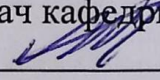


Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут
Кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри ЕСЕУ та ТЕ

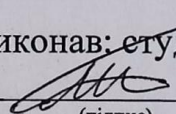
 Личко Б.М.

“ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти МАГІСТР

на тему: Реконструкція котельні тепловою потужністю 2 МВт столярного підприємства з дослідженням системи очищення води

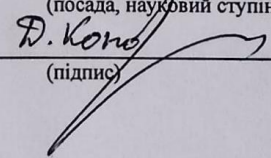
Виконав: студент групи 6241мх

 Мешенко О.С.
(підпис)

Керівник роботи

д.т.н., професор

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

 Коновалов Д.В.
(підпис)

Миколаїв 2025 р.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут
Кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетика

Галузь знань
Спеціальність
Освітня програма

14 «Електрична інженерія»
144 «Теплоенергетика»
«Теплоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

Григорій Шановалов Ю.В.
“ 5 ” 12 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти МАГІСТР

Студенту Мешенку Олександру Святославовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Реконструкція котельні тепловою потужністю 2 МВт столярного підприємства з дослідженням системи очищення води

(проект, реконструкція, модернізація енергетичної установки, інженерних систем та ін. з розробкою конструктивного елемента об'єкту)

керівник роботи Коновалов Дмитро Вікторович, професор, д.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора № _____ від “ _____ ” _____ 2025 року

2. Термін подання роботи _____

3. Вихідні дані по роботі _____

(призначення, умови експлуатації, технічні дані з потреб в енергії чи енергоносіях)

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)

Вступ (Обґрунтування актуальності теми роботи. Мета роботи. Об'єкт і предмет дослідження)

1. Загальний розділ (Характеристика об'єкту. Вимоги ДБН до системи теплопостачання).

2. Теоретичний розділ (Обґрунтування вибору котла. Опис теплової схеми котельні. Вибір типу системи опалення. Розробка принципів схем системи припливної та витяжної вентиляції)

3. Розрахунковий розділ (Розрахунок теплової схеми котельні. Розрахунок тяги при спалюванні відходів деревини. Розрахунок димової труби. Аеродинамічний розрахунок системи природної вентиляції. Гідравлічний розрахунок трубопроводів і системи водяного опалення).

4. Дослідницький розділ. Дослідження системи очищення води (Загальні відомості про властивості води. Вибір методу обробки води. Методи усунення жорсткості води. Фізико - хімічні методи пом'якшення води. Іонообмінні способи.)

5. Конструкторський розділ. Розробка системи хімічного очищення води (Розробка схеми системи хімводоочищення котельні. Розрахунок Na-катіонітних фільтрів).
6. Заключний розділ (Висновки та заключення по роботі).

5. Перелік презентаційних матеріалів

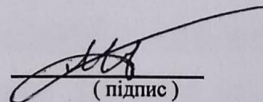
1. Генеральний план
2. Схема котельної
3. План котельні
4. Схема трубопроводів
5. План системи опалення і вентиляції котельні
6. Димова труба. Схема розміщення металевої труби
7. Методи хімводоочистки
8. Хімводоочистка Na-1-1500
9. Іонообмінний фільтр

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

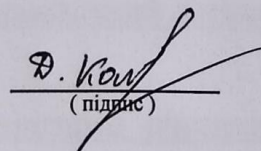
№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Отримання завдань у керівника та консультантів	I-II	
2.	Вступ	III	
3.	Загальний розділ	IV	
4.	Теоретичний розділ	V- VI	
5.	Розрахунковий розділ	VII-X	
6.	Дослідницький розділ	X-XII	
7.	Конструкторський розділ	XIII-XIV	
8.	Заключний розділ	XV	
9.	Графічна частина	XVI	
10.	Підпис у керівника. Розглядання роботи на кафедрі	XVII	
11.	Захист роботи перед АК	XVIII	

Студент


(підпис)

Мешенко О.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Коновалов Д.В.
(прізвище та ініціали)

Анотація

В кваліфікаційній роботі виконаний проєкт реконструкції котельні тепловою потужністю 2 МВт столярного підприємства з дослідженням системи очищення води.

Розроблені системи водяного опалення та вентиляції для котельні підприємства. Підібраний котел СН 600 «СОМРАСТ», який працює на відходах деревини. Виконані розрахунки: тепловий і аеродинамічний розрахунок котельні з котлом СН 600 «СОМРАСТ»; натрій-катіонітних фільтрів; димової труби.

Визначений склад забруднень стоків від регенерації катіонних фільтрів, вибране основне й допоміжне устаткування котельні. Розраховані вентиляційна та опалювальна системи котельні.

Проведено дослідження систем хімічного очищення води.

Розроблена система хімічного очищення води, виконаний розрахунок натрій-катіонітних фільтрів.

Ключові слова: опалення, вентиляція, теплоносій, котел.

Abstract

The qualification work includes a project for the reconstruction of a boiler house with a thermal capacity of 2 MW of a carpentry enterprise with a study of the water purification system.

Water heating and ventilation systems for the enterprise's boiler house have been developed. The CH 600 "COMPACT" boiler, which runs on wood waste, has been selected. Calculations have been made: thermal and aerodynamic calculation of a boiler house with a CH 600 "COMPACT" boiler; sodium cationite filters; chimney.

The composition of wastewater pollutants from the regeneration of cation filters has been determined, the main and auxiliary equipment of the boiler house has been selected. The ventilation and heating systems of the boiler house have been calculated.

A study of chemical water purification systems has been carried out.

A chemical water purification system has been developed, and sodium cationite filters have been calculated.

Keywords: heating, ventilation, coolant, boiler.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	
1.1. Характеристика об'єкту.....	
1.2. Вимоги ДБН до системи теплопостачання	
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	
2.1. Обґрунтування вибору котла.....	
2.2. Опис теплової схеми котельні.....	
2.3. Вибір типу системи опалення.....	
2.4. Вибір систем вентиляції.....	
2.5. Розробка принципів схем системи припливної та витяжної вентиляції.....	
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ.....	
3.1. Розрахунок теплової схеми котельні.....	
3.2. Розрахунок тяги при спалюванні відходів деревини.....	
3.3. Розрахунок димової труби.....	
3.4. Аеродинамічний розрахунок системи природної вентиляції.....	
3.5. Розрахунок теплової потужності системи опалення.....	
3.6. Гідравлічний розрахунок трубопроводів і системи водяного опалення.....	
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ. Дослідження систем хімічного очищення води	
4.1. Загальні відомості про властивості води	
4.2. Вибір методу обробки води.....	
4.3. Методи усунення жорсткості води	
4.4. Фізико - хімічні методи пом'якшення води.....	
4.5. Іонообмінні способи.....	
4.6. Характеристики катіонітів.....	

4.7. Витрати на демінералізацію й регенерацію.....

РОЗДІЛ 5. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ. Розробка системи хімічного
очищення води.....

5.1. Розробка схеми системи хімводоочищення котельні.....

5.2. Розрахунок Na-катіонітних фільтрів.....

РОЗДІЛ 6. ЗАКЛЮЧНИЙ РОЗДІЛ.....

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....

					ВКР.144.6241мх.04.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

В Україні майже половина електроенергії витрачається на промислові потреби. Тому найбільшого ефекту в енергозбереженні можна домогтися тільки при структурній перебудові нашого господарства та впровадженні нових технологій.

Використання відходів деревообробного підприємства як палива для водогрійного котла в Україні має високі перспективи з економічної, екологічної та енергетичної точок зору.

Використання власних відходів (тирса, тріска, кора, обрізки) дозволяє підприємству замінити дорогі традиційні енергоносії, насамперед природний газ, мазут чи вугілля, на практично безкоштовний або значно дешевший ресурс.

Надлишок відходів можна переробляти у високоякісне біопаливо (паливні брикети або пелети) і продавати, отримуючи додатковий прибуток. Це створює нові ринкові можливості.

