

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»  
факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації,  
електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

О.Ю. Колларов

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 2021 р.

## Дипломна робота

бакалавра

(освітній ступінь)

на тему Покращення умов теплопостачання промислового об'єкта

Виконав: студент 3 курсу, групи ТЕПп-18

(шифр групи)

напряму підготовки (спеціальності) 144 Теплоенергетика

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Удовиченко Ігор Анатолійович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник д.т.н., проф. Тімошенко С. М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент:

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль:

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Любименко О. М.

Студент

(підпис)

(підпис)

(дата)

(дата)

Покровськ – 2021 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД**  
**«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації,  
 електроінженерії та радіоелектроніки

**Кафедра електричної інженерії**

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: (144) теплоенергетика

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**  
**Завідувач кафедри**

(Колларов О. Ю.)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**  
**Удовиченку Ігорю Анатолійовичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Покращення умов теплопостачання промислового  
об'єкта

керівник роботи Тімошенко С. М., д.т.н, проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи 12 червня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: Витрата пари на технологічні

потреби – 1,35 кг/с, тиск пари у барабані – 1,40 МПа, температура сирогої

води – 12 °С, тиск пари після РОУ – 0,10 МПа, сухість пари у барабані

котла – 0,98, сухість пари на виході з розширювача безперервної продувки

– 0,97, втрати пари у котельній – 6,5%, втрати води з безперервною

продувкою – 5,7%, втрати води у тепловій мережі – 4,0%, температура

продуктів горіння перед економайзером – 315 °С, температура продуктів

горіння за економайзером – 150 °С, витрата тепла на підігрів мереживої

води – 15,0 МВт, температура води на виході з мережевих підігрівачів –

95°С, температура у зворотній лінії тепломережі – 42 °С.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які  
 потрібно розробити) 1. Оглянути загальні принципи застосування теплової  
 енергії у теплообмінних апаратах.

2. Здійснити аналіз існуючого положення системи подачі теплоносія.

3. Модернізувати існуючу гідравлічну схему калориферної установки.

4. Провести моделювання роботи теплової системи.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, якщо передбачається)

Одинадцять слайдів презентаційного матеріалу

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|               |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці | Колларов О. Ю.                            |                |                  |
| Розділи 1, 2  | Колларов О. Ю.                            |                |                  |
|               |                                           |                |                  |
|               |                                           |                |                  |
| Нормоконтроль | Любименко О.М.                            |                |                  |

7. Дата видачі завдання 30 квітня 2021 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного роботи                                                     | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1.    | Оглянути загальні принципи застосування теплової енергії у теплообмінних апаратах. | 01.05.2021 – 05.05.2021       |          |
| 2.    | Визначити методи дослідження теплообмінних апаратів.                               | 06.05.2021 – 11.05.2021       |          |
| 3.    | Здійснити аналіз існуючого положення системи подачі теплоносія.                    | 12.05.2021 – 18.05.2021       |          |
| 4.    | Модернізувати існуючу гідравлічну схему калориферної установки.                    | 19.05.2021 – 24.05.2021       |          |
| 5.    | Здійснити розрахунок теплової схеми котельної.                                     | 25.05.2021 – 30.05.2021       |          |
| 6.    | Провести моделювання роботи теплової системи.                                      | 31.05.2021 – 05.06.2021       |          |
| 7.    | Огляд питань охорони праці. Оформлення.                                            | 06.06.2021 – 12.06.2021       |          |

Студент

Удовиченко І.А.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Тімошенко С. М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Удовиченко І.А. Покращення умов теплопостачання промислового об'єкта / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 144 Теплоенергетика – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Дипломна робота складається зі вступу, основної частини, яка включає три розділи, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У першому розділі наведено загальні принципи застосування теплової енергії у теплообмінних апаратах та методи дослідження теплообмінних апаратів.

У другому розділі здійснено удосконалення системи подачі теплоносія від котельної установки до споживачів шляхом аналізу існуючого положення і модернізацією існуючої гідравлічної схеми калориферної установки.

У третьому розділі виконано розрахунок теплової схеми котельної.

У четвертому розділі виконано моделювання роботи досліджуваної системи шляхом моделювання роботи відцентрового насоса у складі гідравлічної системи тепломережі та моделювання роботи калорифера у програмному середовищі SolidWorks.

Ключові слова: тепла енергія, теплообмінний апарат, теплоносіє, гідравлічна схема, калориферна установка, потік, моделювання

## ЗМІСТ

|                                                                                          | стор. |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ВСТУП                                                                                    | 6     |
| 1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ<br>У ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТАХ            | 8     |
| 1.1 Загальні відомості про використання теплової енергії у<br>промисловості              | 8     |
| 1.2 Методи дослідження теплообмінних апаратів                                            | 11    |
| 2 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ТЕПЛОНОСІЯ ВІД<br>КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДО СПОЖИВАЧІВ       | 15    |
| 2.1 Аналіз існуючого положення                                                           | 15    |
| 2.2 Модернізація існуючої гідравлічної схеми калориферної<br>установки                   | 17    |
| 3 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ                                                    | 23    |
| 4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ СИСТЕМИ                                               | 38    |
| 4.1 Моделювання роботи відцентрового насоса у складі<br>гідравлічної системи тепломережі | 38    |
| 4.2 Моделювання роботи калорифера у програмному<br>середовищі SolidWorks                 | 43    |
| ВИСНОВКИ                                                                                 | 47    |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ                                                           | 49    |
| ДОДАТОК А. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА                                                              | 52    |
| ДОДАТОК Б. ОГЛЯД ПИТАНЬ З ОХОРОНИ ПРАЦІ<br>ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ                            | 58    |
| ДОДАТОК В. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА ДО<br>ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ                      | 70    |

## ВСТУП

Енергоємні виробництва є досить значними споживачами енергії. Серед усіх витрат енергії частка загальних виробничих витрат складає до 20%, що вимагає покращення енергоефективності їх роботи.

Зазначену задачу можна реалізувати за рахунок використання надлишкової теплової енергії, що викидається у зовнішнє природне середовище (наприклад, з димовими газами при роботі теплоенергетичних установок). Використання цих надлишків тепла та їх інтеграція у теплові мережі тепlopостачання є економічно вигідним та корисним для навколишнього середовища. Високий температурний потенціал димових газів та їх висока концентрація дозволяє використати надлишкове тепло у технологічних процесах промислових підприємств і є дуже привабливим джерелом для опалення.

Для цього необхідно проаналізувати потенціал надлишкового тепла від роботи енергоємного виробництва та оцінити придатність до використання у теплових мережах.

Створення визначених параметрів мікроклімату у промислових приміщеннях за рахунок утилізації теплових втрат є актуальною задачею з огляду на економію енергоресурсів.

Тенденція збільшення ціни на енергоресурси стимулює керівні органи підприємств до впровадження енергозберігаючих заходів та використання вторинних енергоресурсів. Для чого необхідним є постійну удосконалення методів розрахунку теплових процесів та пошуку ефективних методів і способів енергозбереження у системах забезпечення відповідних мікрокліматичних умов у виробничих приміщеннях.

Мета роботи – удосконалити технологічну схему тепlopостачання та поліпшити мікрокліматичні умови у технологічних приміщеннях.

Завдання роботи:

- визначити загальні принципи застосування теплової енергії у теплообмінних апаратах,
- здійснити аналіз існуючого положення системи подачі теплоносія,
- модернізувати існуючу гідравлічну схему калориферної установки,
- здійснити розрахунок теплової схеми котельної,
- провести моделювання роботи теплової системи.

При проведенні досліджень були застосовані загальнонаукові методи досліджень, а саме загальні методи і методи теоретичного дослідження. При комп'ютерному моделюванні було застосовано метод ідеалізація об'єктів, який також містив у собі момент абстрагування, що дозволив спростити розгляд і дослідження теплового об'єкта.

# 1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ У ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТАХ

## 1.1 Загальні відомості про використання теплової енергії у промисловості

Традиційною вважається виробка теплової енергії шляхом спалювання вуглецевмісного палива. У різних галузях промисловості відбувається перетворення накопиченої енергії у енергетичні процеси шляхом здійснення фізичних та хімічних процесів. У цих процесах тепла енергія здійснює вплив для нагрівання твердих речовин та рідин, їх плавлення та випаровування, нагрівання реагентів та іншого. З використанням тепла протікає більшість екзотермічних реакцій, включаючи синтез органічних речовин, при цьому тепло повинно відводитися для управління ефективністю реакції [1].

Теплова енергія відрізняється від електричної енергії через те, що її транспортування на значні відстані економічно не вигідно, оскільки супроводжується значними втратами тепла або вимагає високоякісної теплоізоляції засобів транспортування. Транспортування газів, що мають високу температуру, вимагає використання корозійностійких сплавів або футеровки повітропроводів. Проміжне обладнання – насоси, компресори, регулююча апаратура, клапанні пристрої повинні бути обрані у відповідності від транспортуемого теплоносія. Додатковою вимогою є необхідність витримки значних тисків та напруг з розширення під час транспорту рідин і газів [1].

Проектування систем теплопостачання та теплопередачі повинні бути здійснені з наступних міркувань [2]:

- температурний режим роботи,
- вимоги споживачів у величині теплової потужності,
- режим теплопостачання,



- необхідність або наявність тепло- і масообміну,
- режим руху рідини (ламінальний, турбулентний, перехідний),
- наявність зважених часток,
- величина кінематичної в'язкості,
- режим здійснення теплопередачі (теплообмін, конвекція або випромінювання),
- відстань від джерела до споживача тепла,
- тип та властивості теплоносія,
- кількість теплових втрат,
- тип та конструкція теплообмінних апаратів,
- можливий корозійний вплив та ерозія матеріалів обладнання,
- можливості керування параметрами потоку.

Основною метою є розрахунок параметрів теплової енергії у технологічному процесі та оцінити їх потенціал для використання у системах тепlopостачання.

Зазначений аналіз містить наступні основні етапи:

- розраховуються параметри теплової енергії і їх потенціал для конкретного технологічного процесу на основі температур вихідних речовин,
- визначення технічної можливості використання теплового потенціалу,
- безпосереднє використання теплового потенціалу при визначеному узгодженні з вимогами тепlopостачання.

Тепловий потенціал може бути використаний у системах централізованого опалення таким чином, щоб задовольнити потреби систем опалення.

Теплові потоки розподіляються за їх температурою [3]:

- потоки з температурою до 25 °C може бути використаний у якості джерела для роботи теплових насосів,

- потоки з температурою від 25 °С до 50 °С можуть бути використані безпосередньо у централізованих низькотемпературних теплових мережах.

- потоки з температурою від 50 °С до 95 °С можуть безпосередньо використовуватися у централізованих системах теплопостачання.

Деякі надлишкові потоки теплової енергії перевищують втрати тепла з вихідними газами:

- потоки тепла з твердими частками (зола, кокс, клінкер та інші),
- потоки тепла з рідинами (стічні води, води для охолодження та інші),
- потоки тепла з випромінюванням (радіаційне випромінювання, випромінювання з поверхонь обладнання та інші).

За результатами досліджень можна сказати, що надлишкові теплові потоки виробництв можуть покрити до 60% потреб у централізованому теплопостачанні і є економічно вигідними [4].

Якщо ж використати усе надлишкове тепло, то можна «покрити» до 90% потреб у опаленні. Найбільш перспективними є низькотемпературні джерела, які можуть бути використані у низькотемпературних системах опалення з використанням спеціальних теплових агрегатів [4].

Зазначене визначає значний потенціал невикористаних потоків тепла у енергоємних виробництвах для систем централізованого опалення.

На додаток до високопотужних енергоємних виробництв з їх значними тепловими викидами, можна розглядати менш потужні промислові об'єкти, низькотемпературні технологічні виробництва та установи, рідкі та тверді відходи. Урахування цих додаткових джерел теплової енергії збільшує наявний тепловий потенціал, особливо при отриманні нижчих значень температур [4].

Надлишкові теплові потоки у більшості випадків мають точковий характер та забезпечує теплові потенціали з високими значеннями температури. Для використання цих теплових потоків необхідно кожного разу визначати питомі витрати по їх виокремленню. Проте, не варто

відкидати і джерела з меншим тепловим потенціалом, які можуть бути економічно вигідними для використання з розвитком технологій.

Важливим аспектом можливості використання теплових потоків є знання просторового їх розташування і узгодження з місцями потенційних споживачів – тобто співставлення потужності джерела і необхідної потужності попиту на споживачах з урахуванням відстаней між цими структурами [4].

На допомогу можуть прийти засоби моделювання, які дозволяють визначити альтернативні шляхи збирання та передачі теплової енергії з урахуванням оптимізації витрат на здійснення цього процесу.

## 1.2 Методи дослідження теплообмінних апаратів

Призначення теплообмінних апаратів полягає у обмін тепловою енергією. Більшість технологічних процесів вимагає або нагрівання або охолодження визначених потоків для отримання бажаної температури у визначеному технологічному процесі.

Будь-який теплообмінний апарат містить рідину, що виконує роль теплоносія, тепловий стан якої потрібно змінити, і рідину, що може здійснити даний процес. Одну рідину направляють по трубопроводу з внутрішньої сторони, а іншу – по зовнішній стороні, при цьому обидва середовища не змішуються і не відбувається масообмін. Дана технологія дозволяє з високою швидкістю здійснювати обмін значними об'ємами теплової енергії та відносно легко підтримувати постійність цього процесу [5].

Існує три основних способи теплопередачі – теплопровідність, конвекція і випромінювання. Калорифери являють собою теплообмінні апарати працюють на принципах теплопровідності та конвективного

теплообміну. Для максимізації тепловіддачі у таких теплообмінниках товщина стінок трубопроводів повинна бути мінімальною з конструктивних вимог товщини [6].

Розрізняють дві форми конвекції – природна і примусова. Природна конвекція виникає внаслідок різниці щільності потоків – рідини з більш високим температурним потенціалом можуть витіснити холодну рідину. Примусова конвекція виникає під дією зовнішнього джерела енергії (насосів, вентиляторів та інші). Турбулентні потоки, що виникають при цьому, ефективно змішуються, що дозволяє більш ефективно передавати тепло [6].

Призначення калориферів – нагрівання потоку повітря за допомогою гарячого потоку теплоносія (води). Повітря протікає по зовнішній поверхні труб, а гріюче середовище – по внутрішній поверхні труби. Теплопередача відбувається з боку більш нагрітого середовища у бік більш холодного середовища. При цьому теплоносії охолоджується, а повітря нагрівається [7].

Однією з основних задач розрахунку теплообмінних апаратів є визначення загального коефіцієнта тепловіддачі, що іноді є досить складною задачею. Даний коефіцієнт враховує теплопровідні та конвективні опори при теплопередачі між рідинами, розділеними стінкою труби. Необхідним також є врахування термічного опору, значення якого визначається нашаруваннями на стінках трубопроводів (іржа, накип, солі, бруд та інше).

Наступною величиною, що дозволяє досліджувати процеси у теплообмінних апаратах, є швидкість теплообміну між гріючим середовищем, та середовищем, що гріється. Для спрощення досліджень теплообмінних апаратів приймають деякі припущення: адіабатність процесу передачі тепла між системою та зовнішнім середовищем, незначна зміна швидкості рідини при теплообміні, постійність теплового потоку, у рідинах не відбувається фазових змін.

Корпус теплообмінних апаратів складається з пучка трубок, які проходять через оребрену поверхню, з'єднувальних елементів та додаткових елементів. При роботі теплоенергетичних установок необхідним є визначення енергетичного балансу між необхідним значенням теплової енергії та витраченої для цього процесу енергії (електричної, хімічної, теплової та іншої). Для цього необхідно здійснити дослідження кількості та розташування труб і ребер [7].

Результати теоретичних досліджень визначили, що у енергетичному відношенні вигідніше використання примусової конвекції – при цьому досягаються значно вищі рівні тепловіддачі.

При русі теплоносія необхідно враховувати внутрішнє тертя та кінематичні процеси, що залежать від властивості застосованої рідини та існування тангенціальних напружень. Причиною цих явищ є наявність градієнту швидкості, який призводить до виникнення внутрішнього тертя між молекулами та виникнення теплового руху, завдяки чому змінюється кінетична енергія частинок, якою вони здатні обмінюватися. Процеси тертя рідини об стінки залежить від режиму руху – ламінарний або турбулентний. При ламінарному русі у паралельному пучку труб змішування рідин не відбувається і спостерігається пропорційність тангенціальної напруги по відношенню до динамічної в'язкості та градієнту швидкості. Додатковими параметрами для дослідження є стисливість, внутрішнє тертя та в'язкість рідини (кінематична та динамічна) [7].

В'язкість рідини залежить від значення тиску – у більшості випадків в'язкість збільшується зі збільшенням тиску. Крім того, зміна в'язкості теплоносія залежить від його температури.

Для ретельного дослідження теплообмінних апаратів створюють їх чисельну модель, що дозволяють визначати втрати тиску при їх роботі шляхом врахування різноманітних фізичних явищ у динаміці їх протікання. Програмне забезпечення, які при цьому використовуються,

повинно містити інструменти, що дозволяють вирішувати широке коло прикладних завдань.

