

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

спеціальності 144 Теплоенергетика

для студентів денної та заочної форм навчання

Покровськ-2019

Методичні вказівки до випускної кваліфікаційної роботи магістра спеціальності 144 Теплоенергетика для студентів денної та заочної форм навчання [Електронний ресурс] / уклад. О.М. Любименко, О.Ю. Колларов. – Покровськ : ДонНТУ, 2019 . – 114 с.

У методичних вказівках наведено мета, завдання, організація підготовки та захист наукових робіт магістрів спеціальності 144 – Теплоенергетика. Вказівки містять загальні вимоги до об'єму, оформлення, змісту кваліфікаційної роботи магістра. Наведено пояснення по оформленню пояснювальної записки та графічної частини роботи.

Методичні вказівки можуть бути використані студентами денної та заочної форми навчання інженерних спеціальностей.

Укладачі Любименко О.М., доц., к.ф.-м.н., доц. кафедри електричної інженерії  
Колларов О. Ю., доц., к.т.н., доц кафедри електричної інженерії

Рецензент

Штепа О.А. доц., к.т.н., доц. кафедри електронної техніки

Відповідальний за випуск  
завідувач кафедри

Колларов О.Ю., доц., к.т.н., доц. кафедри електричної інженерії

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,  
протокол № 3 від 29.10.2019 року

Розглянуто на засіданні кафедри електричної інженерії,  
протокол №1 від 30 .08.2019 року

Донецький національний  
технічний університет, 2019

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1. основні вимоги до кваліфікаційної роботи магістра .....	8
1.1 Кваліфікаційна робота магістра та обрання теми .....	8
1.2 План, актуальність, мета та завдання дослідження .....	9
1.3 Керівництво науковими роботами магістрів .....	11
1.3.1 Орієнтовний зміст пояснювальної записки та графічної частини за окремими напрямками кваліфікаційної роботи магістрів .....	12
1.4 Структура кваліфікаційної роботи .....	16
1.4.1 Титульний лист .....	16
1.4.2 Зміст .....	16
1.4.3 Вступ .....	16
1.5 Основна частина .....	19
1.5.1 Розділ 1 .....	20
1.5.2 Розділ 2 .....	21
1.5.3 Розділ 3 .....	22
1.6 Висновки .....	23
1.7 Список використаних джерел .....	24
1.8 Додатки .....	24
1.9 Вимоги до оформлення кваліфікаційної роботи .....	25
1.9.1 Загальні вимоги .....	25
1.9.2 Ілюстрації .....	26
1.9.3 Таблиці .....	28
1.9.4 Формули .....	29
1.9.5 Примітки .....	31
1.9.6 Загальні правила цитування та посилання на використані джерела .....	31
1.9.7 Додатки .....	33
1.10 Організація і проведення захисту наукових робіт магістрів .....	34
1.8 Академічний плагіат в кваліфікаційних роботах .....	37

1.8.1 Терміни, які використовуються в антиплагіатній системі.....	37
1.8.2 Порядок перевірки на академічний плагіат.....	40
2.ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ КОТЕЛЕНЬ.....	41
2.1 Технічні та економічні вимоги до котелень .....	41
2.1.1 Визначення виду палива.....	44
2.1.2 Стадії проектування .....	45
2.1.3 Обсяг і зміст проектної документації.....	48
2.1.4 Класифікація котелень.....	51
2.1.5 Загальні відомості про теплові схеми котелень.....	52
2.2 Розрахунки теплових схем парових котелень .....	53
2.2.1 Розрахунки споживачів пари .....	54
2.2.2 Баланс парового котлоагрегату .....	56
2.2.2 Баланси редукційно-охолоджувальних установок .....	57
2.2.3 Баланси розширника безперервної продувки .....	58
2.2.5 Баланси деаератора .....	59
3. РОЗРАХУНКИ ТЕПЛОВИХ СХЕМ ВОДОГРІЙНИХ ТА ПАРОВОДОГРІЙНИХ КОТЕЛЕНЬ.....	61
3.1 Розрахунки споживачів теплоти .....	61
3.2 Розрахунки схем підготовки додаткової води .....	68
3.3 Розрахунки параметрів в мережних лініях.....	74
3.4 Теплові схеми та розрахунки пароводогрійних котелень.....	75
4. ВИБІР УСТАТКУВАННЯ КОТЕЛЕНЬ.....	77
4.1 Вибір котлоагрегатів.....	77
4.2 Вибір насосів .....	79
4.4 Вибір установки для підготовки води.....	83
4.4 Вибір теплообмінників .....	92
4.5 Вибір баків (ємкостей).....	99
4.6 Вибір трубопроводів .....	100
4.7 Вибір вентиляторів і димососів .....	104
5.КОМПОНОВКА КОТЕЛЕНЬ .....	107

## 6. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНІ І ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ

КОТЕЛЕНЬ .....	114
Додаток А.....	122
Додаток Б .....	123
Додаток В .....	125

## ВСТУП

Магістр (від лат. *magister* «вчитель») – це освітній ступінь, який здобувається на другому рівні вищої освіти та присуджується закладом вищої освіти внаслідок успішного виконання здобувачем вищої освіти відповідної освітньої програми.

Ступінь магістра здобувається за освітньо-професійною або за освітньо-науковою програмою. Обсяг освітньо-професійної програми підготовки магістра становить 90–120 кредитів ЄКТС, обсяг освітньо-кваліфікаційної програми — 120 кредитів ЄКТС. Освітньо-наукова програма магістра обов'язково включає дослідницьку (наукову) компоненту обсягом не менше 30 відсотків.

Особа має право здобувати ступінь магістра за умови наявності в неї ступеня бакалавра або спеціаліста.

Важливішим етапом в підготовці кваліфікованих фахівців-магістрів зі спеціальності «Теплоенергетика» є виконання кваліфікаційної роботи, якість якої й підтверджує кваліфікаційний рівень випускника. Вона готується з метою підтвердження кваліфікації випускника за рахунок її публічного захисту й подальшого отримання академічного ступеня магістра. Основне завдання її автора – продемонструвати рівень своєї кваліфікаційної кваліфікації, уміння самостійно вести науковий пошук і вирішувати конкретні наукові завдання. Студент упорядковує накопичені наукові факти та доводить їхню наукову цінність або практичну значимість. Робота виконується під керівництвом професорів та провідних доцентів кафедр відповідно до теми, що затверджується у встановленому порядку. Поряд з науковим спрямуванням, вона повинна мати практичні результати, що розв'язують конкретну проблему в галузі енергетики. Дипломна робота подається у вигляді, який дозволяє зробити висновок про повноту відображення та обґрунтованості положень, висновків та рекомендацій, які містяться в роботі, їхню наукову новизну і практичну значимість. Сукупність

отриманих у такій роботі результатів має свідчити про наявність у її автора первинних навичок кваліфікаційної роботи.

Наукові роботи виконуються на завершальному етапі навчання студентів і передбачають: систематизацію, закріплення, розширення теоретичних і практичних знань зі спеціальності та застосування їх при вирішенні конкретних наукових, технічних, економічних виробничих й інших завдань; розвиток навичок самостійної роботи й оволодіння методикою дослідження та експерименту, пов'язаних з темою проекту (роботи).

Виконання кваліфікаційної роботи має сприяти:

- систематизації, закріпленню й розширенню теоретичних і практичних знань зі спеціальності та застосуванню цих знань для розв'язання конкретних завдань;

- розвитку навичок здійснення самостійної роботи й оволодіння методикою вирішення питань і проблем, поставлених у дипломній роботі (дипломному проекті);

- оцінюванню рівня володіння певною сукупністю професійних компетенцій, необхідних для майбутньої професійної діяльності.

Наукову роботу виконують усі випускники очної (денної), заочної (дистанційної) форм навчання.

Наукова робота виконується українською мовою.

Студент несе відповідальність за дотримання встановлених вимог до кваліфікаційної роботи і термінів її виконання. Робота оцінюється позитивною оцінкою тоді, коли вона є самостійно виконаним дослідженням і оформлена відповідно до вимог, які зазначені нижче.

# **1. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА**

## **1.1 Кваліфікаційна робота магістра та обрання теми**

Основна мета кваліфікаційної роботи магістрів – завершення підготовки фахівця. Напрямок розробок визначається темою кваліфікаційної роботи магістра.

Загальна тематика робіт затверджується кафедрою, а студенту надається право вільного вибору і запропонування відповідної теми з обґрунтуванням актуальності, забезпеченості нормативними і статистичними матеріалами [1].

Обрана студентом тема кваліфікаційної роботи узгоджується з керівником переддипломної практики від підприємства (організації) з метою її відповідності основним проблемам розвитку і функціонування підприємства, а також керівником практики від університету. Керівник практики може внести свої пропозиції й уточнення відносно теми кваліфікаційної роботи. Після цього студент оформлює заяву з проханням закріпити за ним обрану тему дипломного дослідження, а також графік виконання кваліфікаційної роботи (лист завдання) [1].

На засіданні кафедри розглядаються заяви студентів і після обговорення затверджуються обрані теми дипломних досліджень з оформленням відповідних документів [1].

Науковий керівник, виходячи з обраної студентом теми дипломного дослідження, розробляє завдання щодо його виконання, яке затверджується завідувачем кафедри. Інформація про стан роботи студентів з написання дипломних робіт систематично обговорюється на засіданнях кафедри.

У випадку невиконання вимог цього положення магістерська кваліфікаційна робота до захисту не допускається [1].



Порядок виконання кваліфікаційної роботи магістра складається з двох послідовних етапів:

а) **переддипломна практика**, під час якої студент згідно з завданням та програмою збирає вихідні дані для диплому.

Переддипломна практика може бути організована:

– *на відповідному виробництві, в організації, установі тощо.* В цьому разі вихідними даними для розробки диплому є матеріали, отримані на базі практики: характеристика вихідних матеріалів та продукції, відповідні технологічні інструкції, креслення агрегатів, вузлів, деталей; схеми, фактичні показники роботи обладнання, підрозділів, фінансова та статистична звітність, інформаційні потоки, технології, техніко-економічні показники, нормативні документи, дані щодо організації та управління виробництвом, результати попередніх досліджень відповідних процесів, показники діяльності з екології; документи з охорони праці, інші матеріали; побажання провідних спеціалістів бази практики щодо усунення існуючих недоліків;

– *в ДонНТУ.* В цьому разі вихідними є матеріали, аналогічні тим, що вище перелічені, але отримані з мережі Internet, науково-технічної літератури, нормативної документації, результатів досліджень, що проведені в університеті;

б) **дипломування**, яке призначене для виконання, оформлення і захисту у ДЕК кваліфікаційної роботи, що полягає в проектуванні конкретних технологічних процесів і устаткування промислового виробництва або в розробці конкретних актуальних наукових і технічних завдань.

При виконанні кваліфікаційної роботи студент повинен проявити свої знання, здібності та вміння самостійно працювати з науково-технічною літературою та кресленнями, вирішувати певні інженерні задачі та аналізувати отримані результати.

## 1.2 План, актуальність, мета та завдання дослідження

План є обов'язковим і надзвичайно важливим атрибутом майбутньої магістерської роботи. Він дозволяє логічно пов'язати окремі проблеми обраної і розгорнутої в текстовій частині роботи теми дослідження, розмістити їх у певній послідовності.

Слід мати на увазі, що всі проблеми, які розглядаються автором магістерської роботи, пов'язані єдиною метою дослідження. План роботи складається у наступній послідовності: з початку вказуються загальнотеоретичні положення дослідження із поступовим переходом до оцінки сучасного стану обліку обраної теми та проведення аналізу конкретного об'єкта з метою висловлення пропозицій для забезпечення ефективного управління на об'єкті дослідження. План самостійно складається студентом, погоджується та затверджується науковим керівником.

План магістерської роботи повинен складатися зі вступу; трьох розділів, які деталізуються параграфами; висновків; списку використаних джерел; додатків. Разом з тим, план роботи не слід переобтяжувати надмірною кількістю параграфів, які повинні відображати сутність теми дослідження, бути короткими, лаконічними та викладатися у логічній послідовності. Від того, наскільки виважено і вдало складено план магістерської роботи, залежить правильність і повнота висвітлення теми, глибина розгляду проблем, логіка викладу матеріалу.

*Актуальність* теми дослідження розкривається шляхом критичного аналізу і порівняння з вже відомими вирішеннями проблеми (завдання), обґрунтування доцільності дослідження для розвитку конкретної галузі науки або виробництва на користь розвитку держави. Ця частина вступу повинна також відображати, хто з вітчизняних і зарубіжних учених займається даною проблемою, і які питання вимагають подальшого вирішення.

Потім формулюють *мету* дослідження, основну наукову ідею роботи і *завдання* дослідження (7-10 завдань), які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети.

*Об'єкт* дослідження – це процес або явище, яке породжує проблему і вибирається для вивчення.

*Предмет* дослідження – частина об'єкта, яка визначає тему дослідження.

*Методи* дослідження. Подається перелік методів, використаних у роботі для досягнення поставленої мети і вирішення завдань. Необхідно стисло і змістовно позначити, що саме досліджується тим або іншим методом.

При викладі *кваліфікаційної новизни* отриманих у роботі результатів подають коротку анотацію нових наукових положень і рішень, запропонованих особисто студентом, відмінність отриманих результатів дослідження від раніше відомих, а також ступінь новизни (удосконалено, отримало подальший розвиток тощо).

### 1.3 Керівництво науковими роботами магістрів

Керівництво науковими роботами магістрів здійснюється викладачами випускової кафедри.

Керівник роботи сумісно зі студентом складає план та календарний графік виконання робіт, надає студенту методичну допомогу у виборі літератури, довідникових матеріалів та інших джерел по темі роботи.

Керівник контролює виконання окремих етапів роботи, при необхідності вносить корективи в план досліджень, консультує студента при обговоренні результатів та оформленні рукопису дипломного проекту.

### 1.3.1 Орієнтовний зміст пояснювальної записки та графічної частини за окремими напрямками кваліфікаційної роботи магістрів

У процесі підготовки дипломної роботи студенти розвивають широту мислення, набувають навичок дослідницької роботи, демонструють рівень своєї підготовки, що є своєрідним звітом за пройдений період навчання. Наукова робота магістрів повинна бути актуальною для сучасного рівня промисловості.

Якщо в якості завдання на проектування студент отримав об'єкт чи споруду, для яких розв'язується комплексна задача, наприклад, з енергозберігаючих заходів і технологій при проектуванні інженерних систем життєзабезпечення (наприклад, із темою завдання «Енергозбереження в роботі системи тепlopостачання тепличного комплексу»), студент керується рекомендаціями або орієнтовними пунктами окремих розділів, наведених у цих методичних вказівках, з урахуванням завдання та вимог керівника роботи.

Слід звернути увагу, що загальним бажаним моментом для всіх напрямів кваліфікаційної роботи в графічній частині важлива наявність трьох аркушів.

Аркуш перший: постановка цілей та задач дослідження, визначення предмету та об'єкту досліджень, наукова та практична новизна роботи.

Аркуш другий: алгоритм проведення майбутніх досліджень роботи у вигляді схеми досліджень.

Аркуш останній: основні висновки по роботі.

Орієнтовний зміст пояснювальної записки та графічної частини по темам дослідження пов'язаними з **КОТЕЛЬНИМИ УСТАНОВКАМИ:**

Пояснювальна записка, яка включає:

Вихідні дані (визначаються завданням):

1. Теплові навантаження.
2. Вид теплоносія.

3. Спосіб регулювання теплового навантаження.
4. Якість води, її тиск.
5. Вид палива.

Розрахунок:

1. Аеродинамічний розрахунок.
  - 1.1. Визначення кількості котлів. Компонування котельні.
  - 1.2. Розрахунок газового тракту.
  - 1.3. Визначення висоти димової труби.
  - 1.4. Підбір димососів і дугтєвих вентиляторів.
2. Водопідготовка.
  - 2.1. Розрахунок фільтрів.
  - 2.2. Підбір солерозчинника.
  - 2.3. Визначення параметрів деаераційного блока.
  - 2.4. Визначення величини продувки для парових котлів.
3. Підбір додаткового (допоміжного) устаткування.
  - 3.1. Підбір насосів.
  - 3.2. Розрахунок теплообмінників.
  - 3.3. Розрахунок термогідравлічного розділювача.
4. Паливоподавання.
  - 4.1. Опис принципової схеми паливопостачання.
  - 4.2. Гідравлічний розрахунок газопроводів.
  - 4.3. Підбір ГРП (за необхідності).
  - 4.4. Опис мазутного господарства.
5. Опис схеми котельні.

*Графічна частина*

1. План котельні.
2. Розрізи котельні.
3. Газоходи котельні.
4. Теплова схема котельні.
5. Газопостачання котельні.

## 6. Схема водопідготовки.

Орієнтовний зміст пояснювальної записки та графічної частини по темам дослідження пов'язаними з **ТЕПЛОПОСТАЧАННЯМ І ТЕПЛОВИМИ МЕРЕЖАМИ:**

Пояснювальна записка, яка включає:

1. Коротка характеристика житлового району (площа та поверховість забудови, кількість мешканців, кліматологічні характеристики й інші дані, які характеризують житловий район). Характеристика промислового підприємства.

2. Споживання теплоти.

2.1. Визначення розрахункових витрат теплоти на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання та технічні потреби.

2.2. Графіки витрат теплоти (теплової потужності) залежно від температури зовнішнього повітря на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання і технологічні потреби.

2.3. Графік витрат теплоти залежно від тривалості температур зовнішнього повітря.

3. Режим регулювання теплових мереж.

3.1. Опалювальний графік температур теплоносія.

3.2. Підвищений графік температур теплоносія (для закритої теплової мережі) чи скоригований графік температур теплоносія (для відкритої теплової мережі).

4. Розрахункові витрати теплоносія.

4.1. Витрати теплоносія на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання та технологічні потреби.

4.2. Графіки витрат теплоносія на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання і сумарний графік витрат теплоносія.

5. Трасування теплових мереж.

5.1. Трасування магістральних теплових мереж або зовнішніх теплових мереж для промислового підприємства.

5.2. Трасування внутрішньоквартальних теплових мереж чи цехових теплових мереж для промислового підприємства.

6. Гідравлічний розрахунок теплових мереж.

6.1. Магістральні теплові мережі (зовнішні теплові мережі промислового підприємства).

6.2. Внутрішньоквартальні теплові мережі (цехові теплові мережі промислового підприємства).

7. Поздовжній профіль теплових мереж.

8. Графіки тиску в теплових мережах.

9. Розрахунок конструктивних елементів теплової мережі.

9.1. Розрахунок теплоізоляції.

9.2. Конструювання каналів, теплових камер.

9.3. Розрахунок компенсаторів, рухомих та нерухомих опор.

10. Джерело теплоти. Характеристика джерела теплоти.

10.1. Розрахунок теплової схеми джерела теплоти.

10.2. Вибір обладнання.

11. Специфікація обладнання теплової мережі.

### *Графічна частина*

1. Генплан житлового району міста (генплан промислового підприємства).

2. Схема магістральних теплових мереж (схема зовнішніх теплових мереж промислового підприємства).

3. Схема квартальних теплових мереж (схема цехових теплових мереж промислового підприємства).

4. План теплових мереж.

5. Графіки тиску в тепловій мережі.

6. Поздовжній профіль окремих ділянок теплової мережі.

7. Будівельні конструкції теплової мережі.

## 1.4 Структура кваліфікаційної роботи

Структура й зміст кваліфікаційної роботи повинні відповідати темі обраного дослідження щодо економічної діяльності підприємства і включати наступне [1] :

титульний аркуш;

завдання;

зміст;

вступ;

три розділи з відповідними висновками;

висновок;

список використаних джерел;

додатки.

### 1.4.1 Титульний лист

*Титульний аркуш, завдання, відгук* заповнюється за спеціальними зразками, прийнятими в Університеті, та видаються науковим керівником (Зразок оформлення титульного аркуша Додаток А; завдання – Додаток Б).

### 1.4.2 Зміст

*Зміст* містить назви і номери початкових сторінок вступу, усіх розділів, підрозділів і пунктів, якщо вони мають заголовки, висновків, списку використаних джерел та додатків (додаток Б).

### 1.4.3 Вступ



У **вступі** подається загальна характеристика магістерської роботи в такій послідовності [1]:

- актуальність теми;
- мета та завдання дослідження;
- методи дослідження;
- практичне значення одержаних результатів;
- апробація результатів магістерської роботи.

*Актуальність теми* та доцільність даного дослідження для розвитку фінансової науки та оцінки фінансових показників обґрунтовують шляхом критичного аналізу та порівняння з вже відомими розв'язаннями проблеми. Висвітлення актуальності повинно супроводжуватись постановкою проблеми (яка передбачає висловлення кількома реченнями головного – сутності проблеми) та аналізом рівня і сучасного стану дослідженості проблеми вітчизняними та зарубіжними дослідниками.

*Мета і завдання дослідження.* Формулюється мета і завдання магістерської роботи, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети. Не слід формулювати мету як «Дослідження...», «Вивчення...», тому що ці слова вказують на засіб досягнення мети, а не на саму мету. Мета повинна бути сформульована таким чином, щоб указувати на об'єкт і предмет дослідження. Завдання вказують на засіб досягнення мети. Формулювання мети здійснюється з урахуванням обраної теми дослідження, а завдань – з урахуванням назв параграфів магістерської роботи.

*Об'єкт дослідження* – це процес або явище, що породжує проблемну ситуацію й обране для дослідження.

*Предмет дослідження* міститься в межах об'єкта.

*Об'єкт і предмет дослідження* як категорії наукового процесу співвідносяться між собою як загальне і часткове. В об'єкті виділяється та його частина, яка є предметом дослідження. Саме на нього спрямована основна увага студента, оскільки предмет дослідження визначає тему (назву) магістерської роботи.

*Методи дослідження.* Перераховують використані наукові методи та змістовно визначають, що саме досліджувалось кожним методом. Вибір методів дослідження повинен забезпечити достовірність отриманих результатів і висновків.

Загальні методи використовують в теоретичних та емпіричних дослідженнях та включають до свого складу аналіз, синтез, індукцію, дедукцію, аналогію, абстрагування, моделювання, конкретизацію, системний аналіз. До спеціальних наукових методів відносять теоретичні та методичні прийоми наукових досліджень. Теоретичними прийомами є використання теоретичного доробку певної науки та створення нових теорій. Методами теоретичних прийомів наук є метод формалізації, аксіоматичний та гіпотетичний методи, створення теорій.

До методичних прийомів досліджень відносять спостереження, експеримент, впровадження результатів дослідження у практичну діяльність, розрахунково-аналітичні методи та методи економіко-математичного моделювання, оптимізації та специфічні методи фінансового аналізу. Зокрема, такими методами можуть бути методи абстракції, переходу від абстрактного до конкретного, історичний, ретроспективний, логічний, системний, структурний, порівняльний та факторний, математично-статистичний методи, метод порівнянь, економіко-математичного моделювання, метод оптимізації, методи ідеалізації та формалізації, індукції і дедукції та інші (балансовий, вибіркового і суцільного спостереження).

*Елементи наукової новизни одержаних результатів.* Викладаються аргументовано, коротко та чітко наукові положення, які виносяться на захист, зазначаючи відмінність одержаних результатів від відомих раніше та ступінь новизни одержаних результатів (удосконалено, дістало подальший розвиток).

*Практичне значення одержаних результатів.* Надаються відомості про використання результатів досліджень або рекомендації щодо їх

використання. Відзначаючи практичну цінність одержаних результатів, необхідно подати інформацію про ступінь їх готовності до використання або масштабів використання.

Відомості про впровадження результатів досліджень необхідно подавати із зазначенням найменувань організацій, в яких здійснено впровадження, форм реалізації та реквізитів відповідних документів.

*Апробація результатів магістерської роботи.* Зазначається, на яких наукових конференціях, конгресах, симпозіумах, школах оприлюднено результати досліджень, викладені у магістерській роботі. Вказується кількість наукових праць (за наявності), в яких опубліковані основні наукові результати магістерської роботи, а також кількість праць.

*Структура та обсяг магістерської роботи.* Перераховують усі структурні елементи магістерської роботи з обов'язковим зазначенням повного (усього) обсягу роботи та обсягу основного тексту (*загального обсягу роботи*). Вказують загальну кількість додатків, рисунків, таблиць, кількість найменувань у списку використаних джерел. Наприклад, «Магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг магістерської роботи викладено на 110 сторінках комп'ютерного тексту, в тому числі основна частина роботи на 101 сторінці. Робота містить 20 таблиць, 14 рисунків, 25 додатків. Список використаних джерел містить 68 найменувань».

Загальний обсяг вступу не повинен перевищувати 3-4 сторінок [1].

### 1.5 Основна частина

*Основна частина* роботи складається з розділів і підрозділів, причому кожен розділ починають із нової сторінки. Матеріал треба рівномірно розподіляти за розділами, дотримуючись його структури та обсягів. Текст

роботи необхідно розбивати на абзаци, що включають логічно пов'язаний матеріал.

Наприкінці кожного розділу слід сформулювати висновки зі стислим викладенням одержаних теоретичних та практичних результатів (1-2 сторінки).

Другий та третій розділи кваліфікаційної роботи виконуються на підставі узагальнення результатів діяльності конкретного підприємства (організації) або інших структур. В цих розділах використовується зібраний практичний матеріал, інструктивна і спеціальна література з питань економічної діяльності.

#### 1.5.1 Розділ 1

*«Розділ 1. Теоретико-методичні засади дослідження обраної проблеми»* (20-25 сторінок, 3-4 підрозділи) має висвітлювати основні теоретико-методичні положення теми, проблемні питання, дискусійні та невирішені аспекти з обов'язковим посиланням на літературні джерела, ставлення автора до них, складається з трьох підрозділів.

Перший підрозділ (параграф), як правило, присвячують розкриттю сутності сучасних технологій та засобів.

У другому підрозділі розглядається теоретичне і прикладне значення технічних процесів, у третьому – визначаються перспективи розвитку проблеми, а також запропонована обрана методика дослідження.

Теоретичні положення повинні бути покладеними в основу другого та третього розділів роботи.

В даному розділі слід розкрити загальнотеоретичні питання стосовно предмета дослідження, навести його загальноекономічну характеристику, визначити його роль і місце у народному господарстві, в діяльності підприємства, галузі (матеріал доцільно ілюструвати даними із

статистичних довідників, монографій, журнальних статей, наукових збірників тощо).

Автору роботи варто проаналізувати існуючі різноманітні погляди (зокрема, і власні) на ті чи інші аспекти, виявити невирішені проблеми, що потребують розв'язання в теоретичному та прикладному планах.

На основі вивчення наукової, навчально-методичної літератури розкриваються підходи різних авторів до розв'язання проблеми, показується, у чому полягає подібність, а у чому – відмінність їх поглядів. У цьому розділі подається оцінка діючих законів, постанов, указів й інших офіційно-розпорядчих документів, нормативної та довідкової бази за досліджуваною проблемою. Розкривається авторське розуміння цієї бази, обґрунтовується необхідність і доцільність окремих документів. Теоретичне обґрунтування, суть, значення, класифікаційні характеристики, історія та сучасні тенденції предмету дослідження, методичні підходи повинні мати певні елементи полемічності, ствердженої власної позиції щодо обраних методів дослідження, що дає змогу перейти в наступному розділі до конкретного аналітичного дослідження.