Власне джерело теплової енергії робить підприємство менш залежним від коливань цін на зовнішньому енергетичному ринку та перебоїв з постачанням газу.

Деревообробна та меблева галузі в Україні добре розвинені, забезпечуючи стабільний та значний обсяг відходів. Цей потенціал може бути використаний для виробництва теплової енергії.

Використання деревної біомаси є ключовим напрямом заміщення імпортного природного газу у секторі теплопостачання України. За оцінками, 4 м³ деревної біомаси може замінити приблизно 1000 м³ природного газу за еквівалентною теплотворною здатністю.

Впровадження таких проєктів підвищує енергетичну самодостатність як окремого підприємства, так і країни в цілому.

Спалювання на спеціалізованих котлах є ефективним способом утилізації відходів, які інакше потребували б витрат на вивезення та зберігання, займаючи значні території. При правильному спалюванні, викиди оксидів сірки практично відсутні (на відміну від вугілля).

					ВКР.144.6241мх.04.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

В Україні діє низка стандартів та нормативних документів, що регулюють виробництво та обіг твердих відновлюваних видів палива, зокрема ДСТУ ISO 14001:2006. Також активно вдосконалюється законодавча база у сфері управління відходами, що сприяє розвитку їх утилізації як відновлюваного палива.

Загалом, використання відходів деревообробки для водогрійних котлів є стратегічно важливим та економічно вигідним напрямом для України, що відповідає світовим тенденціям розвитку біоенергетики та підвищенню енергетичної стійкості.

У роботі передбачається використання вільних площ у відповідному цеху столярного підприємства для розміщення на них котельні, призначеної для технологічних потреб (сушіння пиломатеріалів), покриття навантажень опалення, вентиляції та гарячого водопостачання підприємства.

З огляду на наявність на даному підприємстві великої кількості відходів деревини (обпилювання, стружки, тріски) з метою їхнього використання та поліпшення екологічної обстановки передбачається установка водогрійних котлів.

Для подачі тепла до споживачів передбачене часткове використання існуючих трубопроводів (технологічні потреби) і будова нових ділянок тепломережі для підключення систем опалення, вентиляції і гарячого водопостачання.

Мета роботи: розробка проєкту з реконструкції котельні тепловою потужністю 2 МВт столярного підприємства з дослідженням системи очищення води.

Об'єкт розробки: Столярне підприємство ВАТ «Кедр», розташоване у місті Первомайськ Миколаївської області.

Завдання: розробка проєкту реконструкції котельні на відходах деревини підприємства.

Виконати:

1. Розробка теплової схеми котельні з визначенням складу обладнання та розрахунок необхідної теплової потужності, а також систем водяного опалення та ГВП на кількох режимах роботи.

2. Визначити тип котлів, їх кількість.

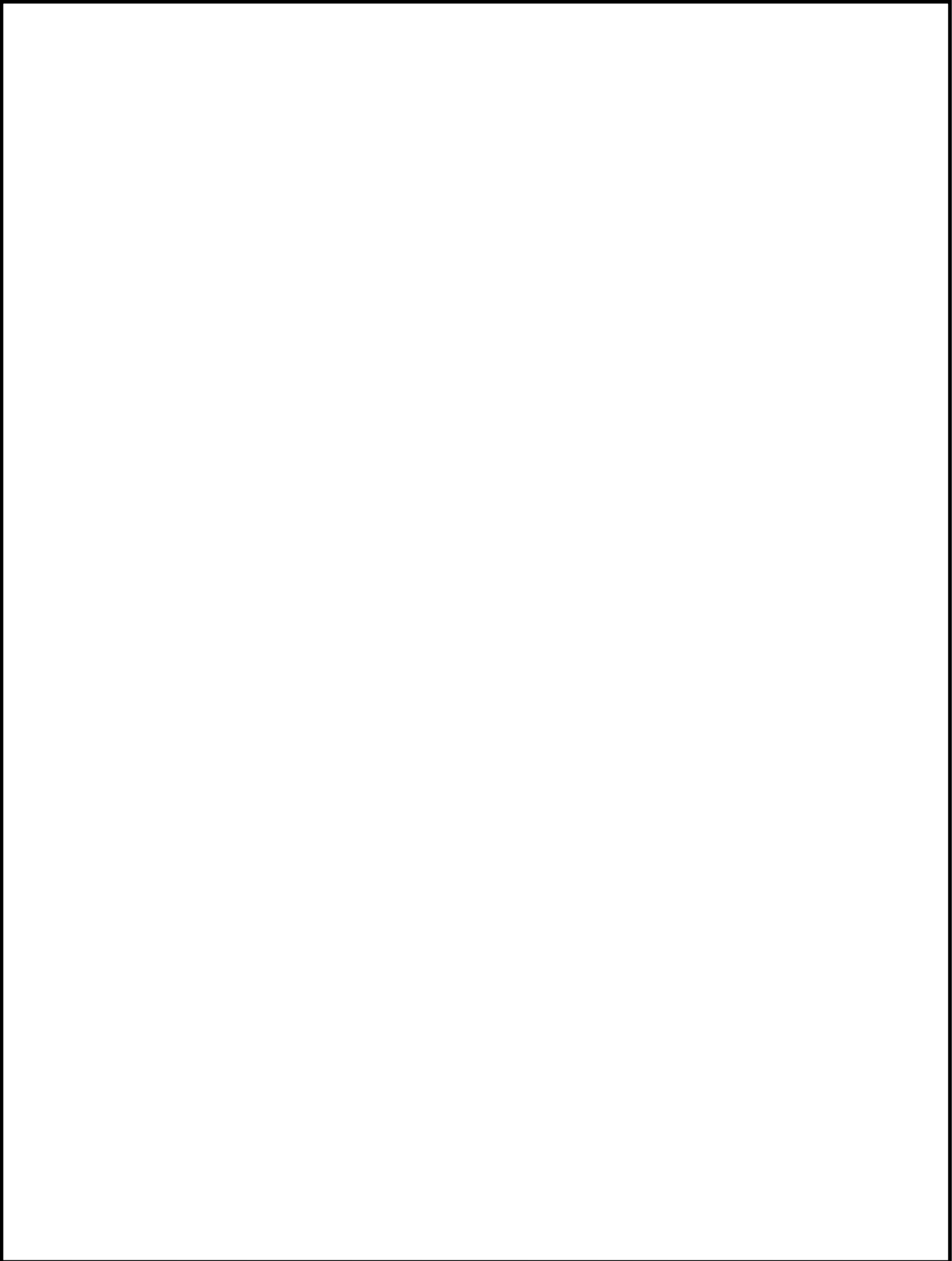
3. Розрахунок висоти димової труби для розсіювання димових газів.

					ВКР.144.6241мх.04.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

4. Дослідження та розрахунок системи хімічного очищення води та підбір її обладнання.

Таким чином, розробка нового високоекономічного устаткування призведе до незалежності підприємства від зовнішніх джерел тепла та газопостачання, заощадження енергетичних та матеріальних ресурсів та значно поліпшить екологічну ситуацію.

					ВКР.144.6241мх.04.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



					ВКР.144.6241мх.04.01.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
					Загальний розділ				Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Мешенко О.С.										
Керівник	Коновалов Д.В.										
Консульт.									НУК		

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Характеристика об'єкту

Реконструкція котельні на відходах деревини тепловою потужністю 2 МВт виконується на прикладі столярного підприємства «Кедр», розташованого у місті Первомайськ Миколаївської області. ВАТ «Кедр» засноване у 1999 р. і є виробником м'яких меблів.

Нова котельня вбудована у столярний цех даного підприємства. В котельні встановлюються три котлоагрегати, які працюють на відходах підприємства з переробки деревини.