Найбільш розповсюдженими теоретичними залежностями, що досить добре описують рух потоку у замкненому просторі є рівняння Нав'є-Стокса – вони являють собою диференціальні рівняння у приватних похідних. Чисельні моделі дозволяють змодельовати поведінку теплоносія, що протікає у трубах, та поведінку повітря, що нагрівається цим теплоносієм. На результати моделювання впливають початкові та граничні умови, що відображають складну геометрію теплообмінних апаратів [8].

Для здійснення моделювання необхідним є складання 3D-моделі за допомогою САПР-програм за реальними геометричними розмірами теплотехнічного апарату. Також відповідним чином на створений об'єкт наносять сітку кінцевих елементів [9].

## 2 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ТЕПЛОНОСІЯ ВІД КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДО СПОЖИВАЧІВ

### 2.1 Аналіз існуючого положення

Для досягнення нормалізованих кліматичних умов у технологічних приміщеннях у промисловості використовують калориферні установки, що можуть споживати значну кількість теплової енергії потужністю до 15 МВт.

При незадовільній роботі калориферних установок можна спостерігати конденсацію парів та погіршення мікрокліматичних умов для працівників.

Найбільшого поширення для здійснення зазначеного отримали безвентиляторні калориферні установки, принцип дії яких засновано на нагріванні холодного атмосферного повітря. До калориферних установок висуваються певні вимоги, які можна визначити у такий спосіб [10]:

- установка повинна мати не менше двох секцій, що можуть працювати окремо,
- водяний теплоносії у зазначених установках повинен рухатися з визначеною швидкістю (0,3 – 0,5 м/с) по багатоходовим каналам, щоб унеможливити його замерзання,
- потік повітря, що проходить крізь установку, також повинен рухатися зі швидкістю, що забезпечує безумовне його нагрівання (2 – 5 м/с),
- необхідно передбачити можливість резервування подачі тепла (реалізується прокладкою додаткового подавального трубопроводу).

Теплоносії, у якості якого виступає вода, надходить від опалювальної котельної.

Для підігріву атмосферного повітря, що надходить у технологічні приміщення використовується комбінована схема – повітря послідовно

проходить два ряди повітронагрівачів. Додатковий потік проходить через один ряд повітронагрівачів і змішується з уже нагрітим повітрям, що створює значні аеродинамічні опори руху повітря та ускладнює процеси управління потоками [10].

Теплоносій рухається по двом напрямкам – горизонтальному і вертикальному. У горизонтальному напрямку розведення теплоносія відбувається за тупиковою схемою, тому тепла енергія розподіляється по повітронагрівачам нерівномірно – на вході матимемо більш нагріті елементи, а на виході – недогріті, що може привести до замерзання теплоносія та аварійного стану системи. Таке положення склалося внаслідок того, що не існує нормативних документів, які регламентують принципи облаштування калориферних установок з точки зору напрямку і розведення теплоносія, окрім вимог по обов'язковому застосуванню пуско-регулюючої арматури з метою регулювання витрати теплоносія. Остання вимога дає змогу забезпечити однаковість витрати теплоносія через усі повітронагрівачі. Ця вимога може викликати протиріччя – на відміну від витрати, для зазначеної мети кращим буде застосування регулювання температури теплоносія.

Виходячи з вищевикладеного, можна визначити наступні недоліки існуючої схеми:

- калориферна установка не забезпечує резервування роботи повітронагрівальної системи,
- для нагрівання повітря застосовано досить складну схему руху повітря, що викликає значні гідравлічні втрати та нерівномірність нагрівання окремих елементів,
- існуюча гідравлічна схема не відповідає вимогам по розташуванню водяних повітронагрівачів,
- тупикова схема розведення теплоносія не дозволяє рівномірно розподілити його по споживачам,



- при існуючому розташуванні трубопроводів існує вірогідність накопичення повітря,
- розрахункова швидкість теплоносія знаходиться на низькому рівні (0,2 м/с), що не відповідає вимогам нормативів і може призвести до замерзання теплоносія,
- відсутнє резервування подачі теплоносія.

З метою підвищення надійності роботи калориферної установки необхідно здійснити наступне:

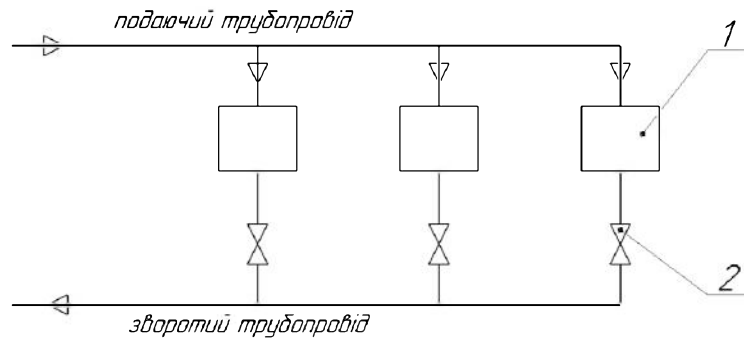
- модернізувати існуючу гідравлічну схему калориферної установки,
- розрахувати параметри трубопровідної системи розведення теплоносія,
- виконати резервування подачі теплоносія.

## 2.2 Модернізація існуючої гідравлічної схеми калориферної установки

При застосуванні тупикової схеми розводки теплоносія витрата по споживачам на горизонтальних ділянках буде мати змінний характер – на вхідних ділянках витрата буде більшою за ділянку кінцеву (тупикову) (рис. 2.1).

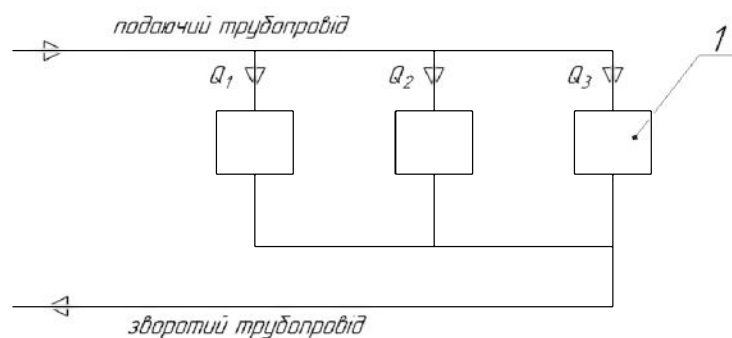
Для забезпечення постійності витрат на кожному споживачі необхідним є установка регулюючих елементів, що вимагає знань про витрату теплоносія.

У даній роботі пропоную на замість тупикової схеми розводки використати попутну схему, властивістю якої є рух теплоносія у підвідному і відвідному трубопроводах в одному напрямку (рис. 2.2).



1 – повітронагрівач, 2 – регулюючий вентиль

Рисунок 2.1 – Схема тупикової розводки ( $Q_3 < Q_2 < Q_1$ )

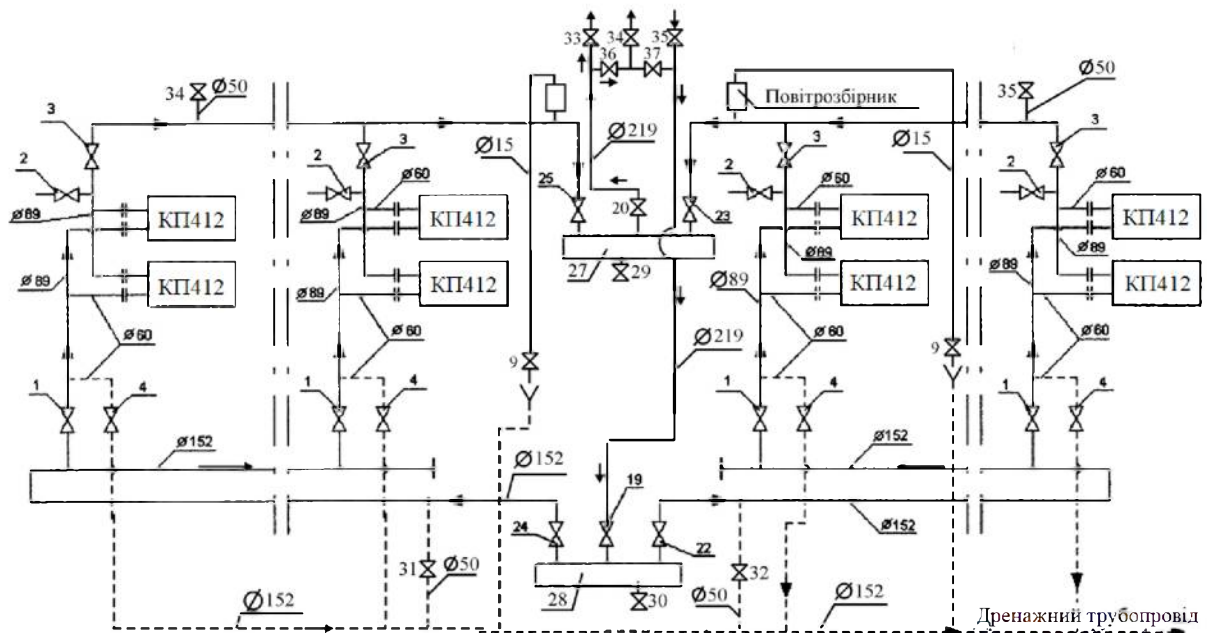


1 – повітронагрівач

Рисунок 2.2 – Схема попутної розводки ( $Q_3 = Q_2 = Q_1$ )

Для даної схеми матимемо рівність витрат теплоносія за умови однаковості гідравлічних опорів окремих частин системи, що дозволяє вилучити зі схеми регулюючі елементи та саму процедуру регулювання даної гідравлічної системи.

На основі вищевикладеного складемо гідравлічну схему (рис. 2.3), що складається з двох груп повітронагрівачів (лівої і правої), кожна з яких налічує шістнадцять повітронагрівачів серії КП412-Ск-01У3. Повітронагрівачі встановлюються паралельно по відношенню до руху потоку теплоносія та потоку повітря. При цьому підведення водяного теплоносія до повітронагрівачів здійснюється за нижнім підведенням, а рух теплоносія і повітря відбувається попутно знизу-вверх, що сприяє видаленню із гідравлічної системи повітря. Випуск повітря здійснюється періодично за допомогою відповідної арматури [11].



1 – засувки на подаючому трубопроводі, 2, 9 – вентилі для випуску повітря, 3 – засувки на зворотному трубопроводі, 4 – дренажні засувки на подаючому трубопроводі, 5 – 32 – допоміжні вентилі

Рисунок 2.3 – Модернізована гідравлічна схема калориферної установки

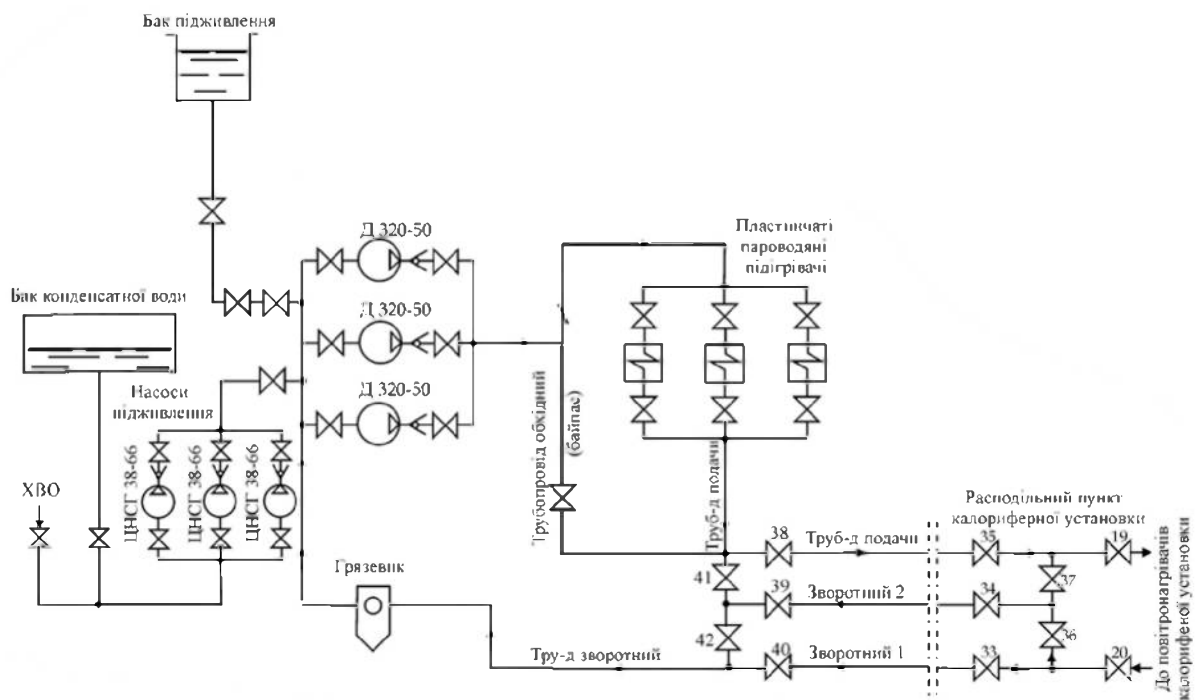


Рисунок 2.4 – Схема теплопостачання калориферної установки

Для кожної групи повітронагрівачів облаштовують напірні та зворотні трубопроводи.

Для підвищення надійності роботи системи впроваджуємо три трубопроводи – вихід з ладу одного з них за рахунок перемикаючих пристроїв дозволяє тим не менше забезпечити нормальну роботу калориферної установки.

У табл. 2.1 наведено вихідні дані для розрахунку параметрів трубопровідної системи.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку параметрів трубопровідної системи

| Параметр                          | Позначення   | Од. вим.            | Значення |
|-----------------------------------|--------------|---------------------|----------|
| Довжина трубопровідної системи    | $L$          | м                   | 2200     |
| Внутрішній діаметр трубопроводу   | $d$          | м                   | 0,311    |
| Сума місцевих опорів трубопроводу | $\sum \zeta$ | м                   | 25       |
| Витрата теплоносія                | $Q$          | м <sup>3</sup> /год | 360      |
| Втрати напору                     | $\Delta H$   | м                   | 7        |

Напір насосів визначимо за значеннями втрат та напору в системі за рівнянням, м [12]:

$$H = \Delta H + \left( \lambda \frac{2 \cdot L}{d} + \sum \zeta \right) \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot d^5} \quad (2.1)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт шорсткості сталевих труб, який розрахуємо за залежністю [12]:

$$\lambda = \frac{0,021}{d^{0,3}} = \frac{0,021}{0,311^{0,3}} = 0,03 \quad (2.2)$$

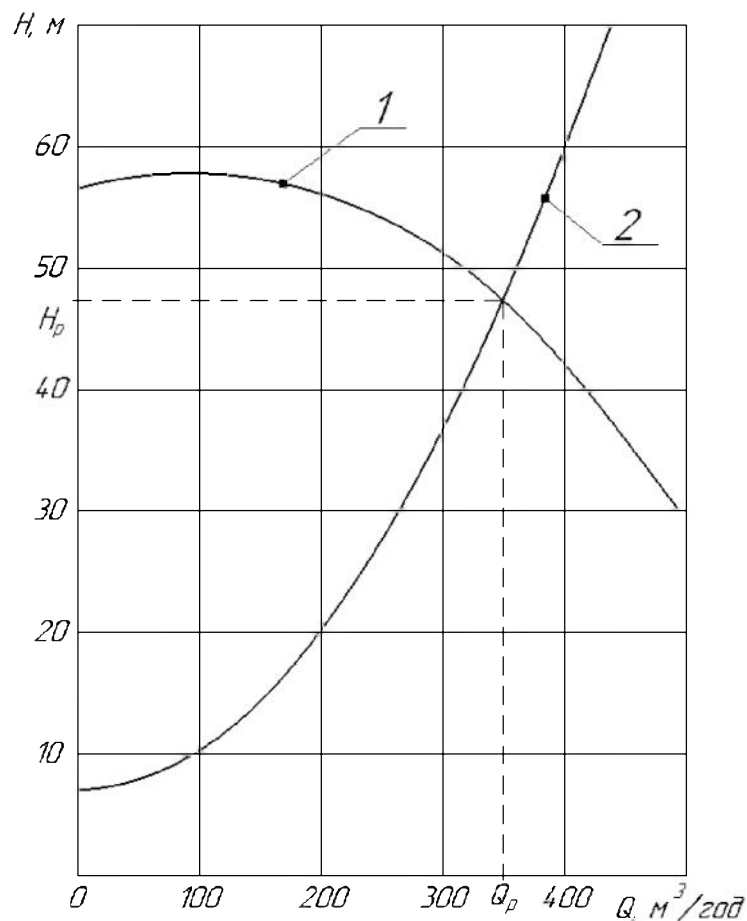
$$H = 7 + \left( 0,03 \cdot \frac{2 \cdot 2300}{0,311} + 25 \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{9,81 \cdot 3,14^2 \cdot 0,311^4 \cdot 3600^2} = 7 + 3,2 \cdot 10^{-4} Q^2 \quad (2.3)$$

На основі рівняння (2.3) для ряду значень подавань розрахуємо ряд значень напору, розраховані значення заносимо до табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – До розрахунку напірної характеристики мережі

|           |   |      |      |      |      |
|-----------|---|------|------|------|------|
| Q, м³/год | 0 | 100  | 200  | 300  | 400  |
| H, м      | 7 | 10,3 | 20,2 | 36,7 | 59,8 |

За розрахованими напорами приймаємо насос 6НДВ, для визначення значень робочого режиму якого скористаємося графоаналітичним методом (рис. 2.5) [13].