Загальний обсяг першого розділу не повинен перевищувати 25 % обсягу основної частини роботи.

### 1.5.2 Розділ 2

*«Розділ 2. Методика та організація порядку роботи до теми і напрямків дослідження» (3–4 параграфи) забезпечує логічну послідовність дослідження та є перехідним до наступного третього розділу. Він поєднує набуті теоретичні знання й уміння використовувати обрані методи та певний методичний інструментарій.*

У другому розділі студент має навести результати ґрунтовного аналізу фактичного стану устаткування.

Розділ має бути максимально насичений фактичною інформацією (таблиці, графіки, діаграми, схеми), що відображають певні аспекти діяльності об'єкта дослідження. Усі аналітичні розрахунки, таблиці, графіки, діаграми мають супроводжуватися тлумаченням і висновками, що дозволяють визначити сутність технологічних процесів, що спостерігаються на устаткуванні. Якщо це можливо, текст варто ілюструвати реальними документами (які наводяться в додатках), що обов'язково супроводжуються стислим коментарем.

Для виконання другого розділу студент має зібрати фактичні дані під час проходження науково-педагогічної практики. Джерелом інформації є планові та фактичні показники діяльності, статистична звітність, накази, розпорядження, результати спостережень, опитувань, обстежень та інших методів збирання первинної інформації, що використовує студент під час практики. Особливе значення має правильне узагальнення накопиченого фактичного матеріалу, групування й обробка даних, на основі яких проводиться кваліфікований аналіз, обґрунтовуються пропозиції.

Однією з ознак високої якості магістерської роботи є застосування математичних методів і моделей, сучасної комп'ютерної техніки як під час проведення аналізу, так і при обґрунтуванні запропонованих заходів.

Обсяг другого розділу становить 30–35 % загального обсягу роботи.

### 1.5.3 Розділ 3

*«Розділ 3. Розробка та обґрунтування науково-практичного вирішення проблеми відповідно до теми дослідження» (25-30 сторінок, 2–3 параграфи)* магістерської роботи присвячується висвітленню ключових положень розробленої магістрантом програми розвитку та підвищення ефективності діяльності з розрахунками та обґрунтуванням можливості практичної реалізації результатів дослідження. Викладається розробка конкретних

рекомендацій і пропозицій, обґрунтування шляхів та заходів удосконалення фінансової діяльності в організації на базі основних теоретичних положень, методичних підходів, методичного інструментарію, що викладені у першому розділі, а також висновків проведеного у другому розділі дослідження.

Автор роботи обґрунтовує свої пропозиції з огляду на досягнення мети, поставленої у вступі, та з урахуванням вивчення зарубіжного досвіду в досліджуваній сфері. Назва третього розділу може формулюватися як «Удосконалення .... (предмет дослідження) на ....(об'єкт дослідження)» або «Шляхи удосконалення ....(предмет дослідження) на ....(об'єкт дослідження)». Детальні пропозиції щодо удосконалення діяльності організації мають відповідати напряду дослідження та містити розрахунково-кількісне обґрунтування.

Пропозиції студента щодо науково-практичного вирішення досліджуваної проблематики мають відповідати критеріям оптимальності, економічної ефективності та практичної втіленості. У розрахунках для обґрунтування пропозицій можливим є використання засобів комп'ютерної техніки.

## 1.6 Висновки

В остаточних *висновках* (3-5 сторінок) стисло оцінюється розглянута проблема, розкриваються методи вирішення поставлених у роботі завдань, розкриваються найбільш важливі теоретичні і практичні результати, отримані в роботі.

Висновок починається з невеликої преамбули (вступу), де зазначається що мету магістерської роботи досягнуто. У структурі магістерської роботи висновки є обов'язковою частиною, у якій коротко викладаються головні підсумки дослідження, формулюються основні положення і концепції, які

запропонував автор. Усі висновки та пропозиції повинні бути конкретними, щодо оцінки результатів дослідження з погляду відповідності мети магістерської роботи поставленим завданням. У висновках (так само, як і у вступі) не допускається застосування будь-яких таблиць, рисунків, формул та не можуть з'явитися пропозиції, які не були розглянуті та обґрунтовані у розділах магістерської роботи.

У висновках акцентують увагу на отриманих результатах якісних та кількісних показників, що розглядались в процесі дослідження, визначається значення й можливості застосування рекомендацій автора у практичній діяльності суб'єкта господарювання. Якщо рекомендації автора впроваджені або прийняті до впровадження, у висновках вказується місце їх практичного використання.

#### 1.7 Список використаних джерел

*Список використаної літератури* подається в алфавітному порядку згідно з ДСТУ 8302:2015. Зразок оформлення надано у Додатку Д.

#### 1.8 Додатки

*Додатки* включають матеріали, необхідні для повноти сприйняття роботи:

- форми звітності;
- проміжні формули і розрахунки;
- таблиці з допоміжними цифровими даними;
- інструкції, методики, описи алгоритмів і програм вирішення завдань на ПЕОМ, розроблені в процесі виконання роботи;
- допоміжний ілюстративний матеріал.



## 1.9 Вимоги до оформлення кваліфікаційної роботи

### 1.9.1 Загальні вимоги

Текст кваліфікаційної роботи друкують за допомогою принтера на одному боці аркуша білого паперу формату А4 з використанням шрифту Times New Roman текстового редактора Word розміру 14 із полуторним міжрядковим інтервалом. Форматування тексту повинно відповідати таким вимогам: текст розташовується на сторінці по ширині, абзацний відступ – 1,25 см.

Обсяг основного тексту кваліфікаційної роботи має становити для магістрів до 120 друкованих сторінок.

Текст роботи необхідно друкувати, залишаючи поля таких розмірів: ліве – 30 мм, праве – 10 мм, верхнє – 20 мм, нижнє – 20 мм.

Першою сторінкою роботи є титульний аркуш, який включають до загальної нумерації сторінок. Проставляти нумерацію сторінок починають з аркуша «ВСТУП». Номер проставляють у правому верхньому куті сторінки без крапки в кінці. На сторінках, які містять заголовки таких структурних частин роботи, як лист завдання до роботи, реферат, зміст, порядковий номер не проставляють.

Текст основної частини роботи поділяють на розділи та підрозділи.

Заголовки структурних частин кваліфікаційної роботи **«ЗМІСТ», «ВСТУП», «РОЗДІЛ», «ВИСНОВКИ», «СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ», «ДОДАТКИ»** друкують великими літерами симетрично до набору (по центру аркуша) жирним шрифтом. Заголовки підрозділів друкують маленькими літерами (крім першої великої) з абзацного відступу. Крапку в кінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох або більше речень, їх розділяють крапкою. Після слова «РОЗДІЛ» ставлять його номер, після номера крапку не ставлять, потім з нового рядка друкують заголовок розділу теж без крапки. Нумерацію сторінок, розділів, підрозділів, рисунків, таблиць, формул подають арабськими цифрами без знака «№». Підрозділи

нумерують у межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, між якими ставлять крапку, наприклад: «2.3» (третій підрозділ другого розділу). Потім у тому ж рядку наводять заголовок підрозділу.

Перед кожним наступним підрозділом треба пропустити 1 інтервал. Між заголовком підрозділу та основним текстом додатковий інтервал не встановлюється. Кожну структурну частину (розділ) роботи треба починати з нової сторінки.

До загального обсягу роботи не входять додатки, список використаних джерел, таблиці та рисунки, які повністю займають площу сторінки. Але всі сторінки зазначених елементів роботи підлягають суцільній нумерації.

Приклад оформлення частини сторінки основного тексту наведено на рис. 1.1:

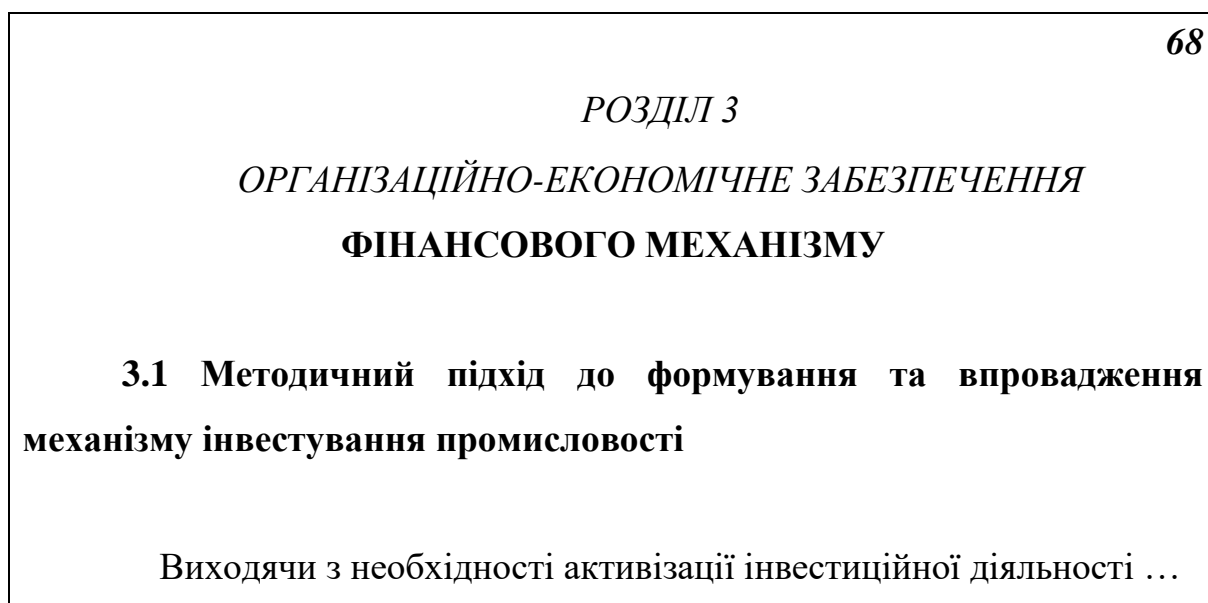


Рисунок 1.1 - Оформлення частини сторінки основного тексту

#### 1.9.2 Ілюстрації

Ілюструють роботу, виходячи із певного загального задуму, за ретельно продуманим тематичним планом, що допомагає уникнути

ілюстрацій випадкових, пов'язаних із другорядними деталями тексту і запобігти невиправданим пропускам ілюстрацій до найважливіших тем. Кожна ілюстрація має відповідати тексту, а текст – ілюстрації. Розташовуються ілюстрації по центру сторінки тексту. Між рисунком і текстом має бути один інтервал.

Ілюстрації (схеми, графіки, рисунки) необхідно подавати в роботі безпосередньо після тексту, де вони згадані вперше, або на наступній сторінці. Ілюстрації, розміщені на окремих сторінках роботи, включають до загальної нумерації сторінок. Рисунок або схему, розміри яких більше формату А4, враховують як одну сторінку і розміщують у відповідних місцях після згадування у тексті або в додатках. Посилання на ілюстрацію роботи вказують порядковим номером ілюстрації, наприклад, «...розподіл коштів подано на рис. 4.1» або «...витрати на заробітну плату складають значну частину загального обсягу витрат (рис. 4.2)».

Ілюстрації позначають словом «Рис. \_\_» і нумерують послідовно в межах розділу, за винятком ілюстрацій, поданих у додатках. Номер ілюстрації повинен складатися з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, між якими ставиться крапка. Наприклад: «Рис. 1.2 » (другий рисунок першого розділу). Номер ілюстрації, її назва і пояснювальні підписи розміщують послідовно під ілюстрацією. Якщо в розділі роботи подано одну ілюстрацію, то її нумерують за загальними правилами. Наприклад:

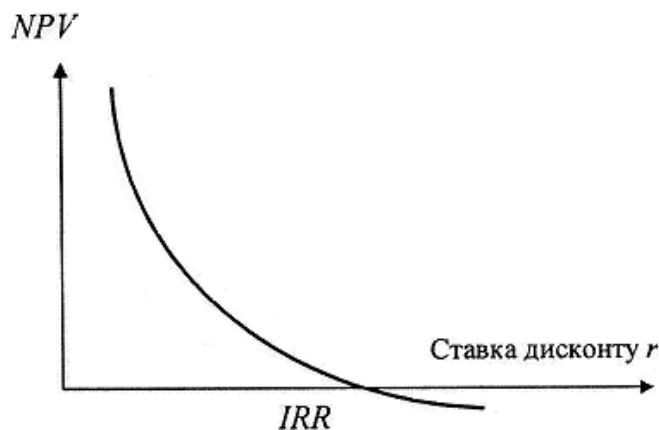


Рисунок 1.2 - Профіль NPV

### 1.9.3 Таблиці

Цифровий матеріал, як правило, повинен оформлюватися у вигляді таблиць (табл. 1.1).

Таблицю розміщують після першого згадування про неї в тексті, так, щоб її можна було читати без повороту переплетеного блоку кваліфікаційної роботи або з поворотом за стрілкою годинника. Таблицю з великою кількістю рядків можна переносити на наступну сторінку. При перенесенні таблиці на наступну сторінку назву вміщують тільки над її першою частиною. Таблицю з великою кількістю граф можна ділити на частини і розміщувати одну частину під іншою в межах однієї сторінки.

Таблиця 1.1 - Формування доходу ПП «Кондитер» за 2014-2016 рр., тис. грн.

Показники	2014 рік	2016 рік	Темпи зростання (+), зменшення (-), %		
			2015/2014	2016/2015	2016/2014
1. Доход (виручка від реалізації)	256,7	320,8	111,38	112,21	124,97
2. ПДВ	51,34	64,16	111,38	112,21	124,97
3. Чистий дохід	139,8	205,3	110,73	132,62	146,85
4. Собівартість реалізованої продукції	215,3	257,9	106,13	112,87	259,13
5. Валовий прибуток	256,7	320,8	111,38	112,21	124,97
6. Інші операційні доходи	342,9	331,8	128,43	75,34	96,76
7. Разом валовий дохід	482,7	537,1	123,31	90,24	111,27

Якщо текст, який повторюється в графі таблиці, складається з одного слова, його можна замінювати лапками; якщо з двох або більше слів, то при першому повторенні його замінюють словами «Те саме», а далі лапками. Ставити лапки замість цифр, знаків, математичних символів, які повторюються, не можна. Якщо цифрові або інші дані в якому-небудь рядку таблиці не подають, то в ньому ставлять прочерк. Текст у таблиці розміщують по ширині, без абзацного відступу, шрифт № 14(12).

Таблиці нумерують послідовно (за винятком таблиць, поданих у додатках) у межах розділу. Позначення таблиці складається зі слова «Таблиця» (друкується з першого символу рядка), номера розділу, в якому знаходиться таблиця, порядкового номера таблиці, наприклад: «Таблиця 1.2» (друга таблиця першого розділу). Якщо в розділі роботи одна таблиця, її нумерують за загальними правилами.

При перенесенні частини таблиці на інший аркуш (сторінку) слово «Таблиця» і номер її вказують один раз зліва над першою частиною таблиці, над іншими частинами зліва пишуть слова «Продовження таблиці \_\_» і вказують номер таблиці, наприклад: «Продовження таблиці 1.2».

Між таблицею і текстом має бути один інтервал.

#### 1.9.4 Формули

При використанні формул необхідно користуватися вбудованим у Word редактором формул MS Equations.

Як правило, формули розміщують на окремих рядках, посередині, а невеликі і нескладні формули, що не мають самостійного значення, вписують усередині рядків тексту.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів треба подавати безпосередньо під формулою в тій послідовності, в якій вони наведені у формулі.

Значення кожного символу і числового коефіцієнта треба подавати з нового рядка. Перший рядок пояснення починають зі слова «де» без двокрапки.

Рівняння і формули треба виділяти з тексту вільними рядками: вище і нижче кожної формули потрібно залишити не менше одного вільного рядка. Якщо рівняння не вміщується в один рядок, його слід перенести після знака рівності (=), або після знаків плюс (+), мінус (-), множення.

Нумерувати слід лише ті формули, на які є посилання в наступному тексті. Інші нумерувати не рекомендується.

Порядкові номери позначають арабськими цифрами в круглих дужках біля правого поля сторінки без крапок від формули до її номера. Номер формули-дробу подають на рівні основної горизонтальної риски формули. Номер формули складається з номера розділу і порядкового номера формули в розділі, між якими ставлять крапку, наприклад: (3.1) (перша формула третього розділу).

Номер групи формул, розміщених на окремих рядках і об'єднаних фігурною дужкою (парантезом), ставиться справа від вістря парантеза, яке знаходиться всередині групи формул і спрямовано в сторону номера.

Загальне правило пунктуації в тексті з формулами таке: формула входить до речення як його рівноправний елемент, тому в кінці формул і в тексті перед ними розділові знаки ставлять відповідно до правил пунктуації.

Двокрапку перед формулою ставлять лише у випадках, передбачених правилами пунктуації: а) у тексті перед формулою є узагальнююче слово; б) цього вимагає побудова тексту, що передує формулі.

Розділовими знаками між формулами, що йдуть одна під одною і не відокремлені текстом, можуть бути кома або крапка з комою безпосередньо за формулою до її номера.

Розділові знаки між формулами при парантезі ставлять усередині парантеза. Після таких громіздких математичних виразів, як визначники і матриці, можна розділові знаки не ставити [1].

## Приклад запису формули:

При складанні групувань на основі кількісних ознак визначають кількість груп за формулою Стерджесса (2.1):

$$m = 1 + 3,322 \lg n, \quad (2.1)$$

де  $m$  - кількість груп;  
 $n$  - чисельність сукупності.  
При формуванні груп постає питання .....

### 1.9.5 Примітки

Примітки до тексту і таблиць, в яких наводять довідкові і пояснювальні дані, нумерують послідовно в межах однієї сторінки. Якщо приміток на одному аркуші кілька, то після слова «Примітки» ставлять двокрапку, наприклад:

Примітки:

1....

2....

Якщо є одна примітка, то її не нумерують і після слова «Примітка» ставлять крапку.

### 1.9.6 Загальні правила цитування та посилання на використані джерела

При написанні роботи треба посилатися на джерела, матеріали або окремі результати, частини з яких наводяться в роботі, або на ідеях і висновках яких розроблюються проблеми, завдання, питання, вивченню яких присвячено роботу. Такі посилання дають змогу відшукати документи і перевірити достовірність відомостей про цитування документа, дають необхідну інформацію щодо нього, допомагають з'ясувати його зміст, мову тексту, обсяг. Посилатися слід на останні видання публікацій. На більш ранні

видання можна посилатися лише в тих випадках, коли наявний у них матеріал, не включений до останнього видання

Якщо використовують відомості, матеріали з монографій, оглядових статей, інших джерел із великою кількістю сторінок, тоді в посиланні необхідно точно вказати номери сторінок, ілюстрацій, таблиць, формул із джерела, на яке є посилання в роботі.

Посилання в тексті роботи на джерела слід зазначати порядковим номером за переліком посилань, виділеним двома квадратними дужками, наприклад, «... у працях [1-7]...».

Посилання на ілюстрації роботи вказують порядковим номером ілюстрації, наприклад, «рис. 1.2». Посилання на формули роботи вказують порядковим номером формули в дужках, наприклад «... у формулі (2.1)». На всі таблиці роботи повинні бути посилання в тексті, при цьому слово «таблиця» в тексті пишуть скорочено, наприклад: «...у табл. 1.2». У повторних посиланнях на таблиці та ілюстрації треба вказувати скорочено слово «дивись», наприклад: «див. табл. 1.3».

Для підтвердження власних аргументів посиланням на авторитетне джерело або для критичного аналізу того чи іншого друкованого твору слід наводити *цитати*. Науковий етикет потребує точно відтворювати цитований текст, бо найменше скорочення наведеного витягу може спотворити зміст, закладений автором.

Загальні вимоги до цитування такі:

а) текст цитати починається і закінчується лапками і наводиться в тій граматичній формі, в якій він поданий у джерелі, із збереженням особливостей авторського написання. Наукові терміни, запропоновані іншими авторами, не виділяються лапками, за винятком тих, що викликали загальну полеміку. У цих випадках використовується вираз «так званий»;

б) цитування повинно бути повним, без довільного скорочення авторського тексту та без перекручень думок автора. Пропуск слів, речень, абзаців при цитуванні допускається без перекручення авторського тексту і



позначається трьома крапками. Вони ставляться у будь-якому місці цитати (на початку, всередині, наприкінці). Якщо перед випущеним текстом або за ним стояв розділовий знак, то він не зберігається;

в) кожна цитата обов'язково супроводжується посиланням на джерело;

г) при непрямому цитуванні (переказі, викладі думок інших авторів своїми словами), що дає значну економію тексту, слід бути гранично точним у викладенні думок автора, коректним щодо оцінювання його результатів і давати відповідні посилання на джерело.

Наприклад: «У загальній економічній теорії відомі різноманітні визначення чинників виробництва. Наприклад, американський економіст Едвард Лимер вважає, що капітал, три типи робочої сили, чотири типи землі, вугілля, нафта та інші мінеральні ресурси є самостійними чинниками виробництва» [11, с. 85].

Зразок оформлення СПИСКУ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ наведено у додатку Д.

#### 1.9.7 Додатки

Додатки оформлюють як продовження кваліфікаційної роботи на наступних її сторінках, розміщуючи їх у порядку появи посилань у тексті роботи.

Якщо додатки оформлюють на наступних сторінках роботи, кожний такий додаток повинен починатися з нової сторінки. Додаток повинен мати заголовок, надрукований угорі малими літерами з першої великої симетрично відносно тексту сторінки. Посередині рядка над заголовком малими літерами з першої великої друкується слово «Додаток» і велика літера, що позначає додаток.

Додатки слід позначати послідовно великими літерами української абетки, за винятком літер Г, Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ъ, наприклад, «Додаток А», «Додаток Б». Один додаток позначається як додаток А. Якщо текст додатка переноситься на іншу сторінку, то по центру цієї сторінки робиться напис

«Продовження додатку» з вказівкою відповідної літери додатку, наприклад, «Продовження додатку А».

Ілюстрації, таблиці, формули та рівняння, що є у тексті додатку, слід нумерувати в межах кожного додатку, наприклад, рисунок А.3 – третій рисунок додатка А; таблиця Б.2 – друга таблиця додатка Б; формула (Г.1) – перша формула додатка Г. Якщо в додатку одна ілюстрація, одна таблиця, одна формула, одне рівняння, їх нумерують, наприклад, рисунок А.1, таблиця А.1, формула (В.1).

#### 1.10 Організація і проведення захисту наукових робіт магістрів

Захист наукових робіт магістрів з теплоенергетики проводиться Державною атестаційною комісією (ДЕК). Склад ДЕК (головуючий, 3 члени та секретар) формується з викладачів кафедри теплоенергетики та затверджується наказом по ДонНТУ.

Захист наукових робіт магістрів виконується після завершення літньої екзаменаційної сесії. Розклад порядку захиста доводиться до студентів за два тижні дати засідання ДЕК.

Наукова робота магістрів надається студентом керівнику за 15-17 днів до захисту. Не пізніше, ніж за 10 робочих дня до захисту студент-автор надає диплом рецензенту.

Рецензент назначається з числа викладачів сумісних випускових кафедр. Рецензія має відображати оцінку змісту пояснювальної записки та зауваження. У відгуку наукового керівника має бути вказана оцінка за дипломування.

Рецензія, пояснювальна записка, креслення мають бути представлені на підпис завідувачу кафедри для допуску до захисту не пізніше, ніж за 4 дні до засідання ДЕК.

Студент, який не надав в указані строки наукову роботу без поважних причин, не допускається до захисту випускної роботи. У випадку неготовності

студента до захисту кваліфікаційної роботи керівник має повідомити про це завідувача кафедрою не пізніше, ніж за 7 днів до засідання ДЕК.

Порядок проведення захисту:

- повідомлення секретаря ДЕК про студента-дипломника, тему проекту, керівника та рецензента;
- доповідь студента про зміст проекту та основні висновки (до 10 хвилин);
- оголошення рецензії, надання відповіді на питання за зауваження в ній;
- відповіді студента на питання членів ДЕК та викладачів, що присутні на захисті (5-10 хвилин);
- виступ наукового керівника;
- оголошення завершення захисту дипломного проекту студентом.

Захист відбувається на відкритому засіданні ДЕК у присутності наукового керівника.

Рішення по результатам захисту члени ДЕК виносять на закритому засіданні. Оцінка враховує якість дипломного проекту, його оформлення, новизну результатів, повноту та аргументованість відповідей на питання в процесі захисту. Після завершення закритого засідання головуючий ДЕК оголошує рішення комісії, оцінки захистів та рекомендації (направлення роботи на конкурс).

При оцінці роботи враховуються наступні основні параметри:

- актуальність, наукову значимість теми,
- чіткість формулювань, логічність і послідовність викладу інформації;
- ступінь самостійності при виконанні роботи;
- велика кількість фактичного матеріалу, що узагальнюється в роботі, і його оригінальність;
- коректність аналізу і представлення даних,
- відповідність оформлення роботи стандарту, якість оформлення (тексту і графічних додатків);

Оцінка виконання та захист роботи проводиться за 100-бальною шкалою. Оцінка враховує як зміст роботи, так і відповіді студента на запитання на захисті. Відповідно до встановлених правил робота оцінюється за 4-бальною системою: «відмінно»; «добре»; «задовільно»; «незадовільно» (табл. 1.1). Оцінка «відмінно» виставляється в тих випадках, коли студент демонструє блискуче володіння проблемою дослідження, логічно, послідовно й аргументоване відстоює концептуальний її зміст. Докладно вичерпно відповідає на всі додаткові питання, демонструє високий рівень культури психологічного мислення, при бездоганному оформленні роботи.

Таблиця 1.1 – Шкала оцінювання

Оцінка	
За 100-бальною шкалою	для кваліфікаційної роботи
90 - 100	відмінно
74-89	добре
60-73	задовільно
0-59	незадовільно

Оцінка «добре» виставляється в ситуації, коли студент демонструє високий рівень володіння проблемою дослідження, логічно, послідовно й аргументоване відстоює її концептуальний зміст, але при відповідях на додаткові питання має труднощі. Та ж оцінка може бути виставлена й у тих випадках, коли комісія відзначає незначні пробіли в його професійній підготовці чи виявляє в тексті роботи незначні порушення .

Оцінка «задовільно» виставляється в тих випадках, коли студент хоча і демонструє досить (чи відносно) гарне володіння проблемою дослідження, логічно, послідовно й аргументоване відстоює її концептуальний зміст, але при відповідях допускає помилкові твердження. Або в тексті виявляються незначні порушення: при оформленні наукового апарату роботи, стилістичні та інші погіршеності, некоректні висловлювання і т.п.

Оцінка «незадовільно» виставляється в ситуаціях, коли комісія виявляє некомпетентність у досліджуваній студентом проблемі, при поганому захисті

роботи, недбалому і неакуратному її оформленні, порушенні норм кваліфікаційної етики стосовно членів приймальної комісії.

Позитивна оцінка за роботу виставляється у відомість і залікову книжку студента, а по закінченні університету - у додаток до диплому.

Студенти, які не підготували у встановлений термін роботи не захистили їх з неповажної причини, вважаються такими, що мають академічну заборгованість. Оцінка виконання та захисту курсової роботи проводиться за 100-бальною шкалою.