Проект з реконструкції котельні враховує вимоги нормативних документів: ДБН В.2.5-77:2014 Котельні, ДБН В.2.5-20-2001 Газопостачання, НПАОП 0.00-1.20-98 Правила безпеки систем газопостачання України, НПАОП 0.00-1.26-96-96 Правила будови і безпечної експлуатації парових котлів з тиском пари не більше 0,07МПа (0,7кгс/см²) та водогрійних котлів і водопідігрівачів з температурою нагріву води не вище 115°C та інших.

1.1.1. Характеристика котельні

Ділянка, що відведена під будівництво котельні, знаходиться на території столярного підприємства.

Ділянка огорожена: зі сходу – проїздом; з півночі – складом зберігання сухих пакетів; з півдня – існуючою будівлею столярного цеху; з заходу – лісопиліним цехом.

Рельєф ділянки спокійний, з загальним нахилом до півночі. Абсолютні відмітки землі коливаються від 29,0 м до 29,3м.

					ВКР.144.6241мх.04.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1.1.2. Кліматичні показники

Основні кліматичні показники для міста Первомайськ Миколаївської області зведені згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія». Інженерно-технічні та гідравлічні характеристики приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Основні кліматичні показники

Найменування параметра, одиниці вимірювання	Значення
Тривалість опалювального періоду, днів	165
Середня температура повітря за опалювальний період, °С	0,4
Розрахункова температура повітря самої холодної п'ятиденки, °С	-20
Вітрове навантаження, кг/см ²	38
Тип ґрунтових умов по осіданню	I
Глибина промерзання, м	0,8
Сейсмічність, балів	до 6

1.1.3. Архітектурно-планувальне рішення та благоустрій ділянки

Відповідно завданню на реконструкцію котельні, архітектурно-планувального завдання, генеральним планом ділянки вирішена горизонтальна та вертикальна прив'язка котельні; димової труби.

Передбачається благоустрій ділянки. Вільні від забудови ділянки землі використовуються для устрою газонів з посадкою багатолітніх рослин.

При рішенні вертикального планування ділянки картограма земляних робіт розроблена з досягненням мінімального балансу земляних мас.

Водовідвід з території ділянки вирішено по лоткам проїзної частини в сторону загального пониження рельєфу.

Згідно технології виробництва внутрішнім транспортом є вантажний автомобіль з інтенсивністю руху до 10 одиниць на добу.

					ВКР.144.6241мх.04.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Відповідно до цього запроєктовано внутрішні дороги з асфальтобетонним типом покриття: ширина проїзної частини – 3,5 м, радіус кривих – 4 м.

1.1.4. Зовнішні мережі

Джерелом водопостачання котельні є водопровід. Зовнішнє пожежогасіння прийнято від існуючих пожежних кранів, встановлених в існуючих водопровідних колодязях на відстані 50 м.

Господарсько-побутові та промислові стоки відводяться зовнішньою мережею в існуючу каналізацію підприємства.

Виготовлення, монтаж та випробування трубопроводів мереж водопроводу та каналізації виконати відповідно до вимог ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012 Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж водопостачання та каналізації.

1.1.5. Котельня

Будівля котельні відноситься по капітальності до II класу споруджень, по довговічності – II ступеню, категорія виробництва з пожежної безпеки – «Г». Ступінь вогнестійкості будівлі – II.

За санітарною характеристикою виробничі процеси належать до групи 1б.

Будівля котельні одноповерхова, прямокутна в плані з розмірами в осях 16,5 x 2,5м, шагом колон 6 м та висотою до низу виступаючих конструкцій 4,4 м.

Будівля котельні однопрольотна, каркасна з жорстким диском на рівні плит перекриття. Каркас з збірних залізобетонних елементів. Продовжна жорсткість забезпечується: колонами, жорстко закладеними в стакан фундаментів, жорстким диском покриття.

До прокладки прийняті труби сталі електрозварні по ДСТУ 8943:2019, виготовлені з сталі 10 ДСТУ 7809:2015, сталі безшовні труби по ДСТУ 8939:2019, а також сталеві водогазопровідні труби по ДСТУ 8936:2019.

					ВКР.144.6241мх.04.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Трубопроводи та обладнання ізолюють згідно з ДСТУ-Н Б А.3.1-29:2015. Температура на поверхні ізоляції повинна бути не більш 45°C.

Неізольовані сталеві трубопроводи та обладнання фарбуються емаллю ПФ-133 ДСТУ Б В.2.6-193:2013 в два шари по ґрунтовці ГФ-25129-82.

Монтаж котельного обладнання та трубопроводів котельні виконати згідно з вимогами інспекції Держнаглядохоронпраці та БНіП 3.05.05-84 «Технологічне устаткування і технологічні трубопроводи». Після випробувань трубопроводи ізолювати півциліндрами теплоізоляційними з мінеральної вати на синтетичному з'єднувачу ДСТУ Б В.2.7-235:2010 з покривним шаром з склотекстоліту покривного листового СТІЛ ТУ36-158-88.

1.1.6. Системи опалення та вентиляції котельні

Передбачено опалення побутових приміщень котельні. Проектуємо систему тупикову з нижньою розводкою. В якості нагріваючих пристроїв використовуються регістри.

Система опалення монтується з водо-газопровідних труб діаметром 15мм ДСТУ 8936:2019.

Вентиляція котельні запроектована припливно-витяжна з розрахунку асиміляції теплових надлишків. Приплив здійснюється через припливні решітки, розташовані за фронтом котлів. Витяжка – за допомогою дефлекторів діаметром 500 мм.

Вентиляція побутових приміщень – природна. Приплив повітря здійснюється через нещільності будівельних конструкцій. Витяжка – через витяжні канали.

Монтаж виконати згідно з ДБН В.2.5-64:2012. Нагрівальні пристрої й трубопроводи пофарбувати емаллю ХВ-1100 ТУ-6-1013-83 в два шари по ґрунтовці ГФ-021 ДСТУ Б В.2.6-193:2013. Трубопроводи вуличні, ізолювати шнуром з мінеральної вати ТУ36-1659-79 з шаром склотекстоліту ТУ36-1583-88.

					ВКР.144.6241мх.04.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

В будівлі котельні запроектовані наступні мережі водопроводу та каналізації:

- побутово-пiтний та промислово-протипожежний трубопровiд;
- система гарячого водопостачання;
- побутова каналізація;
- дощова каналізація;
- промислова каналізація.

Джерелом водопостачання котельні є побутово-пiтний та промислово-протипожежний водопровiд, ввiд з iснуючого цеху. Необхiдний напiр на ввiдi в будiвлю котельнi 15 м вод. ст.

Внутрiшнє пожежогасiння виконується вiд загального водопроводу за допомогою двох пожежних кранiв, встановлених в котельнi.

Видатнiсть пожежних кранiв – 2,5 л/с кожний.

Труби пiсля монтажу фарбуються масляною фарбою по ДСТУ Б В.2.6-193:2013 в два шари. Мережа водопровiдна з сталевих оцинкованих водогазопровiдних труб дiаметром 15...25 мм по ДСТУ 8936:2019.

Система гарячого водопостачання слугить для подачi води до душових кабiн.

Мережа побутової каналізації передбачена для вiдведення стiчних вод вiд санiтарних приладiв, встановлених в побутових примiщеннях котельнi.

Випуск побутової каналізації пiдключається до зовнiшнiх мереж.

Мережа монтується з каналізаційних чавунних труб по ДСТУ Б.В.2.5-25:2005.

Дощова каналізація слугить для вiдведення дощових та талих вод з крiвлi будинку котельнi. Крiвля скатна. Розрахункова витрата дощових вод 80 л/с.

Вiдведення дощових вод з системи внутрiшнiх водостокiв передбачається на вiдмостку.

Виробнича каналізація слугить для вiдведення нагрiтих стокiв пiсля охолодження обладнання та стокiв хiмводоочищення.

					ВКР.144.6241мх.04.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Нагріта вода від підшипників мережних насосів, а також стоки хімводоочищення спрямовуються в колодязь дренажу.