1 – напірна характеристика насоса, 2 – напірна характеристика мережі

Рисунок 2.5 – Визначення робочого режиму насоса

Параметри робочого режиму 6НДВ визначається наступними параметрами: подача – 350 м<sup>3</sup>/год, напір – 47,5 м.

Досвід експлуатації теплових гідравлічних систем показав, що при виході з ладу одного з трубопроводів теплової мережі, система продовжує функціонувати навіть під час проведення ремонтних робіт та робіт з обслуговування трубопроводів. Це рішення підвищить надійність роботи трубопроводних теплових мереж, крім того, при застосуванні резервного трубопроводу необхідним є застосування на кожному трубопроводі запірної арматури, яка дозволить здійснити їх перемикання (рис. 2.6). Закриття/відкриття запірної арматури повинно відбуватися погоджено та у один часовий інтервал по обидва боки трубопроводів.

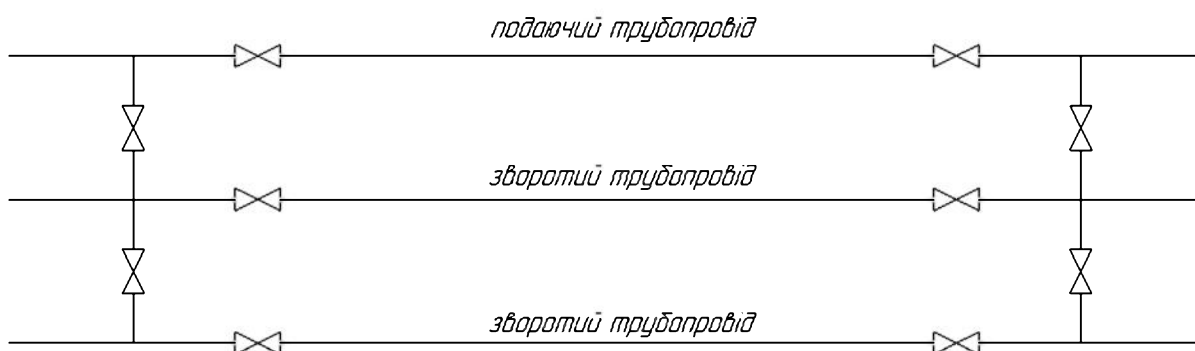


Рисунок 2.6 – Схема комутації подаючих та зворотних трубопроводів

Для уникнення аварійних умов роботи необхідно постійне функціонування усіх трьох трубопроводів. По зворотним трубопроводам рухається теплоносіє, температура якого нижча за температуру, у трубопроводі подаючому, тому приймаємо відношення кількості перших до других у розмірі 2:1.

### 3 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ

Для розрахунку теплової схеми котельної визначимо явно та неявно задані дані, які зводимо до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Похідні дані для розрахунку теплової схеми котельної

| Параметр                                                   | Позначення          | Од.вим. | Значення |
|------------------------------------------------------------|---------------------|---------|----------|
| Витрата пари на технологічні потреби                       | $W_{tex}$           | кг/с    | 1,35     |
| Тиск пари у барабані котла                                 | $p_1$               | МПа     | 1,40     |
| Температура сирі води                                      | $t_{cv}$            | °C      | 12       |
| Тиск пари після редуційно-охолоджуваної установки          | $p_2$               | МПа     | 0,10     |
| Сухість пари у барабані котла                              | $x_6$               | —       | 0,98     |
| Сухість пари на виході з розширювача безперервної продувки | $x_{vux}$           | —       | 0,97     |
| Втрати пари у котельній                                    | $w_{vmp}$           | %       | 6,5      |
| Втрати води з безперервною продувкою                       | $w_{np}$            | %       | 5,7      |
| Втрати води у тепловій мережі                              | $w_{mm}$            | %       | 4,0      |
| Температура продуктів горіння перед економайзером          | $t_{гор1}$          | °C      | 315      |
| Температура продуктів горіння за економайзером             | $t_{гор2}$          | °C      | 150      |
| Величина присосу повітря у газоході економайзера           | $\Delta\alpha_{ек}$ | —       | 0,1      |

продовження табл. 3.1

|                                                                  |                  |                         |       |
|------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------|-------|
| Коефіцієнт надлишку повітря перед економайзером                  | $\alpha_{ек}$    | —                       | 1,50  |
| Коефіцієнт теплопередачі у економайзері                          | $k_{ек}$         | кВт/(м <sup>2</sup> ·К) | 0,018 |
| Витрата тепла на підігрів мереживої води                         | $Q_{мер.в.}$     | МВт                     | 15,0  |
| Температура води на виході з мережевих підігрівачів              | $t_{вих.}$       | °С                      | 95    |
| Температура у зворотній лінії тепломережі                        | $t_{звор.}$      | °С                      | 42    |
| Температура води перед і після хімоводоочищення                  | $t_{ХВО}$        | °С                      | 25    |
| Температура води на виході з бойлера                             | $t_{вих.б.}$     | °С                      | 80    |
| Температура конденсату після пароводяного підігрівача сирії води | $t_{к\text{тн}}$ | °С                      | 75    |
| Температура потоку                                               | $t_{пот.}$       | °С                      | 41    |
| Частка повернутого конденсату                                    | $w_{конд.}$      | %                       | 75    |

При тиску 1,35 МПа у стані насичення пари маємо наступні значення теплоти пароутворення та ентальпії [14]:

$$t_1 = 192,3 \text{ } ^\circ\text{C}, r_1 = 1952,5 \text{ кДж / кг},$$

$$i_1' = 831,1 \text{ кДж / кг}, i_1'' = 2783,4 \text{ кДж / кг}, i_1''' = 2742,5 \text{ кДж / кг}$$

Для визначення параметрів води і пари задаємося значенням тиску насиченої пари на виході 0,10 МПа теплота пароутворення та ентальпія дорівнюють [14]:



$$t_2 = 104,7 \text{ } ^\circ\text{C}, r_2 = 2242,5 \text{ кДж} / \text{кг},$$

$$i_2' = 440,5 \text{ кДж} / \text{кг}, i_2'' = 2683,3 \text{ кДж} / \text{кг}, i_2''' = 2593,5 \text{ кДж} / \text{кг}$$

Ентальпію води при визначимо за формулою [14]:

$$i_g = C_g t_g \quad (3.1)$$

де  $C_g$  – теплоємність води,  $C_g = 4,2 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{K})$ .

Рівняння теплового балансу дозволяє визначити витрату води через мережевий підігрівач [14]:

$$W_{\text{мер.}} = \frac{Q_{\text{мер.в.}}}{C_g (t'_{\text{вих.}} - t'_{\text{звор.}})} = \frac{15,0 \cdot 10^6}{4,2 \cdot 10^3 (95 - 42)} = 67,39 \text{ кг} / \text{с} \quad (3.2)$$

Величину втрат води у тепловій мережі розрахуємо за формулою [14]:

$$W_{\text{тм}} = \frac{w_{\text{тм}} W_{\text{мер.}}}{100} = \frac{4,0 \cdot 67,39}{100} = 2,696 \text{ кг} / \text{с} \quad (3.3)$$

Зменшення витрати тепла на підігрів мережної води у бойлерах розрахуємо за формулою [14]:

$$\Delta Q_{\bar{o}} = W_{\text{тм}} (i_2' - i_2^{\text{тм}}) \quad (3.4)$$

де  $i_2^{\text{тм}}$  – ентальпія теплоносія у тепловій мережі, яку розрахуємо за формулою [14]:

$$i_2^{\text{тм}} = C_g t_2' = 4,2 \cdot 42 = 176,4 \text{ кДж} / \text{кг} \quad (3.5)$$

$$\Delta Q_{\bar{o}} = 2,696 \cdot (440,5 - 176,4) = 712,01 \text{ кДж} / \text{с}$$

Витрату пари на підігрів мережної води визначимо за залежністю [14]:

$$W_{\text{мер.п.}} = \frac{Q_{\text{мер.п.}} - \Delta Q_{\delta}}{(i_2^{//} - i_{\text{вих.б.}})\eta_{\delta}} \quad (3.6)$$

де  $i_{\text{вих.б.}}$  – ентальпія теплоносія на виході з барабана, яку розрахуємо за формулою [14]:

$$i_{\text{вих.б.}} = C_v t_{\text{вих.б.}} = 4,2 \cdot 80 = 336,0 \text{ кДж/кг} \quad (3.7)$$

$\eta_{\delta}$  – ККД барабана,  $\eta_{\delta} = 0,95$ ,

$$W_{\text{мер.п.}} = \frac{15,0 \cdot 10^6 - 712,01 \cdot 10^3}{(2683,3 - 336,0) \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 6,407 \text{ кг/с}$$

Витрата тепла на технологічні потреби складе [14]:

$$Q_{\text{техн.}} = W_{\text{техн.}} (i_1^{///} - i_{\text{конд.}}) \quad (3.8)$$

де  $i_{\text{конд.}}$  – середньозважена ентальпія конденсату від технологічних споживачів, яка розраховується за формулою [14]:

$$i_{\text{конд.}} = w_{\text{конд.}} i_{\text{ном.}} + (1 - w_{\text{конд.}}) i_{\text{св}} \quad (3.9)$$

де  $i_{\text{ном.}}$  – ентальпія потоку, яка розраховується за формулою [14]:

$$i_{\text{ном.}} = C_v t_{\text{ном.}} = 4,2 \cdot 41 = 172,2 \text{ кДж/кг}$$

де  $i_{\text{св}}$  – ентальпія сирі води, яка розраховується за формулою [14]:

$$i_{cv} = C_v t_{cv} = 4,2 \cdot 12 = 50,4 \text{ кДж/кг}$$

$$i_{конд.} = 0,75 \cdot 172,2 + (1 - 0,75) \cdot 50,4 = 141,75 \text{ кДж/кг}$$

$$Q_{техн.} = 1,35 \cdot (2742,5 - 141,75) = 3511,01 \text{ кДж/с}$$

Сумарну витрату тепла на підігрів мережної води і на технологічні потреби розрахуємо за формулою [14]:

$$\begin{aligned} Q &= Q_{мер.в.} - \Delta Q_{б} + Q_{техн.} = 15,0 \cdot 10^6 - 712,01 \cdot 10^3 + 3511,01 \cdot 10^3 = \\ &= 14,288 \cdot 10^6 \text{ Дж/с} = 14,288 \text{ МДж/с} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Витрату пари на підігрів мережної води і на технологічні потреби розрахуємо за формулою [14]:

$$W_o = \frac{Q}{i_1^{III} - i_2^I} = \frac{14,288 \cdot 10^6}{(2742,5 - 440,5) \cdot 10^3} = 6,207 \text{ кг/с} \quad (3.11)$$

Сумарну витрату гострої пари ( $W_2$ ) на підігрів сирої води перед ХВО і деаерацією зазвичай приймають у межах від 3 до 10% від витрати пари на підігрів мережної води і на технологічні потреби ( $W_o$ ) [14]:

$$W_2 = 0,05 W_o = 0,05 \cdot 6,207 = 0,310 \text{ кг/с} \quad (3.12)$$

Загальна витрата свіжої пари складе [14]:

$$W_{сум} = W_o + W_2 = 6,207 + 0,310 = 6,517 \text{ кг/с} \quad (3.13)$$

Рівняння теплового балансу редукційно-охолоджувальної установки (РОУ) має вигляд [14]:

$$W_{св.п.} i_1''' + W_{зв.в.} i_2' = W_{ред} i_2'' \quad (3.14)$$

де  $W_{св.п.}$  – витрата свіжої пари, яка розраховується за формулою [14]:

$$W_{св.п.} = W_{сум} - W_{техн.} = 6,517 - 1,35 = 5,167 \text{ кг/с} \quad (3.15)$$

$W_{ред.}$  – витрата редукційної пари, що розраховується за формулою [14]:

$$W_{ред} = W_{св.п.} + W_{зв.в.} \quad (3.16)$$

$W_{зв.в.}$  – витрата зволожуючої води, яка розраховується шляхом спільного розв'язання рівнянь (3.14) і (3.16):

$$W_{зв.в.} = \frac{W_{св.п.} (i_1''' - i_2'')}{i_2'' - i_2'} = \frac{5,167 \cdot (2742,5 - 2683,3)}{2683,3 - 440,5} = 0,136 \text{ кг/с} \quad (3.17)$$

$$W_{ред} = W_{св.п.} + W_{зв.в.} = 5,167 + 0,136 = 5,303 \text{ кг/с}$$

Витрату продувочної води з котлоагрегату визначаємо по заданому значенню  $w_{пр}$  у відсотках від  $W_{сум}$  [14]:

$$W_{пр} = W_{сум} \frac{w_{пр}}{100} = 6,517 \frac{5,7}{100} = 0,372 \text{ кг/с} \quad (3.18)$$

Для визначення кількості пари, що виділяється з продувочної води, скористаємось рівнянням теплового балансу та масового балансу сепаратора, які мають наступний вигляд [14]:

$$W_{np} i_1' = W_{n.прод.} i_2''' + W_{розш.} i_2' \quad (3.19)$$

або

$$W_{np} = W_{n.прод.} + W_{розш.} \quad (3.20)$$

де  $W_{розш.}$  – витрата води з розширювача, яка розраховується за формулою [14]:

$$W_{n.прод.} = \frac{W_{np} (i_1' - i_2')}{i_2''' - i_2'} = \frac{0,371 \cdot (831,1 - 440,5)}{2593,5 - 440,5} = 0,0673 \text{ кг/с} \quad (3.21)$$

$$W_{розш.} = W_{np} - W_{n.прод.} = 0,371 - 0,0673 = 0,304 \text{ кг/с} \quad (3.22)$$

Загальна кількість води, що додається з ХВО, визначається по сумі втрат води і пари у котельні, у технологічному процесі та у тепловій мережі.

Втрати конденсату у технологічному процесі розраховуємо за формулою [14]:

$$W_{втр.конд.} = \frac{100 - w_{конд.}}{100} \cdot W_{техн.} = \frac{100 - 75}{100} \cdot 1,35 = 0,338 \text{ кг/с} \quad (3.23)$$

Втрати пари всередині котельні розраховуємо за формулою [14]:

$$W_{втр.пару} = \frac{w_{втр.}}{100} \cdot W_{сум} = \frac{6,5}{100} \cdot 6,517 = 0,424 \text{ кг/с} \quad (3.24)$$

Втрати пари з випарюванням вимагають додаткових розрахунків, тому для простоти приймаємо їх попередньо на  $W_{вип.} = 0,06 \text{ кг/с}$ .

Загальний об'єм хімічно очищеної води складе [14]:

$$\begin{aligned} W_{XBO} &= W_{\text{втр.конт.}} + W_{\text{розш.}} + W_{\text{втр.пари}} + W_{\text{тм}} + W_{\text{вин}} = \\ &= 0,338 + 0,304 + 0,424 + 2,696 + 0,06 = 3,822 \text{ кг/с} \end{aligned} \quad (3.25)$$

Для визначення витрати сирі води на хімічне водоочищення необхідно врахувати ряд факторів та технологічних операцій водопідготовки, що при цьому відбуваються (розпушування та регенерація катіоніту, відмивання й інші процеси).

$$W_{\text{св}} = k_{TO} \cdot W_{XBO} \quad (3.26)$$

де  $k_{TO}$  – коефіцієнт, що враховує технологічні операції,  $k_{TO} = 1,25$ .

$$W_{\text{св}} = 1,25 \cdot 3,822 = 4,778 \text{ кг/с}$$

Для розрахунку пароводяного підігрівача сирі води складемо рівняння його теплового балансу [14]:

$$W_{\text{св}} (i_{\text{хво}} - i_{\text{св1}}) = D_{\text{св}} (i_2^{\text{II}} - i_{\text{кат}}) \eta_n \quad (3.27)$$

де  $i_{XBO}$  – ентальпія продуктів ХВО, яка розраховується за формулою [14]:

$$i_{XBO} = C_{\text{в}} t_{XBO} = 4,2 \cdot 25 = 105 \text{ кДж/кг} \quad (3.28)$$

$i_{\text{св}}$  – ентальпія свіжої води, яка розраховується за формулою [14]:

$$i_{\text{св}} = C_{\text{в}} t_{\text{св}} = 4,2 \cdot 12 = 50,4 \text{ кДж/кг} \quad (3.29)$$

$i_{кат.}$  – ентальпія катіонітів, яка розраховується за формулою [14]:

$$i_{кат.} = C_6 t_{кат} = 4,2 \cdot 75 = 315 \text{ кДж / кг} \quad (3.30)$$

Витрату редукованої пари у підігрівачі сирії води розрахуємо за формулою [14]:

$$W_{ред.св.} = \frac{W_{св.}(i_{XBO} - i_{св.})}{(i_2^{//} - i_{кат})\eta_n}, \quad (3.31)$$

де  $\eta_n$  – ККД підігрівача,  $\eta_n = 0,95$ .

$$W_{ред.св.} = \frac{W_{св.}(i_{XBO} - i_{св.})}{(i_2^{//} - i_{кат})\eta_n} = \frac{4,778 \cdot (105 - 50,4)}{(2683,3 - 315) \cdot 0,95} = 0,116 \text{ кг / с}$$