## **1.8 Академічний плагіат в кваліфікаційних роботах**

В зв'язку з Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в освітніх та наукових роботах до робіт висуваються додаткові вимоги. Всі освітні роботи здобувачів вищої освіти ступеню «бакалавр», що навчаються у ДонНТУ, згідно Положення, повинні пройти перевірку на академічний плагіат за встановленим порядком.

Положення регламентує порядок перевірки на академічний плагіат та заходи його запобігання, розвиток навичок доброчесної та коректної роботи із джерелами інформації; дотримання вимог кваліфікаційної етики та поваги до інтелектуальної власності інших осіб; активізацію самостійності та індивідуальності при створенні власних творів, а також підвищення відповідальності за порушення загальноприйнятих правил цитування.

### **1.8.1 Терміни, які використовуються в антиплагіатній системі**

Автор – фізична особа, творчою працею якої є створення кваліфікаційної роботи.

Науково-технічна інформація – будь-які відомості та/або дані про вітчизняні та зарубіжні досягнення науки, техніки і виробництва, одержані в ході науково-дослідної, дослідно-конструкторської, проектно- технологічної, виробничої та громадської діяльності, які можуть бути збережені на

матеріальних носіях або відображені в електронному вигляді» (ст. 1 Закону України «Про науково-технічну інформацію»).

Науковий результат – нове наукове знання, одержане в процесі фундаментальних або прикладних наукових досліджень та зафіксоване на носіях інформації. Науковий результат може бути у формі звіту, опублікованої кваліфікаційної статті, кваліфікаційної доповіді, наукового повідомлення про науково-дослідну роботу, монографічного дослідження, наукового відкриття, проекту нормативно-правового акта, нормативного документа або науково-методичних документів, підготовка яких потребує проведення відповідних наукових досліджень або містить наукову складову, тощо» (п.22 ст. 1 Закону України «Про наукову і науково-технічну діяльність»).

Плагіат – оприлюднення (опублікування), повністю або частково, чужого твору під іменем особи, яка не є автором цього твору» (п. «в» ст. 50 Закону України «Про авторське право і суміжні права»).

Плагіат академічний – оприлюднення (частково або повністю) наукових (творчих) результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження (творчості) та/або відтворення опублікованих текстів (оприлюднених творів мистецтва) інших авторів без зазначення авторства (ч. 4 ст. 42 Закону України «Про освіту»).

Твір (робота, матеріал) – інформація, як результат кваліфікаційної чи навчально-методичної діяльності конкретної особи (чи у співавторстві), представлена на паперових носіях або в електронному вигляді у мережі Інтернет (монографія, підручник, навчальний посібник, стаття, тощо).

Цитата – порівняно стислий уривок з літературного, наукового чи будь-якого іншого (у тому числі оприлюдненого у мережі Інтернет) твору, який використовується, з обов'язковим посиланням на його автора і джерело цитування, іншою особою у своєму творі з метою зробити зрозумілішими власні твердження або для посилання на погляди іншого автора в автентичному формулюванні.

Унікальність твору (роботи, матеріалу) - співвідношення (у відсотках) матеріалу, що не має збігів з іншими публікаціями, до загального об'єму матеріалу.

Звіт Подібності – це документ, створений системою, який містить інформацію про запозичення, знайдених в аналізованому документі.

Сигнал тривоги – це повідомлення в Звіті Подібності, що вказує на наявність в тексті документа знаків не з кириличного алфавіту, які були використанні для написання роботи. Функція сигналу тривоги звертає увагу Координатора (наукового керівника) на обґрунтованість використання зазначених символів, присутність яких може вказувати на спробу фальсифікації коефіцієнтів у Звіті Подібності. Документи, що містять сигнал тривоги, виділяються жовтим кольором в списку документів, а у відповідних Звітах Подібності зазначені знаком оклику.

Антиплагіатна система – це інструмент, який дозволяє перевіряти оригінальність аналізованого документа. Її завданням є точне визначення ступеню можливої подібності в завантаженому тексті у порівнянні з вмістом Інтернету та баз даних. Система надає вищезгадану інформацію, що дозволяє провести незалежну оцінку по відношенню до законності запозичень, знайдених в проаналізованому змісті документа.

Метою системи не є ствердження чи проаналізований документ був написаний самостійно. Метою системи є достачання матеріалів, які допоможуть користувачу прийняти таке рішення. Таким чином, Звіт Подібності завжди має бути додатково проаналізований компетентною особою! Зокрема, не варто оцінювати документ лише на підставі процентних ставок Коефіцієнта Подібності.

Необхідно перевірити зміст документа: 1) Чи правильно зазначені цитування? 2) Чи вірно вказане джерело їх запозичення в бібліографії?

Антиплагіатна система не визначає першочерговість створення документів, тобто який документ був створений раніше – аналізований чи знайдений системою і прийнятий за джерело. Таким чином, в непевній

ситуації, користувач не може лише на підставі Звіту Подібності визначити, який документ є оригіналом, а який копією. Такий висновок може бути зроблений лише на підставі більш глибокого аналізу документа.

#### 1.8.2 Порядок перевірки на академічний плагіат

1) Перевірці на академічний плагіат підлягають кваліфікаційні роботи здобувачів вищої освіти ступеню «магістр», організацію перевірки вищезазначених матеріалів здійснюють завідувачі кафедр.

2) Перевірка на академічний плагіат здійснюється за допомогою антиплагіатної системи на етапі представлення матеріалів робіт після їх завершення та підлягає для розгляду кафедрою.

3) За допомогою антиплагіатної системи відповідальні особи визначають оригінальність кожної представленої роботи та формують довідки про подібність тексту для подальшого розгляду на засіданні кафедри.

4) Результати перевірки на академічний плагіат оформлюються протоколом засідання кафедри у вигляді рішення щодо дозволу допуску до захисту, відправку матеріалів на доопрацювання.

5) У разі незгоди з результатами перевірки автор (автори) роботи, що перевірялася, має право на апеляцію.



## 2.ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ КОТЕЛЕНЬ

### 2.1 Технічні та економічні вимоги до котелень

Проектування котелень, що знову будуються, або розширення та реконструкція діючих котелень, призначених для централізованого теплопостачання підприємств, міст та інших населених пунктів, теплових вузлів із загальною розрахунковою тепловою потужністю 116 МВт (100 Гкал/год) і вище, виконуються на підставі затверджених схем теплопостачання [1].

В разі меншої розрахункової теплової потужності районів, для яких схеми теплопостачання не розроблені, до проектування джерел теплопостачання рекомендується складати технологічні пропозиції щодо централізації теплопостачання. Для розрахункової теплової потужності до 29 МВт (25 Гкал/год) і обмеженій площі району теплопостачання, коли вибір котельні як джерела теплопостачання може бути визначений однозначно, підставою для розроблення її проекту є завдання на проектування котельні, що визначає коло споживачів теплоти та їх потужності.

Схемою теплопостачання обґрунтовуються: очікуване теплоспоживання; кількість і тип джерел теплопостачання, їх тепла потужність; район будівництва і склад основного енергетичного обладнання; технічна можливість і економічна доцільність розширення або реконструкції існуючих джерел теплопостачання; вид палива; вибір відкритої чи закритої системи теплопостачання: вибір основних технологічних і будівельних рішень, що стосуються джерел теплопостачання та теплових мереж; основні техніко-економічні показники системи теплопостачання.

Схеми теплопостачання розробляються з урахуванням розвитку районів і міст протягом 10...15 років з виділенням першої черги будівництва об'єктів до п'яти років, причому розробка схем теплопостачання з обґрунтуванням будівництва ТЕЦ здійснюється відповідними проектними

організаціями, а без обґрунтування – лише спеціалізованими проектними організаціями незалежно від їх відомчої підпорядкованості.

Завдання на проектування котелень, будівництво яких проводиться без урахування схем теплопостачання, розглядаються й затверджуються територіальними проектними організаціями, відповідними міністерствами або відомствами і узгоджуються з виконавчими комітетами місцевих Рад народних депутатів.

Проектування і спорудження котелень слід, як правило, здійснювати з розрахунком на їх кінцеву теплову потужність, без поділу на черги.

При недостатній забезпеченості котелень тепловими навантаженнями, а також недостатній мірі готовності теплових мереж може бути доцільним спорудження котелень за чергами.

Проекти котелень розробляються за нормативними технічними документами, затвердженими Держбудом України.

При проектуванні котелень необхідно використовувати типові проекти і вузли їх основних і допоміжних будівель, запозичувати економічні індивідуальні проекти, а також типові будівельні та технологічні конструкції підвищеної заводської готовності.

Індивідуальні проекти котелень та їх окремих споруд з необхідними характеристиками основного і допоміжного устаткування розробляються за відсутності придатних типових, а також раніше розроблених економічних індивідуальних проектів, з використанням нових видів устаткування і технологічних схем, за умови доцільності блокування будівель та у випадках, коли застосування типових проектів призводить до невиправданого здорожчення будівництва.

Все обладнання (основне і допоміжне), необхідна апаратура в процесі проектування котелень вибираються за номенклатурою заводських виробів з урахуванням рекомендацій спеціалізованих науково-дослідних і проектних інститутів.

Котельні, що проектуються, споруджуються та експлуатуються, мають задовольняти вимогам надійності теплопостачання, економічності будівництва, безпеки та зручності експлуатації, а також вимогам санітарних норм.

При проектуванні котелень слід враховувати сучасні тенденції розвитку джерел теплопостачання: дахові котельні, індивідуальне теплопостачання тощо.

Під *надійністю теплопостачання* розуміють безперебійне постачання теплотою споживачів відповідно до заданих параметрів і графіка теплових навантажень. При цьому, виходячи із заданої витрати мережної води, параметри теплоносіїв мають підтримуватись з такою точністю: температура води в подавальному трубопроводі водяних теплових мереж – 2 °С, її тиск – 5 %, тиск води в зворотному трубопроводі – 0,02 МПа. Перевищення середньодобової температури води в зворотному трубопроводі має бути не більше 2 °С, а її зниження не обмежується. Тиск і температура пари, що відпускається споживачам в парових теплових мережах мають не перевищувати 5 % від заданих значень.

**Надійність теплопостачання споживачів** на стадії проектування котельні визначається: вибором її типу, обладнання і схем комунікацій, які забезпечують мінімальні значення коефіцієнта потужності, що вимикається, та недовідпуску теплоти; установленням резервного обладнання; комплексною автоматизацією технологічних процесів.

Для створення резерву в процесі відпуску теплоти від великої районної котельні рекомендується об'єднання теплових мереж району або промислового вузла у спільну систему.

**Економічність** спорудження та експлуатації котелень визначається мінімумом приведених витрат за умови високої надійності теплопостачання споживачів. Під час проектування котелень їх економічність досягається: збільшенням теплової потужності в цілому та одиничної потужності котлоагрегатів; комплексною механізацією трудомістких процесів;

застосуванням автоматизованих котлоагрегатів з ККД не менш як 93 % (газоподібне паливо), 90 % (мазут), 85% (кам'яне вугілля), 80% (буре вугілля та інші види палива).

Однією з економічних вимог є зниження капіталовкладень на спорудження котельні і скорочення терміну введення її в експлуатацію, що забезпечується індустріалізацією будівництва. При цьому зводяться до мінімуму обсяги робіт на будівельній площадці завдяки передаванню їх на заводи, спеціалізовані підприємства та централізовані будівельні бази. Проектуючи котельні, рекомендується застосовувати готові уніфіковані залізобетонні та металеві конструкції, а також деталі з найменшим числом їх типорозмірів для спорудження каркасів будівель, полегшені матеріали для стінового заповнення, комплектні транспортабельні агрегати і монтажні блоки для складання обладнання за місцем установки, блоки трубо- і пилогазоповітропроводів заводського виготовлення.

**Безпека й зручність експлуатації** котелень досягаються дотриманням в проектах вимог Правил устрою і безпеки експлуатації парових та водогрійних котлів [2], Правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж, а також інших нормативних технічних документів [3].

Вимоги санітарних норм забезпечуються в проектах котелень виділенням для обслуговуючого персоналу службово-побутових приміщень з відповідним обладнанням, додержанням норм освітленості, вологісно-температурного режиму і допустимих рівнів шуму від працюючого обладнання на робочих місцях та на прилеглий до них території, запобіганню забрудненню навколишнього середовища (повітряного басейну та водоймищ).

### 2.1.1 Визначення виду палива

Розрізняють чотири види палива для котелень [4]:

1) *основне*, що призначене для спалювання протягом усього або тривалого часу роботи котельні;

2) *резервне*, яке використовується в періоди запланованих перерв у подаванні основного палива (наприклад, в разі перерв у подаванні природного газу взимку);

3) *аварійне*, що застосовується в короткочасний період аварійної відсутності основного чи резервного палива (передбачається для тих випадків, коли згідно з вимогами споживачів до теплопостачання перерва в роботі котельні недопустима);

4) *розпалювальне*, яке використовується для розпалювання та підсвічування пиловугільних топків.

Резервне, аварійне та розпалювальне паливо вибирається для котелень з урахуванням наступного:

1) в разі річної витрати природного газу до 10 млн. м<sup>3</sup> робота котелень на інших видах палива не передбачається;

2) у котельнях з річною витратою природного газу 10 млн. м<sup>3</sup> і більше як резервне паливо застосовується мазут;

3) у пиловугільних котельнях як розпалювальне паливо використовується топковий мазут;

4) у котельнях, які переводяться з твердого палива на спалювання природного газу чи мазуту, як інший вид палива рекомендується застосовувати тверде паливо без демонтажа встановленого обладнання.

### 2.1.2 Стадії проектування

Проектування будівель і споруд котельні здійснюється на підставі техніко-економічного обґрунтування або іншої передпроектної документації, що підтверджує економічну доцільність їх будівництва.

*Передпроектним документом, в якому обґрунтовуються проектування і будівництво нових або розширення та реконструкція діючих джерел теплопостачання і теплових мереж, є **схема теплопостачання**.*

Схеми теплопостачання міст та інших населених пунктів є *початковими документами* для розроблення проектів (робочих проектів) джерел теплопостачання і теплових мереж, а для великих і складних джерел теплопостачання — для розроблення техніко-економічного обґрунтування будівництва цих об'єктів. Схеми теплопостачання груп підприємств із загальними джерелами теплопостачання входять до складу схем генеральних планів цих підприємств, а схеми теплопостачання окремих промислових підприємств є складовою частиною техніко- економічного обґрунтування їх будівництва.

До позастадійних робіт (*передпроектної документації*) належать схема теплопостачання, техніко-економічне обґрунтування і технічні рішення, на підставі яких може розроблятися експериментальний проект із застосуванням нових видів обладнання та схем. Стадійні роботи включають в себе *проект, робочу документацію і робочий проект*.

Двостадійне проектування зводиться до складання проекту і робочої документації, а одностадійне — робочого проекту. Розробка робочої документації при двостадійному проектуванні здійснюється після затвердження проекту. При одностадійному проектуванні одночасно з проектно-кошторисною документацією робочого проекту, яка має бути затверджена, розробляється робоча документація.

Робочий проект розробляється для технічно нескладних об'єктів, будівництво яких передбачається здійснити за типовими проектами з використанням типових вузлів і за запозиченими економічними індивідуальними проектами.

**Завдання на проектування.** Проект будівництва котельні розробляється на підставі завдання на проектування, складеного замовником проекту з участю автора проекту і генерального проектувальника.

Завдання містить: теплові навантаження; параметри теплоносія; дані про вид робочого палива і умови теплопостачання; схему приєднання котельні до теплових мереж; дані про джерело водопостачання; умови приєднання котельні до мереж енерго- і водопостачання, каналізації та зв'язку; відомості про вибрану площадку для будівництва; дані для складання проекту будівництва котельні та кошторисів.

В разі розміщення котелень на території міст і населених пунктів виконавчим комітетом місцевої Ради народних депутатів видається архітектурно-планувальне завдання, що містить будівельний паспорт ділянки, технічні умови приєднання до міських інженерних мереж і споруд, відомості про існуючу забудову та підземні споруди, діючі та перспективні джерела теплопостачання.

Теплові навантаження наводяться в початкових даних для проектування котельні у вигляді зведеної таблиці, складеної пооб'єктно за такими групами споживачів:

- а) технологічні споживачі;
- б) системи опалення та вентиляції;
- в) системи гарячого водопостачання;
- г) загальне споживання теплоти (окремо для пари і гарячої води).

При цьому за п. б) і в) навантаження у вигляді виробничих, житлових та загальних будівель задаються окремо.

Теплові навантаження задаються для чотирьох основних режимів роботи котельні:

- 1) *максимального* (зимового) – для розрахункової температури зовнішнього повітря для опалення;
- 2) *найбільш холодного місяця* – для середньої температури цього місяця;
- 3) *середнього опалювального періоду* – для середньої температури цього періоду;
- 4) *літнього*.

Задаються: параметри теплоносіїв згідно з видом теплоспоживання; параметри пари на виході з котельні з урахуванням зниження тиску і температури у зовнішніх теплових мережах; масова витрата та спосіб повернення конденсату в котельню; система гарячого водопостачання; тривалість теплових навантажень протягом доби і року.

Для великих систем тепlopостачання додаються графіки споживання теплоти:

*добові* — технологічної пари або гарячої води в різні періоди року (для робочих та вихідних днів);

*річні* — пари або гарячої води;

*суміщені* — технологічного навантаження за тривалістю.

В такому ж обсязі подаються графіки комунально-побутових навантажень.

Зазначаються вторинні енергоресурси для видів тепlopостачання: м'ята пара від молотів і пресів, гаряча вода, димові гази і промислові відходи. Наводяться відомості про їх масові витрати, режими виходу та параметри. Теплові навантаження зазначаються без втрат у зовнішніх теплових мережах. При наявності об'єктів, що кооперуються, теплові потужності кожного з них подаються у вигляді окремих таблиць.

Оскільки відомості про теплові навантаження і параметри теплоносіїв, які одержуються від замовника, не завжди відбивають специфіку проектування джерела тепlopостачання, рекомендується перед початком проектування котельні ретельно їх проаналізувати.

### 2.1.3 Обсяг і зміст проектної документації

**Проект.** У проекті котельні обґрунтовується вибір оптимальних технічних рішень, які забезпечують мінімальні приведені витрати і надійну експлуатацію котельні з найменшими експлуатаційними витратами. У ньому



висвітлюються питання, пов'язані з додержанням вимог безпеки, санітарних і протипожежних норм, а також умов охорони повітряного та водного басейнів. Розробляється проект котельні з урахуванням сучасного рівня автоматизації та механізації технологічних процесів. У проекті складаються локальні, об'єктні та зведений кошториси на будівництво котельні, визначаються її енергетичні та техніко-економічні показники.

Проект котельні містить такі частини [1]: загальну; електротехнічну; частину, що стосується автоматизації та контрольно-вимірювальних приладів; архітектурно-будівельну; санітарно-технічну; частину, яка стосується генерального плану і транспорту; проект організації будівництва; техніко-економічну частину та кошториси; заходи щодо охорони водоймищ, ґрунту і атмосферного повітря від забруднення стічними водами та викидами з котельні.

Кожна частина проекту котельні складається з:

- пояснювальної записки, яка містить аналіз та обґрунтування прийнятих рішень, а також результати розрахунків у табличній формі;
- замовних специфікацій і заявочних відомостей на обладнання і основні матеріали;
- креслень;
- на стадії проекту котельні проробляються заходи щодо антикорозійного захисту її обладнання і будівельних конструкцій.

**Робочий проект.** Матеріали робочого проекту котельні, які передаються на затвердження, складаються з тих самих частин, що й матеріали її проекту.

**Робоча документація.** До робочої документації, яка розробляється проектною організацією, входять:

1. Робочі креслення всіх будівель та споруд котельні в технологічній і будівельній частинах (крім креслень обладнання), а також креслення генерального плану і внутрішньомайданчикових комунікацій в межах 500-метрової зони від будівлі котельні.

2. Технічні завдання і опитувальні листи заводам–виробникам на проектування, виготовлення, постачання основного та допоміжного технологічного обладнання котельні.

3. Технічні завдання спеціалізованих проектній або монтажній організації на розроблення робочих креслень котельного і допоміжного обладнання, технічні завдання заводу–виробнику на постачання металоконструкцій.

4. Робочі конструктивні креслення трубопроводів (загальнокотельних, хімводоочистки, газомазутних- та золо- і шлакопроводів, пневмотранспорту), які вважаються кресленнями обладнання.

5. Креслення нестандартного обладнання.

6. Креслення пристроїв, пов'язаних з охороною праці та технікою безпеки.

7. Креслення антикорозійного захисту конструкцій, обладнання і трубопроводів.

8. Переліки застосованих стандартів і нормалей, а також креслення типових конструкцій вузлів і деталей.

9. Замовні специфікації обладнання, що не увійшли в специфікацію проекту, а також нестандартного обладнання, приладів, арматури, труб, кабельних та інших виробів.

10. Уточнені відомості конструкцій, напівфабрикатів, деталей, виробів і матеріалів.

11. Відомості обсягів будівельно-монтажних робіт, які стосуються об'єктів будівництва і видів робіт.

До складу робочих креслень котельні входять також креслення типових і запозичених економічних індивідуальних проектів.

**Використання типових проектів.** Для об'єктів, будівництво яких намічено вести за типовими проектами, проектна організація видає замовнику повний комплект типових креслень, прив'язаних до конкретної

площадки будівництва (з внесенням змін, зумовлених застосуванням проекту, і розробкою в разі необхідності додаткових креслень).

В процесі проектування слід використовувати типові проекти і вузли споруд, а також допоміжних будівель котелень. В разі прив'язування типових проектів допускається вносити в них зміни з метою підвищення економічної ефективності і зниження вартості будівництва. В матеріалах прив'язування типового проекту додаються обґрунтування внесених змін і порівняння техніко-економічних показників затвердженого та відкорегованого проектів.

#### 2.1.4 Класифікація котелень

Котельні систем централізованого теплопостачання поділяються на *районні, квартальні, групові та котельні підприємств* [4]. Перші призначені для постачання теплотою усіх споживачів району житлової забудови або промислового вузла і входять до складу підприємств об'єднаних котелень та теплових мереж, а другі і треті – для теплопостачання одного чи кількох кварталів, групи житлових будинків або громадських будівель і проектуються в разі незначних питомих теплових навантажень, входячи до складу підприємств, об'єднаних котельнею та тепловою мережею. *Котельні підприємств* — це котельні, які є на промислових підприємствах і використовуються для теплопостачання цих підприємств, їхніх житлових фондів, а також інших промислових підприємств, передбачених схемою теплопостачання в порядку кооперування.

Залежно від характеру теплових навантажень районні котельні та котельні підприємств поділяються на:

- *промислові*, що використовуються для технологічного постачання парою або гарячою водою промислових підприємств;
- *опалювальні*, призначені для забезпечення опалення, вентиляції та гарячого водопостачання;
- *промислово-опалювальні*, які застосовуються для технологічного

теплопостачання та постачання теплотою систем опалення, вентиляції й гарячого водопостачання промислових підприємств, житлових і громадських будівель.

Квартальні та групові котельні, як правило, є *опалювальними*.

Котельні всіх типів класифікуються за такими ознаками:

- 1) за типом котлів (*парові; водогрійні, пароводогрійні* – з паровими і водогрійними або пароводогрійними котлами);
- 2) за видом робочого палива (котельні, які працюють на *газоподібному, рідкому чи твердому* паливі);
- 3) за видом теплоносія і схемою відпуску теплоти (котельні, що відпускають пару з *поверненням* або *без повернення* конденсату; котельні, які відпускають теплоту в *закриту* чи *відкриту* систему теплопостачання; котельні, що відпускають пару і гарячу воду за переліченими схемами в їх *різних сполученнях*);
- 4) за способом розміщення на генеральному плані (*вбудовані, прибудовані, відокремлені*);
- 5) за технологічною структурою (*блочні, неблочні*);
- 6) за компоновкою обладнання (*закриті, напіввідкриті, відкриті*);
- 7) за режимом роботи (*базові, районні, пікові*, які працюють сумісно з ТЕЦ).

#### 2.1.5 Загальні відомості про теплові схеми котелень

*Теплова схема* котельні — це умовне графічне зображення її основного та допоміжного устаткування, що об'єднується лініями трубопроводів для робочих середовищ. Розрізняють принципову, розгорнуту та робочу (монтажну) теплові схеми котельні.

На *принциповій* тепловій схемі котельні показують лише її головне устаткування (котлоагрегати, підігрівники, деаератори, насоси) і основні трубопроводи без арматури, найрізноманітніших допоміжних пристроїв та

другорядних трубопроводів, а також без уточнення кількості і розташування обладнання.

*Розгорнута* теплова схема котельні містить все встановлене устаткування, а також усі трубопроводи, які з'єднують обладнання, із запірною та регулювальною арматурою. Якщо об'єднати в розгорнутій тепловій схемі велику кількість елементів та обладнання котельні, то цю схему поділяють на частини відповідно до технологічного процесу. Наприклад, як самостійні виконують теплові схеми підготовки води, продування парових котлів тощо.

*Робочу* (монтажну) теплову схему котельні, як правило, подають в ортогональному, а її окремі складні вузли — іноді в аксонометричному зображенні із зазначенням позначок розташування трубопроводів та їх нахилу, арматури, кріплень, розмірів і т. д. Наводяться всі необхідні відомості про марку сталі чи матеріалу, з якого виготовлено той або інший вузол, способи його з'єднання із суміжними деталями, їх масу чи масу всього блока, тобто складається специфікація всіх елементів, які входять в теплову схему котельні.

Розгорнута і робоча (монтажна) теплові схеми котельні можуть бути складені лише після розробки її принципової теплової схеми і виконання відповідних розрахунків, на підставі яких вибирається обладнання котельні.

## 2.2 Розрахунки теплових схем парових котелень

Розрахунок котельні полягає у складанні та розв'язанні матеріальних та теплових балансів потоків теплоносіїв. Група теплових та матеріальних балансів складають систему рівнянь. Розв'язання цієї системи рівнянь можна здійснювати різними методами [4,5]. Студентам пропонується розв'язувати систему методом підстановки: в усіх рівняннях теплових і матеріальних балансів відомі величини підставляються у вигляді чисел, невідомі залишаються у вигляді позначень.

### 2.2.1 Розрахунки споживачів пари

Потужність споживача пари, як промислового так і теплофікаційного, за умови відсутності використання конденсату споживачем визначається за формулою, кВт

$$Q_{cn} = D_{cn} \cdot (h_{cn} - h_{k1}) \quad , \quad (2.1)$$

де  $D_{cn}$  – витрата пари споживачем, кг/с;

$h_{cn}$ ,  $h_{k1}$  – ентальпія пари, що відпускається споживачу, та конденсату, що від нього повертається відповідно, кДж/кг [6].

В зв'язку з втратами теплоти в трубопроводах ентальпія конденсату на виході від споживача  $h_{k1}$  може відрізнитись від ентальпії конденсату, що надходить в деаератор  $h_{k2}$ .

Ентальпії конденсатів і додаткової води визначаються за формулами

$$\begin{aligned} h_k &= c_v \cdot t, \\ h_{dv} &= c_v \cdot t_{dv}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

де  $c_v$  – теплоємність води, кДж/кг.