Система каналізації монтується з каналізаційних чавунних труб діаметром 50...100 мм по ДСТУ Б.В.2.5-25:2005 та з сталевих електрозварних труб діаметром 57х3,0 мм. Сталеві труби, прокладанні по конструкції будівлі, пофарбувати масляною фарбою у два шари. Сталеві труби, прокладенні в землі покрити антикорозійною ізоляцією.

1.1.7. Освітлення внутрішнє

Освітлення відповідає вимогам ДБН В.2.5-77:2014 Котельні, ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення та ПУЕ Правила улаштування електроустановок. Величини освітлення прийняті згідно з вимогами В.2.5-28-2006 та ПУЕ.

Передбачено робоче, ремонтне та аварійне освітлення. Напряга робочого освітлення 200 В. Для виробничих ремонтних робіт та місцевого освітлення прийнята сіть пониженої напруги 12 В, живляча від ящика з понижуючим трансформатором ЯРП-0.25-11УЗ.

Передбачено аварійне освітлення фронту котлів, площадок та дробин котлів, а також пультів управління, водовказувальних та вимірювальних пристроїв.

В якості незалежного джерела живлення використовується блок акумуляторних батарей з восьми вапняних акумуляторів.

Автоматичне включення резервного живлення аварійного освітлення виконується при зникненні напруги 220 В джерела живлення робочого освітлення та вимикання його при встановленні напруги.

Розподіл електроенергії виконується від щитків освітлення типу ЩА-1211УХЛ4, ЩА-611УХЛ4.

Групові мережі електроосвітлення виконані кабелем АВВГ-0.66, прокладеним відкрито по стінам на скобах та по конструкціям і проводами АППВ, захищеними під штукатуркою.

					ВКР.144.6241мх.04.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Заземлення та занулення виконати згідно з діючими нормами ПУЕ та БНіП 3.05.06-85 «Електротехнічні пристрої».

Електрообладнання силове.

По надійності електропостачання котельні відноситься до споживачів II категорії. Електропостачання напругою 380 В виконується по взаємно резервним кабельним лініям 0,38 кВ з основним вводом від існуючої ТП-10/0.4 кВ, потужністю 630 кВА та резервним, від існуючої ДЕС.

Внутрішнє електропостачання електроприймачів в котельні передбачається від ввідного ящика УВР. Облік витрати електроенергії виконується лічильниками, розташованими в УВР.

Розподіл електроенергії до споживачів передбачено від розподільних шаф типу СМП15, укомплектованих запобіжниками.

Напруга силових ланцюгів та ланцюгів управління 380/220 В, частота 50 Гц.

Розподільна мережа виконана кабелем АВВГ, прокладеним на скобах та в сталевих трубах в підготовці пола на відм. -0,100 мм.

Для захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом передбачено захисне заземлення металевих частин електрообладнання. Заземлення всіх металевих неструмоведучих частин електрообладнання повинно бути виконано згідно з вимогами ПУЕ.

Будівля котельні відноситься до II категорії вогнестійкості, завдяки цьому блисківкозахист не передбачається. Металева труба для відводу димових газів, з'єднана з контуром заземлення, згідно з РД 34.21.122-87.

1.2. Вимоги ДБН до системи теплопостачання (ДБН В.2.5-39:2008)

Ці норми поширюються на проєктування зовнішніх теплових мереж (водяних, парових, конденсатних) та споруд на них, що транспортують:

- гарячу воду з температурою до 200 °С і тиском до 2,5МПа;
- водяну пару з температурою до 440°С і тиском до 6,3МПа.

					ВКР.144.6241мх.04.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Гідравлічні параметри та тиск

Питомі втрати тиску на тертя для гідравлічних розрахунків водяних мереж визначаються на підставі техніко-економічних розрахунків або, для діючих мереж, за результатами випробувань.

Діаметри подаючого та зворотного трубопроводів у двотрубних водяних мережах (при сумісній подачі тепла) мають бути, як правило, однаковими.

Мінімальний умовний прохід для теплових мереж - 32мм.

Мінімальний умовний прохід для циркуляційних трубопроводів ГВП - 25мм.

Статичний тиск не повинен перевищувати допустимий тиск для обладнання джерела теплоти, мереж, теплових пунктів та систем споживачів, і має забезпечувати заповнення систем водою. Визначається умовно для температури води до 100°C.

Якщо статичний тиск перевищує допустимі межі, теплові мережі слід ділити на незалежні зони. Для підтримки тиску в зонах, відключених від джерела, передбачають підживлювальні пристрої з використанням води із суміжної зони.

Тиск у подаючому трубопроводі (робочий) має забезпечувати нескипання води при її максимальній температурі в будь-якій точці мережі, джерела тепла та приладів споживачів.

Тиск у зворотному трубопроводі (робочий) повинен бути надмірним (не менше 0,05МПа), не перевищувати допустимий тиск у системах споживачів та забезпечувати заповнення місцевих систем.

Для відкритих систем у неопалювальний період, а також для ГВП, тиск має бути на 0,05МПа більше за статичний тиск систем ГВП споживачів.

П'єзометричні графіки розробляються для опалювального та неопалювального періодів, а також для аварійних режимів. Для відкритих систем додатково розробляють режими при максимальному водорозборі.

Вимоги до насосного обладнання

Тиск і температура на всмоктувальних патрубках насосів (мережних, підживлювальних, підкачувальних, змішувальних) не повинні перевищувати умов міцності їх конструкцій.

Напір мережних насосів визначається як сума втрат тиску в установках джерела тепла, у подаючому та зворотному трубопроводах до найбільш віддаленого споживача та в його системі (включаючи втрати в теплових пунктах).

Напір підкачувальних насосів визначається за п'єзометричними графіками. При їх встановленні напір мережних насосів на джерелі тепла зменшується на величину робочого напору підкачувального насоса.

Напір підживлювальних насосів визначається для підтримки статичного тиску та перевіряється в умовах роботи мережних насосів.

Продуктивність підживлювальних насосів:

- в закритих системах: дорівнює розрахунковій витраті води на компенсацію витоку з мережі;

- в відкритих системах: дорівнює сумі максимальної витрати води на ГВП та розрахункової витрати на компенсацію витоку.

Тип насоса	Мінімальна кількість	Резерв	Додаткові умови
Мережні	2	1 (резервний)	Допускається не встановлювати резервний при 5 робочих насосах в одній групі
Підкачувальні та Змішувальні	3	1 (резервний)	Резервний насос передбачається незалежно від кількості робочих
Підживлювальні (Закриті)	2	1 (резервний)	У вузлах розподілу допускається 1 насос без резерву
Підживлювальні (Відкриті)	3	1 (резервний)	У вузлах розподілу допускається 1 робочий і 1 резервний

					ВКР.144.6241мх.04.02.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
					Теоретичний розділ				Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Мешенко О.С.										
Керівник	Коновалов Д.В.								НУК		
Консульт.											

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Обґрунтування вибору котла

В існуючому цеху столярного підприємства передбачається використання вільних площ для розміщення котельні для технологічних потреб (сушіння пиломатеріалів) та покриття навантажень систем опалення, вентиляції й гарячого водопостачання.

У зв'язку з тим, що на підприємстві знаходиться велика кількість відходів деревообробки, яка постійно поповнюється завдяки виробництву, пропонується установити три водогрійні котли.

Твердопаливні котли потужністю від 500 кВт до 2500 кВт представлені від найпростіших (тільки котел) до цілих комплексів, які можуть бути пересувними. Твердопаливні котли поділяються за видом використовуваного палива: дрова, вугілля, пелети біомаса (лузга соняшника, відходи зернових, торф і т. п.).

Комплекси можуть містити в собі:

- автоматичну подачу палива;
- систему складування для автоматичної подачі палива;
- дозатор подачі палива;
- автоматичну систему розпалювання;
- автоматичну систему видалення золи;
- дробарку палива (для котлів на біомасі);
- мікропроцесорний блок керування режимами роботи котла;
- регульовані системи тяги з фільтрацією димових газів;
- системи контролю температури води в контурі I й II зміни залежно від температури навколишнього середовища;
- системи безпеки роботи котла.