Для розрахунку об'єму конденсаційного баку знаходимо сумарну кількість води  $W_{сум}$ , що надходить до нього [14]:

$$W_{сум} = W_{конд.мс} + W_{ред.св.} \quad (3.32)$$

де  $W_{конд.мс}$  – об'єм потоку конденсату від технологічних споживачів, який розраховується за формулою [14]:

$$W_{конд.мс} = \frac{w_1}{100} \cdot W_{техн.} = \frac{75}{100} \cdot 1,35 = 1,013 \text{ кг / с} \quad (3.33)$$

$$W_{сум} = 1,013 + 0,116 = 1,129 \text{ кг / с}$$

Температура суміші конденсату [14]:

$$t_{\text{сум}} = \frac{W_{\text{конд.мс}} t_{\text{ном.}} + W_{\text{рез.св}} t_{\text{кпш}}}{W_{\text{сум}}} = \frac{1,013 \cdot 41 + 0,116 \cdot 75}{1,129} = 44,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.34)$$

Ентальпія суміші конденсату [14]:

$$i_{\text{сум}} = C_v t_{\text{сум}} = 4,2 \cdot 44,5 = 186,9 \text{ кДж / кг} \quad (3.35)$$

Сумарну витрату деаерованої води визначимо за залежністю [14]:

$$W_{\text{випр.ов}} = W_{\text{сум}} + W_{\text{мерп}} + W_{\text{ХВО}} = 1,129 + 6,4073 + 3,822 = 11,36 \text{ кг / с} \quad (3.36)$$

Уточнене значення раніше прийнятої витрати випару розрахуємо за формулою [14]:

$$W_{\text{вип.ум.}} = 0,003 \cdot W_{\text{випр.ов}} = 0,003 \cdot 11,36 = 0,0341 \text{ кг / с} \quad (3.37)$$

Рівняння теплового та масового балансу деаератора мають вигляд [14]:

$$W_{\text{д}} i_2'' + W_{\text{сум}} i_{\text{сум}} + W_{\text{ХВО}} i_{\text{ХВО}} + W_{\text{мерп}} i_{\text{вих б}} + W_{\text{н.прод.}} i_2''' = W_{\text{випр.д}} i_2' + W_{\text{вип}} i_2'' \quad (3.38)$$

$$W_{\text{д}} + W_{\text{сум}} + W_{\text{ХВО}} + W_{\text{мерп}} + W_{\text{н.прод.}} = W_{\text{випр.д}} + W_{\text{вип}} \quad (3.39)$$

Звідки можна записати вираз для витрати пари на деаерацію [14]:

$$\begin{aligned} W_{\text{д}} &= W_{\text{д}} + W_{\text{вип}} - W_{\text{сум}} - W_{\text{ХВО}} - W_{\text{мерп}} - W_{\text{н.прод.}} = \\ &= W_{\text{д}} + 0,0341 - 1,129 - 3,822 - 6,407 - 0,0673 = W_{\text{випр.д}} - 11,391 \end{aligned} \quad (3.40)$$



Підставивши рівняння (3.42) до рівняння (3.40) визначаємо значення витрати деаерованої води [14]:

$$\begin{aligned}
 (W_{\text{вир.д}} - 12,014) \cdot 2683,3 + 1,129 \cdot 186,9 + 3,822 \cdot 105 + 6,407 \cdot 336 + 0,0673 \cdot 2593,5 = \\
 = W_{\text{вир.д}} \cdot 440,5 + 0,0341 \cdot 2683,3 \\
 2242,8 \cdot W_{\text{вир.д}} = 29389,057 \\
 W_{\text{вир.д}} = 13,104 \text{ кг/с}
 \end{aligned} \tag{3.41}$$

Тоді, у відповідності до виразу (3.43) маємо:

$$W_{\text{д}} = W_{\text{вир.д}} - 12,014 = 13,104 - 11,391 = 1,713 \text{ кг/с}$$

Повне навантаження на котельню визначимо за формулою [14]:

$$W_{\text{кот.}} = W_{\text{св.п.}} + W_{\text{техн.}} + W_{\text{втр.пару}} = 5,167 + 1,35 + 0,424 = 6,941 \text{ кг/с} \tag{3.42}$$

Сумарне надходження теплоти в схему розрахуємо за формулою [14]:

$$Q_{\text{кот.}} = W_{\text{кот.}} i_1''' + W_{\text{пр}} i_1' - W_{\text{жв}} i_2' + W_{\text{св}} i_{\text{св}} \tag{3.43}$$

де  $W_{\text{жв}}$  – витрата живильної води, кг/с [14]:

$$W_{\text{жв}} = W_{\text{д}} - W_{\text{конд.тс}} - W_{\text{тм}} = 13,104 - 1,013 - 2,696 = 9,395 \text{ кг/с} \tag{3.44}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{кот.}} &= 6,941 \cdot 2742,5 + 0,371 \cdot 831,1 - 9,395 \cdot 440,5 + 4,778 \cdot 50,4 = \\
 &= 15446,3 \text{ кВт}
 \end{aligned}$$

Витрата теплоти з парою на технологічні потреби з урахуванням повернення конденсату [14]:

$$Q_{\text{техн.}} = W_{\text{техн.}} \cdot i_1^{\text{III}} - W_{\text{техн.}} \cdot w_{\text{конд}} \cdot i_{\text{пот.}} = \\ = 1,35 \cdot 2742,5 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 172,2 = 3528 \text{ кВт} \quad (3.45)$$

Відсоток витрат теплоти на технологічні потреби розрахуємо за формулою [14]:

$$q_{\text{техн.}} = \frac{Q_{\text{техн.}}}{Q_{\text{кот.}}} \cdot 100\% = \frac{3528}{15446,3} \cdot 100\% = 22,8\% \quad (3.46)$$

Витрата теплоти в тепломережу з урахуванням втрат води у тепломережі складе [14]:

$$Q_{\text{тм}} = W_{\text{мер.}} \cdot i_{\text{вих.б}} - (W_{\text{мер.}} - W_{\text{тм}}) \cdot i_2^{\text{тм}} = 67,39 \cdot 336 - (67,39 - 2,696) \cdot 176,4 = 11231 \text{ кВт} \quad (3.47)$$

Відсоток витрат теплоти у тепломережі розрахуємо за формулою [14]:

$$q_{\text{тм}} = \frac{Q_{\text{тм}}}{Q_{\text{кот.}}} \cdot 100\% = \frac{11231}{15446,3} \cdot 100\% = 72,7\% \quad (3.48)$$

Коефіцієнт корисної дії схеми, тобто відсоток теплоти, що витрачається корисно, розрахуємо за формулою [14]:

$$\eta_{\text{сх}} = q_{\text{техн.}} + q_{\text{тм}} = 22,8 + 72,7 = 95,5\% \quad (3.49)$$

Сумарні втрати теплоти розрахуємо за формулою [14]:

$$q_{\text{втр.}} = 100 - \eta_{\text{сх}} = 100 - 95,5 = 4,5\% \quad (3.50)$$

Втрати від витоків свіжої пари розрахуємо за формулою [14]:

$$Q_{втр.}^1 = W_{втр.пару} i_1^{III} = 0,424 \cdot 2742,5 = 1162,82 \text{ кВт} \quad (3.51)$$

Відсоток витрат теплоти свіжої пари розрахуємо за формулою [14]:

$$q_{втр.}^1 = \frac{Q_{втр.}^1}{Q_{кот.}} \cdot 100\% = \frac{1162,82}{15446,3} \cdot 100\% = 7,53\% \quad (3.52)$$

Втрати у навколишнє середовище у бойлері розрахуємо за формулою [14]:

$$Q_{втр.}^2 = W_{мер.п} (i_2^{III} - i_{вих.б}) (1 - \eta_n) = 6,407 (2593,5 - 336) (1 - 0,95) = 723,19 \text{ кВт} \quad (3.53)$$

Відсоток витрат у навколишнє середовище у бойлері розрахуємо за формулою [14]:

$$q_{втр.}^2 = \frac{Q_{втр.}^2}{Q_{кот.}} \cdot 100\% = \frac{723,19}{15446,3} \cdot 100\% = 4,68\% \quad (3.54)$$

Втрати теплоти з водою при здійсненні хімічного водоочищення розрахуємо за формулою [14]:

$$Q_{втр.}^3 = (W_{св} - W_{ХВО}) \cdot i_{хво} = (4,778 - 3,822) \cdot 105 = 100,38 \text{ кВт} \quad (3.55)$$

Відсоток витрат теплоти з водою при здійсненні хімічного водоочищення розрахуємо за формулою [14]:

$$q_{\text{втр.}}^3 = \frac{Q_{\text{втр.}}^3}{Q_{\text{кот.}}} \cdot 100\% = \frac{100,38}{15446,3} \cdot 100\% = 0,65\% \quad (3.56)$$

Втрати теплоти з продувочною водою, що скидається у барботер розрахуємо за формулою [14]:

$$Q_{\text{втр.}}^4 = W_{\text{прози.}} \cdot i_2' = 0,304 \cdot 440,5 = 133,91 \text{ кВт} \quad (3.57)$$

Відсоток втрат теплоти з продувочною водою, що скидається у барботер розрахуємо за формулою [14]:

$$q_{\text{втр.}}^4 = \frac{Q_{\text{втр.}}^4}{Q_{\text{кот.}}} \cdot 100\% = \frac{133,91}{15446,3} \cdot 100\% = 0,87\% \quad (3.58)$$

Втрати у навколишнє середовище у підігрівачі сирії води розрахуємо за формулою [14]:

$$Q_{\text{втр.}}^5 = W_{\text{рез.св.}} \cdot (i_2'' - i_{\text{кат.}}) \cdot (1 - \eta_n) = 0,116 \cdot (2683,3 - 315) \cdot (1 - 0,95) = 13,74 \text{ кВт} \quad (3.59)$$

Відсоток втрат у навколишнє середовище у підігрівачі сирії води розрахуємо за формулою [14]:

$$q_{\text{втр.}}^5 = \frac{Q_{\text{втр.}}^5}{Q_{\text{кот.}}} \cdot 100\% = \frac{13,74}{15446,3} \cdot 100\% = 0,09\% \quad (3.60)$$

Втрати з випарюванням розрахуємо за формулою [14]:

$$Q_{\text{втр.}}^6 = W_{\text{вип.ум.}} \cdot i_{\text{кат.}} = 0,0341 \cdot 315 = 10,74 \text{ кВт} \quad (3.61)$$

Відсоток втрат з випарюванням розрахуємо за формулою [14]:

$$q_{\text{втр.}}^6 = \frac{Q_{\text{втр.}}^6}{Q_{\text{кот.}}} \cdot 100\% = \frac{10,74}{15446,3} \cdot 100\% = 0,07\% \quad (3.62)$$

Сумарні втрати складуть [14]:

$$q_{\text{тм}} + q_{\text{техн.}} + \sum q_{\text{втр.}}^i = 72,7 + 22,8 + 7,53 + 4,68 + 0,65 + 0,87 + 0,09 + 0,07 = 99,89\% \quad (3.63)$$

## 4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ СИСТЕМИ

### 4.1 Моделювання роботи відцентрового насоса у складі гідравлічної системи тепломережі

У якості основних параметрів роботи відцентрового насоса виділяють витрату ( $Q$ , м<sup>3</sup>/год), напір ( $H$ , м), частоту обертання ( $n$ , об./хв.), ККД ( $\eta$ , %). Визначені величини характеризують роботу насосного агрегату як динамічної системи. Значення зазначених величин дозволяють побудувати «напірну характеристику» насоса, яка дозволяє за допомогою відомих методів дослідження здійснювати аналіз роботи складеної системи при зміні робочих параметрів [15].

«Напірна характеристика» насоса визначає залежність напору даного насоса від кількості рідини, що проходить через насос (витрати) [15]:

$$H = AQ^2 + BQ + C \quad (4.1)$$

де  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – розмірні конструктивні коефіцієнти, що залежать від типорозміру насоса, враховують частоту обертання насоса та інші параметри.

Насос працює на трубопроводі, який також можна схарактеризувати певною математичною залежністю, яку можна визначити за допомогою рівняння [15]:

$$H = H_{\Gamma} + aQ^2 \quad (4.2)$$

де  $H_{\Gamma}$  – статичне значення напору, м,

$a$  – збірний коефіцієнт, що характеризує опірність трубопроводу [15],

$$a = \left( \frac{\lambda l}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{1}{\pi^2 d^4 g} \quad (4.3)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт, що визначає шорсткість трубопроводу,  
 $\Sigma \xi$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів трубопроводу, м  
 $l$  – довжина трубопроводу (всмоктуючого і напірного), м  
 $d$  – діаметр трубопроводу (середній діаметр всмоктуючого і напірного), м.

Завданням систем регулювання роботою насоса є пошук положення «робочої точки» у найближчій зоні до точки, що визначає номінальний режим, тобто точки, де ККД набуває максимального значення. Система регулювання при цьому може або змінювати характеристику роботи насосного агрегату, або змінювати характеристику мережі [16].

Вплив на роботу насоса здійснюється шляхом зміни частоти обертання приводного двигуна, що досягається шляхом регулювання величини напруги та частоти напруги живлення. Дані способи керування можуть здійснюватися або за допомогою прямого управління або за допомогою використання принципів зворотного зв'язку [17].

Для якісного дослідження роботи приводних двигунів у різноманітних режимах, та визначення зміни характерних параметрів складають фізичні, математичні та комп'ютерні моделі даних агрегатів [18].

На рис. 4.1 наведено комп'ютерну модель роботи асинхронного двигуна, а на рис. 4.2 – гідравлічну модель спільної роботи двигуна і відцентрового насоса. Дані моделі були сконструйовані за допомогою блоків програмного середовища Matlab [19].

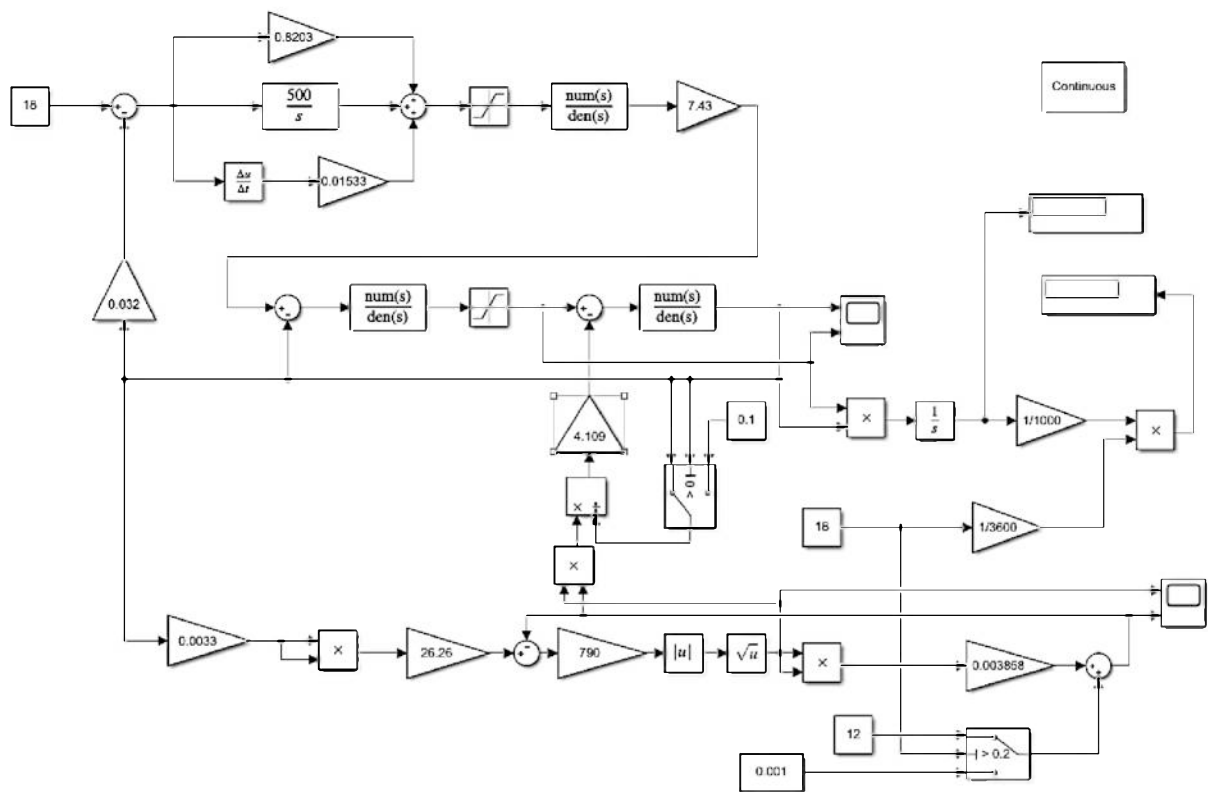


Рисунок 4.1 – Комп'ютерна модель асинхронного двигуна

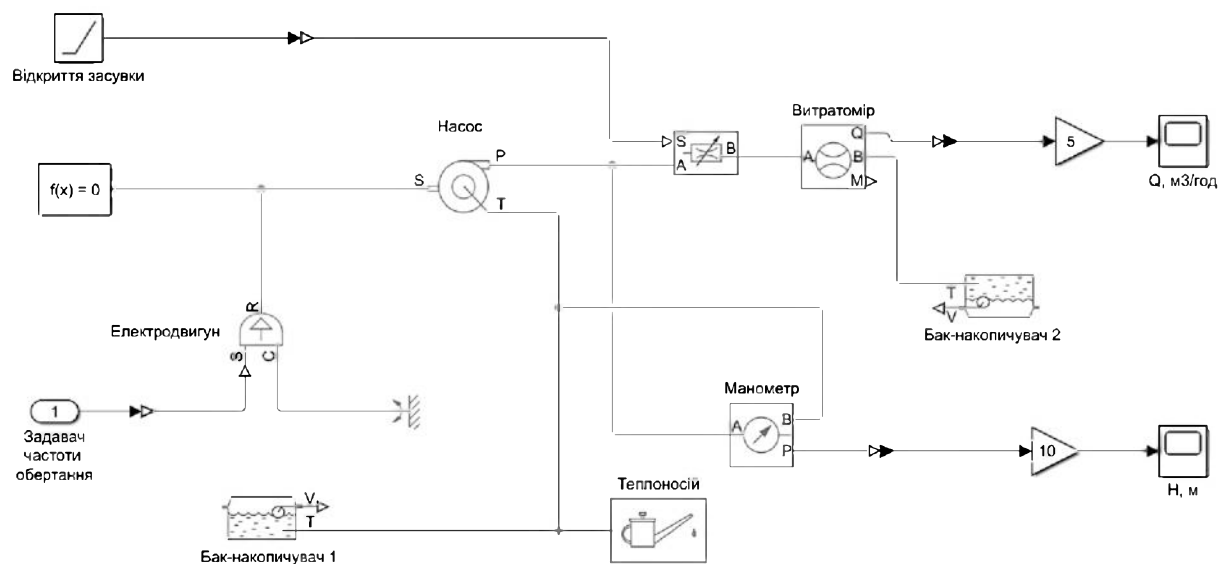


Рисунок 4.2 – Модель гідравлічної системи спільної роботи двигуна і відцентрового насоса

За результатами проведеного моделювання можна зробити наступні висновки:



– двигун досягає частоти обертання 982 об./хв. при заданих значеннях напруги та моменту опору, стаціонарний стан настає через час у 0,15 с (рис. 4.3).