В розрахунках котелень теплоємність конденсатів та додаткової води приймається  $c_v = 4,19$  кДж/(кг · К).

Якщо споживач використовує частину конденсату, то його потужність визначається за формулою

$$Q_{cn} = D_{cn} \cdot (h_{cn} - h_k) + (1 - \alpha_k) \cdot D_{cn} \cdot (h_k - h_{xv}), \quad (2.3)$$

де  $\alpha_k$  – частка конденсату, що повертається від споживача;

$h_{xv}$  – ентальпія холодної води, в розрахунках приймається

$$h_{xv} = 5 \cdot 4,19 = 21 \text{ кДж/кг.}$$

В реальних теплових схемах промислових підприємств не завжди в котельню повертається весь конденсат споживаної пари через негерметичність трубопроводів та обладнання, тоді витрата конденсату від споживача пари визначається з урахуванням частки повернення конденсату в деаератор  $\beta_k$

$$G_k = D_{cn} \cdot \beta_k, \quad (2.4)$$

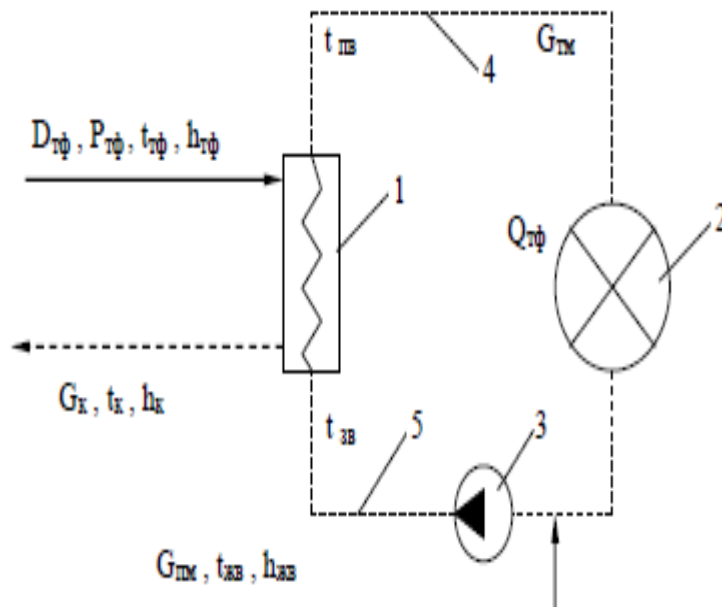
Парове теплофікаційне навантаження

Потужність системи теплофікації (див. рис. 2.1) можна визначити за формулою, кВт

$$Q_{mf} = G_{mv} \cdot c_v \cdot (t_{np} - t_{zv}), \quad (2.5)$$

де  $G_{mv}$  – витрата води в тепловій мережі, кг/с;

$t_{np}$ ,  $t_{zv}$  – температури води в прямому та зворотному трубопроводах, які визначаються температурним графіком теплової мережі.



1 – паровий теплофікаційний теплообмінник; 2 – теплофікаційний споживач;  
3 – мережний насос; 4,5 – прямий та зворотний трубопроводи тепломережі

Рисунок 2.1 – Схема потоків теплофікаційного споживача пари:

### 2.2.2 Баланс парового котлоагрегату

Живильна вода, що входить в паровий котел з витратою  $G_{жв}$  і параметрами ( $P_{жв}$ ,  $t_{жв}$ ,  $h_{жв}$ ) витрачається на (рис. 2.2):

- підготовку пари з відповідними параметрами ( $P_0$ ,  $t_0$ ,  $h_0$ ) і витратою  $D_0$ ; продувку барабана котла в кількості ( $p_0$ ,  $D_0$ ,  $h_{пр}$ ), причому частка продувальної води складає  $p = 0,02 \dots 0,05$ ;
- власні потреби котла з кількістю пари ( $q_{вп} : D_0$ ) і ентальпією  $h_0$ , причому частка власних потреб складає  $q_{вп} = 0,02 \dots 0,04$ .

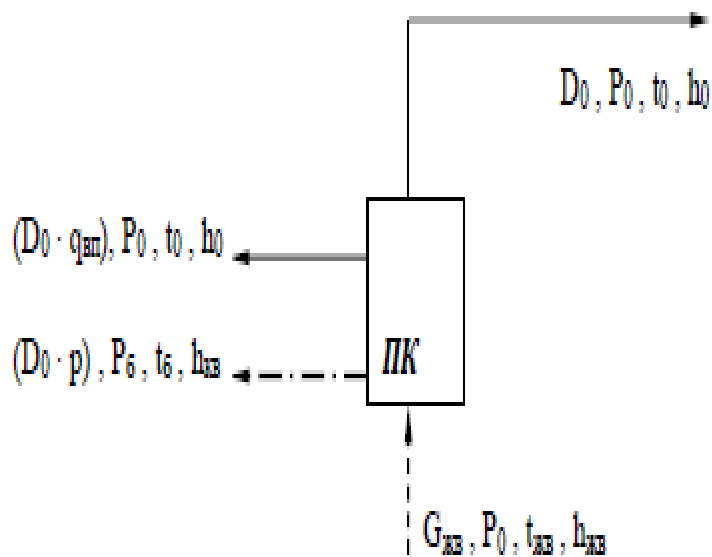


Рисунок 2.2 – Схема потоків парового котлоагрегата

Ентальпія продувальної води  $h_{пр}$  відповідає стану насичення для тиску в барабані  $P_6$  [6]. Тиск в барабані котла можна приймати на 1 бар більше тиску пари на виході з котла.

Ентальпія живильної води  $h_{жв}$  визначається за станом насичення для тиску в деаераторі [6]. Якщо в умові не вказано тип деаератора, то приймають, що деаератор – атмосферний : тиск в ньому  $P_d = 1,2$  бар, температура  $t_{жв} = 104$  °С, ентальпія  $h_{жв} = 435,8$  кДж/кг.

*Матеріальний баланс котлоагрегату*



$$G_{жв} = D_0 + D_0 \cdot p + D_0 \cdot \alpha_{ен} = D_0 \cdot (1 + p + \alpha_{ен}), \quad (2.6)$$

Теплова потужність парового котла, кВт

$$Q_{\kappa} = (D_0 + D_0 \cdot \alpha_{ен}) \cdot (h_0 - h_{жв}) + D_0 \cdot p \cdot (h_{кв} - h_{жв}), \quad (2.7)$$

### 2.2.2 Баланси редукційно-охолоджувальних установок

Редукційно-охолоджувальна установка (РОУ) призначена для забезпечення споживачів паром з певними параметрами (тиском  $P$ , температурою  $t$ ). Редукування пари відбувається за допомогою дросельного клапану, а охолодження – вприскуванням живильної води в потік гострої пари, що надходить в РОУ (рис. 2.3).

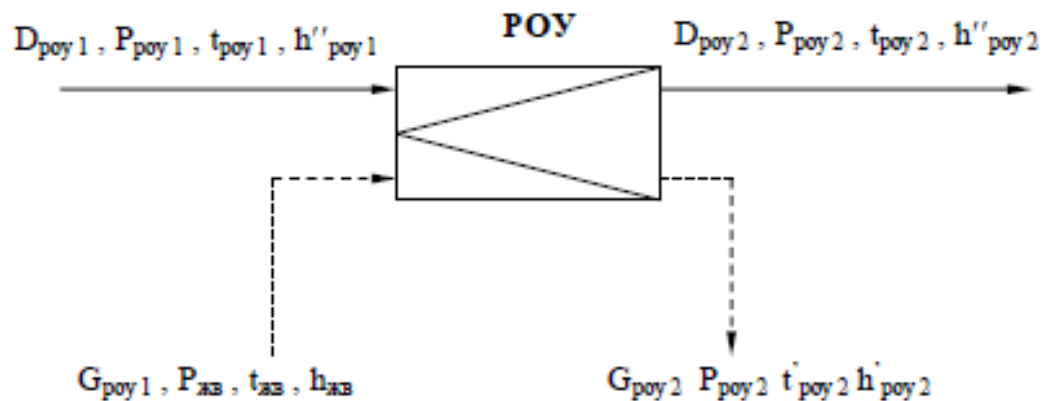


Рисунок 2.3 – Схема потоків роу

Частина живильної води в РОУ випаровується, а решта відводиться з РОУ в стані насичення при тиску  $P_{roy2}$ .

Частка живильної води, що в РОУ перетворюється на пару,  $\varphi$  складає 80...90 %. Далі в розрахунках будемо приймати  $\varphi = 0,8$ . Тоді

$$\varphi = (G_{roy1} - G_{roy2}) / G_{roy1} = 0,8 \quad (2.8)$$

Після перетворень рівняння (2.8) одержимо

$$G_{\text{роу } 2} = 0,2 \cdot G_{\text{роу } 1} \quad . \quad (2.9)$$

Для розрахунку РОУ необхідно скласти її матеріальний та тепловий баланси:

$$D_{\text{роу } 1} + G_{\text{роу } 1} = D_{\text{роу } 2} + G_{\text{роу } 2}, \quad (2.10)$$

$$D_{\text{роу } 1} \cdot h'_{\text{роу } 1} + G_{\text{роу } 1} \cdot h_{\text{жв}} = D_{\text{роу } 2} \cdot h'_{\text{роу } 2} + G_{\text{роу } 2} \cdot h'_{\text{роу } 2}, \quad (2.11)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (2.10) і (2.11) з урахуванням (2.9), одержимо результат у вигляді величини витрати охолодної води на одиницю гострої пари, кг/кг

$$g = \frac{G_{\text{роу } 1}}{D_{\text{роу } 1}} = \frac{h_{\text{роу } 1} - h''_{\text{роу } 2}}{h'_{\text{роу } 2} - h_{\text{жв}} + \varphi \cdot (h''_{\text{роу } 2} - h'_{\text{роу } 2})}, \quad (2.12)$$

### 2.2.3 Баланси розширника безперервної продувки

Розширник безперервної продувки (РБП) призначений для відділення парів вторинного скипання продувальної води парового котла (рис. 2.4).

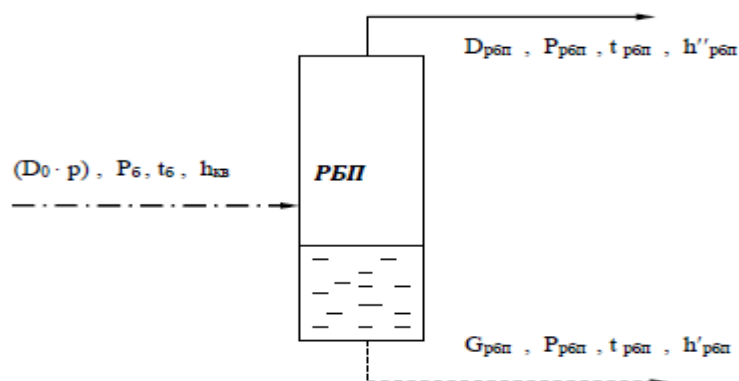


Рисунок 2.4 – Схема потоків розширника безперервної продувки

Теплота насиченого конденсату з РБП може використовуватись для підігріву додаткової води перед деаератором, а насичена пара вторинного скипання з РБП відводиться в деаератор. Для нормальної роботи схеми з РБП необхідно аби тиск в ньому  $P_{РБП}$  був більшим за тиск в деаераторі  $P_d$ .

*Складаємо матеріальний та тепловий баланс РБП*

$$(D_0 \cdot p) = G_{pбп} + D_{pбп} , \quad (2.13)$$

$$(D_0 \cdot p) \cdot h_{кв} = G_{pбп} \cdot h'_{pбп} + D_{pбп} \cdot h'_{pбп} , \quad (2.14)$$

На підставі (2.13) і (2.14) одержимо

$$D_{pбп} = (p \cdot D_0) \cdot \frac{h_{кв} - h'_{pбп}}{h''_{pбп} - h'_{pбп}} , \quad (2.15)$$

При цьому

$$G_{pбп} = (p \cdot D_0) - D_{pбп} , \quad (2.16)$$

### 2.2.5 Баланси деаератора

Деаератор призначений для видалення розчинених газів із живильної води. В схемах, що розглядаються в посібнику, використовується термічна деаерація, тобто видалення газів за рахунок нагріву води до стану насичення. В деаераторі збираються всі конденсати, що повертаються в котельню, додаткова вода, пара з РБП. Для доведення цієї суміші до температури насичення в деаератор підводиться пара певного тиску з витратою  $D_d$ . Для розрахунків теплових схем парових котелень складають матеріальний та тепловий баланси деаератора. В більшості випадків в результаті матеріального балансу визначають витрату додаткової води  $G_{дв}$ , а в результаті теплового балансу – витрату пари на деаератор  $D_d$ .

Додаткова вода надходить в деаератор для покриття втрат води і пари в трубопроводах та теплообмінному обладнанні. Ентальпія додаткової води  $h_{дв}$  відповідає температурі води після станції хімводоочистки і складає  $h_{дв} = 4,19 \cdot 20 = 84$  кДж/кг.

### 3. РОЗРАХУНКИ ТЕПЛОВИХ СХЕМ ВОДОГРІЙНИХ ТА ПАРОВОДОГРІЙНИХ КОТЕЛЕНЬ

Теплові розрахунки як водогрійної, так і парової котельні полягають у складанні та розв'язанні матеріальних та теплових балансів потоків теплоносіїв в трубопроводах котельні. Споживачем теплоти водогрійної котельні є системи опалення, вентиляції та гарячого водопостачання. Теплота відпускається в теплову мережу з нагрітою водою. Температури в прямому та зворотному трубопроводах називаються температурним режимом теплової мережі, наприклад, режим 150/90 означає, що мережна вода з котельні відпускається споживачам з температурою 150°C, а повертається в котельню з температурою 90 °C.

Побудова теплової схеми водогрійної котельні та її розрахунки можуть виконуватись за різними методиками в залежності від:

- виду системи теплопостачання (відкрита, замкнута);
- встановленого деаератора (атмосферний, вакуумний);
- варіанту підключення споживачів до теплової мережі;
- обраної схеми обігріву теплообмінників в лініях сирої води.

Система теплопостачання називається **відкритою**, якщо для потреб гарячого водопостачання споживачів частково чи повністю використовується мережна вода.

Система теплопостачання називається **замкнутою**, якщо вода на гаряче водопостачання нагрівається від мережної води в рекуперативних теплообмінниках.

#### 3.1 Розрахунки споживачів теплоти

Схеми підключення споживачів в теплових пунктах тепломережі залежать, в першу чергу, від системи теплопостачання (замкнута, відкрита) та від співвідношення потужностей та від систем опалення  $Q_{оп}$  і вентиляції та

системи гарячого водопостачання  $Q_{гвп}$ . Можливе паралельне, послідовне, змішане підключення споживачів, крім того, підігрівники гарячого водопостачання можуть бути одно та двоступінчаті.

Спочатку розглянемо **паралельне підключення** до закритої системи тепlopостачання (рис. 3.1).

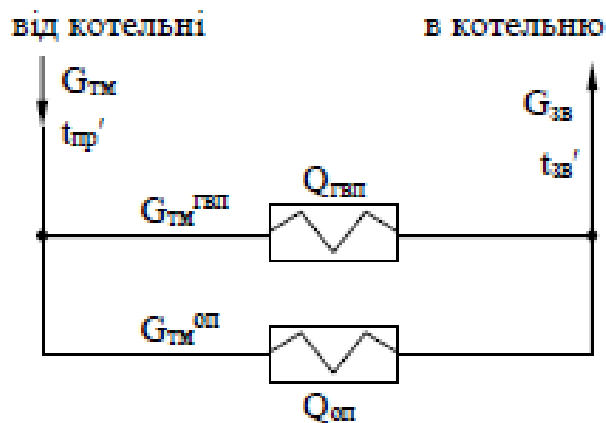


Рисунок 3.1 – Схема паралельного підключення споживачів до закритої системи тепlopостачання

Такий варіант використовується, коли навантаження гарячого водопостачання не менше 120% від навантаження опалення. Для запропонованої схеми визначимо витрату мережної води на потреби системи опалення, кг/с:

$$G_{тх}^{оп} = Q_{оп} / [c_v \cdot (t_{гп}' - t_{зв}') \cdot \eta_{то}], \quad (3.1)$$

де  $Q_{оп}$  – потужність теплообмінника системи опалення, кВт;

$c_v$  - теплоємність води ;

$t_{гп}'$  ,  $t_{зв}'$  – температура води в прямому та зворотному трубопроводах теплової мережі в тепловому пункті,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\eta_{то}$  – відносний ККД.

Витрата мережної води на теплообмінник системи гарячого водопостачання (ГВП), кг/с

$$G_{тм}^{звн} = Q_{звн} / [c_v \cdot (t_{пр}' - t_{зв}') \cdot \eta_{mo}] , \quad (3.2)$$

де  $Q_{звн}$  – потужність теплообмінника системи ГВП, кВт.

Загальна витрата мережної води, кг/с

$$G_{тм} = G_{тм}^{оп} + G_{тм}^{гвп} , \quad (3.3)$$

Витрата мережної води на виході з теплового пункту споживача, кг/с

$$G_{зв} = G_{тм} , \quad (3.4)$$

В тих випадках, коли потужність системи гарячого водопостачання менше 10% від потужності системи опалення та вентиляції, в закритих системах використовується послідовне підключення теплообмінників гарячого водопостачання (рис. 3.2).

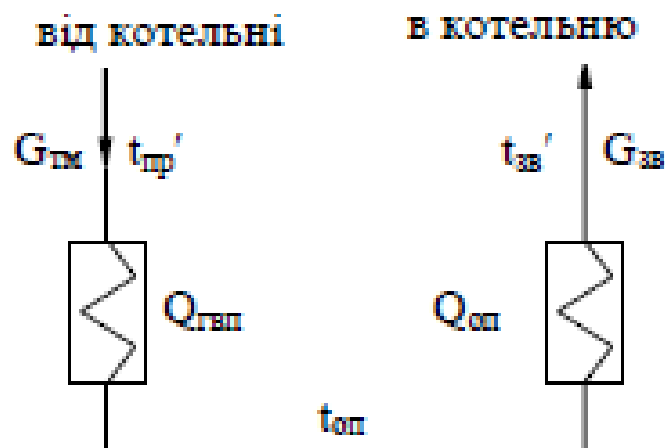


Рисунок 3.2 – Схема послідовного підключення ГВП до закритої системи

Оскільки потужність гарячого водопостачання набагато менше потужності опалення, температуру на виході з підігрівників опалення приймають рівною температурі мережної води в зворотному трубопроводі, згідно з температурним графіком теплової мережі.

Оскільки підігрівники споживачів підключені послідовно, то витрата мережної води на потреби системи опалення та гарячого водопостачання дорівнюватиме, кг/с

$$G_{mm}^{26n} = G_{mm}^{26n} = G_{mm} = G_{zv}, \quad (3.5)$$

Витрату мережної води можна визначити, кг/с

$$G_{mm} = (Q_{on} + Q_{zvn}) / [c_v \cdot (t_{np}' - t_{zv}') \cdot \eta_{mo}], \quad (3.6)$$

Температура мережної води на вході в теплообмінник опалення, °С

$$t_{on} = t_{np}' - Q_{zvn} \cdot \eta_{mo} / [c_v \cdot G_{mm}], \quad (3.7)$$

У випадку **відкритої системи тепlopостачання** вода на потреби гарячого водопостачання готується змішуванням води із зворотного і прямого трубопроводів теплової мережі та сирії води в змішувальному теплообміннику ЗТО (рис.3.3).

Витрата гарячої води в системі гарячого водопостачання визначається за формулою, кг/с

$$G_{zv} = Q_{zvn} / [c_v \cdot (t_{zv} - t_{cv})], \quad (3.8)$$

де  $t_{zv}$  – температура води, що відпускається на гаряче водопостачання, яка приймається рівною 60 °С;

$t_{cv}$  – температура сирії води, °С.



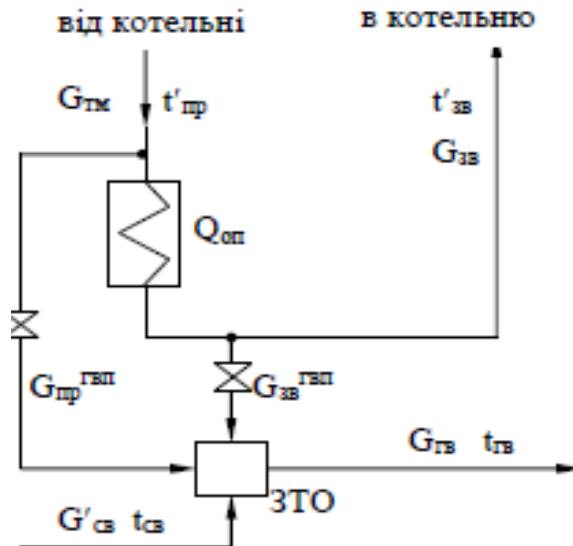


Рисунок 3.3 – Схема підключення споживачів до відкритої системи теплопостачання

В залежності від температури води в зворотному трубопроводі теплової мережі  $t_{зв}$  вибирають метод змішування води для гарячого водопостачання.

Якщо виконується умова  $t'_{зв} > t_{гв}$ , тобто  $t'_{зв} > 60^{\circ}\text{C}$ , то воду для гарячого водопостачання готують змішуванням води із зворотного трубопроводу тепломережі  $G_{зв}^{гвп}$  та сирої води  $G'_{св}$ , а  $G_{пр}^{гвп} = 0$ . Тоді матеріальний і тепловий баланси змішувального теплообмінника можна записати

$$G_{гв} = G_{зв}^{гвп} + G'_{св}, \quad (3.9)$$

$$G_{гв} \cdot c_{св} \cdot t_{гв} = G_{зв}^{гвп} \cdot c_{св} \cdot t'_{зв} + G'_{св} \cdot c_{св} \cdot t_{св}, \quad (3.10)$$

Розв'язуючи ці рівняння можна записати, кг/с

$$G_{зв}^{гвп} = G_{гв} \cdot [(t_{гв} - t_{св}) / (t'_{зв} - t_{св})], \quad (3.11)$$

тоді

$$G'_{св} = G_{гв} - G_{зв \text{ гвп}} . \quad (3.12)$$

Витрата води, що надходить від котельні, кг/с

$$G_{тм} = G_{тм \text{ оп}} , \quad (3.13)$$

де  $G_{тм \text{ оп}}$  – витрата мережної води, що проходить через теплообмінник системи опалення, визначається за формулою (3.1).

Витрата мережної води, що виходить з теплового пункту, кг/с

$$G_{зв} = G_{тм} - G_{зв \text{ гвп}} = G_{тм \text{ оп}} - G_{зв \text{ гвп}} . \quad (3.14)$$

У випадку, коли  $t'_{зв} < t_{гв}$  , тобто  $t'_{зв} < 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , воду для гарячого водопостачання готують змішуванням води із прямого трубопроводу  $G_{пр \text{ гвп}}$  та зворотного трубопроводу  $G_{зв \text{ гвп}}$  тепломережі, а  $G'_{св} = 0$ . Тоді матеріальний і тепловий баланси змішувального теплообмінника можна записати

$$G_{гв} = G_{пр \text{ гвп}} + G_{зв \text{ гвп}} , \quad (3.15)$$

$$G_{гв} \cdot c_v \cdot t_{гв} = G_{пр \text{ гвп}} \cdot c_v \cdot t'_{пр} + G_{зв \text{ гвп}} \cdot c_v \cdot t'_{зв} , \quad (3.16)$$

Розв'язання системи цих рівнянь дає, кг/с

$$G_{пр \text{ гвп}} = G_{гв} \cdot [(t_{гв} - t'_{зв}) / (t'_{пр} - t'_{зв})] , \quad (3.17)$$

в той же час

$$G_{зв \text{ гвп}} = G_{гв} - G_{пр \text{ гвп}} , \quad (3.18)$$

Тоді витрата води, що надходить в тепловий пункт від котельні, кг/с

$$G_{тм} = G_{тм\ оп} + G_{пр\ звп}, \quad (3.19)$$

де  $G_{оп}$  – витрата мережної води, що визначається за (3.1).

Витрата мережної води, що виходить з теплового пункту, кг/с

$$G_{зв} = G_{тм} - G_{пр\ звп} - G_{зв\ звп} = G_{тм\ оп} - G_{зв\ звп}, \quad (3.21)$$

В рідкому випадку, коли  $t_{зв} = t_{гв}$ , тобто  $t'_{зв} = 60^{\circ}\text{C}$ , воду для гарячого водопостачання беруть із зворотного трубопроводу тепломережі, при цьому  $G_{пр\ гвп} = G'_{св} = 0$ , а  $G_{зв\ гвп} = G_{гв}$ . Тоді витрата води, що надходить в тепловий пункт від котельні, кг/с  $G_{тм} = G_{тм\ оп}$ .

Витрата мережної води, що виходить з теплового пункту, кг/с

$$G_{зв} = G_{тм} - G_{зв\ звп}, \quad (3.22)$$

Якщо, крім умови  $t_{зв} = t_{гв}$ , витрати води із зворотного трубопроводу недостатньо для потреб ГВП, тобто виконується умова  $G_{гв} > G_{зв}$ , то в змішувальний теплообмінник подають воду із прямого трубопроводу тепломережі  $G_{пр\ гвп}$  та сиру воду  $G'_{св}$ . Тоді матеріальний і тепловий баланси змішувального теплообмінника можна записати

$$G_{зв} = G_{пр\ звп} + G'_{св}, \quad (3.23)$$

$$G_{зв} \cdot c_{св} \cdot t_{зв} = G_{пр\ звп} \cdot c_{св} \cdot t'_{пр} + G'_{св} \cdot c_{св} \cdot t_{св}. \quad (3.24)$$

Тоді витрата води з прямого трубопроводу тепломережі та сирі води визначається за формулами, кг/с

$$G_{пр\ звп} = G_{зв} \cdot [(t_{зв} - t_{св}) / (t'_{пр} - t_{св})], \quad (3.25)$$

$$G'_{cv} = G_{zv} - G_{np\ zv}, \quad (3.26)$$

Витрата води, що надходить в тепловий пункт від котельні, кг/с

$$G_{mm} = G_{mm\ on} + G_{np\ zv}, \quad (3.27)$$

Витрата мережної води, що виходить з теплового пункту, кг/с

$$G_{zv} = G_{mm} - G_{np\ zv} = G_{mm\ on}, \quad (3.28)$$

Регулювання витрат води в залежності від їх температур відбувається за допомогою автоматичних пристроїв.

### 3.2 Розрахунки схем підготовки додаткової води

Витрата додаткової води для закритих систем теплопостачання визначається в залежності від втрат води в тепломережах, кг/с

$$G_{dv} = G_{mm} \cdot \alpha_{втр}, \quad (3.29)$$

де  $\alpha_{втр}$  – частка втрат мережної води, пов'язаних з витіканням води в мережах.

Для відкритих систем теплопостачання крім витікань мережна вода витрачається на потреби гарячого водопостачання, кг/с

$$G_{dv} = 0,5 \cdot (G_{mm} + G_{zv}) \cdot \alpha_{втр} + G_{np\ zv} + G_{zv\ zv}, \quad (3.30)$$

Підготовка додаткової води полягає в її хімічному очищенні на станції хімводоочистки ХВО і деаерації (видаленні розчинених газів). Після цього додаткова вода за допомогою підживлювального насосу ПН надходить в зворотній трубопровід тепломережі. Подача сирій води в систему підготовки відбувається за допомогою насоса сирій води НСВ.