Це дозволяє вибрати котел з необхідним набором функцій.

Багато топків котлів обладнані рухливими колосниками й системами автоматичного видалення золи, що значно спрощує процес очищення котлів.

					ВКР.144.6241мх.04.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Так само котли можуть бути обладнані регульованими системами тяги з фільтрацією димових газів.

Автоматичні системи подачі палива діляться на кілька видів. Найпростіші - бункерного типу, які можуть бути оснащені дозаторами й подрібнювачами палива. Найбільш автоматизовані системи подачі палива представлені цілими комплексами (рис. 2.1).

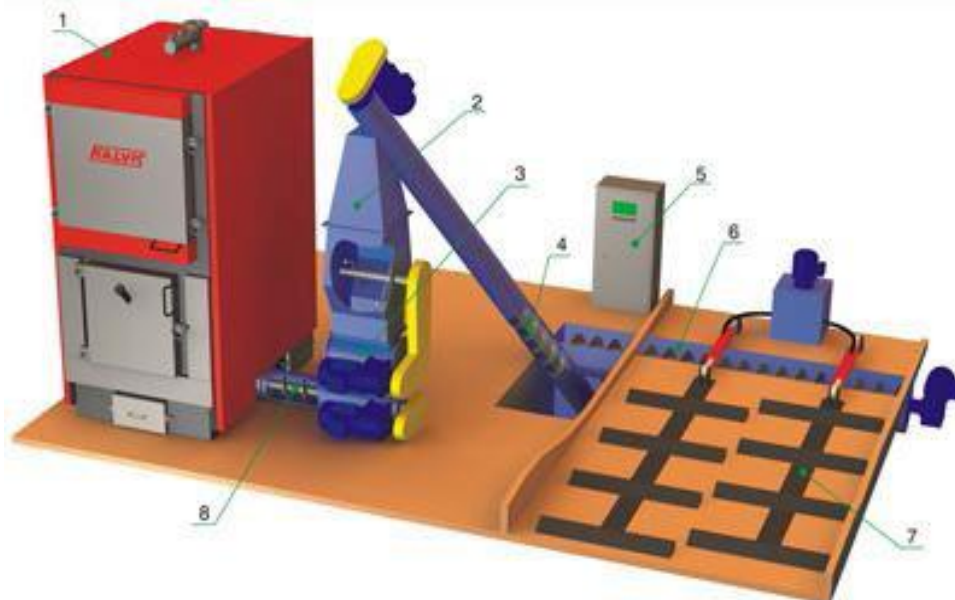


Рис 2.1 Автоматизована система подачі палива

1- твердопаливний котел ; 2 - проміжна ємність; 3 – дозатор; 4 - підйомний транспортер; 5 - шафа керування ; 6 - транспортер складу; 7 - автоматичний склад подачі палива; 8 - шнек топки

Системи контролю й управління функціонування котла (або комплексу) також широко представлені. Мінімальний рівень - термометр, ручне завантаження палива, ручне очищення печі, візуальний контроль, природна циркуляція теплоносія, природна витяжка димових газів. Максимальний рівень автоматизації - мікропроцесорний пульт контролю й керування із примусовими насосами для циркуляції теплоносія й відкачки димових газів; датчики контролю всіх робочих параметрів котла (або комплексу); керування роботою котла за допомогою програм, що мають залежність від показань внутрішніх датчиків котла й датчиків зовніш-

					ВКР.144.6241мх.04.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ньої температури повітря, температури теплоносія, наповненості системи подачі палива й системи очищення золи й т. д.

Підвищення потужності котла досягається, в основному, за рахунок збільшення об'єму топки й застосування систем примусового обдуву палива. Є виконання опалювальних систем з використанням декількох котлів, об'єднаних єдиною системою контролю й керування, з єдиною подачею палива. Це полегшує їх експлуатацію й дає можливість використати модульну конструкцію таких систем для нарощування сумарної потужності залежно від потреб. Також модульне виконання спрощує транспортування й забезпечує можливість виготовлення мобільних (пересувних) систем опалення.

На європейському ринку представлені більш 50 виробників твердопаливних котлів великої потужності від 100 кВт до 5 МВт. Нижче розглянемо виробників твердопаливних котлів, які присутні на ринку не один рік та використовують у виробництві інноваційні технології.

Dozamech. Котли на біомасі потужністю від 15 до 500 кВт. Має приставку для автоматичної подачі палива й автоматичного розпалювання. Дане котельне устаткування здатне працювати на трісці, обпилюваннях, стружці, пелетах (із приставкою АКО-Biotec), куті, кусковому й фрезерному торфі, деревних і торф'яних паливних брикетах, луззі соняшника, макусі й інших відходах деревообробки й сільського господарства. Можливість використання певного виду палива вирішується в кожному індивідуальному випадку, залежно від якості палива, його калорійності, однорідності й інших характеристик.

Так само немаловажним є той факт, що перехід з одного виду палива на інший здійснюється без погашення котла, тобто залежно від палива оператор задає характеристики безпосередньо з пульта керування прямо під час роботи котла.

Регулятор управління котла Geco є мікропроцесорним пристроєм. Температура котла встановлюється автоматично (програмувальна характеристика нагрівання) залежно від зовнішньої температури. Котел стандартно укомплектований механізмом обмеження температури, що спрацьовує при досягненні температури води в котлі 85°C. Котли оснащені механізованою системою золовидалення.