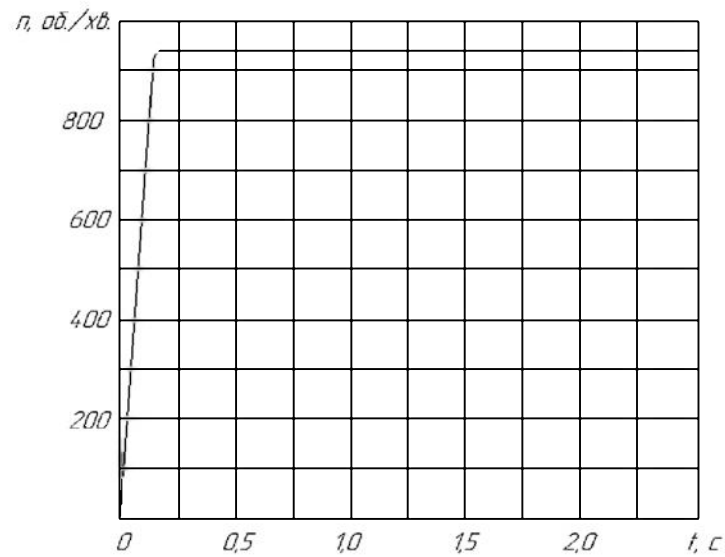


Рисунок 4.3 – Зміна частоти обертання з часом

Зміна значення електромагнітного моменту та моменту навантаження представлено на рис. 4.4.

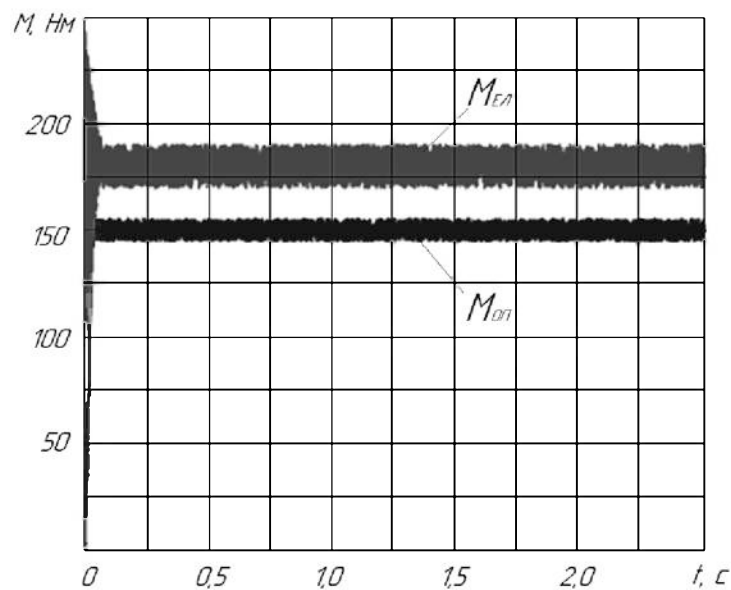


Рисунок 4.4 – Графік зміни електромагнітного моменту ( $M_{ел}$ ) і моменту опору ( $M_{оп}$ )

Під час зміни частоти обертання насоса від 0 до 980 об./хв. відповідно змінюються витрата і напір, які можна визначити кривими, які зображено на рис. 4.5 – продуктивність збільшується до 347 м<sup>3</sup>/год, а напір зменшується до 47 м.

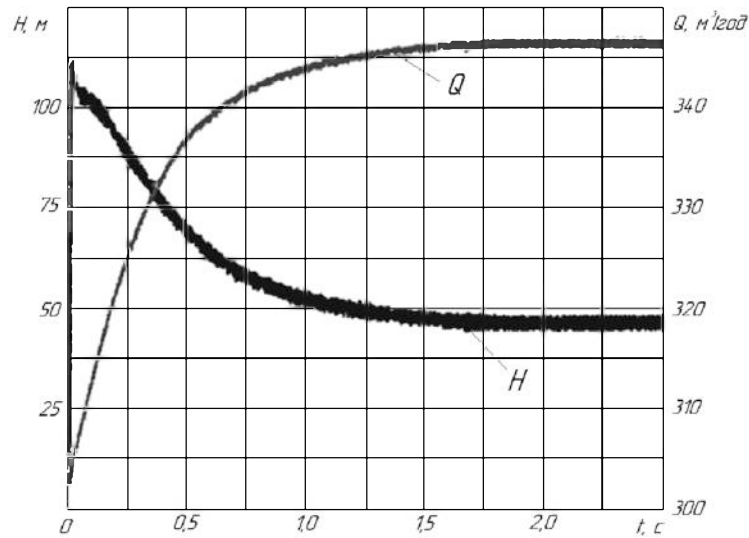


Рисунок 4.5 – Графік зміни витрати і тиску через насос

Графічна залежності зміни коефіцієнту корисної дії впродовж часу наведено на рис. 4.6.

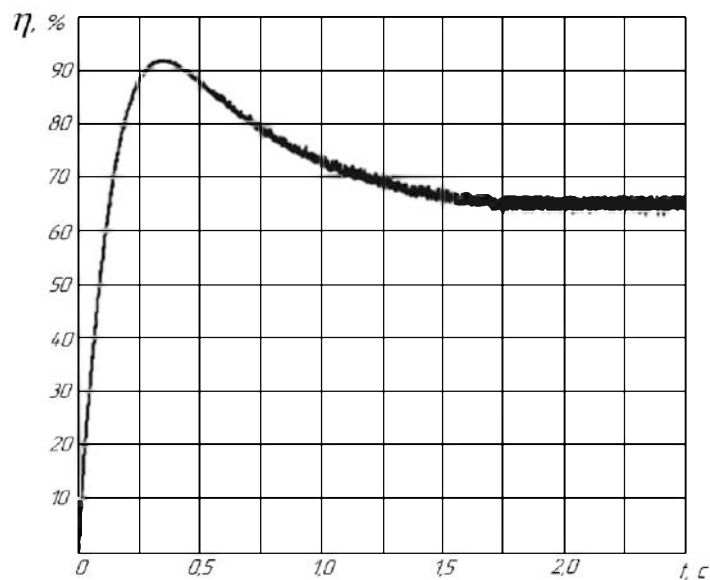


Рисунок 4.6 – Зміна коефіцієнту корисної дії насоса

Порівнюючи результати моделювання та проведені раніше розрахунки, можна казати про адекватність побудованої моделі. Моделювання дозволяє підвищити точність та стабільність роботи системи та досягти високої ефективності роботи гідравлічної системи.

#### 4.2 Моделювання роботи калорифера у програмному середовищі SolidWorks

Для дослідження роботи калориферів основними методами є експериментальний та/або чисельний аналіз з використанням фізичних (натурних) експериментів та складання математичних залежностей. Результатами досліджень є визначені показники теплопередачі, геометричні параметри, економічність роботи та найкращий метод моделювання. Для калориферів добрим програмним продуктом може виступати метод обчислювальної гідродинаміки, для реалізації якого можна використати програмне середовище SolidWorks [20].

Калорифер – це трубчатий повітряпідігрівач використовує енергію високотемпературної пари для нагрівання повітря. Трубки з теплоносієм розташовують таким чином, щоб максимізувати площу контакту з повітрям. Якщо необхідно збільшити температуру вихідного повітря, збільшують кількість труб або збільшуючи температуру теплоносія, а для збільшення ефективності роботи калорифера можна за рахунок впровадження заходів зі зменшення теплових втрат [21].

Складання математичних моделей для моделювання процесів калориферних установок є досить складною і трудомісткою задачею. З іншого боку, використання засобів програмного моделювання дозволяє досить легко описати процеси руху повітря і теплоносія через тепловий агрегат, визначити місця і кількість втрат, а також здійснити пошук

найкращої конструкції для ефективної їх роботи. При цьому відкидається необхідність описувати потік всередині досліджуваних об'єктів, можна лише визначити конструктивні особливості даного об'єкта та вхідними і вихідними параметрами [22].

Метод обчислювальної гідродинаміки у програмі SolidWorks використовує відомі закони руху потоку рідини та процесів теплообміну. На рис. 4.7 зображена тривимірна модель калорифера, яку було створено за допомогою засобів програми SolidWorks [23].

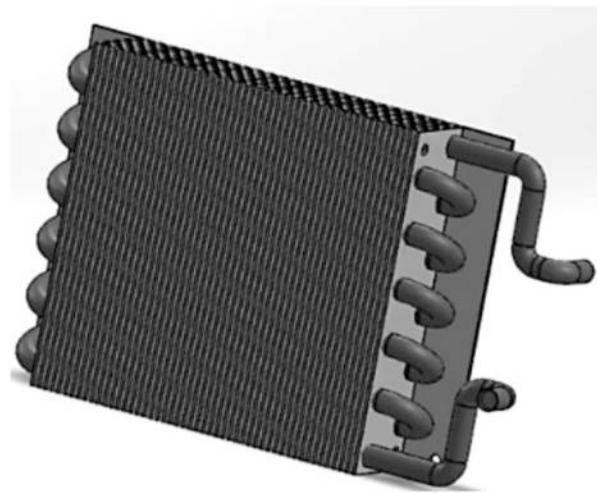


Рисунок 4.7 – Модель калорифера

Картина розподілу температури теплоносія у калорифері наведено на рис. 4.8.

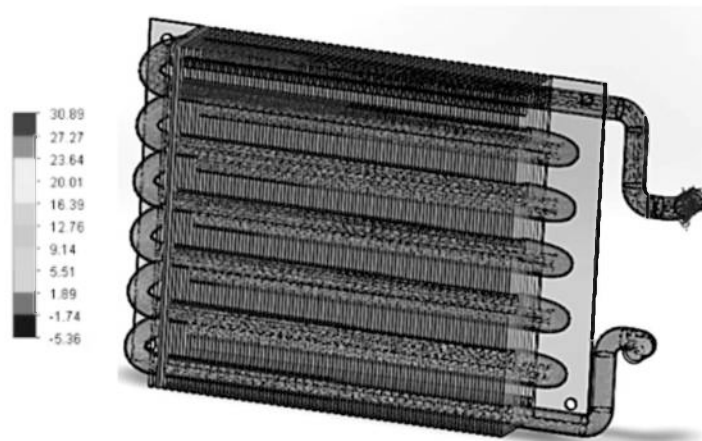


Рисунок 4.8 – Картина розподілу температури ( $^{\circ}\text{C}$ ) теплоносія у калорифері

Картина розподілу температури повітря у калорифері наведено на рис. 4.9.

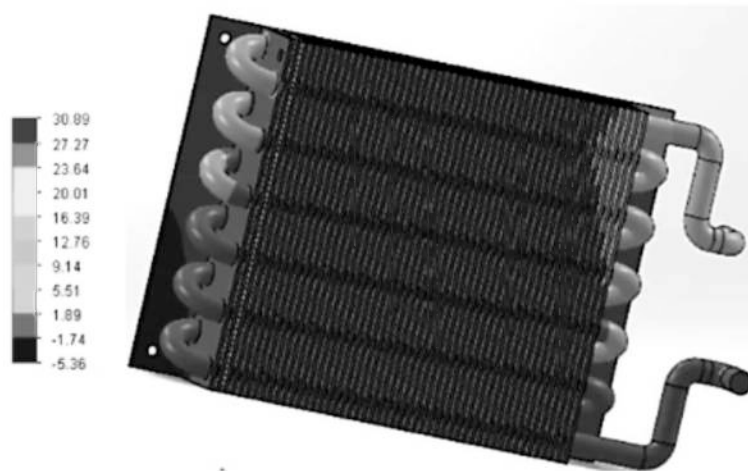


Рисунок 4.9 – Картина розподілу температури ( $^{\circ}\text{C}$ ) повітря у калорифері

Картину розподілу швидкості теплоносія у калорифері наведено на рис. 4.10.

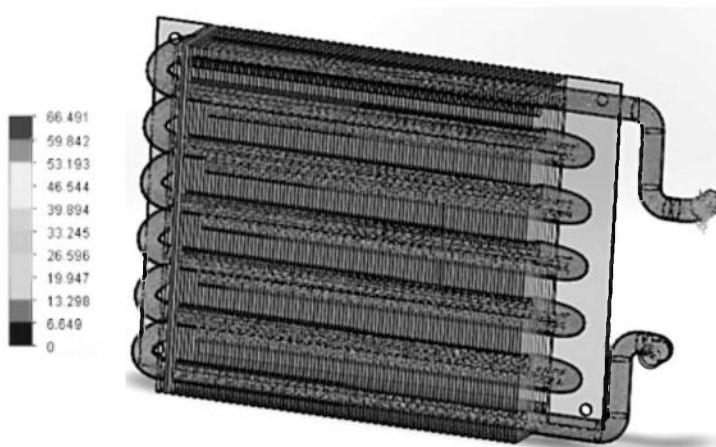


Рисунок 4.10 – Картина розподілу швидкості теплоносія (м/с) у калорифері

На рис. 4.11 наведено розподіл значення тиску в калорифері у залежності від швидкості потоку рідини та її витрати.

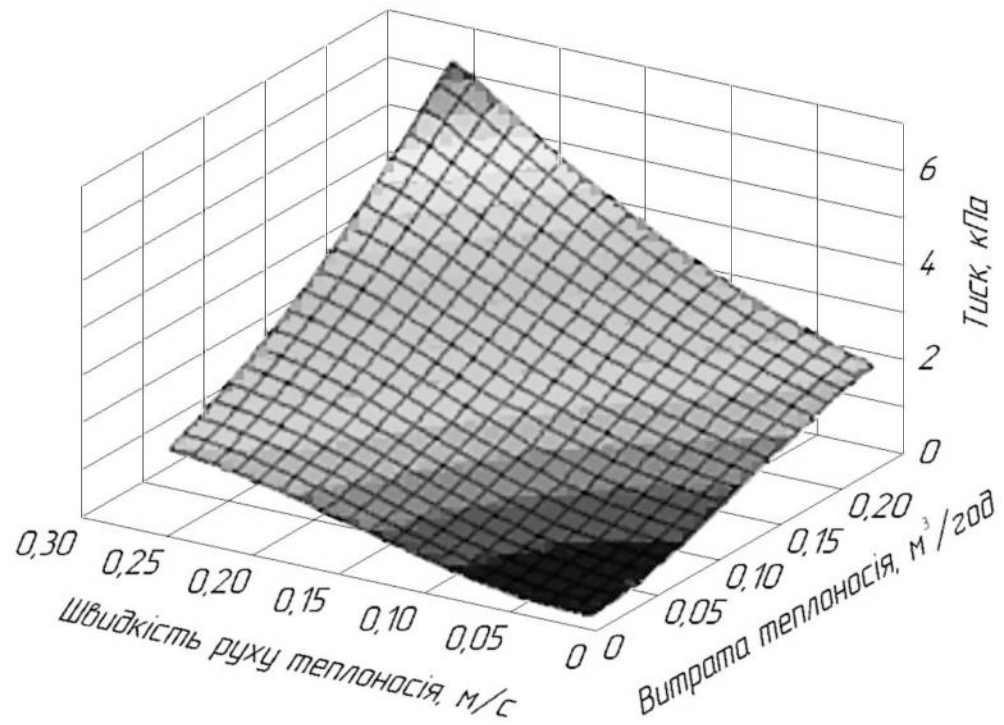


Рисунок 4.11 – Розподіл значення тиску в калорифері у залежності від швидкості потоку рідини та витрати

## ВИСНОВКИ

Теплоенергетичні установки є досить важливими об'єктами підприємств – при їх незадовільній роботі може погіршитися протікання технологічного процесу, функціонування обладнання та умови роботи обслуговуючого персоналу.