Станція ХВО має певні витрати води на власні потреби, які пов'язані з процесами регенерації фільтрів, промиванням установки тощо. Такі витрати складають біля 20 % від кількості очищеної додаткової води, то витрата сирій води перед ХВО, кг/с

$$G_{св} = G_{дв} \cdot 1,2, \quad (3.31)$$

Процеси ефективної хімводоочистки вимагають певної температури сирій води (приблизно 20 °С) [4], тому далі в розрахунках будемо приймати цю температуру  $t_{хво} = 20$  °С. Подача води на ХВО із заданою температурою, яка завжди вище температури сирій води для умов України, вимагає встановлення підігрівника сирій води ПСВ.

В схемах підготовки води на водоگрійних котельнях використовують деаератори вакуумні ДВ та ДСВ (рис. 3.4 та 3.5) та атмосферні ДА і ДСА (рис. 3.6 та 3.7).

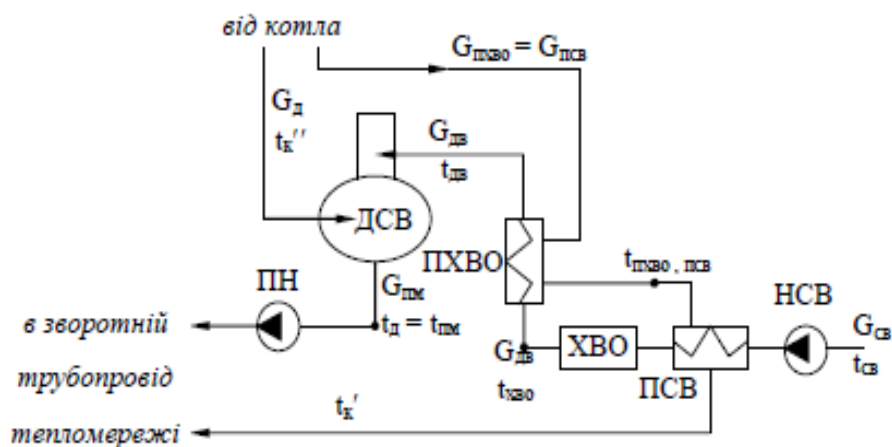


Рисунок 3.4 – Схема підготовки додаткової води з вакуумним деаератором та послідовним підключенням ПХВО та ПСВ

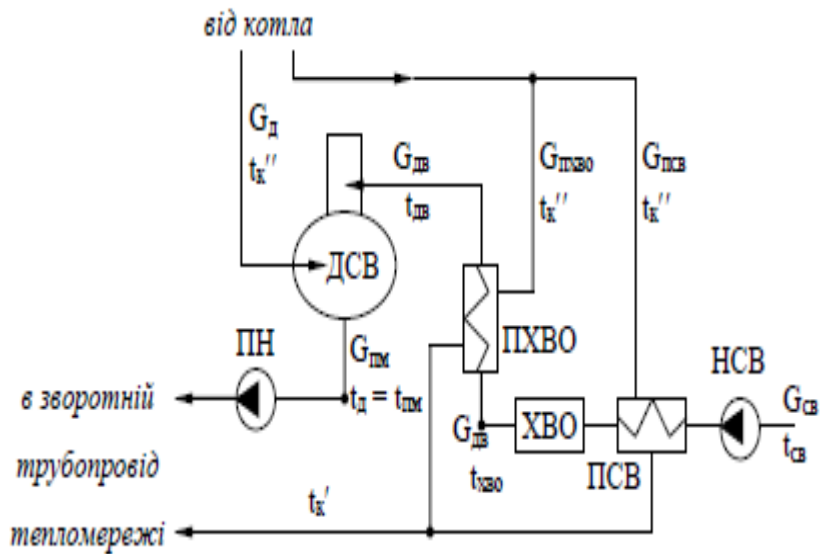


Рисунок 3.5 – Схема підготовки додаткової води з вакуумним деаератором та паралельним підключенням ПХВО та ПСВ.

Підігрів додаткової води до температури насичення відбувається за допомогою теплоти води, що надходить з котла. Атмосферні деаератори готують воду з температурою насичення біля  $t_{д} = 104^{\circ}\text{C}$ , а вакуумні за рахунок відсмоктування парогазової суміші і утворення тиску в деаераторі  $0,03\text{ Мпа}$ , – воду з температурою насичення  $t_{д} = 70^{\circ}\text{C}$ .

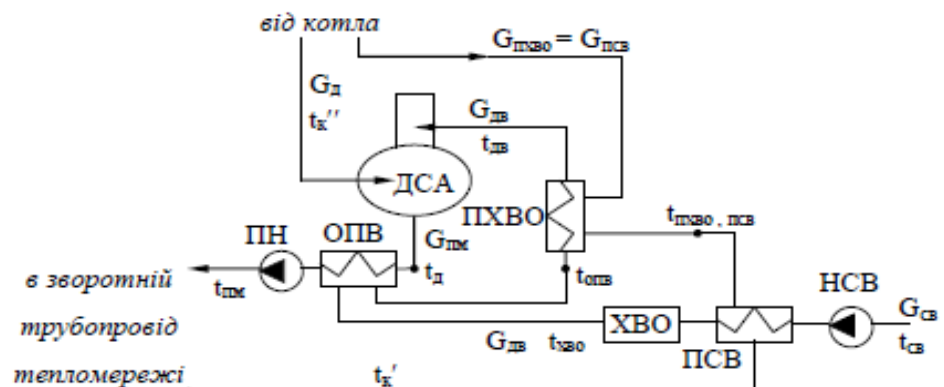


Рисунок 3.6 – Схема підготовки додаткової води з атмосферним деаератором та послідовним підключенням ПХВО та ПСВ.

Низька різниця ентальпій води на виході з деаератора ( $G_{\text{дм}}$ ,  $t_{\text{д}}$ ) та води з котла, якою заживлений деаератор ( $G_{\text{д}}$ ,  $t_{\text{к}}''$ ), вимагає догріву додаткової води перед деаератором до температур близьких до температури  $t_{\text{д}}$ . Так для вакуумних деаераторів ця температура складає  $t_{\text{дв}} = 68^{\circ}\text{C}$ , а для атмосферних  $t_{\text{дв}} = 90^{\circ}\text{C}$ .

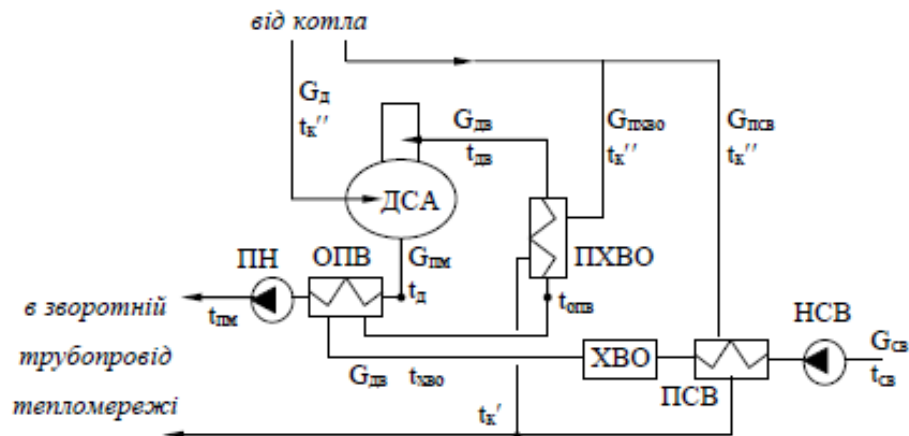


Рисунок 3.7 – Схема підготовки додаткової води з атмосферним деаератором та паралельним ПХВО та ПСВ.

Для відповідного нагріву додаткової води встановлюються так звані підігрівники води після хімводоочистки ПХВО. Так само, як і в підігрівниках сирової води нагрів відбувається за рахунок теплоти води, що надходить після водогрійного котла.

В залежності від прийнятої схеми компоновки котельні підігрівники ПСВ та ПХВО можуть підключатись послідовно (рис. 3.4, 3.6) або паралельно (рис. 3.5, 3.7). Температура грійної води, що заживлює підігрівники ПХВО та ПСВ, на вході в зворотній трубопровід теплової мережі повинна дорівнювати розрахунковій температурі мережної води на вході в котел  $t_{\text{к}}'$ .

Температура води на вході в котел залежить від виду палива, на якому працює котел. Це пов'язано з можливістю конденсації водяної пари на стінках труб і виникненням низькотемпературної корозії останніх.

Оптимальні температури перебувають в діапазоні  $70...90^{\circ}\text{C}$ . Тому розрахункова температура води на вході в котли, що працюють на природному газі приймається  $70^{\circ}\text{C}$ , на мазуті –  $90^{\circ}\text{C}$ .

Виходячи з умов ефективної роботи котельні, вода, що йде на підживлення теплової мережі, повинна мати температуру  $t_{\text{пм}}$ , яка дорівнює температурі води на вході в котел  $t_{\text{к}}'$ .

Тому в схемах з атмосферними деаераторами підживлювальну воду охолоджують від температури  $t_{\text{д}}$  до температури  $t_{\text{пм}} = t_{\text{к}}'$ . Для цього встановлюють додаткові теплообмінники – охолодники підживлювальної води ОПВ. Отриману теплоту слід використовувати для часткового нагріву додаткової води після хімоводоочистки ХВО від  $t_{\text{хво}}$  до  $t_{\text{опв}}$  перед остаточним догріванням в ПХВО.

В схемах з вакуумним деаератором температура підживлювальної води завжди залишається рівною температурі на виході з деаератора  $t_{\text{пм}} = t_{\text{д}} = 70^{\circ}\text{C}$  незалежно від виду палива.

Запишемо рівняння для визначення витрат та потужностей для різних елементів схем, представлених на рис.3.4 – 3.7.

Теплова потужність підігрівника ПСВ для всіх схем, кВт

$$Q_{\text{псв}} = G_{\text{св}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{хво}} - t_{\text{св}}, \quad (3.32)$$

де  $G_{\text{св}}$  – витрата сирі води, що визначається за формулою (3.31), кг/с;

$t_{\text{св}}$  – температура сирі води,  $^{\circ}\text{C}$ .

Теплова потужність підігрівника ПХВО з боку додаткової води, кВт

– для схем з вакуумним деаератором

$$Q_{\text{пхво}} = G_{\text{дв}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{дв}} - t_{\text{хво}}), \quad (3.33)$$



- для схем з атмосферним деаератором

$$Q_{\text{ПХВО}} = G_{\text{ДВ}} \cdot c_{\text{В}} \cdot (t_{\text{ДВ}} - t_{\text{ОПВ}}), \quad (3.34)$$

Потужність охолодника підживлювальної води, кВт

- збоку додаткової води

$$Q_{\text{опв}} = G_{\text{дв}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{опв}} - t_{\text{хво}}) / \eta_{\text{то}}, \quad (3.35)$$

- збоку підживлювальної води

$$Q_{\text{опв}} = G_{\text{нм}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{д}} - t_{\text{нм}}), \quad (3.36)$$

Для визначення співвідношення витрати підживлювальної, додаткової та грійної води для деаератора складають його матеріальний та тепловий баланси:

$$G_{\text{дв}} + G_{\text{д}} = G_{\text{нм}}, \quad (3.37)$$

$$G_{\text{дв}} \cdot t_{\text{дв}} + G_{\text{д}} \cdot t_{\text{к}}'' = G_{\text{нм}} \cdot t_{\text{д}}, \quad (3.38)$$

Вирішення системи з цих двох рівнянь дозволяє отримати залежності для визначення витрат теплоносіїв, кг/с

$$G_{\text{д}} = G_{\text{дв}} \cdot (t_{\text{д}} - t_{\text{дв}}) / (t_{\text{к}}'' - t_{\text{дв}}), \quad (3.39)$$

$$G_{\text{нм}} = G_{\text{дв}} + G_{\text{д}}, \quad (3.40)$$

У випадку паралельного підключення підігрівників сирової ПСВ та хімічищеної води ПХВО, витрати грійної води можна визначити за формулами, кг/с

$$G_{\text{псв}} = Q_{\text{псв}} / [c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}}'' - t_{\text{к}}) \cdot \eta_{\text{то}}], \quad (3.41)$$

$$G_{\text{пхво}} = Q_{\text{пхво}} / [c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}}'' - t_{\text{к}}) \cdot \eta_{\text{то}}], \quad (3.42)$$

Якщо ці підігрівники заживлені послідовно, то можна розглядати їх як один теплообмінник з сумарною потужністю і температурою грійної води на вході і виході  $t_k''$  і  $t_k'$  відповідно, тоді витрата грійної води, кг/с

$$G_{nxvo,ncv} = (Q_{nxvo} + Q_{ncv}) / [c_v \cdot (t_k'' - t_k') \cdot \eta_{то}], \quad (3.43)$$

В загальному випадку розрахунків водогрійної котельні слід враховувати нагрів води в охолоднику випару з деаератора, але на практиці ця величина незначна і не впливає на результати розрахунків теплової схеми.

### 3.3 Розрахунки параметрів в мережних лініях

На території котельні в зворотній трубопроводі теплової мережі надходить котлова вода після підігрівників сирої ПСВ та хімічищеної води ПХВО з температурою  $t_k'$ , крім того для покриття втрат теплоносія в теплових мережах в зворотній трубопроводі надходить підживлювальна вода з температурою  $t_{пм}$  (рис. 3.8).

Температуру та витрату мережної води перед мережним насосом МН можна визначити, склавши матеріальний та тепловий баланси потоків теплоносіїв

$$G_{мн} = G_{зв\ к} + G_{пм} + G_{nxvo,ncv}, \quad (3.44)$$

$$G_{мн} \cdot t_{мн} = G_{зв\ к} \cdot t_{зв} + G_{пм} \cdot t_{пм} + G_{nxvo,ncv} \cdot t_k', \quad (3.45)$$

Витрату мережної води в зворотному трубопроводі можна визначити в загальному випадку за формулою, кг/с

$$G_{зв\ к} = G_{тм} \cdot (1 - \alpha_{втр}) - G_{пр\ звп} - G_{зв\ звп}, \quad (3.46)$$

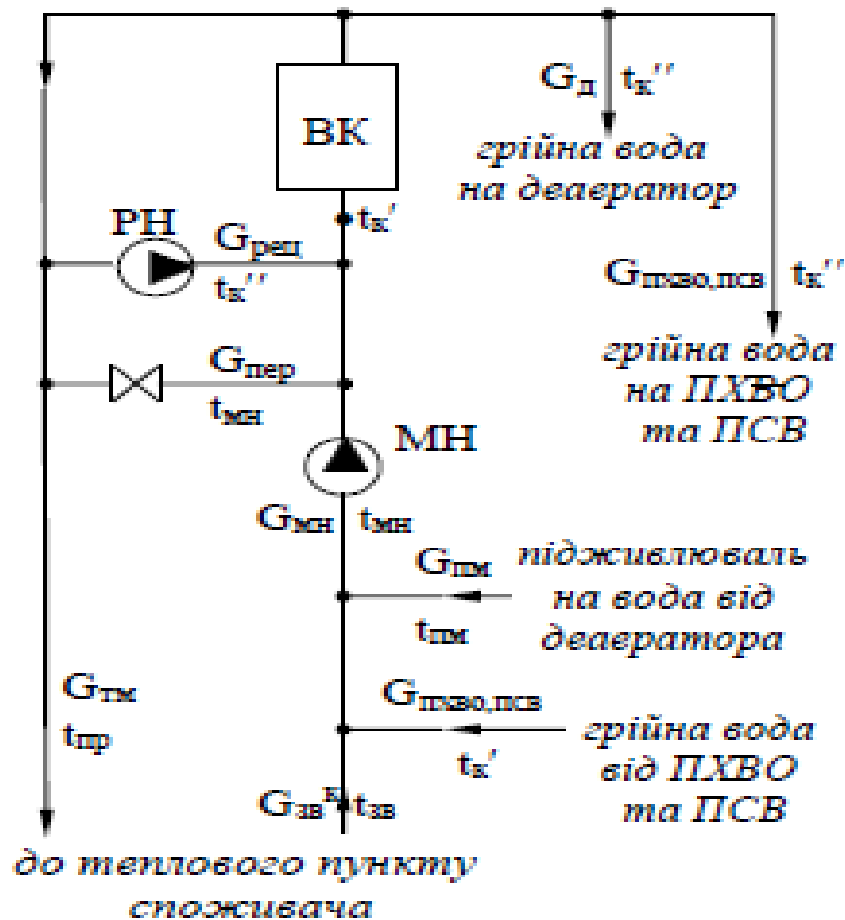


Рисунок 3.8 – Схема мережних ліній водогрійної котельні

### 3.4 Теплові схеми та розрахунки пароводогрійних котелень

Варіант схеми пароводогрійної котельні зображений на рис. 3.9. Особливістю таких котелень є обслуговування одночасно парового промислового споживача та систем опалення та ГВП, що підключені до теплових мереж.

Згідно з досвідом проектування, установлення парових та водогрійних котлів в одній котельні є економічно доцільним у випадку, коли теплофікаційне навантаження не набагато менше промислового і загальне навантаження котельні більше 100 МВт [4].

Атмосферний деаератор пароводогрійної котельні заживлений від парового котла напряму або через дросельний клапан, який знижує тиск з постійною ентальпією пари. Така компоновка дозволяє подавати додаткову воду в деаератор з будь-якою температурою, що спрощує схему підготовки додаткової води в котельні. Підготовлена вода після деаератора поділяється на два потоки: один через охолодник ОПВ іде на підживлення мережної води  $G_{\text{пм}}$  з витратою, що дорівнює втратам води в тепломережі і безповоротному використанню на ГВП; другий на живлення парового котла  $G_{\text{жв}}$ .

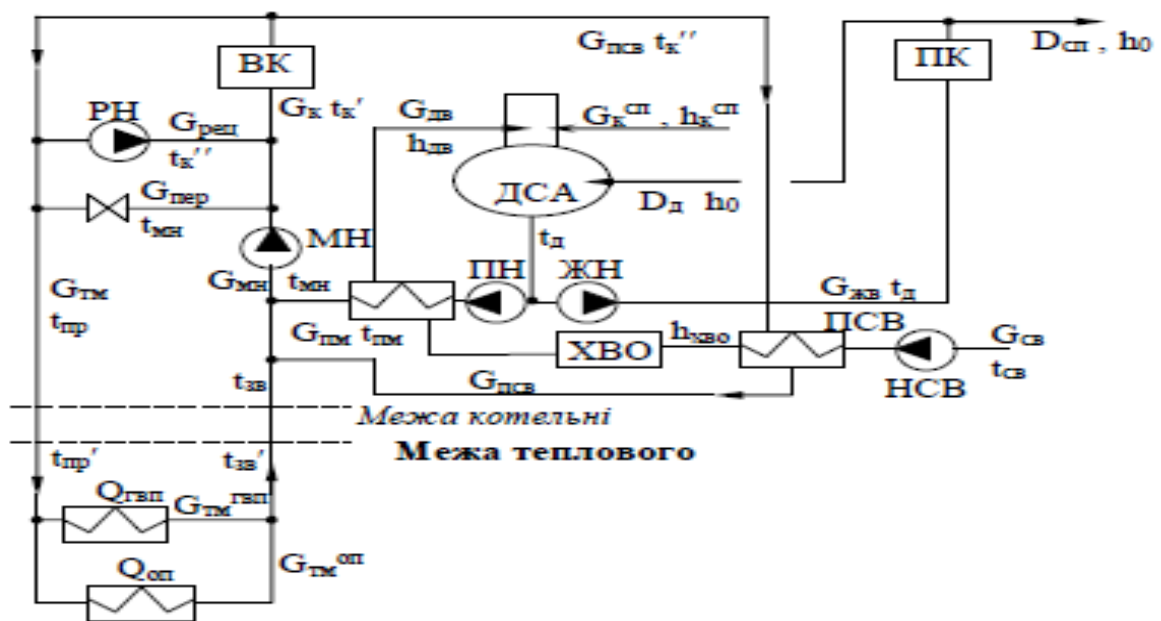


Рисунок 3.9 – Теплова схема пароводогрійної котельні

Підігрівник сирі води ПСВ заживлений від водогрійного котла. В ньому грійна вода охолоджується від  $t_k''$  до  $t_k'$ . Сира вода прокачується насосом НСВ через підігрівник ПСВ надходить на хімоводоочистку. Додаткова вода  $G_{\text{дв}}$  після ХВО охолоджує підживлювальну воду  $G_{\text{пм}}$  від температури  $t_d$  до  $t_k'$ , а сама нагрівається від  $t_{\text{хво}}$  до  $t_{\text{дв}}$  і надходить в деаератор. Для розрахунків елементів пароводогрійної котельні використовуються залежності наведені в розділах 2 та 3.

## 1. ВИБІР УСТАТКУВАННЯ КОТЕЛЕНЬ

Вибір типу, кількості, одиничної продуктивності котлів та іншого обладнання здійснюється відповідно до величин, отриманих в тепловому розрахунку котельні. Для зменшення капітальних та експлуатаційних витрат доцільно вибирати однотипне устаткування.

### 4.1 Вибір котлоагрегатів

В промислових та опалювальних котельнях використовують парові котлоагрегати з природною циркуляцією, прямоточні водогрійні котлоагрегати та комбіновані пароводогрійні котли.

Парові котлоагрегати котелень промислових підприємств за тиском пари та продуктивністю поділяються на:

- котли малої (до 25 т/год), середньої (25...75 т/год) та великої (100...160 т/год) паропроductивності.
- котли низького (0,9...2,4 МПа) та середнього тиску (до 4 МПа).

Водогрійні котлоагрегати за теплопродуктивністю поділяються на котли малої (до 11,6 МВт), середньої (11,6...34,8 МВт) і великої (58...209 МВт) теплопродуктивності.

Парові котли малої продуктивності виготовляються, наприклад, Бійським котельним заводом з газомазутними пальниками типу ДЕ продуктивністю 4, 6,5, 10, 16 та 25 т/год, а також з шаровими топками для вугілля КЕ продуктивністю 4, 6,5, 10, 25 т/год. Котли відпускають насичену чи слабо перегріту (наприклад  $t = 2500^{\circ}\text{C}$ ) пару тиском 1,4 та 2,4 МПа.

Парові котли середньої продуктивності – БМ паровидатністю 35 т/год тиском пари 4МПа з температурою насичення або з  $t = 440^{\circ}\text{C}$ .

Виготовляються також газомазутні котли ГМ–50–14 та ГМ–50–14/250, що відпускають пару в кількості 50 т/год, тиском 1,4 МПа, з температурою насичення та  $250^{\circ}\text{C}$  відповідно, а також паровий котлоагрегат К–50–14 з камерною топкою, який працює на твердому паливі та ін.

Водогрійні котли виготовляють теплопродуктивністю 4; 6,5; 10; 20;30; 50; 100; 180 Гкал/год, що складає відповідно 4,64; 7,54; 11,6; 23,2; 34,8;58; 116; 208,8 МВт. Температура води для котлів продуктивністю 20 Гкал/год (23,2 МВт) і нижче складає 150 °С, а для більших котлів вона може підвищуватись до 200 °С. Для газового та рідкого палива застосовують котли типу КВ–ГМ або ПТВМ, для твердого палива – КВ– ТС.

Вибір типу і кількості котлоагрегатів. Підбір типу, одиничної видатності котла та їх кількості в котельній залежить від виду та способу спалювання палива, виду необхідного теплоносія та його параметрів (тиску, температури). Паровидатність і теплопродуктивність котельні визначаються розрахунковими величинами, отриманими з розрахунків теплової схеми котельні.

Для зменшення капітальних та експлуатаційних витрат доцільно встановлювати однотипне обладнання з однаковою паро– і теплопродуктивністю [5].

На кількість котлоагрегатів впливають вимоги з надійності теплопостачання споживачів. Останні поділяються на дві категорії:

- перша категорія – коли порушення теплопостачання відповідних споживачів пов’язане з небезпекою для життя людей та зі значними матеріальними збитками;
- друга категорія – сюди відносяться всі інші споживачі.

Для котелень, що обслуговують споживачів другої групи, кількість котлоагрегатів визначається як відношення максимального відпуску теплоти до номінальної одиничної видатності котла з подальшим округленням до ближчого більшого цілого числа.

Для котелень, які обслуговують споживачів першої категорії, встановлюють додатково один резервний котел.

## 4.2 Вибір насосів

В котельнях промислових підприємств в залежності від їх призначення встановлюють такі насоси: живильні; мережні; рециркуляційні; підживлювальні; конденсатні; насоси сирої води; насоси для подавання води до ежекторів вакуумних деаераторів; насоси–дозатори станцій хімоводоочистки та інші.

Насоси вибирають за їх технічними характеристиками з урахуванням необхідної подачі та напору. Встановлюють відцентрові насоси з електроприводом та поршневі з приводом від парових турбін.

**Мережні насоси** призначені для забезпечення циркуляції теплоносія в тепловій мережі. Їх подача ( $\text{м}^3/\text{год}$ ) визначається за максимальною масовою витратою мережної води. В разі паралельної роботи кількох насосів подача кожного менше, ніж в технічній характеристиці, то загальну подачу слід приймати з відповідним запасом 10...20 %,  $\text{м}^3/\text{год}$

$$V_{\text{мн}} = (1,1 \dots 1,2) \cdot G_{\text{мн}} \cdot 3600 / \rho_{\text{мн}}, \quad (4.1)$$

де  $G_{\text{мн}}$  – масова витрата мережної води,  $\text{кг/с}$ ;

$\rho_{\text{мн}}$  – густина мережної води на вході в мережний насос,  $\text{кг/м}^3$ .

Згідно з Правилами Держтехнагляду [2] встановлюється не менше двох мережних насосів, причому у випадку зупинки будь-якого з насосів сумарна подача працюючих агрегатів повинна забезпечувати максимальну розрахункову подачу мережної води (для однотипного обладнання потрібно встановлювати додатково один резервний насос).

Напір насоса повинен забезпечувати покриття втрат тиску мережної води в схемі споживача, у водогрійному котлоагрегаті, водопідігрівній установці, а також втрат тиску в трубопроводах та арматурі з відповідним

запасом 10...15%. Для спрощеного розрахунку можна приймати напір мережних насосів 0,3...1 МПа.

Як мережні насоси можна використовувати насоси типів СЕ (для води з температурою до 180 °С), СД, Д, К, та КМ (для води до 105 °С).

**Рециркуляційні насоси.** Застосовують в схемах водогрійних котелень для регулювання необхідної температури мережної води перед котлом. Їх подачу визначають за результатами теплового розрахунку котельні

$$V_{pec} = (1,1...1,2) \cdot G_{pec} \cdot 3600 / \rho_{pec} , \quad (4.2)$$

Напір цих насосів визначається втратами тиску мережної води в котлі та трубопроводах між котлом і насосом.

Як рециркуляційні насоси застосовують насоси марки НКУ з напором 0,3...0,5 МПа (температура води до 225 °С).

