. Л. Горященко, Г. Б. Параска, А. В. Вітюк, В. Р. Любчик; заявник і патентовласник Хмельницький національний університет; опубліковано 10.06.2015, Бюл. № 11/2015 – 4 с.

19. Параска Г. Б. Оцінка ефективності використання електричних систем опалення/ Г.Б. Параска, О.А. Миколук. // Энергетика: економіка, технології, екологія, НТУУ КПІ, 2015, № 3, 2015 - С. 5-9.

20. Bequette W. Process control, modeling, design and simulation. – Prentice Hall, 2003. – 287 p

21. Avchukhov V.V. The book of (mathematical)problems on processes heat and mass transfe/ V. V. Avchukhov, B. Ya. Payuste // Moscow, JenergoatomizdatPubl., 1986. - 144 p.

22. Розробка моделі теплоаккумулятора та конструкції системи опалення/ С. Л. Горященко, Є. О. Голінка, С. В. Успенко// ВОТТП-16-2016 Матеріали XVI міжнародної науково-технічної конференції, Одеса, 10 - 15 червня 2016 р. Одеса, 2016, - С.147-149.

23.Горященко С. Л. Моделювання роботи тепло-холодоакumuлюючої системи / С. Л. Горященко, С. В. Успенко // Вісник Хмельницького національного університету, №3, 2017, с.77-79.

24. Horiashchenko S. Investigation of heat exchangers for heat accumulating system./ S. Horiashchenko, S. Uspalenko, E.Golinka // Actual problems of modern science. Monograph: edited by Misial Janusz, Polishchuk Oleh, Sorokatij Ruslan – 2017. p.754-763

25. Основи теорії планування експерименту: Розділ дисципліни «Методика та організація наукових досліджень» [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. освітньої програми «Комп'ютерні системи та мережі» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» / А.М.Волокита, В.Л.Селіванов О. А; КПІ ім. Ігоря

									Арк.
									72
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ				

Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,58 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 41 с.

26. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Планування і обробка результатів експерименту» (для студентів 5 курсу денної форми навчання за спеціальностями 8.06010302 «Раціональне використання і охорона водних ресурсів», 8.06010108 «Водопостачання та водовідведення») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: О. О. Ковальова. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 74 с.

27. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Планування і обробка результатів експерименту» (для студентів 5 курсу денної форми навчання за спеціальностями 8.06010302 «Раціональне використання і охорона водних ресурсів», 8.06010108 «Водопостачання та водовідведення») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: О. О. Ковальова. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 74 с.

28. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Планування і обробка результатів експерименту» (для студентів 5 курсу денної форми навчання за спеціальностями 8.06010302 «Раціональне використання і охорона водних ресурсів», 8.06010108 «Водопостачання та водовідведення») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: О. О. Ковальова. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 74 с.

										Арк.
										73
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 25.00.00.000 ПЗ					

## Розрахунки радіатора

**Введення величин в СИ,      Позначення**

Масова витратна теплоємність  
горячого теплоносія

$$C_1 := 50$$

Масова витратна теплоємність  
холодного теплоносія:

$$C_2 := -150$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$k := 1000$$

Вхідна температура горячого  
теплоносія:

$$t_{1in} := 100$$

Вхідна температура холодного  
теплоносія:

$$t_{2in} := 0$$

Поверхність  
-----  
Розрахунок

$$F_{given} := .14$$

**if (C<sub>2</sub> > 0, "DirectFlow", "CounterFlow") = "CounterFlow"**

Максимально можлива ефективність (при F= ∞) :

$$Efficiency(C_1, C_2, t_{1in}, t_{2in}, k, \infty) = "F is too big, Eff is max=1"$$

**Ефективність (при F<sub>given</sub>) :**

$$Eff := Efficiency(C_1, C_2, t_{1in}, t_{2in}, k, F_{given})$$

$$Eff = 0.891$$

**Вихідні температури горячого и холодного теплоносієв:**

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

$$\left( \underset{\text{www}}{\text{Eff}}, t_{1out}, t_{2out} \right) := t_{out}(C_1, C_2, t_{1in}, t_{2in}, \text{Eff})$$

$$\left( \text{Eff}, t_{1out}, t_{2out} \right) = (0.891, 10.869, 29.71)$$

Тепловий потік, Вт:

$$Q := \min(C_1, |C_2|) \cdot (t_{1in} - t_{2in}) \cdot \text{Eff}$$

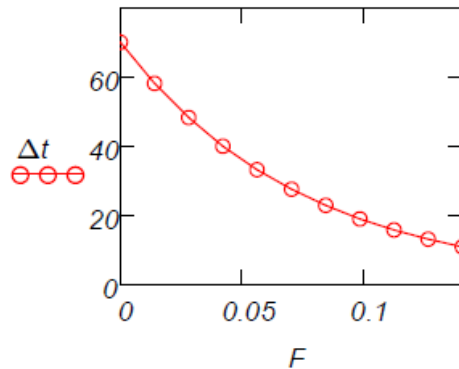
$$Q = 4.457 \times 10^3$$

Розподілення температур і температурного напору, °C:

$$iM := 10$$

0 1 2 3 4 5 6

$$\left( F, t_1, t_2, \Delta t, \underset{\text{www}}{\text{Eff}}, NTU, \text{Crel} \right) := \text{HeatExch}(C_1, C_2, t_{1in}, t_{2in}, k, \text{Eff}, iM)$$



$$F_{2in} := \text{if}(C_2 > 0, 0, F_{iM}) \quad F_{2out} := \text{if}(C_2 > 0, F_{iM}, 0)$$

$$C_1 = 50$$

$$C_2 = -150$$

$$k = 1000$$

$$F_{iM} = 0.14$$

$$\text{if}(C_2 > 0, \text{"DirectFlow"}, \text{"CounterFlow"}) = \text{"CounterFlow"}$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

## Таблиця кодування факторів

1,1,1,-1,0.1, -1,1.2, -1,-10.0, -1,0, -1,150.0

2,1,2, 1,0.4, -1,1.2, -1,-10.0, 1,1, -1,150.0

3,1,3, 1,0.4, 1,4.0, -1,-10.0, -1,0, 1,500.0

4,1,4,-1,0.1, 1,4.0, 1,5.0, -1,0, 1,500.0

5,1,5, 1,0.4, -1,1.2, 1,5.0, 1,1, -1,150.0

6,1,6,-1,0.1, -1,1.2, 1,5.0, 1,1, 1,500.0

7,1,7, 1,0.4, 1,4.0, 1,5.0, -1,0, -1,150.0

8,1,8,-1,0.1, 1,4.0, -1,-10.0, 1,1, -1,150.0

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		76