У результаті проведення роботи були зроблені наступні висновки та рекомендації:

- змінити подачу теплоносія для покращення роботи схеми,
- розташувати подаючий трубопровід розмістити таким чином, що подача теплоносія здійснювалась знизу-вгору,
- застосувати у схемі три трубопроводи, що підвищить надійність роботи схеми.

Здійснене моделювання теплообмінних апаратів дозволить дослідити їх конфігурацію та визначити вихідні параметри обох середовищ – гріючого і того, що гріється. Моделювання дозволяє дослідити зазначені параметри та конструкції теплообмінних агрегатів для досягнення найкращих теплотехнічних показників.

Було доведено, що засоби обчислювальної термо- і гідродинаміки у дослідних прикладних програмах дозволяють здійснити оптимізацію параметрів роботи досліджуваних систем, підвищити ефективність їх роботи у процесах передачі теплової енергії.

Отримані графічні залежності показують, що швидкість потоку і витрата рідини суттєвим чином залежать від значень тиску – зниження цих параметрів майже однаково у всьому інтервалі досліджуваних температур, при низьких значеннях цього параметра маємо збільшені втрати тиску та зниження швидкостей руху потоків. За ступенем підвищення температури перепад тиску змінюється до визначеного значення, що пояснюється стабілізацією значення динамічної в'язкості теплоносія.

Результати проведеного моделювання дозволяють досягти найкращих показників роботи теплообмінних апаратів через розгляд можливих варіантів компоновки та способів з'єднання окремих елементів, вплив окремих геометричних параметрів на роботу систем в цілому, здійснювати аналіз на певних етапах проектування, визначити зміну кінематичних параметрів, визначити «вузькі» місця, дослідити різноманітні режими навантаження, схарактеризувати вплив окремих параметрів, визначити напрямки та зміну протікання теплових потоків та ефективність теплообмінних процесів.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Паливно-енергетичний комплекс України у цифрах і фактах. За ред. М.П. Ковалка. – К.: УЕЗ, 2000. – 152 с.
2. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013. – [Чинний від 2014-01-01]. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – (Державні будівельні норми України). – 167 с.
3. Тихомиров К.В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция. Учебник для вузов.-3-е изд., перераб. и доп. –М.: Стройиздат, 1981. – 272 с.
4. Богуславский Л.Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха : справ. пособ. / Л.Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В.П. Титов и др.; под ред. Л.Д. Богуславского и В.И. Ливчака. – М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.
5. Теплообменники энергетических установок. Учебник для вузов. К.Э.Аронсон, С.И. Блинков, В.И.Брезгин и др. Под. ред. Ю.М.Бродова. Екатеринбург: «Сократ», 2012 – 968 с.
6. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомёл А. С. Теплопередача: Учебник – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
7. Справочник по теплообменникам: Пер. с англ.: В 2 т./Под ред. Б. С. Петухова, В. К. Шикова - М.: Энергоатомиздат, 1987 – Т.1. – 560 с.
8. Durmagambetov A.A. Navier-Stokes Equations–Millennium Prize Problems // Asset A. Durmagambetov, Leyla S. Fazilova Natural Science. Scientific Research an Academic Publisher. – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 88–99. – doi:10.4236/ns.2015.72010
9. Русанов А. В. Математическое моделирование нестационарных газодинамических процессов в проточных частях турбомашин / А. В. Русанов. С. В. Ершов. – Харьков : ИПМаш НАН Украины, 2008. – 275 с.

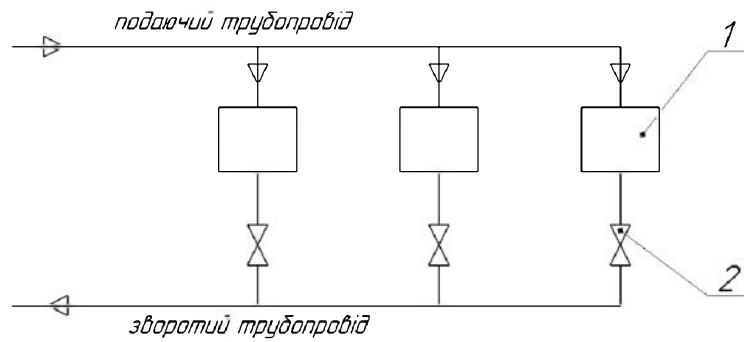
10. Пластинчатые теплообменники в теплоснабжении / Л. Л. Товажнянский, П. А. Капустенко, Г. Л. Хавин и др. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 448 с.
11. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ukrsk.com.ua/vozdu\\_kpsk\\_kp.html](http://ukrsk.com.ua/vozdu_kpsk_kp.html)
12. Дурнов П.И. Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учеб. пособие для теплоэнерг. спец. вузов/Киев; Одесса: Вища шк., 1985. – 262с.
13. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mei.org.ua/nasos-6ndv/>
14. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1988 – 528 с.
15. Поляков В.В. Насосы и вентиляторы / В. В. Поляков, Л. С. Скворцов. – М., Стройиздат, 1990. – 336 с.
16. Макаров А.М., Сергеев А.С., Крылов Е.Г., Сердобинцев Ю.П. Системы управления автоматизированным электроприводом переменного тока: учеб. пособие. – ВолгГТУ. – Волгоград, 2016. – 192 с.
17. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями: Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006, – 94 с.
18. Amin, B., 2001, Induction Motors: Analysis and Torque Control, Springer, New York.
19. Liu M, Cao Y, Zhang Q and Zhou H 2010 Int. Conf. on Comp. App. and Sys. Model. (ICCASM-IEEE) p. 557-563.
20. Программный комплекс SolidWorks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.solidworks.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=174&Itemid=34](http://www.solidworks.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=174&Itemid=34)
21. Добряков Т.С., Мигай В.К., Назаренко В.С. Воздухоподогреватели котельных установок. – Л.: Энергия, 1977. – 184 с.
22. Белоцерковский О. М. Численное моделирование в механике сплошных сред: 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Физматлит, 1994. – 448 с.

23. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. – М.: Мир, 1991. – Т1. – 418 с. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. – 3-е изд. // Гл. ред. физ-мат. лит-ры изд-ва «Наука»: М., 1969. – 824 с.

24. Приходько О. А., Сьомін Д. О. Технічна аеромеханіка: Навчальний посібник. – Луганськ: Вид-во Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля, 2002. – 170 с.

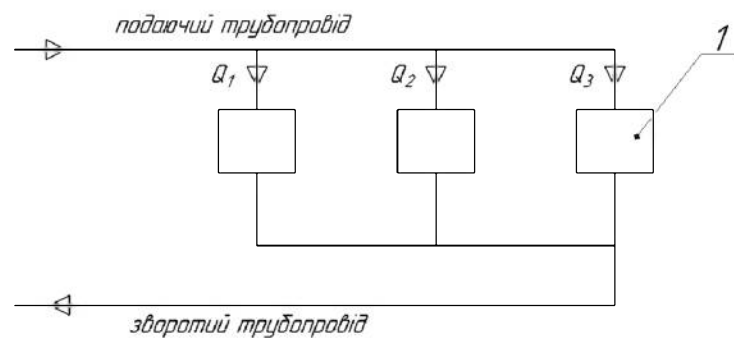
25. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984. – 124 с.

## ДОДАТОК А. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА



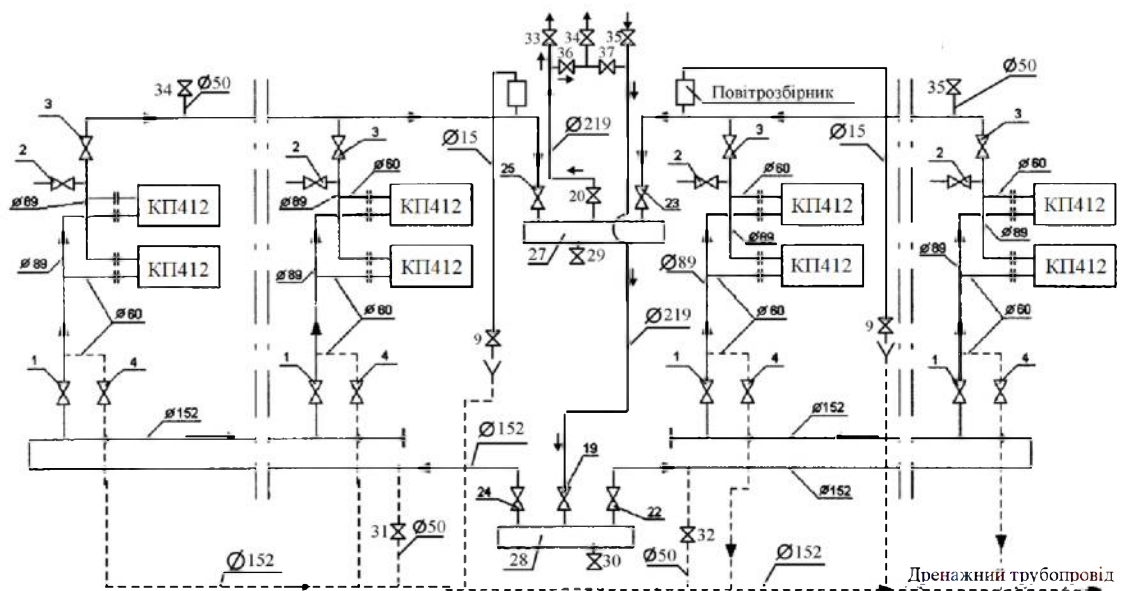
1 – повітрянагрівач, 2 – регулюючий вентиль

Схема тупикової розводки ( $Q_3 < Q_2 < Q_1$ )



1 – повітрянагрівач

Схема попутної розводки ( $Q_3 = Q_2 = Q_1$ )



Модернізована гідравлічна схема калориферної установки

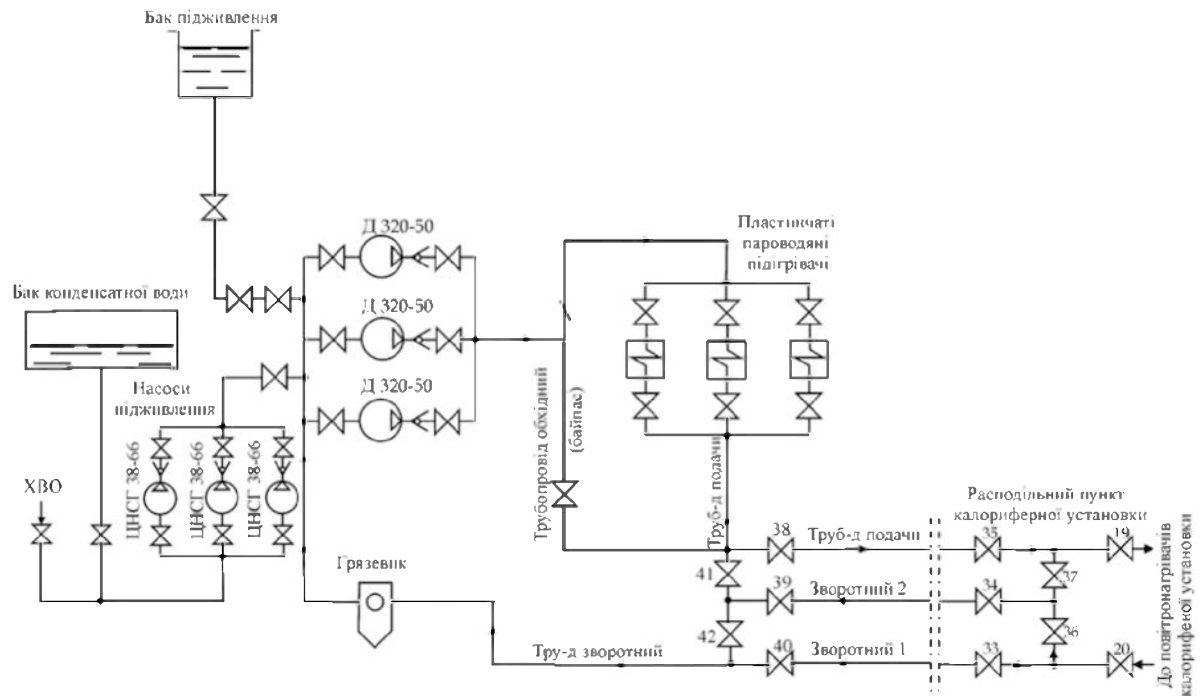
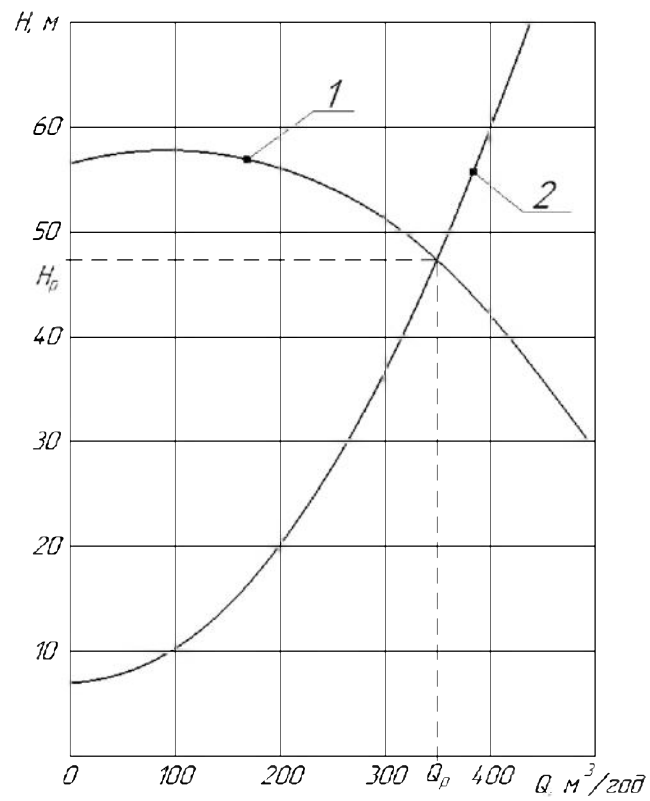