**Підживлювальні насоси.** Використовують в схемах котелень для покриття витікань мережної води, а також витрат води на гаряче водопостачання у відкритих системах тепlopостачання. Подача цих насосів для закритих систем визначається за подвоєною розрахунковою масовою витратою води для покриття витікань мережної води, м<sup>3</sup>/год

$$V_{nn} = (1,1...1,2) \cdot (2 \cdot G_{втр}) \cdot 3600 / \rho_{mn} , \quad (4.3)$$

а для відкритих систем враховується також витрата мережної води на гаряче водопостачання, м<sup>3</sup>/год

$$V_{nn} = (1,1...1,2) \cdot (2 \cdot G_{втр} + G_{нр\ звн} + G_{зв\ звн}) \cdot 3600 / \rho_{mn} , \quad (4.4)$$

Насосів для підживлення повинно бути не менше двох, один з яких обов'язково резервним. Напір насосу визначається тиском мережної води в зворотному трубопроводі та втратами тиску в лінії підживлення мережі.



Використовуються насоси типу К, КМ, Д, ЦН з напором від 0,2 МПа.

**Живильні насоси.** Встановлюються в котельнях з паровими котлами, забезпечують подачу живильної води в котел і створення необхідного тиску перегрітої пари на виході з котла. В котельні їх повинно бути не менше двох, причому на великих котельнях один або більше – з паровим приводом. Сумарна подача живильних насосів  $G_{жв}$  визначається з розрахунку теплової схеми котельні з урахуванням продувок котла та витрат живильної води на РОУ з відповідним запасом 10 %, м<sup>3</sup>/год

$$V_{жн} = 1,1 \cdot G_{жв} \cdot 3600 / \rho_{жв} , \quad (4.5)$$

Кількість насосів підбирається так, щоб у випадку аварії одного з насосів решта агрегатів могли забезпечувати максимальну подачу живильної води. В якості живильних насосів використовують насоси типу ЦНСГ, ПЭ, ЦВ та насоси з паровим приводом ПНП–1. Напір живильних насосів визначається за різницею тисків в барабані котла та деаераторі, гідравлічним опором лінії живлення котлів та різницею рівнів деаератора і барабана котла з відповідним запасом, кПа

$$H_{жн} = 1,15 \cdot ((P_{\delta} - P_{\partial}) + \Delta P_{zo} + \Delta H_{\delta-\partial}) , \quad (4.6)$$

**Конденсатні насоси.** Встановлюють для подачі конденсатів з конденсатних баків або водопідігрівних установок до деаератора котельні. Їх подача розраховується за максимальною витратою конденсатів, м<sup>3</sup>/год

$$V_{кн} = 1,1 \cdot G_{к} \cdot 3600 / \rho_{к} \quad (4.7)$$

Напір конденсатних насосів визначається з врахуванням втрат тиску в конденсатопроводах, тиску в деаераторі і різниці рівнів насоса та деаератора.

Конденсатних насосів має бути не менше двох. Вони повинні встановлюватись так, що б конденсат надходив самопливом з певним підпором, в іншому випадку його температура повинна бути не менше 80 °С, аби виключити можливість закипання води у всмоктувальному патрубку насосу. Як конденсатні насоси використовують насоси КС та КД з температурою конденсату не більше 120 °С.

**Насоси сирії води.** Виконують роль підведення сирії води через систему водопідготовки та теплообмінне обладнання в деаератор для покриття втрат пари, води, конденсату тощо. Їх подача визначається за розрахунковою витратою сирії води, м<sup>3</sup>/год

$$V_{нсв} = 1,1 \cdot G_{св} / \rho_{св} \cdot 3600, \quad (4.8)$$

Напір насосів залежить від тиску в деаераторі, різниці рівнів насосу та деаератора, гідравлічних опорів системи хімводоочистки, теплообмінників, трубопроводів та арматури

$$H_{нсв} = 1,1 \cdot [P_{\partial} + \Delta H_{\partial-н} + \Delta P_{хво} + \Delta P_{то} + \Delta P_{тр}] , \quad (4.9)$$

Для сирії води використовують насоси типу К, КМ, Д. Якщо тиск води, в подавальному трубопроводі системи водопостачання більше 0,4 МПа цих насосів можна не встановлювати.

**Насоси для подачі води до ежекторів.** Використовуються для створення відповідного вакууму в деаераторах і відведення неконденсованих газів крізь охолодник в навколишнє середовище. Подача і напір цих насосів вибирається за розрахунком ежекторів до вакуумних деаераторів.

**Насоси–дозатори** застосовують для проведення хімводоочистки або деаерації води в схемі парових і водогрійних котелень.

#### 4.4 Вибір установки для підготовки води

Вода, що застосовується в системах теплопостачання на різних етапах її використання, має різну назву. Природна вода із джерела водопостачання називається *початковою, або сирою*, а та, яка надходить в паровий котел, – *живильною*. Остання складається з конденсату і додаткової води. Вода, що надходить у теплові мережі для поповнення втрат або на потреби гарячого водопостачання називається *підживлювальною водою*.

Природна вода містить мінеральні та органічні домішки – грубодисперсні речовини з розмірами частинок більш як 0,5 мкм, колоїдні домішки з частинками розміром 0,001...0,5 мкм і дійсно розчинені речовини у вигляді молекул та іонів з частинками розміром менш як 0,001 мкм, до яких належать гази, солі й різні органічні сполуки. Наявність домішок у воді призводить до внутрішньої корозії поверхонь нагрівання котлів, обладнання та теплопроводів, а також утворення накипу і шламу. Внаслідок цього прохідний переріз труб зменшується, процес теплообміну погіршується й відбуваються локальні пошкодження труб у котлах. Основними показниками води, що нормуються є:

- **прозорість води**, яка визначається вмістом в ній змулених частинок, що легко виводяться під час фільтрації води.
- **солевміст води**, що характеризується загальною кількістю розчинених в ній речовин, яка визначається за масою осаду після випарювання профільтрованої води.
- **жорсткість води**, що визначається загальним вмістом у ній розчинених солей кальцію та магнію, наявність яких сприяє утворенню накипу в котлах і трубопроводах. Розрізняють *карбонатну* жорсткість, обумовлену наявністю у воді бікарбонатів кальцію та магнію, та *некарбонатну* жорсткість, зумовлену наявністю у воді решти солей кальцію й магнію (сульфатів, хлоридів, нітратів та ін.). Загальна жорсткість води дорівнює сумі її карбонатної та некарбонатної жорсткості. Солі карбонатної

жорсткості розкладаються при нагріванні води до 40...50 °С та випарюванні її в котлах, утворюючи низькотемпературний накип, що містить, в основному, соль  $\text{CaCO}_3$ .

– **лужність**, що характеризується вмістом у воді гідроксильних іонів  $\text{OH}^-$  іонів слабких кислот  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  та інших, зв'язаних з катіонами  $\text{Na}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ , які при дисоціації утворюють більш сильні луги і надають розчину лужного характеру. Лужність води в допустимих межах корисна, оскільки вона нейтралізує корозійну дію на метал розчинених у воді агресивних газів. Однак надмірна лужність призводить до спінювання води в котлах і викидання її разом з паром, а також спричинює лужну крихкість металу (міжкристалітну корозію).

Загальні вимоги до якості води, що використовується в системах теплопостачання, та до вибору технології її обробки викладено в СНиП II-35-76 [3]. Вода для підживлення теплових мереж має містити не більше 0,05...0,1 мг кисню/кг води і 5 мг/кг змулених частинок, її карбонатна жорсткість не повинна перевищувати 0,7 мг-екв/кг. Вода для підживлення відкритих систем теплопостачання має відповідати вимогам ГОСТ 2874-82. Якість живильної води парових котлів залежить від типу котла і виду палива [7].

**Технологія обробки води.** Технологією передбачаються: виведення із води змулених домішок (освітлення), зниження жорсткості (зм'якшення), підтримання певної лужності, зменшення загального солевмісту, виведення розчинених агресивних газів. В разі вмісту заліза у воді більш, як 0,3 мг/кг воно видаляється з неї шляхом аерації фільтрування крізь сульфовугілля. Вода з поверхневих водоймищ для виведення змулених у ній частинок проходить попередню обробку, яка полягає в коагуляції, освітленні води в освітлювачі з наступним фільтруванням. Суть коагуляції зводиться до збільшення розмірів колоїдних частинок доданням у воду спеціальних реагентів — коагулянтів. Щоб поліпшити ефект промивання води, в деяких конструкціях фільтрів передбачається також продування фільтруючого шару стисненим повітрям. Якщо лужність початкової води більше 1,5 мг-екв/кг, то

її попередня обробка полягає у вапнуванні з коагуляцією і наступному освітлюванні у фільтрах. Додавання у воду вапна дає змогу перевести в осад солі кальцію карбонатної жорсткості і всі солі магнію, тобто зм'якшити воду. Крім того, вапно осаджує залізо, частково кремнієву кислоту і зв'язує  $\text{CO}_2$ . Для зм'якшення води методом осадження поряд з вапнуванням застосовується содовапнування.

Господарсько-питні води, освітлені води з поверхневих джерел, а також води з підземних і поверхневих джерел із вмістом змулених частинок не більше 8 мг/кг підлягають подальшій обробці методами іонного обміну – в катіонітних та аніонітних фільтрах.

Для водопідготовки найчастіше застосовуються катіонітні фільтри, що містять катіони  $\text{Na}^+$  (*натрій-катіонування*) або  $\text{H}^+$  (*водень-катіонування*). Для відновлення обмінної здатності іоніту здійснюється його **регенерація** — процес, зворотний основному. Цикл роботи іонітного фільтра включає в себе фільтрування води крізь шар іоніту, розпушування та регенерацію іоніту, а також відмивання.

Найбільш універсальним і економічним методом зм'якшення води, який частіше за все передбачається в проектах парових котелень з тиском до 3,9 МПа та водогрійних котелень з нагріванням води до 150 °С, є *натрій-катіонування*. Цей метод рекомендується для обробки живильної води з невеликою карбонатною жорсткістю (менше 3,5 мг-екв/кг) і вмістом заліза не більше 0,3 мг/кг. Після натрій-катіонування підвищується водневий показник і вода може оброблятися із застосуванням корекційних методів, наприклад *фосфатування*.

В разі *водень-катіонування* замість солей некарбонатної жорсткості утворюється еквівалентна кількість кислот, тому реакція води стає кислою і така вода може застосовуватись лише в суміші з натрій-катіонованою водою. В процесі водень-катіонування відбувається утворення вільної вуглекислоти, що має видалятися в декарбонізаторах, які являють собою апарати скруберного типу.

В котельнях промислових підприємств вода з підвищеною карбонатною жорсткістю, як правило, обробляється за схемою послідовного *водень-натрій-катіонування* з “голодною регенерацією” водень-катіонових фільтрів. Суть останньої полягає в пропусканні крізь фільтр такої кількості кислоти, якої для іонної регенерації фільтра недостатньо. Вода, що пройшла крізь такий фільтр, не містить сильних кислот і має незначну жорсткість. Ця вода після декарбонізатора спрямовується на натрій-катіонування.

У невеликих водопідготовчих установках (продуктивністю 5...50 м<sup>3</sup>/год) обробку води рекомендується здійснювати за методом *натрій-хлор-іонування* шляхом пропускання води крізь натрій-катіонітний фільтр першого ступеня і суміщений з ним натрій-хлор-іонітний фільтр другого ступеня. Обробка води за такою схемою дає змогу знизити жорсткість фільтрату до 0,01 мг-екв/кг, а лужність – до 0,2 мг-екв/кг. Застосування методу обмежується вимогами до якості початкової води, зокрема відсутністю органічних сполук і заліза.

Зменшення лужності, жорсткості й солевмісту живильної води, а також вмісту вуглекислоти у водяній парі досягається *амоній-натрій-катіонуванням*. В котлах під дією високої температури сполуки амонію розкладаються, причому бікарбонатні солі утворюють аміак і вуглекислоту, а карбонатні— аміак і мінеральні кислоти. Щоб уникнути кислої реакції котлової води, амоній-катіонування поєднується з натрій- катіонуванням. Амоній-натрій-катіонування води і пари застосовується, коли допускається наявність аміаку в парі.

Вода для підживлення теплових мереж обробляється одноступінчастим натрій-катіонуванням або водень-катіонуванням з “голодною” регенерацією іоніту. Якщо допускає якість початкової води, то здійснюється найбільш простий метод обробки води — *магнітний*. Він придатний для початкової води з карбонатною жорсткістю до 9 мг-екв/кг, вмістом заліза до 0,3 мг/кг і при підігріванні води не вище 95 °С.

Основною складовою живильної води парових котлів є конденсат, який

повертається в котельню від споживачів пари. В котельнях застосовуються такі методи очищення конденсату: знемаслювання, очищення від мазуту, знезалізнювання та зм'якшення.

Система хімоводочистки вимагає великих капітальних та експлуатаційних витрат, в той час як властивості додаткової води набагато гірші від показників незабруднених конденсатів. Тому слід намагатись зменшувати втрати та забруднення конденсатів в обладнанні парових споживачів, а живлення парових котлів проводити з мінімальним використанням станцій хімоводоочистки. Методи розрахунку та підбору обладнання станцій хімоводоочищення більш детально описані в [7].

**Деаерація води.** Обов'язковою стадією водопідготовки є деаерація (дегазація) живильної води та води для підживлення теплової мережі з метою зниження до допустимих норм вмісту в них агресивних газів – кисню і вуглекислоти. Широке розповсюдження дістала *термічна* деаерація води, яка ґрунтується на зменшенні розчинності газів у воді з підвищенням її температури. В термічних деаераторах вода підігрівається до температури насичення. Збільшення ефективності термічної деаерації досягається розпилюванням і розбризкуванням води, барботуванням крізь воду грійної пари.

У парових котельнях застосовуються *атмосферні* деаератори типів ДА або ДСА (робочий тиск 0,12 МПа) і деаератори *підвищеного тиску* ДП або ДСП (робочий тиск 4 МПа й вище), у водогрійних — *вакуумні* деаератори типу ДВ або ДСВ (робочий тиск 0,03 МПа).

На рис. 4.1 зображено схему двоступінчастого атмосферного деаератора типу ДА продуктивністю 5... 300 т/год, який складається з малогабаритної деаераційної колонки 2 і бака-акумулятора 6 з вмонтованим барботажним пристроєм та перегородками 10, 11, що утворюють спеціальні відсіки. В колонці розміщено дві тарілки 4, 5 з отворами.

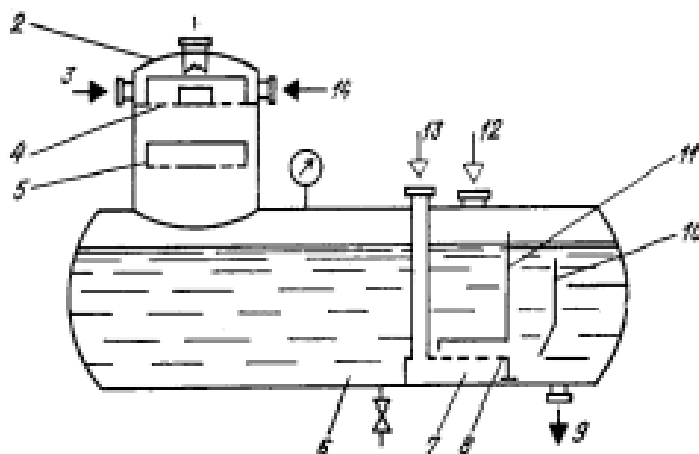


Рисунок 4.1 – Схема двоступінчастого атмосферного деаератора типу ДА

Зм'якшена вода надходить на верхню тарілку крізь змішувальний пристрій, який забезпечує перемішування хімічно очищеної води, що підводиться через штуцер 14, та конденсату, який надходить через штуцер 3. З колонки 2 вода, що деаерується, потрапляє в бак-акумулятор 6. На його дні, протилежному відносно деаераційної колонки, встановлено

барботажний пристрій, за допомогою якого вода підлягає вторинному нагріванню. Барботажна пара трубою 13 спрямовується в парову коробку 7 і крізь отвори дірчастого листа 8 барботує крізь шар води, що знаходиться над листом. Вода, яка виходить з барботажного пристрою, підіймається в шахті, утвореній перегородками 10 та 11, і закипає. Відбувається це через деяке перегрівання її відносно температури насичення, що відповідає тиску пари в бакі-акумуляторі. Деаерована вода виходить з бака крізь штуцер 9. Пара, яка проходить крізь барботажний пристрій і шар води, потрапляє в паровий простір і рухається в бік колонки.

В атмосферних деаераторах продуктивністю більше 25 т/год, крім пари, що барботує, в паровий простір крізь штуцер 12 додатково надходить грійна пара. Парогазова суміш (випар) виводиться крізь штуцер 1. Температура нагрітої води на виході з деаератора дорівнює 102...104 °С.

Витрата необхідної для деаерації пари визначається тепловим балансом



деаератора. Як правило, атмосферні деаератори комплектуються охолодниками випару — кожухотрубчастими теплообмінниками, призначеними для конденсації пари, що міститься у випарі. Основні характеристики атмосферних деаераторів типу ДА наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні характеристики атмосферних деаераторів

Марка деаератора	Продуктивність, т/год	Об'єм бака, м <sup>3</sup>
ДА-5/2	5	2
ДА-15/4	15	4
ДА-25/8	25	8
ДА-50/15	50	15
ДА-100/25	100	25
ДА-200/50	200	50
ДА-300/75	300	75

Щоб забезпечити надійність роботи насосів для підживлення, висота встановлення атмосферних деаераторів відносно вісі живильних насосів має бути не менш як 6...8 м. При цьому допускається розміщувати деаератор на відкритому майданчику поблизу котельні.

У водогрійних котельнях або в теплових пунктах, де пари немає, застосовуються вакуумні деаератори, які працюють з тиском нижче атмосферного. Ці деаератори можуть видавати воду з температурою нижче 100<sup>0</sup>С, що дає змогу використовувати її безпосередньо для гарячого водопостачання споживачів. На рис. 4.2 показано схему вакуумного деаератора продуктивністю більше 300 т/год, що являє собою набір циліндричних секцій діаметром 3 м і завдовжки 2 м.

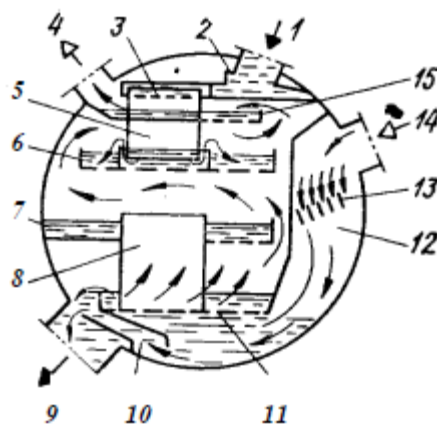


Рисунок 4.2 – Схема вакуумного деаератора типу ДВ

Хімічно очищена вода через штуцер *1* надходить в розподільний колектор *2*, звідки вона стікає на першу тарілку *3*, а потім на другу тарілку *15*. При збільшенні витрати води понад мінімальну її надлишок з першої тарілки перепускається коробом *5* на третю тарілку *6*, звідки вся вода спрямовується на четверту тарілку *7*, призначену для збирання і перепуску води на барботажний лист *11*. Перші дві тарілки розраховані на мінімальну витрату води і забезпечення повної конденсації необхідної кількості випару, тобто вони утворюють охолодник випару. Третя тарілка забезпечує роботу деаератора з повним його навантаженням.

Після обробки на барботажному листі *11* деаерована вода відводиться з деаератора штуцером *9*. Грійна вода з температурою 70...150 °С.

Після обробки на барботажному листі *11* деаерована вода відводиться з деаератора штуцером *9*. Грійна вода з температурою 70...150 °С штуцером *14* подається в сепараційний відсік *12*, при вході в який вона закипає. Жалюзі *13* сприяють відокремленню води і пари. Пара, що утворилась, спрямовується під барботажний лист *11*, а вода, яка залишилась, каналом *10* відводиться разом з деаерованою водою з деаератора.

Пара барботує через щілини барботажного листа, піддаючи воду інтенсивному нагріванню. Коли висота парової подушки стане більш як 200 мм, надлишки пари крізь короб *8* перепускаються в струминний відсік між третьою та четвертою тарілками. В цьому відсіку й відбувається основне

підігрівання води до температури, близької до температури насичення. Далі пара проходить крізь струминні відсіки, утворені другою та першою тарілками, і повністю конденсується. Охолоджена пароводяна суміш крізь трубу 4 надходить до ежектора, що створює розрідження в деаeratorі.

У парових котельнях слід застосовувати пароструминні ежектори, у водогрійних котельнях і на теплових пунктах — водоструминні. В розрахунках газовідсмоктувальних пристроїв вакуумних деаeratorів витрата газів, які не конденсуються, приймається такою, що дорівнює 60 г газів на 1 т деаерованої води.

Основні характеристики вакуумних деаeratorів типу ДВ наведено в довідниках, причому цифрами в типах охолодників випару зазначено площу їх поверхонь ( $\text{м}^2$ ), а в типах водоструминних ежекторів – витрату робочої води (т/год).

У великих промислово-опалювальних парових котельнях використовують деаeratorи підвищеного тиску з робочим тиском 0,3 МПа і 0,6 МПа, видатністю 160, 225, 800 т/год (ДСП–160, ДСП–225, ДСП– 800).

В парових котельнях з відпуском теплоти у відкриті системи теплопостачання, як правило, встановлюються окремі деаeratorи живильної води та води для підживлення (по одному деаeratorу кожного призначення)– а в закриті системи – один загальний деаerator.

Вибір кількості деаeratorів регламентується СНиП II-35-76. Марка деаeratorів вибирається за додатком В, виходячи з витрати деаерованої води (т/год) одержаної в процесі розрахунків теплової схеми котельні.

Слід відзначити, що останнім часом, особливо в схемах невеликих парових і водогрійних котелень термічна деаерація замінена хімічною, коли в трубопровід живильної чи підживлювальної води за допомогою насосів–дозаторів вводиться визначена кількість реагентів, що зв'язують кисень та вільну вуглекислоту.

#### 4.4 Вибір теплообмінників

**Загальні відомості.** Теплообмінники, що застосовуються в котельнях, є в основному кожухотрубчастими або пластинчастими апаратами поверхневого типу й використовуються для підігрівання мережної, сирії та хімічно очищеної води, а також для охолодження води і конденсату.

Підігрівники за видом грійного теплоносія поділяються на *пароводяні* (теплоносій - пара) і *водоводяні* (теплоносій - вода).

За розташуванням трубних систем теплообмінники поділяються на *вертикальні* та *горизонтальні*. Перші застосовуються в основному у великих парових опалювальних котельнях для підігрівання мережної води. Промисловістю за ОСТ 108.271.105—76 для опалення й гарячого водопостачання випускаються швидкісні дво- і чотириходові пароводяні підігрівники, трубну систему яких виконано з латунних трубок  $\varnothing 16 \times 1$  мм завдовжки 2 і 3 м. Грійна пара надходить в міжтрубний простір, а вода, що нагрівається, - в трубки підігрівника.

Конструктивні розміри підігрівників визначено для тепlopостачання з графіками температур води 150/70 і 130/70 °С, при тиску води 1 МПа і пари 0,7 МПа, а також з графіком температур 95/70 °С при тиску води 0,4 МПа і пари 0,2 МПа. Допускається застосування підігрівників і при більших тисках пари та води, однак за умовами міцності граничним тиском води є 1,6 МПа, а пари - 1 МПа.

В усіх випадках тиск пари в підігрівнику має бути на 0,1... 0,2 МПа нижче від тиску води, щоб уникнути пропускання пари в трубки підігрівника в разі порушення їх цілісності та закипання мережної води в трубках в процесі регулюванні відпуску теплоти шляхом перепуску частини води повз підігрівник. Температура пари на вході в підігрівник не повинна перевищувати 300 °С, а температура нагрітої води – 180 °С.

Для температурного графіку 150/70 °С використовуються чотириходові підігрівники з плоскими та еліптичними днищами, для температур 130/70 °С

— двоходові з такими самими днищами і довжиною трубок 3 м, а для температур 95/70 °С – двоходові підігрівники, але з довжиною трубок 2 м.

Швидкісні водоводяні підігрівники за ТУ 78 УРСР 125—78 випускаються розбірними, що дає змогу складати їх на місці з різною кількістю однотипних секцій, підключених послідовно або паралельно .

**Тепловий розрахунок теплообмінників.** Метою теплового розрахунку є визначення параметрів теплоносіїв і необхідної площі поверхні нагріву для заданої теплової потужності, вибраної конструкції та відомих температур теплоносіїв на вході в теплообмінник і на виході з нього, виходячи з рівняння теплопередачі, м<sup>2</sup>

$$F = Q / (k \cdot \Delta t), \quad (4.10)$$

де Q — теплова потужність теплообмінника, Вт;

k — коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

Δt – середній температурний напір у теплообміннику, К.

Теплові потужності теплообмінників, кВт:

– пароводяного :

$$Q = D_1 \cdot r_1 = G_2 \cdot c_e \cdot (t_2' - t_2'), \quad (4.11)$$

– водоводяного

$$Q = G_1 \cdot c_e \cdot (t_1' - t_1') = G_2 \cdot c_e \cdot (t_2' - t_2') , \quad (4.12)$$

де D<sub>1</sub> — витрата грійної пари, кг/с;

r<sub>1</sub> — питома теплота фазового переходу, Дж/кг;

G<sub>1</sub> , G<sub>2</sub> — масові витрати грійної води і нагріваної води, кг/с;

t<sub>1</sub>' , t<sub>1</sub>' — температури грійної води на вході і виході з теплообмінника, °С;

t<sub>2</sub>' , t<sub>2</sub>' — температури води, що нагрівається, на вході і виході з теплообмінника, °С.

Середній температурний напір у теплообміннику, К,

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln(\Delta t_6 / \Delta t_m)}, \quad (4.13)$$

де  $\Delta t_6$ ,  $\Delta t_m$  – більша і менша різниця температур між теплоносіями відповідно, К.

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup> · К)

$$k = \frac{\varphi}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (4.14)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт використання поверхні нагріву, який враховує термічний опір шару накипу на стінці трубки, а також неповноту обмивання її поверхні;

$\varphi = 0,5...0,6$  для підігрівників гарячого водопостачання в теплових пунктах і підігрівників сирої води в котельнях;

$\varphi = 0,75...0,85$  для решти теплообмінників);

$\alpha_1$  – коефіцієнт тепловіддачі від гріючого теплоносія до стінки трубки, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\alpha_2$  – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до теплоносія, що нагрівається, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\delta_{ст}$ ,  $\lambda_{ст}$  – товщина стінки трубки, м та теплопровідність її матеріалу Вт/(м · К).