					ВКР.144.6241мх.04.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

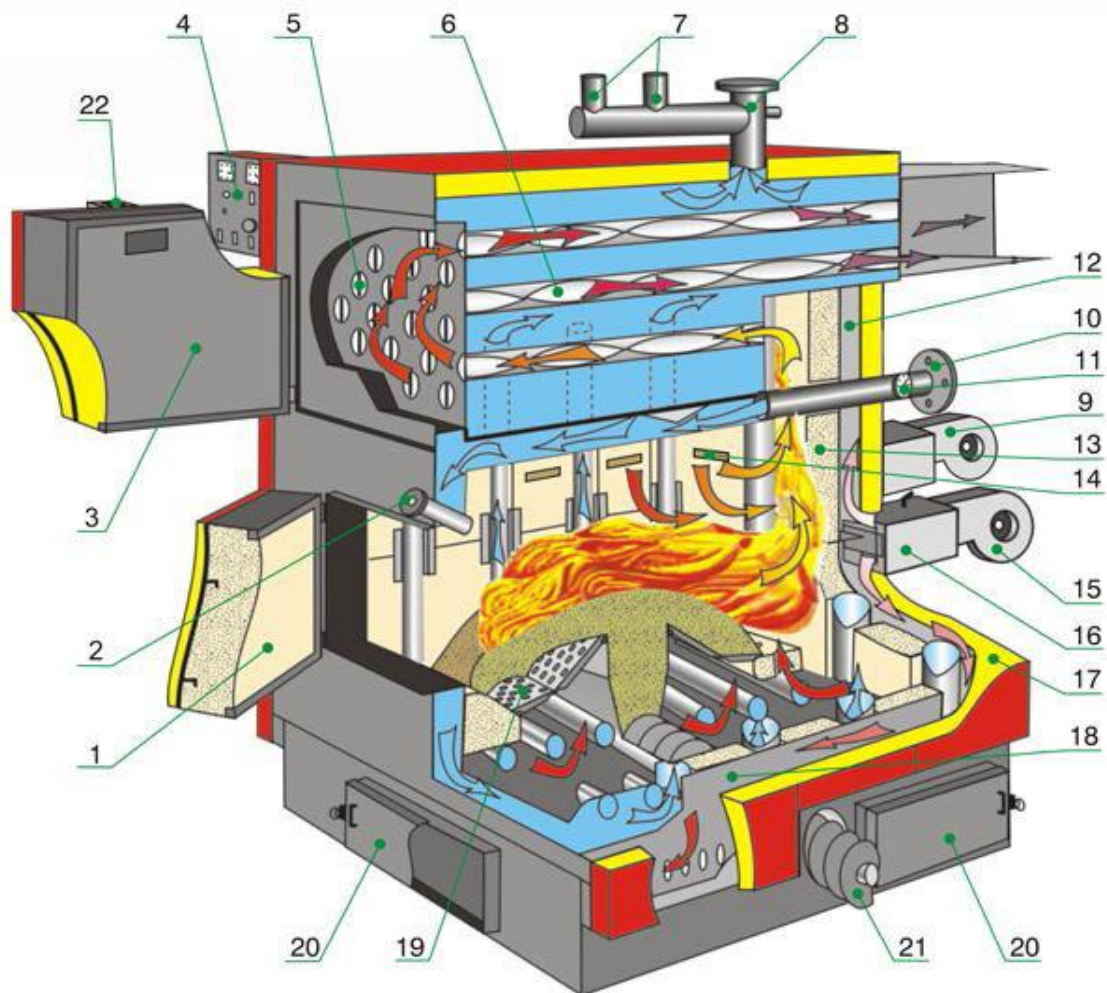


Рис 2.2 Топка котла

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. Двері топки | 12. Камера підігріву вторинного повітря |
| 2. Оглядовий отвір | 13. Шамотні цеглини |
| 3. Двері теплообмінника | 14. Отвір подачі вторинного повітря |
| 4. Панель керування | 15. Вентилятор первинного повітря |
| 5. Трубчастий теплообмінник | 16. Регулятор кількості повітря |
| 6. Знімний турбулізатор | 17. Теплова ізоляція |
| 7. Патрубки для запобіжних клапанів | 18. Камера підігріву первинного повітря |
| 8. Труба гарячої води | 19. Колосники |
| 9. Вентилятор вторинного повітря | 20. Двері попільниці |
| 10. Труба зворотної води | 21. Шнек подачі палива |
| 11. Термометр | 22. Підливний клапан |

Wirbel. Вся продукція під брендом Wirbel виробляється в Німеччині й Австрії на виробничих потужностях заводів Richard Halm GmbH & Co. KG., Centrometal і Концерну KSB AG.

Приєднання до димоходу здійснюється через циклон і вентилятор димових газів.

Твердопаливні промислові котли **Kalvis** потужністю до 1000 кВт (під замовлення до 5000 кВт) випускаються різних типів: Kalvis-100 - потужністю до 700 кВт із ручним завантаженням палива, з використанням для топки дров, деревних відходів, тирсових і торф'яних брикетів, кускового торфу й кам'яного вугілля.

Kalvis - 100M-950M - це котли потужністю 100...950 кВт із вмонтованим топкою типу «Вулкан», куди шнеком подається сипуче паливо обпилювання, тріска, гранульоване паливо. Котел, (один або декілька) комплектуються системою подачі палива (складування й подачі).

Це устаткування проектується й виготовляється за конкретними вимогами замовника; Kalvis 100MD-500MD - котли потужністю 100...500 кВт, горіння в яких відбувається не в котлі, а в пальнику змонтованому збоку й паливо в ньому подається шнеком з бункера. Паливо: гранули, тріска до 25 % вологості. Котел керується з програмованого посту керування.

Промислові котли Kalvis серії M-1 з ручним завантаженням оснащені рухливими колосниками й автоматичним процесорним керуванням. Наприкінці рухливих колосників змонтований канал зі шнеком для автоматичного видалення золи. Твердопаливні котли центрального опалення з рухливими колосниками, механізованою подачею палива й автоматичним процесорним керуванням.

PetroNick. Опалювальні системи PetroNick - спільна розробка компаній PetroNick і «Зерма – Україна». Опалювальна система PetroNick складається із твердопаливного котла, завантажувального бункера з керамічною передтопковою камерою та гранулятора сільськогосподарських відходів. Як паливо в опалювальній системі використовується гранульоване біопаливо з відходів сільгосппродуктів (лузги соняшника, некормових відходів всіх зернових, деревно-тирсових відходів, обпилювань, торфу й т. п.). Вихід камери згоряння стикується з котлом, у

					ВКР.144.6241мх.04.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

якому відбувається теплообмін між розпеченим газом і теплонесучою рідиною за допомогою теплообмінних радіаторів. Кількість і розміри внутрішніх теплообмінників залежать від потужності котла. На котлі встановлений терморегулятор, що дозволяє працювати в заданому температурному режимі. Робота завантажувального бункера контролюється мікропроцесором марки Siemens. Завантажувальний бункер ємністю 600 літрів забезпечує безперебійну подачу палива в передтопкове відділення в автоматичному режимі. Завантажувальний бункер оснащений системою автоматичного пожежогасіння, що виключає найменшу можливість виникнення неконтрольованих процесів горіння. Передтопкове відділення отримує порцію палива з бункера за допомогою дозуючого шнека в камеру згоряння, що виконана з кераміки з тепловим навантаженням 1200 °С. Над камерою згоряння розташований нагнітач повітря, що підтримує температуру в камері згоряння близько 1200°С. При такій температурі згорають всі дрібні частки, що забезпечує низький відсоток зольності й високий ККД теплового обладнання.

HERZ Energietechnik. Сталеві котли BioFire 1000 BioControl, потужністю 300...1000 кВт. Паливо - дрова, брикети, стружка, пелети, обпилювання.

Котел має функції автоматичного розпалу, очищення теплообмінника від золи, очищення топки від золи, регулювання подачі повітря в камеру згоряння, рухливі колосники, примусову витяжку з фільтрацією, автоматичної подачі палива зі складу. Котел оснащений бойлером, баком-акумулятором. Керування процесом горіння, двома опалювальними контурами.

VERNER. Котли VERNER GOLEM розрахунковою потужністю від 90 кВт до 2 500 кВт (у каскаді - до 10 000 кВт) призначені для спалювання деревних стружок і обпилювань, сухих або свіже зрублених трісок та інших видів біомаси, таких як сіно й солома. Конструкція котлів підтримує рівне горіння навіть при використанні матеріалів, підданих спіканню - таких як деревна кора, кірка, і деякі види соломи. Котел складається з конвеєра подачі палива, топки, камери допалу (посткамери), теплообмінника, витяжки, витяжного вентилятора, сепаратора з фільтром і пристрою видалення золи. Електричний щит керування й гідравлічний пристрій привода ґрати в сховище палива є частиною обладнання. Котли можуть

					ВКР.144.6241мх.04.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

бути об'єднані в каскади з потужністю до 10 000 кВт або використатися як допоміжний пристрій для газових або мазутних котлів.

CETIK ISI SANAYI. Твердопаливні котли з механізованою подачею палива й автоматичним керуванням використовуються для опалення й для підготовки гарячої води. Можливо використати паливо: вугілля, тріску, тирсові, торф'яні й інші види гранули, торфокрошку, або інше сипуче паливо. Можливість застосування висококалорійних видів палива до 8000 ккал/кг (вугілля-антрацит).

KRIGER. Представлено котли двох видів (потужність від 300 до 1500 кВт):

З механізованим спалюванням сипучого палива, спалювання на реторті з нижньою подачею палива. Паливо через реторту шнеком проштовхується на нерухомі колосникові ґрати. Первинне повітря подається під ґрати через отвори, розташовані на бічних поверхнях колосників.

Зі спалюванням палива на нерухомих колосникових ґратах. Подача палива в топлення ручна, первинний повітря подається в топлення через отвори в колосникових ґратах.

ґрати прохолоджуються первинним повітрям. Вторинне повітря подається через ряд отворів, розташованих над вершиною конусоподібної гори палива. Для досягнення правильного співвідношення витрат підведення первинного й вторинного повітря регулюється роздільно.

Паливом є: відходи деревини - обпилювання й стружки, тріска; торф фрезерні, кускові й гранульований; відходи с/г виробництва - лузга соняшникова й гречана, виноградна лоза, багаття льону; буре вугілля.