Схема теплопостачання калориферної установки



1 – напірна характеристика насоса, 2 – напірна характеристика мережі

Визначення робочого режиму насоса

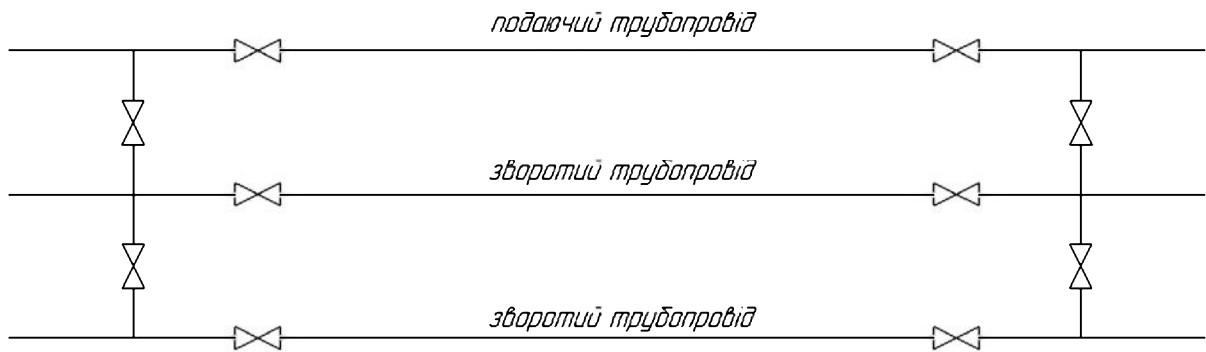
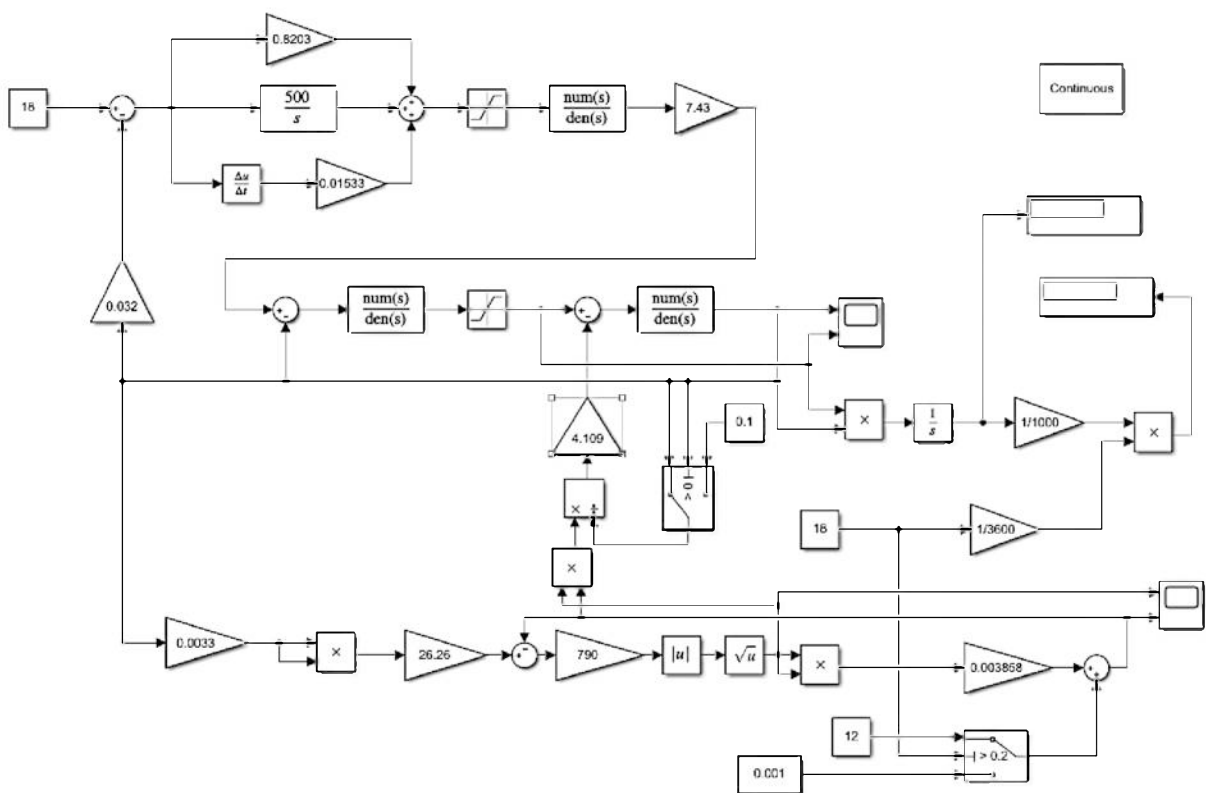
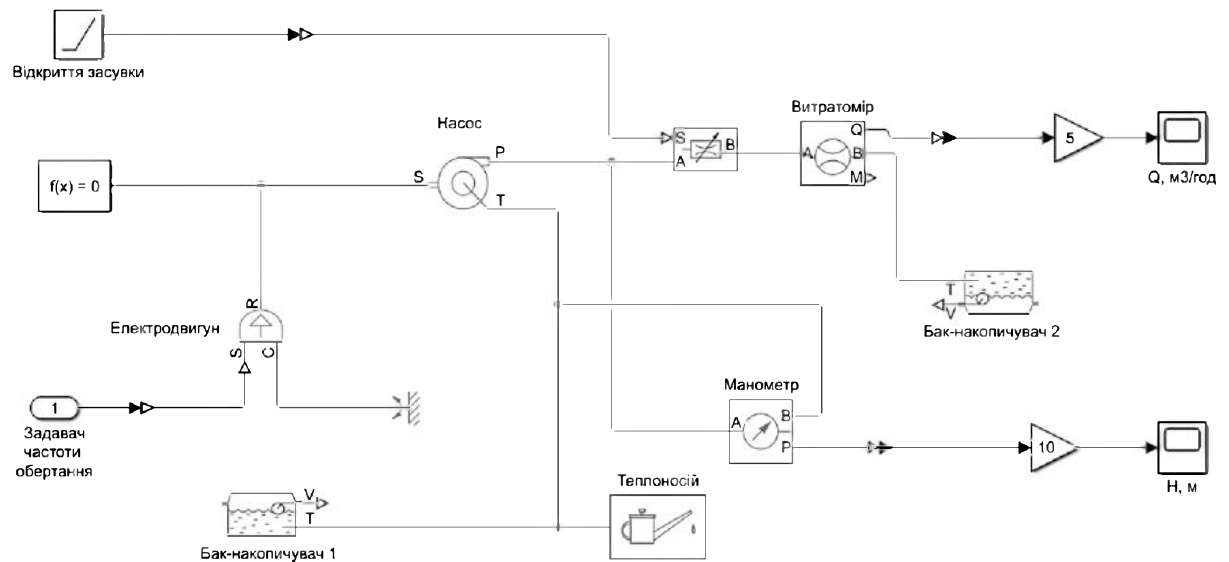


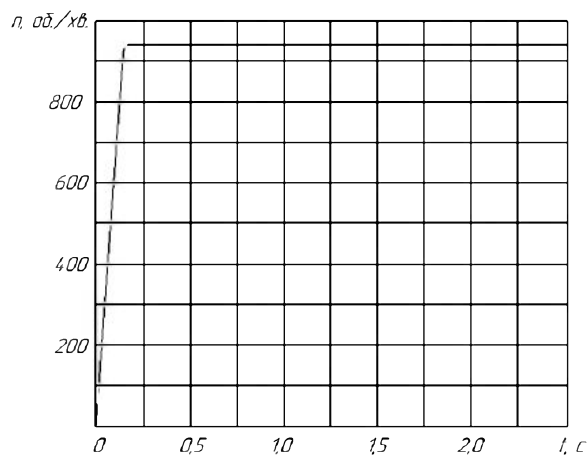
Схема комутації подаючих та зворотних трубопроводів



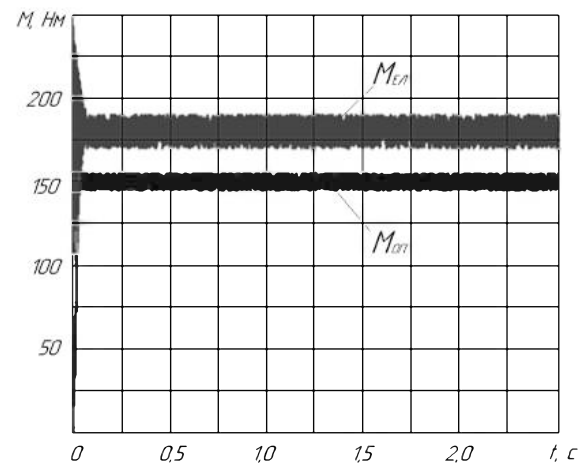
Комп'ютерна модель асинхронного двигуна



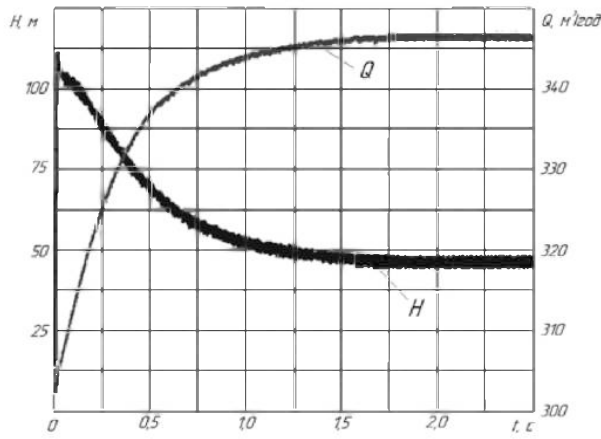
Модель гідравлічної системи спільної роботи двигуна і відцентрового насоса



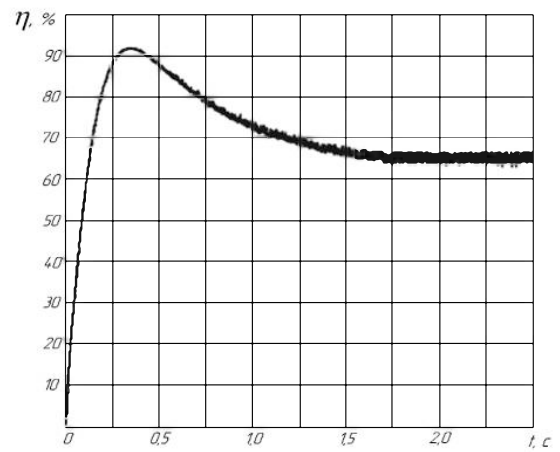
Зміна частоти обертання з часом



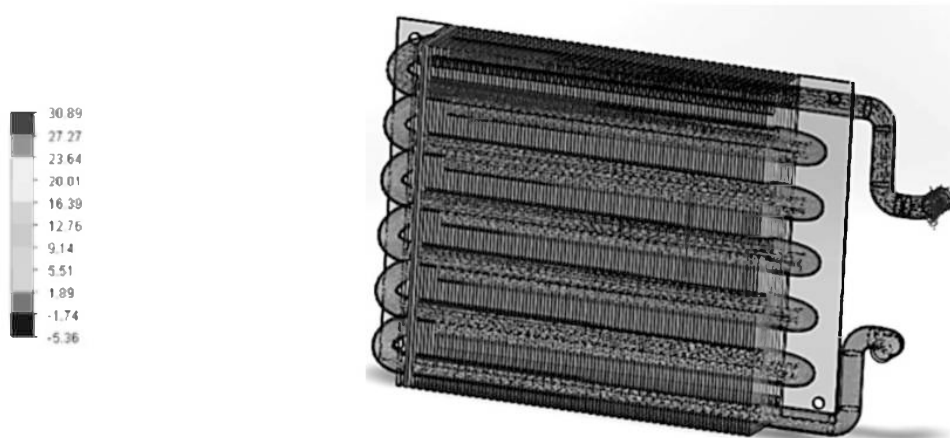
Графік зміни електромагнітного моменту ( $M_{ел}$ ) і моменту опору ( $M_{оп}$ )



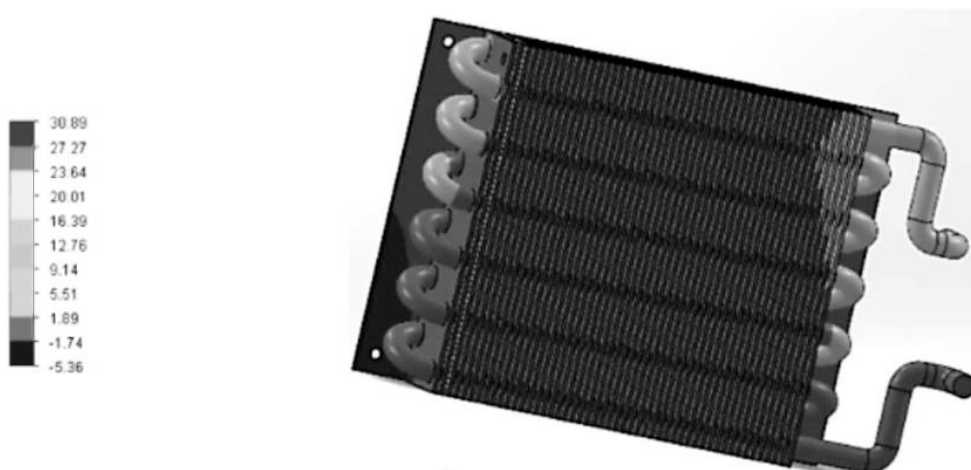
Графік зміни витрати і тиску через  
насос



Зміна коефіцієнту корисної дії  
насоса

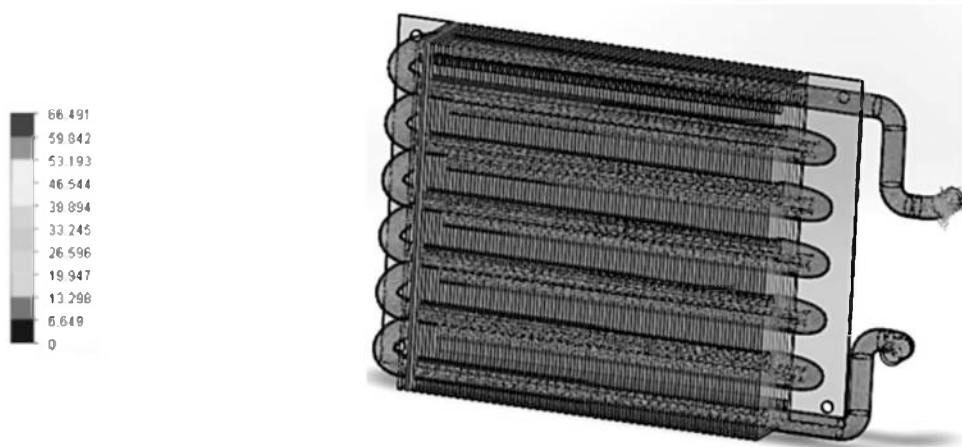


Картина розподілу температури (°C) теплоносія у калорифері

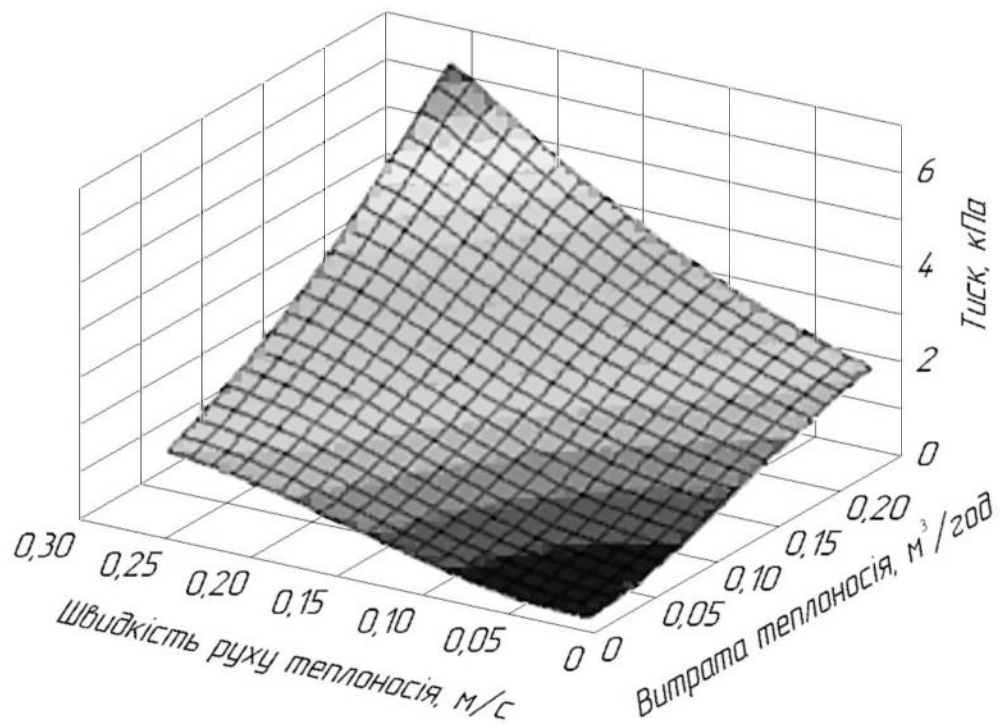


Картина розподілу температури (°C) повітря у калорифері





Картина розподілу швидкості теплоносія (м/с) у калорифері



Розподіл значення тиску в калорифері у залежності від швидкості потоку рідини та витрати

## ДОДАТОК Б. ОГЛЯД ПИТАНЬ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

На кожному підприємстві (в цеху, на ділянці) повинен бути план із зазначенням на ньому ремонтних майданчиків і допустимих на них навантажень. У цехах (на ділянках) повинні бути чітко позначені кордони майданчиків, а на табличках вказані допустимі навантаження на них.

Забороняється зберігати у виробничих приміщеннях бензин, гас, спирт, лакофарби, розчинники, розріджувачі та інші легкозаймисті матеріали, за винятком невеликих кількостей в межах добової потреби. Кількість цих матеріалів і місця їх зберігання повинні бути узгоджені з органами місцевої пожежної охорони. Матеріали повинні зберігатися в міцній металевій тарі в спеціальних цехових кладових, на дверях яких мають бути вивішені знаки безпеки про заборону куріння та застосування відкритого вогню.

Поблизу робочих місць мастильні матеріали допускається зберігати в спеціальних металевих бачках і маслянках.

Легкозаймисті матеріали слід зберігати на спеціальних складах поза виробничими приміщеннями. На дверях цих складів повинні бути вивішені знаки безпеки, що попереджають про наявність легкозаймистих речовин і забороняють застосування відкритого вогню і куріння.

Невеликі кількості (до 2 – 3 л) луги і кислоти (крім плавикової) необхідно зберігати в скляній тарі (бутлях) з притертими пробками в окремих приміщеннях, обладнаних вентиляцією. Плавиковий кислоту слід зберігати в поліетиленових посудинах або парафінованих бутлях. Бутлі повинні бути поміщені в кошики або дерев'яні риштування. Простір між пляшкою і кошиком (латами) має бути заповнено деревною стружкою або соломкою. Для зберігання бутлів з сірчаної та азотної кислотами використання деревних матеріалів допускається після їх обробки

вогнезахисною сумішшю. Витягувати бутлі з кошиків (корзин) слід тільки після випорожнення. Кошики (обрешітки) з бутлями, заповненими кислотою, повинні бути встановлені на підлозі в один ряд. Кожну з них слід забезпечити биркою з назвою кислоти. Порожні бутлі з-під кислот слід зберігати в аналогічних умовах.

У виробничих цехах електростанцій повинні бути передбачені місця для установки електрозварювального устаткування і повинна бути централізована розводка для проведення газоелектрозварювальних робіт.

Матеріали, вироби, обладнання та його деталі, що знаходяться на місці ремонтних робіт поза приміщеннями, повинні бути покладені на вирівняних утрамбованих майданчиках, які в зимовий час необхідно очищати від снігу і льоду.