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1$  у випадку пароводяних підігрівників визначається з урахуванням формул, одержаних для водяної пари, що конденсується на горизонтальній трубці при ламінарному режимі течії плівки

конденсату, коли число Рейнольдса

$$Re = 0,728 \cdot Z^{0,75} \cdot (\lambda_{\text{стк}} / \lambda_{\text{к}})^{3/8} \cdot (\mu_{\text{к}} / \mu_{\text{стк}})^{1/8}, \quad (4.15)$$

де  $Z = Ga^{1/3} / (K_{\phi} \cdot Pr)$ ;

$Ga = g \cdot d_{\text{зовн}}^3 / \nu^2$  – критерій Галілея;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;

$d_{\text{зовн}}$  – зовнішній діаметр трубки,  $\text{м}$ ;

$\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості конденсату,  $\text{м}^2 / \text{с}$ ;

$K_{\phi} = r / [c \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{ст}})]$  – критерій фазового переходу;

$r$  – питома теплота фазового переходу при температурі насичення,  $\text{Дж/кг}$ ;

$c$  – питома теплоємність конденсату,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;

$t_{\text{н}}, t_{\text{ст}}$  – температура насичення та температура стінки трубки,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$Pr$  – критерій Прандтля для температури насичення;

$\lambda_{\text{стк}}$  і  $\mu_{\text{стк}}$  – відповідно коефіцієнт теплопровідності  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  та коефіцієнт динамічної в'язкості  $(\text{Па} \cdot \text{с})$  конденсату для температури стінки трубки  $t_{\text{ст}}$ ;

$\lambda_{\text{к}}$  і  $\mu_{\text{к}}$  – відповідно коефіцієнт теплопровідності  $[\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})]$  та коефіцієнт динамічної в'язкості  $(\text{Па} \cdot \text{с})$  конденсату для температури насичення  $t_{\text{н}}$ .

При цьому коефіцієнт тепловіддачі,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$$\alpha_l = Re \cdot r \cdot \rho \cdot \nu / [(t_{\text{ст}} - t_{\text{н}}) \cdot d_{\text{зовн}}], \quad (4.16)$$

де  $\rho$  – густина конденсату,  $\text{кг/м}^3$ .

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_2$  у випадку пароводяних підігрівників визначається з урахуванням виразів, що описують течію води в трубці залежно від режиму руху води, який характеризується числом Рейнольдса

$$\text{Re} = w \cdot d_{\text{вн}} / \nu,$$

де  $w$  – швидкість води,  $\text{м/с}$ ;

$d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр трубки,  $\text{м}$ ;

$\nu$  — коефіцієнт кінематичної в'язкості ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) води для її середньої температури  $t_{\text{ср}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ .

Число Нусельта при ламінарному режимі течії води ( $\text{Re} < 2300$ )

$$\text{Nu} = 0,15 \cdot \text{Re}^{0,33} \cdot \text{Gr}^{0,1} \cdot \text{Pr}^{0,43} \cdot (\text{Pr}/\text{Pr}_{\text{ст}})^{0,25}, \quad (4.17)$$

В цій залежності критерій Грасгофа

$$\text{Gr} = g \cdot d_{\text{вн}}^3 \cdot \beta \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{ср}}) / \nu^2, \quad (4.18)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення води ( $1/\text{K}$ ) для її середньої температури,

$\text{Pr}$  — критерій Прандтля для тієї ж температури.

Для турбулентного режиму течії води ( $\text{Re} > 10000$ ) число Нусельта

$$\text{Nu} = 0,021 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,43} \cdot (\text{Pr}/\text{Pr}_{\text{ст}})^{0,25}, \quad (4.19)$$

а для перехідного режиму ( $2300 < \text{Re} < 10\,000$ )



$$Nu = 0,008 Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43} \cdot (Pr/Pr_{ст})^{0,25}, \quad (4.20)$$

де  $Pr_{ст}$  – критерій Прандтля для води при температурі стінки трубки  $t_{ст}$ .

Тоді коефіцієнт тепловіддачі,  $Вт/(м^2 \cdot К)$

$$\alpha_2 = Nu \cdot \lambda / d_{вн}, \quad (4.21)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності  $[Вт/(м \cdot К)]$  води для середньої температури.

Коефіцієнти тепловіддачі  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  у випадку водоводяних теплообмінників також визначаються за формулами (4.17)...(4.21), але для теплоносія, що рухається в міжтрубному просторі, замість  $d_{вн}$  слід підставити еквівалентний діаметр каналу для поздовжнього омивання пучка труб, м

$$d_{екв} = (D_{вн}^2 - n \cdot d_{зовн}) / (D_{вн} + n \cdot d_{зовн}), \quad (4.22)$$

де  $D_{вн}$  – внутрішній діаметр корпусу теплообмінника, м;

$n$  — кількість трубок, шт.

**Гідравлічний розрахунок теплообмінників** необхідний для визначення гідравлічних характеристик апарату і зводиться до визначення суми втрат напору води на тертя  $\Delta P_T$  і місцеві опори  $\Delta P_{мо}$  в трубках (пароводяні підігрівники), в трубках і міжтрубному просторі (водоводяні теплообмінники), і загальних втрат:

Втрати напору води на тертя в трубках, Па

$$\Delta P_T = (\lambda_T \cdot L \cdot z / d_{вн}) \cdot \rho \cdot w^2 / 2, \quad (4.23)$$

де  $L$  — довжина трубок одного ходу підігрівника, м;

$z$  – число ходів води в підігрівнику;

$\lambda_T$  – коефіцієнт опору тертя, що залежить від режиму руху води:

– для ламінарного режиму ( $Re < 2300$ )

$$- \quad \lambda_T = 64/Re; \quad (4.24)$$

– для турбулентного режиму ( $Re > 2300$ )

$$\lambda_T = (1,82 \cdot \lg Re - 1,64)^{-2}, \quad (4.25)$$

Втрати напору води в місцевих опорах, Па,

$$\Delta P_{mo} = \Sigma \xi \cdot \rho \cdot w^2 / 2, \quad (4.26)$$

де  $\Sigma \xi$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів.

Враховуючи емпірично отримані коефіцієнти місцевих опорів швидкісних багатоходових пароводяних підігрівників [5] отримаємо

$$\Sigma \xi_{пв} = 5 + 2,5 \cdot (z - 1), \quad (4.27)$$

У випадку секційних водоводяних теплообмінників втрати напору води на тертя в трубках і міжтрубному просторі визначаються за формулою (4.23), в яку мають підставлятись:

$L$  — довжина трубок одної секції,

$z$  — кількість послідовно з'єднаних секцій теплообмінника,

$d_{вн}$  – внутрішній діаметр трубок і  $d_{екв}$  – еквівалентний діаметр каналу (для міжтрубного простору).

Секційні водоводяні теплообмінники мають інший набір місцевих гідравлічних опорів, тому для даного випадку сума місцевих опорів

$$\Sigma \xi_{\text{BB}} = 0,9 \cdot z + 1,1 \cdot (z - 1), \quad (4.28)$$

Сума коефіцієнтів визначається виразом місцевих опорів міжтрубного простору[5]

$$\Sigma \xi_{\text{BB}} = 13,5 \cdot z (f_{\text{мтр}} / f_{\text{п}}), \quad (4.29)$$

де  $f_{\text{мтр}}$  – площа перерізу міжтрубного простору, не заповненого трубками,  $\text{м}^2$ ;  
 $f_{\text{п}}$  – площа перерізу патрубків підведення води,  $\text{м}^2$ .

#### 4.5 Вибір баків (ємкостей)

В котельнях установлюються баки (ємкості) для збирання конденсату, зберігання живильної води, робочої води та ін.

Для збирання конденсату, що надходить від споживачів і дренажів паропроводів, а також води, яка зливається з деаераторів, використовуються два баки, місткість кожного з яких  $\text{м}^3$  визначається півгодинною витратою зворотного конденсату,  $\text{м}^3$ :

$$V_{\text{к}} = 0,5 \cdot G_{\text{к}} \cdot 3600 / \rho_{\text{к}}, \quad (4.30)$$

де  $G_{\text{к}}$  – витрата конденсату, який повертається від споживачів,  $\text{кг/с}$ ;

$\rho_{\text{к}}$  – густина конденсату,  $\text{кг/м}^3$ .

За відсутності в котельнях спеціальних баків для зберігання живильної води необхідний її запас резервується в деаераційних баках. Сумарна

місткість баків для зберігання деаерованої води для підживлення закритої системи теплопостачання визначається з розрахунку 20-хвилинної продуктивності деаератора, м<sup>3</sup>

$$V_{\Pi} = 1/3 \cdot G_{\text{д}} \cdot 3600 / \rho_{\text{д}}, \quad (4.31)$$

де  $G_{\text{д}}$  – продуктивність деаератора, кг/с;

$\rho_{\text{д}}$  — густина деаерованої води для підживлення, кг/м<sup>3</sup>.

Сумарну місткість баків-акумуляторів води для підживлення відкритої системи теплопостачання рекомендується вибирати такою, що дорівнює шести–восьмикратній середньогодинній за добу витраті води на гаряче водопостачання, м<sup>3</sup>

$$V_{\text{а}} = (6...8) \cdot G_{\text{ГВ}} \cdot 3600 / \rho_{\text{д}}, \quad (4.32)$$

де  $G_{\text{ГВ}}$  – витрата води на гаряче водопостачання, кг/с.

Кількість баків-акумуляторів має бути не менше двох і до того ж однакової місткості. Баки для зберігання проміжної води для закритої системи теплопостачання розміщуються в будівлях котельні на нульовій позначці чи на площадках багатоповерхової частини котельні під деаераційною установкою води для підживлення. Баки-акумулятори води для підживлення у відкритій системі теплопостачання встановлюються за межами будівель котельні, як правило, у зоні розташування димової труби.

#### 4.6 Вибір трубопроводів

В залежності від виду середовища, яке транспортується (перегріта чи насичена пара, гаряча вода), його температури і тиску трубопроводи відповідно до Правил Держтехнагляду поділяються на чотири категорії в порядку зменшення параметрів. Усі трубопроводи промислових і

опалювальних котелень належать до третьої та четвертої категорій; вони можуть виготовлятися із стандартних безшовних і зварних труб, вироблених з вуглецевої сталі. Сталеві труби постачаються за розміром зовнішнього діаметру з кількома значеннями товщини стінки.

З метою уніфікації всіх елементів трубопроводу (труб, арматури, з'єднувальних частин) і збереження значення прохідного перерізу, що забезпечує розрахункові умови для проходження робочого середовища, введено поняття *умовного діаметра* (проходу)  $d_y$ . Останній є округленим розрахунковим внутрішнім діаметром в міліметрах з такого ряду: 10; 15; 20; 25; 32; 40; 50; 65; 80; 100; 150; 200 і т. д.

Для вибору матеріалу і розрахунків елементів трубопроводу в залежності від температури та тиску середовища, яке транспортується, введено поняття *умовного тиску*  $p_y$  — найбільшого надлишкового тиску, на який розраховуються всі елементи трубопроводу для температури навколишнього середовища 20 °С. *Робочий тиск*  $p_p$  — це найбільший надмірний тиск, що забезпечує тривалу роботу всіх елементів трубопроводу з робочою температурою середовища, яке транспортується ( $p_y > p_p$ ). Значення  $p_y$  для труб, арматури і з'єднувальних частин трубопроводів залежно від цієї температури встановлено ГОСТ 356—80.

За призначенням всі трубопроводи котельні поділяються на три групи: 1) пари, гарячої води; 2) водопідготовчої установки; 3) конденсату, дренажні, пожежогасіння, систем контрольно-вимірювальних приладів, стиснутого повітря та водовидалення. Для експлуатації всіх трубопроводів передбачаються заходи, які забезпечують можливість правильного їх заповнення та спорожнення. З цією метою трубопроводи прокладаються з нахилом не менш як 0,001 в напрямку руху середовища, причому передбачається встановлення штуцерів і вентилів у верхніх точках для виведення повітря, а в нижніх — рідини. Щоб запобігти гідравлічному удару в трубопроводах, в яких транспортується пара, передбачається їх дренаж. Останній буває *автоматичним і пусковим*. Автоматичний дренаж

здійснюється шляхом установалення конденсатовідвідників. Ними обладнують трубопроводи насиченої пари і тупикові трубопроводи перегрітої пари, а пусковим дренажем — ділянки паропроводу, в яких може бути скупчення конденсату під час їх прогрівання, пуску або відключення. Відведення конденсату виконується за допомогою дренажних труб.

Діаметри трубопроводів визначаються, виходячи з розрахункових максимальних витрат, а також допустимих швидкостей води і пари, м

$$d_{\text{вн}} = [4 \cdot G / (\rho \cdot w \cdot 3,14)]^{0,5}, \quad (4.33)$$

де  $G$  — масова витрата середовища, яке транспортується, кг/с;

$w$  — його середня швидкість, м/с;

$\rho$  — середня густина середовища (кг/м<sup>3</sup>), яка визначається як півсума густин на початку і в кінці трубопроводу.

Швидкість води має становити 0,5...2 м/с, причому чим більша довжина трубопроводу, тим менша швидкість води в ньому. Рекомендовані швидкості насиченої пари вибирають в межах 10...40 м/с, а перегрітої — 20...70 м/с.

Товщина стінки трубопроводу обчислюється за формулою, мм

$$s = p \cdot d_{\text{вн}} / (2 \cdot \varphi \cdot \sigma - p) + c, \quad (4.34)$$

де  $p$  — розрахунковий тиск (МПа), який приймається таким, що дорівнює номінальному на вході в трубопровід, крім того, для рідин треба враховувати гідростатичний тиск;

$\varphi$  — коефіцієнт ослаблення трубопроводу зварним швом (для безшовних труб з вуглецевої сталі ( $\varphi = 1$ );

$\sigma$  — допустима напруга, МПа (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Допустима напруга трубопроводу, МПа

Марка сталі	Розрахункова температура стінки трубопроводу, °С						
	2	250	300	350	400	450	500
10	127	110	98	86	75	52	29
20	144	129	117	104	90	63	33

Добавка визначається за формулою, мм

для прямих трубопроводів  $c = A \cdot s / (1 + A)$  , (4.35)

для гнутих  $c = A_1 \cdot s / (1 + A_1)$  . (4.36)

Значення коефіцієнта  $A$  в залежності від мінусового допуску труб змінюються в межах 0,18...0,05. Для гнутих трубопроводів коефіцієнт  $A_1$  залежить ще і від відносного радіуса гнуття труби  $R/d_{\text{зовн}}$  , змінюючись в межах 0,2... 0,03. В усіх випадках добавка  $c$  становить не менш як 0,5 мм.

Товщина стінки трубопроводу повинна бути не менше вказаної в таблиці 4.3. В разі дії на трубопровід зовнішніх сил (тяжіння, осьової та ін.) його міцність слід перевірити окремо.

Таблиця 4.3 – Мінімальні значення товщини стінки труби

Зовнішній діаметр згину труби, $d_{\text{зовн}}$ , мм	38	51	70	90	103
Товщина стінки труби, $s_{\text{min}}$ , мм	1,75	2	2,5	3	3,5

Для виготовлення трубопроводів використовуються безшовні, електрозварні та водогазопровідні труби. Останні застосовуються для

транспортування середовища з тиском менше 1 МПа і температурою нижче 200 °С (труби звичайні), а також з тиском до 1,6 МПа і температурою нижче 200 °С (труби підсилені). Трубопроводи, що працюють під тиском середовища, яке транспортується, більше 1,6 МПа і з температурою до 450 °С, виконуються із безшовних труб, виготовлених з вуглецевої сталі марок 10 та 20, а з температурою теплоносія понад 450°С — з легованих сталей.

З'єднання трубопроводів виконується їх зварюванням. На фланцях допускається приєднання трубопроводів до арматури та обладнання. Для тиску робочого середовища до 0,25...1,3 МПа і температури 150...300 °С використовується чавунна арматура, для температури робочого середовища до 450°С – арматура з вуглецевої сталі. Ущільнення фланцевих з'єднань досягаються за допомогою прокладок, які в трубопроводах пари і гарячої води до 4 МПа найчастіше виконують з пароніту чи клінгериту.

#### 4.7 Вибір вентиляторів і димососів

Кожний котлоагрегат повинен мати не менше одного вентилятора і одного димососа. Але в процесі проектування котелень з котлами продуктивністю до 1,163 МВт (1 Гкал/год) допускається використання групових тягодуттєвих установок, які складаються з двох вентиляторів і двох димососів (для всіх котлів). Від звичайних відцентрових вентиляторів димососи відрізняються більш високою температурою робочого середовища, тому вони мають більш міцні лопатки з охолодженням підшипників.

Вибір тягодуттєвих машин здійснюється за заводськими характеристиками, що визначають залежність напору, який розвиває машина, від подачі для густині середовища, що транспортується, яка відповідає температурі 100...200 °С для димососа або 20 °С для вентилятора і атмосферному тиску 101,325 кПа.

Розрахункова подача вентилятора і димососа, м<sup>3</sup>/год



$$Q_B = k \cdot B_{p\kappa} \cdot V^0 \cdot \alpha_B \cdot (t_B + 273) / 273 \cdot 3600, \quad (4.37)$$

$$Q_d = k \cdot B_{p\kappa} \cdot [V_\Gamma^0 + (\alpha_d - 1) \cdot V^0] \cdot (t_d + 273) / 273 \cdot 3600, \quad (4.38)$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу, що дорівнює 1,1;

$B_{p\kappa}$  – розрахункова витрата палива, кг/с ( $\text{м}^3/\text{с}$ );

$V^0$  – теоретична кількість повітря, необхідна для згорання 1 кг твердого і рідкого палива або 1  $\text{м}^3$  газоподібного палива,  $\text{м}^3/\text{кг}$  ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ );

$V_\Gamma^0$  – теоретичний об'єм продуктів згорання палива,  $\text{м}^3/\text{кг}$  ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ );  $\alpha_B$  і  $\alpha_d$  – коефіцієнти надлишку повітря перед вентилятором і димососом відповідно;

$t_B$ ,  $t_d$  – температури повітря перед вентилятором і димових газів перед димососом відповідно.

Чисельні значення зазначених величин приймаються на підставі теплового розрахунку котлоагрегату. Для визначення тиску тягодуттєвих машин необхідно знати опори газового та повітряного трактів котлоагрегату. Розрахунковий повний напір тягодуттєвої машини визначається за виразом, Па

$$H = 1,2 \cdot \Delta H, \quad (4.39)$$

де 1,2 — коефіцієнт запасу за тиском;

$\Delta H$  – перепад повних тисків по газовому тракту всіх елементів котлоагрегату (для димососа) або по повітряному тракту (для вентилятора).

Розрахункова потужність електродвигуна тягодуттєвої машини, кВт

$$N = 1,1 \cdot (Q/3600) \cdot H / \eta, \quad (4.40)$$

де  $Q$  – розрахункова подача машини,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$\eta$  – к. к. д. машини в розрахунковому режимі ( $\eta = 0,55...0,75$ ).

В процесі вибору тягодуттєвих машин для парових і водогрійних котлів слід приймати до уваги вказівки щодо комплектації тягодуттєвими машинами котлів (див. додаток А) і користуватись каталогами типових проектів котелень. Найбільшого поширення в котельнях набули тягодуттєві машини типів ДН (димососи) і ВДН (дугтєві вентилятори) з номерами, що відповідають діаметру робочого колеса машини з дециметрах (додаток Д). Регулювати подачу тягодуттєвої установки можна за допомогою шибера, встановленого на вході в машину. Таке регулювання найбільш просте й надійне, але малоекономічне. Більш економічним є регулювання з використанням осьового напрямного апарата у вигляді поворотних лопатей, змонтованих у вхідному патрубку машини.

## 5. КОМПОНОВКА КОТЕЛЕНЬ

Розміщення котельні на генеральному плані, котлоагрегатів та обладнання всередині самої котельні виконується відповідно до Правил Держтехнагляду і СНиП II-35-76. Котельні за розміщенням на генеральному плані поділяються на: *окремо розташовані, прибудовані* до будівель іншого призначення; *вбудовані* в будівлі іншого призначення.

Як правило, водогрійні котельні з котлами, що нагрівають воду до температури понад 115 °С, і парові котельні з робочим тиском пари більше 0,07 МПа споруджуються у вигляді окремо розташованих будівель. Від найближчих житлових і громадських будівель вони мають бути відокремлені санітарно-захисними зонами, які вибираються згідно зі СНиП II-89-80. Мінімальна протяжність санітарно-захисної зони котелень, що працюють на твердому паливі чи газі, становить 25 м, на рідкому паливі — 20 м. Розриви між будівлями та спорудами котелень визначаються санітарними і протипожежними нормами.

Приміщення котелень не повинні примикати до житлових і громадських будівель, а також розташовуватись всередині цих будівель та приміщень (вбудовуватись в них). Примикання котелень до виробничих приміщень допускається за умові відокремлення їх протипожежною стіною з межею вогнестійкості не менше 4 год. Всередині виробничих приміщень, де технологічні процеси не є вогнебезпечними, а також над і під ними допускається розміщення: прямооточних котлоагрегатів паропродуктивністю кожного до 4 т/год ; котлоагрегатів, які задовольняють умові

$$(t - 100) \cdot V_k < 100,$$

де  $t$  — температура насиченої пари при робочому тиску, °С;

$V_k$  — водяний об'єм котла, м<sup>3</sup>;

Водогрійних котлоагрегатів теплопродуктивністю кожного не більше

5,8 МВт (5 Гкал/год), що не мають барабанів; котлів-утилізаторів.

У житлових і громадських будівлях дозволяється встановлювати парові котли з тиском нижче 0,07 МПа і водогрійні з температурою води не вище 115 °С. Однак і при цьому необхідно враховувати ряд додаткових обмежень, вказаних в [8].

За характером спорудження та компоновкою обладнання котельні поділяються на *закриті, напіввідкриті і відкриті*.

В закритих котельнях усе обладнання розташовується всередині будівлі. Такі котельні будуються всередині житлового масиву, а також у кліматичних районах із середньою температурою найхолоднішої п'ятиденки нижче ( $-30^{\circ}\text{C}$ ). Зовні будівель напіввідкритих котелень розташовуються димососи, дуттьові вентилятори, деаератори, декарбонізатори, освітлювачі, баки різного призначення та інше обладнання. При цьому передбачаються заходи щодо забезпечення захисту трубопроводів і арматури від замерзання, а також заходи щодо охорони навколишнього середовища від забруднень. Ці котельні споруджуються в районах з розрахунковою температурою зовнішнього повітря  $-20\ldots-30^{\circ}\text{C}$ . В будівлі відкритих котелень встановлюються тільки щити управління, насоси і фільтри хімічної водоочистки. Такі котельні будуються в районах з розрахунковою температурою зовнішнього повітря вище ( $-20^{\circ}\text{C}$ ).

Будівлі котелень, як правило, виконуються каркасними, одноповерховими з прольотами (глибиною) одного напрямку, які слід вибирати виходячи з довжини балок-ферм, що випускаються: 6, 9, 12, 18, 24 і 30 м. Вибір прольоту визначається розмірами та компоновкою обладнання, яке монтується.

Висоти поверхів і розбивка віконних прорізів приймаються кратними збільшеному вертикальному модулю 0,6 м. Якщо частина будівлі виконується багатоповерховою, то позначки цих поверхів мають становити 3,6; 4,2 і 6 м, крім першого поверху, який може мати висоту 7,2 м. Вихідні двері котельного приміщення повинні відчинятись назовні. На всіх поверхах

будівлі котелень має бути не менше двох виходів назовні, розташованих на протилежних сторонах будівлі. Розміри одних із дверей повинні бути такими, щоб можна було доставляти і виносити необхідне обладнання. Для цієї ж мети можна використовувати віконні прорізи та спеціальні отвори, які можуть замуруватись і знову розкриватись в разі необхідності. Компонівка і конструкції будівель котелень повинні, забезпечувати можливість розширення котелень. В разі монтажу тільки парових або водогрійних котлів для розширення котелень залишається вільним один із торців будівлі. В паро водогрійних котельнях в одній половині будівлі слід установлювати парові, а в другій – водогрійні котли. Розширення парової частини котелень здійснюється в один бік, а водогрійної – в інший, тобто обидва торці мають бути вільними.

Компоновка основного та допоміжного устаткування в будівлі котельні повинна забезпечувати зручність роботи і безпеку персоналу котелень, мінімальну протяжність трубопроводів, газоходів та повітропроводів, мінімальні витрати на спорудження котелень, скорочення чисельності обслуговуючого персоналу, автоматизацію технологічних процесів і механізацію ремонтних робіт. Вона має відповідати вимогам будівельних норм і правил, а також правил техніки безпеки, санітарних і протипожежних норм.

Практика проектування котелень показує, що найбільш раціональною компоновкою парових і водогрійних котелень є компоновка з *паралельним* розташуванням котлоагрегатів і допоміжного обладнання.

Котлоагрегати в котельнях розташовуються в один ряд з фронтом обслуговування, спрямованим у бік віконних прорізів, а хвостові поверхні нагрівання (водяні економайзери, повітропідігрівники) і допоміжне обладнання (тягодуттєві машини, деаератори, мережні й живильні насоси та ін.) – перед кожним котлоагрегатом або за ним. Загальне обладнання, призначене для підготовки води, насоси і теплообмінники розміщуються з боку основного торця будівлі котелень. Проходи між котлами,

економізаторами і стінами котельні (крім передньої) роблять не менше 1 м, а між окремими виступаючими частинами – не менше 0,8 м. В разі монтажу котлоагрегатів, які потребують обслуговування збоку (шурування, обдування, очищення газоходів, барабанів і колекторів, виймання труб, догляд за палинковими пристроями і т. д.), ширина бічного проходу повинна бути достатньою для їх обслуговування та ремонту, але не менш як 2 м для котлоагрегатів паропроодуктивністю 4 т/год і більше. Якщо проходу між обмурком котла і стіною будівлі котельні нема, то обмурок має відстояти від неї не менш як на 0,7 м. Відстань від фронту котлоагрегатів або виступаючих частин їх топок до протилежної стіни котельні повинна становити, як правило, не менш як 3 м. Для котлів, що працюють на рідкому або газоподібному паливі відстань від виступаючих частин палинкових пристроїв до стіни котельні роблять не менше 1 м. Котлоагрегати з неоднаковою довжиною монтуються таким чином, щоб їх фронт по можливості був на одній лінії.

Якщо котлоагрегати розташовані топками напроти, то відстань між фронтом котлоагрегатів і виступаючими частинами їх топок повинна становити не менше 4 м. При цьому відстань між палинковими пристроями котлоагрегатів, які працюють на рідкому або газоподібному паливі, має бути не менше 2 м. Перед фронтом котлоагрегатів можна встановлювати насоси, вентилятори та інше обладнання. При цьому ширину вільних проходів вздовж фронту котлоагрегатів роблять не менш як 1,5 м і так, щоб обладнання не заважало нормальному обслуговуванню топок котлоагрегатів.

Відстань від верхньої позначки (площадки) обслуговування котлів і економізаторів до нижньої частини котелень має бути не менше 2 м. Якщо перехід через барабан, сухопарник або економізатор не потрібний, то відстань від них до нижньої частини котельні може бути зменшена до 0,7 м.

Для зручності обслуговування і безпеки роботи проходи між агрегатами допоміжного обладнання котелень мають бути не менш як 0,7 м. Для обслуговування котлів, пароперегрівників і економізаторів мають бути

змонтовані постійні площадки і сходи з поручнями заввишки не менше 1 м із суцільною обшивкою поручнів по низу на 100 мм. Ширина площадок, призначених для обслуговування арматури, повинна бути не менше 800 мм, а ширина всіх інших площадок і сходів – не менше 600 мм. Вільна висота над прохідними площадками і сходами має бути не менше 2 м.