Фракція сипучого палива 10x25x60 мм. Тверде паливо: кускові відходи (подача в топлення ручна), довжиною до 1 м і товщиною до 20 см.

У комплект поставки котла входять:

- котел;
- пристрій подачі палива (бункер зі шнеком, що подає);
- димосос;
- вентилятор дуттєвий;
- запобіжний клапан й гідророзведення (у межах котла);

					ВКР.144.6241мх.04.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- комплект газоходів (шибер димоходу, повітропідігрівник, циклон прямоточний, гнучкі труби, ємність для золи);
- система автоматики з датчиками керування й контролю.

Ziehbart. Виробляє твердопаливні котли потужністю від 18 до 3500 кВт. Як паливо можна використовувати будь-які дрова, вугілля (вугільні котли), пелети, відходи деревообробки, соломі, торф, і т. д. На котлі встановлена електронна система автоматичного контролю, що стежить за роботою котла й програмується на тиждень. Також установлені додаткові системи захисту (зкидний клапан та ін.).

Комконт. Котли СН СОМРАСТ призначені для автоматичного спалювання відходів біомаси (соломи, відходи насіння), торфу, деревини (обпилювання, стружка) всіх видів, вологістю 8...60%, з подачею палива в топлення на рухливі колошникові ґрати гідроштовхачем або шнеком. Котел марки СН складається із передтопки й горизонтально розташованої над нею конвективної частини з димогарними трубами. Теплоносієм у котлі є вода, максимальна температура якої може досягати 115°C.

Потужність: 250...8000 кВт Котли СН ЕСО з нерухомим грилем і операційним бункером - для спалювання дрібнофракційних деревних відходів вологістю до 35%. Теплоносієм у котлі є вода з максимальною температурою 115°C.

Потужність: 250... 1200 кВт Водогрійний котел **CH GRANUL'ECO** на деревних гранулах (пелетах). Автоматична паливоподача за допомогою пальника. Можливість поставки в модульній котельні. Можливість застосування існуючих складів палива.

Потужність: 200...1000 кВт Котли СН FC із циклонною топкою призначені для автоматичного спалювання сухих деревних відходів. Теплоносієм у котлі є вода, максимальна температура якої може досягати 115°C.

Потужність: 300... 3500 кВт (рис. 2.3).

					ВКР.144.6241мх.04.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

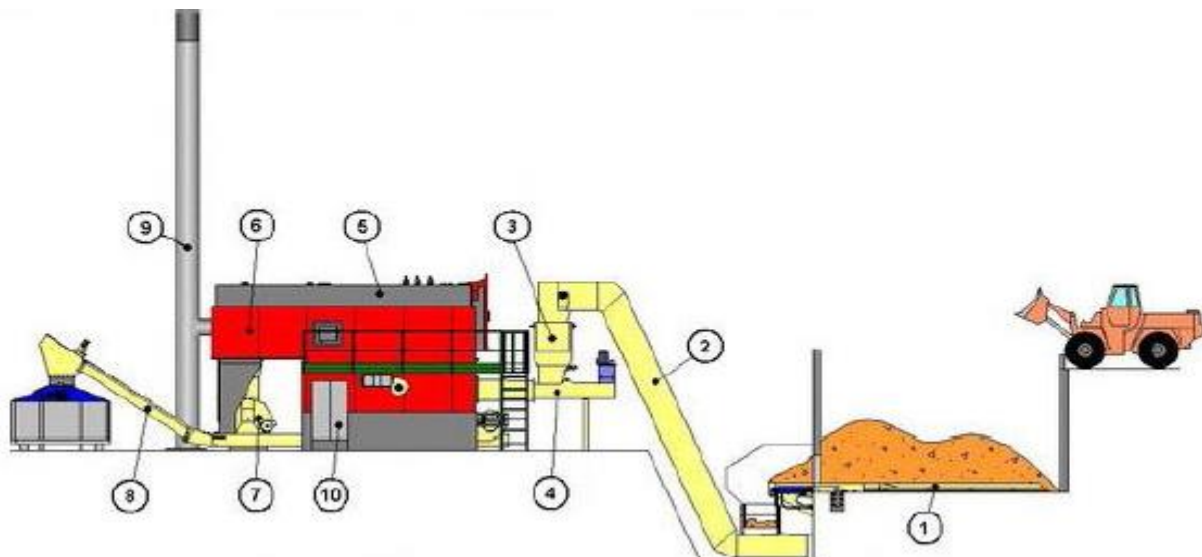


Рис. 2.3 Котельня з котлами СН COMPACT

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1. Накопичувач палива | 6. Фільтр мультициклонний |
| 2. Транспортёр подачі палива | 7. Димосос |
| 3. Приёмний бункер | 8. Система видалення золи |
| 4. Ввід палива в топку | 9. Димар |
| 5. Котел | 10. Системи керування |

АВЕР. Діапазон потужності: 29 кВт ...1,4 МВт (потужність понад 1,4 МВт за узгодженням). Твердопаливний котел тривалого горіння може працювати в автоматичному режимі на різному паливі діаметром до 25 мм (більша фракція під замовлення). Паливо з більшим діаметром подається через спеціальний люк у режимі ручного завантаження. Вид палива: вугілля, дрова, брикети, торф, тріска, обпилювання. Комплектація: контролер, вентилятор, бункер, шиберна засувка, інструмент котла.

2.2. Опис теплової схеми котельні

Передбачається розміщення котельні, призначеної для технологічних потреб (сушки пиломатеріалів), на покриття навантажень опалення, вентиляції й ГВП столярного підприємства в існуючому цеху.

Пропонується установка трьох водогрійних котлів СН 600 «СОМРАСТ». Перевагою котлів типу СН 600 «СОМРАСТ» є те, що в них як паливо можуть максимально використатися відходи деревообробного виробництва (дрова, обпилювання, кора). Принципова схема котельні з котлами СН 600 «СОМРАСТ» наведена на кресленні.

Система теплопостачання замкнута, схема гарячого водопостачання - централізована.

Регулювання відпустки тепла споживачам на потреби опалення й вентиляції - центральне. Приготування теплоносія передбачене в котлах, що працюють у зовнішньому контурі циркуляції, що створюють «зимові» мережні насоси гріючим середовищем, для підігрівача гарячого водопостачання є теплоносій внутрішнього контуру циркуляції, що створюють «літні» мережні насоси.[14]

Теплові навантаження на опалення, вентиляцію, ГВП та технологічні потреби наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Теплові навантаження

Найменування	Одиниця виміру	Розмір
Вентиляція	МВт	0,31
	Гкал/год	0,27
Гаряче водопостачання	МВт	0,19
	Гкал/год	0,16
Опалення	МВт	0,81
	Гкал/год	1,69
Технологічні потреби	МВт	0,70
	Гкал/год	0,6

У котельні розміщуються блоки:

- мережних насосів;
- насосів гарячого водопостачання;
- насосів вихідної води;
- устаткування водопідготовки;

- підігрівачі гарячого водопостачання;
- димососи;
- транспортер подавання палива;
- вакуумний деаератор;
- мультициклон;
- блок знезалізнення.

Для зменшення змісту заліза передбачається установка знезалізнення. Пом'якшення води здійснюється за способом натрій-катіонування. Опис системи хімічного водоочищення котельні й розрахунок фільтрів натрій-катіонування наведений у наступному розділі.

Для підживлення мережі використовується вода із системи водопостачання, яка після хімічного водоочищення надходить у вакуумну деаераційну установку ВДВ-500. Деаерована вода через регулятор тиску надходить у зворотний мережний трубопровід для підживлення тепломережі.

Теплоносієм централізованого ГВП є вода з температурою 60 °С.

Паливом є деревне обпилювання з теплотою згоряння $Q_{\text{н}}^{\text{р}}=2700$ ккал/м³.

Чисельність персоналу котельні становить чотири особи.