Повинні бути вжиті заходи для попередження самовільного зміщення перерахованих предметів. При розташуванні матеріалів на косогорах повинні бути вжиті заходи для захисту майданчиків від поверхневих вод. Відстань від матеріалів і обладнання до бровок котлованів і траншей визначається розрахунком на стійкість укосів, але воно повинно бути не менше 1 м.

Відкриті для виконання робіт камери і ділянки прокладеного під землею трубопроводу повинні бути огорожені інвентарними щитами з вивішеними дорожніми.

Сигнальні дорожні знаки і сигнальні лампи на щитах повинні забезпечувати хорошу видимість місця огороження з усіх боків можливого проїзду автотранспорту і проходу пішоходів.

Біля входу в ці приміщення повинні бути вивішені знаки безпеки, що попереджають про наявність шкідливих речовин і про небезпеку пожежі та вибуху.

На території і в приміщеннях повинні бути необхідні засоби пожежогасіння згідно з «Правилами пожежної безпеки». Засоби пожежогасіння повинні відповідати вимогам «Типової інструкції з

утримання та застосування первинних засобів пожежогасіння на об'єктах енергетичної галузі».

Паління на території і у виробничих приміщеннях дозволяється тільки в спеціально відведених місцях. Палити в резервуарах, камерах, колодязях і каналах, а також поблизу відкритих люків забороняється.

У виробничих приміщеннях повинні бути аптечки, укомплектовані перев'язувальним матеріалом і медикаментами. Аптечки повинні міститися в чистоті і порядку, а запас матеріалів і медикаментів - систематично поповнюватися. В аптечці повинен бути список необхідних матеріалів і медикаментів, а також вказівки щодо їх застосування. Місце знаходження аптечок визначає адміністрація цеху (району, дільниці) за погодженням з медпунктом (здравпунктом).

Пристрій котельних установок має відповідати технічним вимогам з вибухобезпеки.

Перед пуском котла після монтажу, ремонту або тривалої зупинки (більше 3 діб.) повинні бути перевірені (випробувані) і підготовлені до роботи усі допоміжні механізми, засоби захисту, управління, вимірювання, блокування, зв'язку і систем пожежогасіння повітропідігрівників, а також пожежні крани на основних відмітках обслуговування у котла.

Пуск обладнання і розпалювання котла повинні проводитися під керівництвом посадової особи, яка має досвід його пуску та експлуатації.

Забороняється розпочинати операції з розпалювання котла в таких випадках:

- технологічне обладнання має дефекти, що не дозволяють забезпечити номінальний режим, а також можуть викликати пожежу.
- не працюють контрольно-вимірювальні прилади (в тому числі реєструють), що визначають основні параметри роботи котла.
- є несправності ланцюгів управління, а також технологічних захистів і блокувань, що діють на останов котла.
- не закінчені ізоляційні роботи і не зняті будівельні ліси.

– не забезпечений нормальний режим в мережі протипожежного водопостачання і не готові засоби пожежогасіння.

Перед розпалюванням (після згасання факела і після зупинки котла) топка і газоходи, включаючи рециркуляційні, повинні бути провентильовані згідно з вимогами ПТЕ і місцевої експлуатаційної інструкції.

При вентиляції запірні і регулюючі апарати повинні бути встановлені в таке становище, яке забезпечує запобігання утворенню не вентильованих (застійних) зон в топці, газоходах, повітропроводах і пальниках, а також запобігає потраплянню вибухонебезпечних сумішей в системи котла.

При підготовці до розпалюванні, котла на газі, газопровід до котла необхідно продуту через спеціальні свічки.

Час продувки газом ділянок газопроводів визначається місцевими експлуатаційними інструкціями, при цьому вміст кисню в газі не повинен перевищувати 1%.

Забороняється запалювати газ, що випускається через продувні свічки.

Забороняється при пускових операціях і продувці газопроводів проведення в зоні випуску газу через продувні свічки зварювальних та інших вогнебезпечних робіт.

При виникненні пожежі в котельному відділенні котел негайно має бути зупинений, якщо вогонь або продукти горіння загрожують життю обслуговуючого персоналу, а також якщо є безпосередня загроза пошкодження обладнання, ланцюгів управління і захистів котла.

При загорянні або пожежі в приміщенні котельного цеху повинна бути негайно викликана пожежна охорона і відключені ділянки газопроводу і мазутопроводу, що знаходяться в зоні безпосереднього впливу вогню або високих температур.

При можливості слід вжити заходів до спорожнення газо- і мазутопроводів від горючих матеріалів.

Усередині котельних відділень на вступних засувках, напірних і зворотних лініях мазутопроводов і газопроводів повинні бути вивішені таблички «Закрити при пожежі».

Забороняється захарашувати підхід до вказаних засувок деталями обладнання та матеріалами. Обслуговуючий персонал повинен добре знати місця установки вхідних засувок.

На мазутопроводах і газопровадах повинна застосовуватись тільки стальна арматура з ущільнювальними кільцями з матеріалу, який при терті і ударах не дає іскроутворення. Мазут, розлитий або такий, що протік, через порушення щільності сальників арматури, форсунок або трубопроводів, повинен бути присипаний сипучим матеріалом (піском і т.п.) і негайно прибраний. Місця, де було пролито мазут, слід ретельно протерти.

На мазутопроводах повинна застосовуватися і експлуатуватися тільки негорюча теплоізоляція. Повинно бути виключено попадання масла і мазуту на теплоізоляцію гарячих трубопроводів, а також на гарячі поверхні. При попаданні в аварійних випадках масла або мазуту на теплоізоляцію гарячих трубопроводів негайно повинні бути вжиті заходи до видалення горючих рідин з теплоізоляції. У цих випадках ділянки теплоізоляції слід очищати гарячою водою або паром, а якщо цей захід не допоможе (при глибокому просочуванні ізоляції), ця ділянка теплоізоляції повинен бути повністю замінений.

Періодично, але не менше одного разу на півріччя, повинен проводитися візуальний огляд стану теплоізоляції трубопроводів, обладнання і бункерів. Виявлені порушення повинні бути відзначені в журналі дефектів і неполадок з обладнанням. Особливо необхідно стежити за місцями з спученням і відшаруванням теплоізоляції трубопроводів з високою температурою теплоносія, оскільки попадання на ці місця горючих рідин і просочення ними теплоізоляції призводить до самозаймання.

Забороняється проводити зварювальні та інші вогнебезпечні роботи на діючому вибухо- і пожежонебезпечному обладнанні котельних установок.

Всі трубопроводи в котельному відділенні повинні мати розпізнавальну забарвлення залежно від властивостей речовин, що транспортуються відповідно до чинного державного стандарту, а в приміщеннях і на обладнанні повинні бути знаки безпеки.

Всі газопроводи повинні бути пофарбовані в жовтий, а мазутопроводи в коричневий розпізнавальний колір.

Всі гарячі частини обладнання, трубопроводи, баки та інші елементи, дотик до яких може викликати опіки, повинні мати теплову ізоляцію. Температура на поверхні ізоляції при температурі навколишнього повітря 25 °С повинна бути не вище 45 °С. Забарвлення, умовні позначення, розміри букв і розташування написів повинні відповідати вимогам. Всі гарячі ділянки поверхонь обладнання і трубопроводів, що знаходяться в зоні можливого попадання на них легкозаймистих, горючих, вибухонебезпечних або шкідливих речовин, повинні бути покриті металевою обшивкою для запобігання теплової ізоляції від просочування цих речовин.

Трубопроводи агресивних, легкозаймистих, горючих, вибухонебезпечних або шкідливих речовин повинні бути герметичними. У місцях можливих витоків (крани, вентиля, фланцеві з'єднання) повинні бути встановлені захисні кожухи, а при необхідності - спеціальні пристрої дозволяють зливати з них продукти витікання у безпечне місце. Елементи обладнання, арматуру і прилади, потребують періодичного огляду, необхідно розташовувати в місцях, зручних для обслуговування.

Елементи обладнання, розташовані на висоті більше 1,5 м від рівня підлоги (робочої площадки), слід обслуговувати із стаціонарних площадок з огорожами і сходами. Сходи і площадки повинні бути огорожені поручнями висотою не менше 1,0 м з бортовим елементом по низу

поручнів висотою не менше 0,14 м. Відстань від рівня площадки до верхнього перекриття повинна бути не менше 2 м.

Засувки та вентиля, для відкривання яких потрібні великі зусилля, повинні бути забезпечені обвідними лініями і механічними або електричними приводами.

Усі пускові пристрої та арматура повинні бути пронумеровані і мати написи відповідно до технологічної схеми. На штурвалах засувки, вентилів і шиберів повинно бути вказано напрямки обертання при відкритті та закритті їх.

Рухомі частини виробничого обладнання, до яких можливий доступ працюючих, повинні мати механічні захисні огорожі. Захисні огорожі повинні бути відкидні (на петлях, шарнірах) або знімні, виготовлені з окремих секцій. Для зручності обслуговування захищених частин машин і механізмів в огороженнях повинні бути передбачені дверцята і кришки. Огороження, дверцята і кришки повинні бути забезпечені пристроями для надійного утримання їх в закритому (робочому) положенні і в разі необхідності заблоковані з приводом машин і механізмів для їх відключення при знятті (відкритті) огорожі. Забороняється виготовляти огорожі з прутків і смуг, навареними на каркас машин і механізмів. Кожухи напівмуфт повинні бути виконані таким чином, щоб незакриті частина обертового вала з кожного боку була не більше 10 мм.

На кожному робочому місці повинні бути виробничі і посадові інструкції та інструкції з охорони праці в обсязі, обов'язковому для даної посади або професії.

До початку роботи має бути перевірено виконання всіх вимог цих Правил, що відносяться до майбутньої роботи. При недотриманні цього положення персонал не має права приступати до роботи незалежно від того, хто дав йому вказівку про її виконанні.

Обходи та огляди обладнання повинні проводитися тільки з дозволу чергового персоналу, що веде режим обладнання.



Забороняється перебувати без виробничої необхідності на майданчиках агрегатів, поблизу люків, лазів, водовказівних стекол, а також близько запірної, регулюючої та запобіжної арматури і фланцевих з'єднань трубопроводів, що знаходяться під тиском.

Забороняється спиратися і ставати на бар'єри площадок, ходити по трубопроводах, а також по конструкціях і перекриттях, що не призначені для проходу по них.

При пуску, відключенні, опресовці і випробуванні устаткування і трубопроводів під тиском поблизу них дозволяється перебувати тільки персоналу, безпосередньо виконує ці роботи.

При підвищенні тиску при гідравлічному випробуванні обладнання до пробного забороняється перебування на ньому людей. Оглядати зварні шви випробовуваних трубопроводів і обладнання дозволяється тільки після зниження пробного тиску до робочого.

При расшлаковці і обдувці котла, продування нижніх точок, нестійких і аварійних режимах персонал повинен бути видалений в безпечні місця.

При виявленні свищів в трубах поверхонь нагріву, паропроводах, колекторах, живильних трубопроводах, в корпусах арматури необхідно терміново вивести працюючих з аварійного обладнання, огородити небезпечну зону і вивісити плакати або знаки безпеки «Обережно! Небезпечна зона».

Висновок людей повинен здійснювати начальник зміни цеху електростанції або керівник (виробник) робіт в тепловій мережі.

Забороняються пуск і короткочасна робота механізмів або пристроїв за відсутності або несправному стані захисних пристроїв. Забороняється проводити прибирання поблизу механізмів без запобіжних огорожень або з погано закріпленими огороженнями.

Забороняється чистити, обтирати і змащувати обертові або рухомі частини механізмів, а також перелазити через огороження або просовувати руки за них для змащення і прибирання. Забороняється при

обтірку зовнішньої поверхні працюючих механізмів намотувати на руку або пальці обтиральний матеріал.

В якості обтиральних матеріалів слід застосовувати бавовняні або льняні ганчірки.

Відігрівати замерзлі трубопроводи горючих, вибухонебезпечних і шкідливих речовин, а також їх арматуру необхідно вологою парою або гарячою водою. Застосування джерела тепла з відкритим вогнем дозволяється тільки для відігрівання арматури і трубопроводів води, пара і пульпопроводов, розташованих поза пожежонебезпечних приміщень і на відкритому повітрі.

Місця, небезпечні для проходу або перебування в них людей, повинні захищатися канатами або переносними щитами з укріпленими на них знаками безпеки.

Перш ніж входити в газонебезпечне приміщення, необхідно провести аналіз повітряного середовища на вміст газу в ньому. Наявність газу має визначатися за допомогою газоаналізатора вибухозахищеного типу. При виявленні загазованості приміщення входити в нього можна тільки після вентиляції і повторної перевірки повітря в ньому на відсутність газу і достатність кисню (не менше 20% за обсягом). Якщо в результаті вентиляції видалити газ не вдається, то входити і працювати в газонебезпечному приміщенні допускається тільки в шланговому протигазі з дотриманням Правил. Апаратура включення освітлення і електродвигуна вентилятора повинна бути винесена за межі газонебезпечного приміщення.

При проведенні газонебезпечних робіт повинні дотримуватися таких правил:

- в якості переносного джерела світла повинні використовуватися тільки світильники вибухонебезпечного виконання. Включення і вимикання світильників в газонебезпечних місцях, а також використання відкритого вогню забороняються;

- інструмент повинен бути з кольорового металу, який би унеможлиблював іскроутворення. Допускається застосування інструменту з чорного металу, при цьому його робоча частина повинна рясно змащувати солідолом або інший мастилом;

- використання електродрилів та інших електрифікованих інструментів, а також пристосувань, що дають іскріння, забороняється;

- взуття персоналу повинна бути без сталевих підківки і цвяхів, в іншому випадку необхідно надягати калоші.

Повітронагрівачі, що працюють на гарячій воді, повинні перебувати на відстані не менше 0,1 м від горючих конструкцій і матеріалів.

Трубопроводи, по яких теплоносій надходить в повітрянагрівальні установки, недоцільно поєднувати з трубопроводами іншого призначення (опалення з місцевими нагрівальними приладами, повітряні завіси, гаряче водопостачання, виробничі паропроводи, інші періодично працюють системи і установки). У загальну систему рекомендується об'єднувати повітронагрівачі систем вентиляції, установок кондиціювання повітря та повітряного опалення.

Трубопроводи, що приєднуються до теплообмінників, повинні мати ухил:

- для пара – не менше 0,005;
- для конденсату і води – не менше 0,003.

Напрямок ухилу повинно сприяти видаленню повітря з системи і стоку конденсату.

На трубопроводі, що подає, перед теплоповітряною установкою і на зворотному трубопроводі після неї повинна бути передбачена запірні і регулююча арматура, яка забезпечує в необхідних випадках відключення установки і регулювання витрати теплоносія. Рекомендується регулюючу арматуру для повітронагрівачів встановлювати на зворотному трубопроводі, так як арматура працює надійніше із низькою температурою.

У верхній частині обв'язувальних трубопроводів повинен знаходитися вентиль для випуску повітря.

При установці повітрянагрівачів великими групами для збору і автоматичного відведення повітря встановлюють вертикальні збірники повітря.

У низьких точках обв'язувальних трубопроводів для повітрянагрівачів з теплоносієм водою повинні бути передбачені пристрої для спуску води (пробкові крани, трійники з пробками). Кількість їх має бути мінімальною, але достатньою для спорожнення від води всіх теплообмінників і ділянок обв'язувальних трубопроводів.

Подаючі і зворотні трубопроводи повітрянагрівальних установок повинні мати теплову ізоляцію.

Велика поверхня призводить до того, що кінцева температура теплоносія може бути занадто низька ( $20^{\circ}\text{C}$ ), що може привести до замерзання води в калорифері.

Швидкості води і повітря (в головному перетині) не можуть бути великі тому, що різко зростають втрати тиску на перекачку.

Різниця тисків теплоносія повинна бути не менше 10 м вод. ст. щоб забезпечити достатню швидкість потоку води в калорифері.

Калориферну установку слід перевіряти на температуру кінцевої води при температурі зовнішнього повітря мінус  $2-3^{\circ}\text{C}$  (мінімум  $20^{\circ}\text{C}$ ).

Як правило калориферні установки обладнуються системою автоматичного регулювання, яка повинна:

- підтримувати температуру припливного повітря.
- забезпечити мінімально необхідну витрату теплоносія при зупинці вентилятора.
- забезпечити розігрів калориферної установки перед запуском вентилятора.

До роботи з калорифером допускаються особи, ознайомлені з цим паспортом і пройшли інструктаж з дотримання правил техніки безпеки при

роботі з установками, що працюють при високому тиску і при високій температурі

Інструктаж з правил техніки безпеки персоналу, що обслуговує калорифери, повинен проводитися не рідше одного разу на рік (перед проведенням технічного обслуговування з занесенням прізвища осіб, що інструктуються в спеціальний журнал).

Обслуговування калорифера проводиться тільки при відключенні його від мережі подачі теплоносія «УВАГА!». Категорично забороняється усувати витoki теплоносія, що знаходиться під тиском, підтягуванням відповідних кріпильних деталей.

Всі роботи на калорифері повинні проводитися в присутності відповідальної особи.

Категорично забороняється проводити випробування калорифера повітрям.

## ДОДАТОК В

## Перелік зауважень нормоконтролера до дипломної роботи

| Позначення<br>документа | Документ | Умовне<br>позначення | Зміст зауваження |
|-------------------------|----------|----------------------|------------------|
|                         |          |                      |                  |

Дата \_\_\_\_\_