Димова труба споруджується за межами будівлі котелень на відстані, що визначається компоновкою встановлюваних зовні будівлі золоуловлювачів і димососів, а також розмірами фундаменту під димову трубу й конструкцією газоходів. За наявності високих рівнів ґрунтових вод газоходи виконуються надземними. В котельнях з боку основного торця передбачаються приміщення для механічних майстерень, лабораторій, водопідготовчих установок і контрольно-вимірювальних приладів, а також службово-побутових потреб обслуговуючого та ремонтного персоналу. В котельнях великої потужності обладнання водопідготовки слід розміщати окремо. Одним із важливих принципів сучасної компоновки устаткування котелень є у використанні окремих блоків підвищеної заводської готовності разом з трубопроводами, газоходами, повітропроводами, кабелями та іншими комунікаціями. На монтажній площадці проводяться тільки необхідне доведення блоків і з'єднання їх між собою.

Проектування котелень здійснюється відповідно до типових проектів, рекомендованих Держбудом. Центральним інститутом типових проектів Держбуду випускаються будівельні каталоги у вигляді періодичних збірників каталожних аркушів і каталогів типових проектів. Під час виконання креслень будівель і планів розміщення обладнання котелень слід керуватись державними стандартами проектної документації для будівництва (СПДС), які доповнюють державні стандарти Єдиної системи конструкторської документації (ЕСКД). Загальні положення СПДС викладено в ГОСТ 21.101-79. Приклади компоновки парових та водогрійних котелень показані на рис. 5.1 та 5.2.

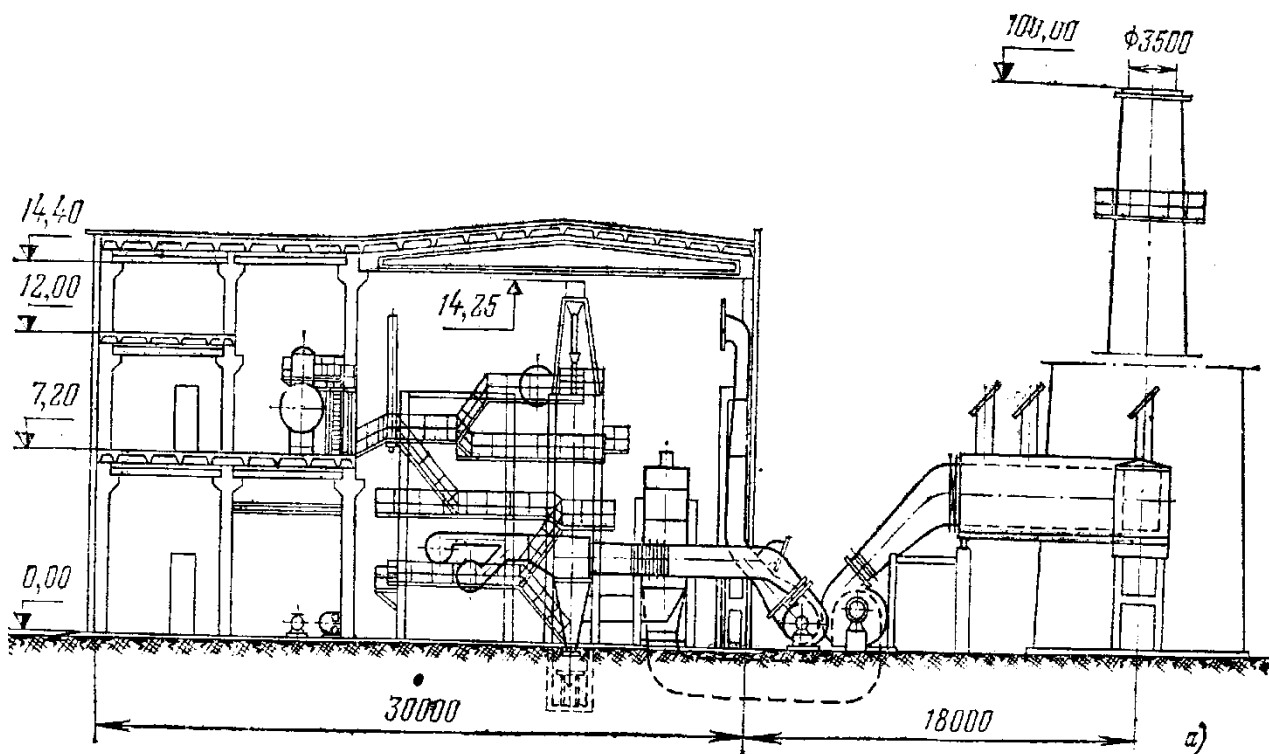
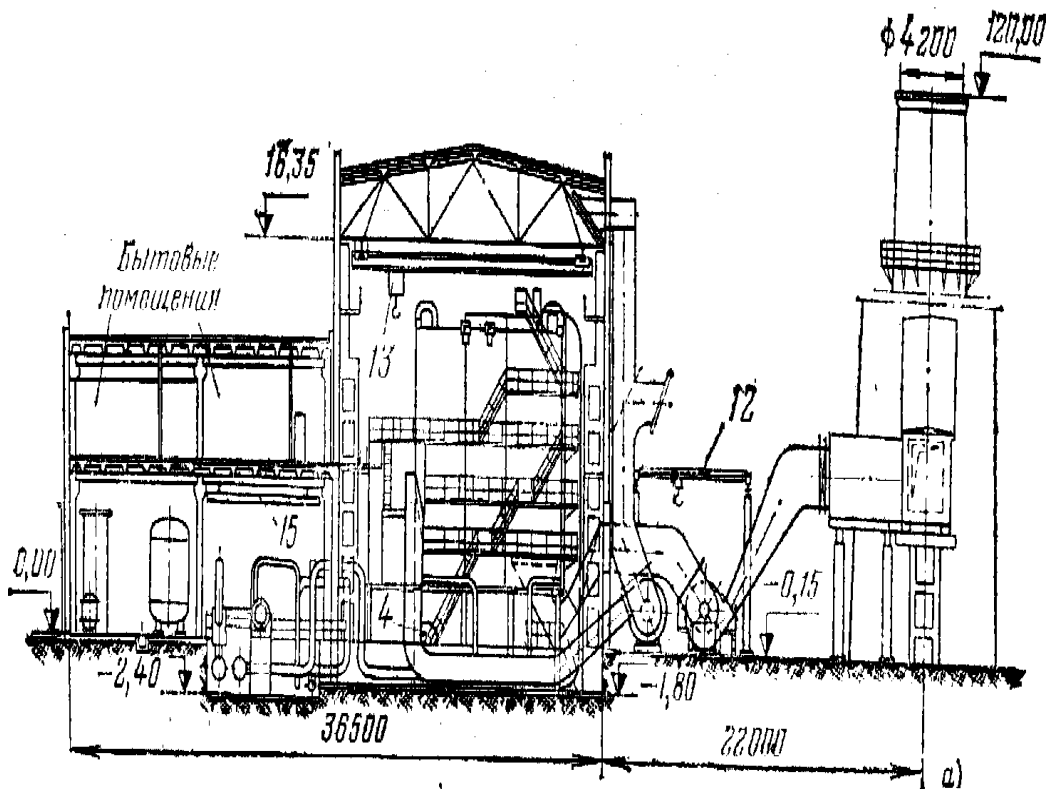


Рисунок 5.1 а

а) розріз; б) вид зверху; в) ділянка плану на позначці 0,00; 1 - котел паровий ГМ-50-14; 2 - димосос; 3 - вентилятор; 4 - насос живильний; 5 - насос живильний паровий; 6 - насос мережний; 7 - деаератор атмосферний; 8 - підігрівник мережної води; 9 - насос конденсатний; 10 - насос підживлювальний; 11 - компресор; 12 - сепаратор безперервної продувки; 13 - розширник періодичної продувки; 14 - теплообмінник; 15 - бак розчину фосфату; 16 - насос-дозатор; 17 - охолодник конденсату; 18 - бак з конденсатами; 19 - підігрівник; 20 - бак технічної води; 21 - повітрозбірник; 22, 23 - РОУ 14/2; 14/8 ата; 24 - кран - балка; 25 - насос сирі води; 26 - гідромішалка; 27 - насос фосфату; 28 - солерозчинник; 29 - підігрівник сирі води; 30 - бак для ВПУ; 31 - бак насиченого розчину солі; 32 - калорифер; 33 - верстат обдирно-шліфувальний; 34 - верстат фрезерний; 35 - станок свердлувальний; 36 - верстат токарно-гвинторізний.

Рисунок 5.1 – Компоновка парової котельної з котлами ГМ-50-14





а – розріз; б – вид зверху і план на відмітці 0.00; 1 – котел водогрійний КВГМ-100; 2 – димосос; 3 – вентилятор; 4 – вентилятор високо напірний; 5 – насос мережний; 6 – насос рециркуляційний; 7 – насос підживлювальний; 8 – насос конденсатний; 9 – повітродувка; 10 – компресор; 11 – повітрозбірник; 12 – кран ручний мостовий; 13 – кран підвісний електричний; 14 – таль ручна; 15 – таль електрична; 16 – продувочний колодязь; 17 – фільтр катіонітовий; 18 – насос сирої води; 19 – солерозчинник; 20 – бак-мірник розчину солі; 21 – насос розрихлення; 32 – бак розрихлення; 23 – підігрівник; 24 – верстат шліфувальний; 25 – верстат токарний; 26 – верстат свердлувальний; 27 – верстат фрезерний; 28 – верстат строгальний.

Рисунок 5.2 – Компоновка водогрійної котельної с котлами КВ-ГМ-100

## 6. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНІ І ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ КОТЕЛЕНЬ

Для порівняння різних варіантів рішень в процесі проектування котельні, оцінки енергетичної ефективності і економічної доцільності визначаються техніко-економічні показники :

1. Річне виробництво теплоти  $\Sigma Q_v$  , МДж/рік (Гкал/рік);
2. Річний відпуск теплоти  $\Sigma Q_{\text{відп}}$  , МДж/рік (Гкал/рік);
3. ККД котлоагрегатів,  $\eta_k$  , %;
4. ККД бруutto котельні,  $\eta^{\text{бр}}_{\text{кот}}$  , %;
5. ККД нетто котельні,  $\eta^{\text{н}}_{\text{кот}}$  , %;
6. Питома витрата умовного палива на одиницю виробленої  $b_v$  і відпущеної  $b_{\text{відп}}$  теплоти, кг/МДж (кг/Гкал);
7. Власні потреби теплової  $q_{\text{вл}}$  та електричної енергії  $e_{\text{вл}}$  ;
8. Загальні і питомі капіталовкладення  $K$ , грн., к, грн./МВт;
9. Собівартість виробленої  $СВ_v$  та відпущеної  $СВ_{\text{відп}}$  теплоти, грн.;
10. Термін окупності капіталовкладень  $T_{\text{ок}}$  , років.

Різниця між виробленою і відпущеною теплотою характеризується рівнем досконалості обладнання котельні, її власними потребами в теплоті та електроенергії, можливостями використання вторинних енергоресурсів, а також станом теплових мереж.

Питомі витрати палива визначаються за формулами, кг/ГДж

$$b_v = V_{\text{річн}} / \Sigma Q_v , \quad (6.1)$$

$$b_{\text{відп}} = V_{\text{річн}} / \Sigma Q_{\text{відп}} . \quad (6.2)$$

де  $V_{\text{річн}}$  – річна витрата умовного палива з урахуванням втрат в процесі його транспортування, розвантаження, збереження та обробки, включаючи втрати

на розпалювання та інші втрати.

ККД брутто котельні – відношення теплоти, відпущеної споживачам, до теплоти витраченого палива:

$$\eta_{\text{бр кот}} = \Sigma Q_{\text{відп}} / (B_{\text{річн}} \cdot Q_{\text{Р}}), \quad \text{н} \quad (6.3)$$

де  $Q_{\text{Р}}$  – теплота згорання палива, кДж/кг, кДж/м<sup>3</sup>.

Слід відзначити, що в розрахунках величина ККД брутто котельної включає власні потреби котельні в теплоті.

ККД нетто котельні - відношення теплоти, відпущеної споживачам до сумарної теплоти спалювання палива і теплоти, що витрачена на виробництво електроенергії для власних потреб котельні

Частки власних потреб теплової та електричної енергії

$$q_{\text{вп}} = Q_{\text{вп}} / Q_{\text{в}}, \quad (6.4)$$

$$\epsilon_{\text{вп}} = N_{\text{вп}} / Q_{\text{в}}, \quad (6.5)$$

Екологічні показники (шкідливі викиди, теплове забруднення тощо) потрібно враховувати при проектуванні в якості обмежень.

### *Капітальні вкладення*

Капітальні вкладення складаються одночасних витрат на будівництво і обладнання котельні, а також на виконання монтажно- налагоджувальних робіт. Найбільш точним методом визначення їх є складання кошторисів з переліком необхідного обладнання, матеріалів, включаючи всі будівельно-монтажні роботи. При цьому вартість обладнання та матеріалів установлюється за прейскурантами, а монтажу— за ціниками. Однак цей метод складний і трудомісткий. Тому для орієнтовних розрахунків і порівняння різних варіантів проекту котельні капітальні вкладення можна визначати за укрупненими показниками [4, 9].

### *Експлуатаційні витрати*

Експлуатаційні витрати на відпуск із котельні теплової енергії у вигляді пари або гарячої води залежать від витрат на роботу обладнання, експлуатацію будівлі та споруд, заробітну плату і втрат, безпосередньо пов'язаних з виробництвом теплоти.

Експлуатаційні витрати визначаються за рік роботи котельні. Річні експлуатаційні витрати (витрати виробництва) складаються з витрат на паливо, споживане котельнею,  $C_{\text{п}}$  ; електричну енергію, що надходить із зовнішніх джерел електропостачання (районної електричної мережі),  $C_{\text{еє}}$  ; воду, що витрачається в котельні,  $C_{\text{в}}$  ; амортизацію обладнання, будівель, споруд та інших основних фондів  $C_{\text{а}}$  ; поточний ремонт основних фондів  $C_{\text{пр}}$  ; заробітну плату обслуговуючого персоналу  $C_{\text{зп}}$  та інші витрати  $C_{\text{і}}$  .

**Витрати палива.** Ці витрати визначаються за величиною річної витрати палива  $V_{\text{річ}}$  і його вартості  $\Pi_{\text{п}}$  . В обчисленні річної витрати палива враховуються втрати за час його транспортування, розвантаження, зберігання й переробки, а також інші втрати, пов'язані з додатковими витратами в котельній, грн./рік

$$C_{\text{п}} = V_{\text{річ}} \cdot \Pi_{\text{п}} \cdot k_{\text{вп}}, \quad (6.6)$$

де  $k_{\text{вп}}$  — коефіцієнт, яким враховують втрати палива (орієнтовно цей коефіцієнт дорівнює 1,006 для мазуту і газу та 1,015 для твердого палива).

### *Витрати на електричну енергію.*

Більшість допоміжного обладнання котельні обладнується електродвигунами, в котельні працює електричне освітлення, інші прилади. Необхідно враховувати установлену потужність електроспоживачів, коефіцієнт споживання енергії і число годин роботи, але на основі багаторічного досвіду проектування та експлуатації котелень отримані діапазони питомих показників споживання електроенергії, віднесених до

теплової потужності котельні  $e_{\text{вп}}$ , кВт/МВт. Для парових котелень видатністю 4...50 т/год, тиском пари 14...40 ата питомі витрати в залежності від виду палива складають [4], кВт/МВт: 7,75...13,8 для газу; 9,5...15,5 для мазуту; 10,3...17,3 для твердого палива.

Для водогрійних котелень теплопродуктивністю 8,6...25,8 МВт ці питомі витрати дорівнюють, кВт/МВт: 11,2...19,8 для газу; 13,8...21,6 для мазуту; 15,5...31,9 для твердого палива.

Загальна витрата електричної енергії, кВт·год / рік

$$E_{\text{річн}} = e_{\text{вп}} \cdot Q_{\text{в}} . \quad (6.7)$$

Для одно- та двоставочного тарифу витрати на електроенергію, грн./рік

$$C_{\text{еє}} = C_{\text{еє}} \cdot E_{\text{річн}}, \quad (6.8)$$

$$C_{\text{еє}} = a \cdot N_{\text{y}} + b \cdot E_{\text{річн}}, \quad (6.9)$$

де  $C_{\text{еє}}$  – одноставочний тариф на електричну енергію, грн./(кВт · год);

$a$  – ставка за приєднану до мережі потужність, грн / (кВт);

$b$  — оплата за одиницю споживаної енергії, грн./(кВт · год).

Значення  $C_{\text{ел}}$ ,  $a$ ,  $b$  визначаються за тарифами на електричну енергію для певного району.

**Витрати на воду.** Ці витрати встановлюються за витратою води та її ціною, грн./рік

$$C_{\text{в}} = G_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} , \quad (6.10)$$

де  $C_{\text{в}}$  – ціна води, грн. /  $\text{м}^3$  ;

$G_{\text{в}}$  — витрата води ( $\text{м}^3/\text{рік}$ ).

**Витрати на амортизацію.** Вони визначаються величиною за капіталь-

них вкладень  $K$  і нормами амортизаційних відрахувань, грн/рік

$$C_a = K \cdot H_a, \quad (6.11)$$

де  $H_a$  — норма амортизаційних відрахувань, що включає витрати на реновацію і капітальний ремонт обладнання котельні та залежить від виду її основних фондів.

Тому витрати на амортизацію спочатку мають бути визначені окремо для будівель та споруд і окремо для обладнання.

Однак можна скористатись укрупненими даними, прийнявши усереднену норму амортизаційних відрахувань: для опалювальних котелень 7 %, а для промислових і промислово-опалювальних – 7,5 %.

З використанням високосірчастого палива норми амортизаційних відрахувань збільшуються на 30 %.

**Витрати на поточний ремонт.** Ці витрати можуть бути прийняті такими, що дорівнюють 20 % для закритих і 30 % для відкритих котелень відносно витрат на амортизацію.

**Витрати на заробітну плату.** Їх розрахунок виконується з урахуванням основної та додаткової заробітних плат, а також відрахувань на соціальне страхування. Чисельність персоналу котельні визначається за штатним коефіцієнтом (табл. 6.1), який являє собою відношення кількості персоналу за штатним розписом до встановленої теплової потужності котельні  $Q_{\text{вст}}$ .

Тоді витрати на заробітну плату, грн. /рік

$$C_{\text{зп}} = k_{\text{шт}} \cdot Q_{\text{вст}} \cdot k_{\text{дод}} \cdot \Phi_{\text{зп}}, \quad (6.12)$$

де  $k_{\text{дод}}$  — коефіцієнт, що враховує додаткові нарахування і приймається рівним  $k_{\text{дод}} = 1,33$ ;

$\Phi_{\text{зп}}$  — середній річний фонд заробітної плати, грн./рік.

Таблиця 6.1 – Значення штатного коефіцієнта  $k_{шт}$  котелень [5]

Встановлена потужність котельні, МВт	Газ, мазут	Тверде паливо
5,8	5	6
11,6	2,8	3,5
34,8	0,8	1
104	0,4	0,6
174	0,25	0,5

**Інші витрати.** До них належать витрати на охорону праці, техніку безпеки, пожежну охорону, адміністративний персонал тощо. Значення цих витрат в процентах від суми всіх попередніх витрат в залежності від виду палива : вугілля – 8,5...12,5 %; мазут – 12 % ; газ – 6 %.

**Загальні річні експлуатаційні витрати, грн./рік**

$$C_{річн} = C_{п} + C_{се} + C_{в} + C_{а} + C_{пр} + C_{зп} + C_{і}. \quad (6.13)$$

Собівартість теплової енергії. Термін окупності капіталовкладень  
Визначивши річні експлуатаційні витрати на відпуск із котельні  
теплової енергії у вигляді гарячої води або пари, можна розрахувати  
собівар-

тість виробки цієї енергії (грн./МДж) або (грн./Гкал)

$$CB_{в} = C_{річн} / \Sigma Q_{в}, \quad (6.14)$$

і собівартість її відпуску

$$CB_{відп} = C_{річн} / \Sigma Q_{відп}. \quad (6.15)$$

Отримані значення можна порівняти з діючими і визначити річний економічний ефект від виробництва теплової енергії, грн./рік

$$E_{річн} = Q_{відп} \cdot (Ц_{те} - CB_{відп}), \quad (6.16)$$

де  $C_{\text{те}}$  – вартість теплової енергії, що продається споживачам, (грн./МДж) або (грн./Гкал), на даний час приймають вартість теплоти в системі міських теплових мереж  $C_{\text{те}} = 120 \text{ грн./Гкал} = 28,6 \text{ грн./ГДж}$ .

Тоді простий термін окупності капіталовкладень, років

$$T = K / (E_{\text{річн}} - C_{\text{річн}}) . \quad (6.17)$$

Розроблені варіанти котелень порівнюють за приведеними витратами

$$ЗВ = K \cdot E_n + C_{\text{річн}} , \quad (6.18)$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, який в умовах ринкової економіки приймається в діапазоні  $E_n = 0,25 \dots 0,35$ .



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні рекомендації до написання магістерської роботи для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 051 Економіка, 075 Маркетинг [Електронний ресурс] / уклад. О.Ю. Попова, К.Ю. Ягельська, Г.С. Панченко, Н.А. Шакіна. – Покровськ : ДонНТУ, 2017. – 44 с.
2. Закон України «Про вищу освіту» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>.
3. ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/standarts/DSTU\\_3008-95.pdf](http://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/standarts/DSTU_3008-95.pdf).
4. ДСТУ 1.2 – 2003. Національна стандартизація. Порядок розроблення національних нормативних документів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://dnaop.com/html/43908/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3\\_1.2\\_2003](https://dnaop.com/html/43908/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_1.2_2003).
5. ДСТУ 1.3 – 2004. Национальная стандартизация. Правила построения, преподавания, оформления, согласования, принятия и обозначения технических условий [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://dnaop.com/html/44160/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3\\_1.3\\_2004](https://dnaop.com/html/44160/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_1.3_2004).
6. ДСТУ 1.5 – 2003. Правила побудови, викладання, оформлення та вимоги до змісту нормативних документів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu\\_1\\_5\\_2003/5-1-0-1038](https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_1_5_2003/5-1-0-1038).
7. ДСТУ ГОСТ 2.307 – 2013 Єдина система конструкторської документації. Нанесення розмірів і граничних відхилів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.Html?id\\_doc=60472](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.Html?id_doc=60472).

Додаток А

**ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»  
Факультет комп'ютерно- інтегрованих технологій, автоматизації,  
електроінженерії та радіоелектроніки  
Кафедра електричної інженерії**

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ О. Ю. Колларов  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20.. р.

**ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

на тему \_\_\_\_\_

Виконав: студент \_\_\_\_ курсу, групи ТЕП-17  
(шифр групи)

напряму підготовки (спеціальності) (144) теплоенергетика  
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_,  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

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

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Покровськ – 2019 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.)

«    « \_\_\_\_\_ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ  
ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

\_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: \_\_\_\_\_

керівник роботи \_\_\_\_\_

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

професор

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

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

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

Вісім слайдів презентаційного матеріалу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Біла Н. С.		
Розділи 1 - 4	Колларов О. Ю.		

7. Дата видачі завдання 01 жовтня 2018 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	01.10.18 - 05.10.18	
2.	Розділ 2	08.10.18 - 19.10.18	
3.	Розділ 3	22.10.18 - 09.11.18	
4.	Розділ 4	12.11.18 - 30.11.18	
5.	Охорона праці	03.12.18 - 07.12.18	
6.			
7.			
8.			

Студент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

АНОТАЦІЯ

Іванов О.А. Підвищення ефективності системи теплопостачання ТЕС / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика» . – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2018.

Об'єкт дослідження – теплова електростанція з .....

Мета роботи – є вибір та розрахунок основних складових .....

Методи дослідження – математичні розрахунки, аналіз, синтез.

У роботі проведено вибір та розрахунок системи для .....

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕНЕРГІЯ, ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ КОТЕЛ,  
ТУРБІНА (5-15 ключових слів)

Список публікацій здобувача

1.

По аналогії пишеться анотація на англійській мові (SUMMARY)

## Приклад змісту ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1. основні вимоги до написання кваліфікаційної роботи бакалавра .....	8
1.1 Мета та навчально-методичні завдання дипломного проектування .....	8
1.2 Керівництво дипломним проектом бакалавра .....	11
1.3 Орієнтовний зміст пояснювальної записки та графічної частини за окремими напрямками бакалаврської роботи .....	12
1.5 Вимоги до об'єму та оформлення пояснювальної записки дипломного проекту бакалавра .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.5.1 Об'єм дипломного проекту бакалавра .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.5.2 Вимоги до оформлення тексту пояснювальної записки .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.6 Оформлення графічної частини дипломних проектів бакалаврів .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.7 Організація і проведення захисту дипломного проекту бакалавра .....	34
1.8 Академічний плагіат в кваліфікаційних роботах .....	37
1.8.1 Терміни, які використовуються в антиплагіатній системі .....	37
1.8.2 Порядок перевірки на академічний плагіат .....	40
2.ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ КОТЕЛЕНЬ .....	41
2.1 Технічні та економічні вимоги до котелень .....	41
2.1.1 Визначення виду палива .....	44
2.1.2 Стадії проектування .....	45
2.1.3 Обсяг і зміст проектної документації .....	48
2.1.4 Класифікація котелень .....	51
2.1.5 Загальні відомості про теплові схеми котелень .....	52
2.2 Розрахунки теплових схем парових котелень .....	53

2.2.1 Розрахунки споживачів пари .....	54
2.2.2 Баланс парового котлоагрегату .....	56
2.2.2 Баланси редукційно-охолоджувальних установок .....	57
2.2.3 Баланси розширника безперервної продувки .....	58
2.2.5 Баланси деаератора .....	59
3. РОЗРАХУНКИ ТЕПЛОВИХ СХЕМ ВОДОГРІЙНИХ ТА ПАРОВОДОГРІЙНИХ КОТЕЛЕНЬ.....	61
3.1 Розрахунки споживачів теплоти .....	61
3.2 Розрахунки схем підготовки додаткової води .....	68
3.3 Розрахунки параметрів в мережних лініях.....	74
3.4 Теплові схеми та розрахунки пароводогрійних котелень.....	75
4. ВИБІР УСТАТКУВАННЯ КОТЕЛЕНЬ.....	77
4.1 Вибір котлоагрегатів.....	77
4.2 Вибір насосів .....	79
4.4 Вибір установки для підготовки води.....	83
4.4 Вибір теплообмінників .....	92
4.5 Вибір баків (ємкостей).....	99
4.6 Вибір трубопроводів .....	100
4.7 Вибір вентиляторів і димососів .....	104
5.КОМПОНОВКА КОТЕЛЕНЬ .....	107
6. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНІ І ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ КОТЕЛЕНЬ .....	114
Перелік використаних джерел .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Додаток А.....	122
Додаток Б .....	123
Додаток В .....	125

## Методичні вказівки

до випускної кваліфікаційної роботи магістра  
спеціальність 144 – Теплоенергетика  
для студентів денної та заочної форм навчання

Комп'ютерний набір і верстка: Любименко Олена Миколаївна

Укладачі:

Любименко О.М., доц., к.ф.-м.н., доц  
Колларов О. Ю., доц., к.т..н., доц

Донецький національний технічний університет  
83502, м. Покровськ, вул. Шибанкова, 2.

Покровськ  
2019