Введення димових газів передбачається від кожного з котлів по самостійному димарю діаметром Ду 400 мм.

Як теплоносії для систем опалення і ГВП використовуються:

опалення – вода 95-70°С; ГВП – вода 60°С.

Тривалість опалювального періоду 165 діб (3960 годин).

При визначенні розрахункових витрат тепла для приготування гарячої води ($t_{\text{г.в}}=60^{\circ}\text{C}$) системи гарячого водопостачання температура холодної води поступає з водопровідної мережі прийнята: в опалювальний період - +5°С, в літній період - +15°С.

Теплова схема котельні включає систему котельного устаткування і трубопроводів, що визначають вироблення і передачу споживачу теплоносіїв заданих параметрів. Для детального підбору обладнання необхідно зробити розрахунки:

- теплового балансу приміщень;

					ВКР.144.6241мх.04.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- гідравлічний розрахунок системи опалення;
- загальний розрахунок системи гарячого водопостачання.

При гідравлічному розрахунку системи її розподіляють на ділянки постійної витрати води. Головне циркуляційне кільце – це є кільце найгірше з гідродинамічної точки зору. Для нього характерні максимально великі витрати тиску.

Розрахунок виконується за схемою:

1. Робиться аксонометрична схема.
2. Рахується теплове навантаження.

Циркуляційний насос має невеликий напір, так як потрібен тільки для переміщення теплоносія, не підіймаючи рідину. Підйом та опускання зрівнюється. Напір насоса витрачається на опір води. В системах опалення використовуються насоси з електромотором, які встановлюють поблизу котлоагрегатів.

Відвід стоків та дренажів передбачено в існуючу каналізацію. Електропостачання котельні передбачено від існуючої трансформаторної підстанції.

Таблиця 2.2

Вихідні данні для розрахунку

I режим	максимальний зимовий при $t_{p.o.}$	-20 °C
II режим	із середньою температурою найбільш холодного місяця $t_{сер.х.м}$	-10 °C
III режим	із середньою температурою зовнішнього повітря за опалювальний період $t_{сер.о.}$	-7 °C
IV режим	з температурою зовнішнього повітря в точці зламу температурного графіка мережевої води $t_{в.зл.}$	-4 °C
V режим	літній	

Температура повітря всередині котельної $t_{вн} = 18^{\circ}\text{C}$

Температура зовнішнього повітря $t_{зовн.}$ °C:

I режим	$t_{зовн.} = t_{p.o.}$	-20 °C
II режим	$t_{зовн.} = t_{сер.х.м}$	-10 °C
III режим	$t_{зовн.} = t_{сер.о.}$	-7 °C
IV режим	$t_{зовн.} = t_{в.зл.}$	-4 °C

Максимальний (розрахунковий) відпуск теплоти на опалення котельні (І режим) :

$$Q_{o.v}^{ж+гр} = 2 \text{ МВт}$$

Середній та максимальний відпуск теплоти на ГВП

$$Q_{г.в.сер}^{ж+гр.} \text{ (І режим)} = 0,81 \text{ МВт}$$

$$Q_{г.в.сер}^{(ж+гр)л} = 0,31 \text{ МВт}$$

Максимальна температура прямої мережевої води (І режим) $t_{1\max} = 95^{\circ}\text{C}$:

Мінімальна температура прямої мережевої води в точці злому її графіка (IV режим) $t_{1зл} = 70^{\circ}\text{C}$:

Максимальна температура поворотної мережевої води (І режим)

$$t_{2\max} = 70^{\circ}\text{C}:$$

Температура сирієї води на вході в котельні $T_1, ^{\circ}\text{C}$:

режими I-IV $T_{1з} = 5^{\circ}\text{C}$

режими V $T_{1л} = 15^{\circ}\text{C}$

Температура сирієї води перед хімічною очисткою $T_3 = 25^{\circ}\text{C}$

Питомий об'єм води в системі теплопостачання відносно сумарного відпуску на опалення та ГВП $g_{сис} = 280000 \text{ кг/МВт}$

Коефіцієнт зниження витікання води в системі теплопостачання

$K_{вит} = 1$ (режими I-IV) ; $K_{вит} = 0,5$ (режими V)

Коефіцієнт власних потреб хімічного водоочищення $K_{х.в}^{в.п} = 1,2$

Розрахункова температура гарячої води в системі місцевого теплопостачання:

із закритою системою теплопостачання $t_{г.в} = 60^{\circ}\text{C}$;

із відкритою системою теплопостачання $t_{г.в} = 70^{\circ}\text{C}$.

Температура води для підживлення після атмосферного деаератора води для підживлення її охолодженням та після вакуумного деаератора $T' = 70^{\circ}\text{C}$

Вид палива – деревина.

Температура поворотної мережевої води від підігрівачів гарячої води в літній період (V режим) $t_{м.п}^{г.в} = 35^{\circ}\text{C}$

					ВКР.144.6241мх.04.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Коефіцієнт підвищення середньодобової води на ГВП за відкритою системою теплопостачання $a=5$

Температура мережевої води на вході в котел під час спалювання деревини $t_{в.х2}=70^{\circ}\text{C}$

Температура хімічно очищеної води перед деаератором $T_4=65^{\circ}\text{C}$

Температура поворотної мережевої води після підігрівача сирієї води $t_3=30^{\circ}\text{C}$

Температура поворотної мережевої води після підігрівача хімічно очищеної води $t_4=40^{\circ}\text{C}$

План розміщення обладнання наведено на креслені.

2.3. Вибір типу системи опалення

Обираємо систему водяного опалення, тому що вона забезпечує рівномірність температури приміщення, обмежує верхню межу температури поверхні опалювальних приладів (до 105°C), відповідно до вимог безпеки. Характеризується простотою регулювання тепловіддачі опалювальних приладів методом зміни температури води залежно від температури зовнішнього повітря, безшумною роботою, достатньо довговічна.

Обираємо систему опалення двотрубну, горизонтальну, з попутним рухом води, нижньою розводкою та штучною циркуляцією води.

У порівнянні з іншими системами ця система має більшу гідравлічну стійкість, найвищу температуру, що забезпечує максимальну різницю температур ($t_{вх} - t_{вих}$), а звідси мінімальну площу поверхні приладів, меншу витрату металу, труб, фасонних частин та простіша при монтажі.[12]

2.4. Вибір систем вентиляції

Столярне підприємство складається з декількох цехів з обробки деревини за різними технологічними процесами. В результаті цих процесів атмосфера в цеху

					ВКР.144.6241мх.04.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

забруднюється постійно. В цехах в наявності наступні шкідливості: деревинний пил, тирса, виділення диму, стружка та інше, тому необхідно підтримувати атмосферу в цеху відповідну до санітарно-технічних вимог.

За санітарними нормами кількість зважених домішок (деревного пилу) в повітрі не повинно перевищувати 65 г/м^3 (нижня границя вибуховості), загазованість також регламентується. В результаті обробки деревини в цеху накопичується велика кількість дрібної стружки, що складає до 17% від деревини, що надходить. Прибирання традиційним методом неможливе. Найпростіший спосіб – прибиральні машини, але продуктивність їх мала, тому їх можна використовувати лише як допоміжне обладнання.

Найбільш раціональний спосіб – видалення тирси та дрібної стружки пневмотранспортом системи аспірації за межі цеху та відділення їх від повітря у спеціальних апаратах-циклонах. Таку систему пневмотранспорту необхідно встановити поряд з джерелом утворення стружки (біля деревообробних станків). На ділянках з виділенням інших шкідливих речовин необхідно встановити систему примусової вентиляції. За допомогою припливної вентиляції, що дозволяє регулювати кількість свіжого повітря, можна забезпечити нормальний газовий склад. Таким чином, необхідно обладнати цех системою примусової витяжної вентиляції для окремих приміщень, а також системами аспірації (пневмотранспорту деревинних відходів).

2.5. Розробка принципів схем системи припливної та витяжної вентиляції

Відповідно норм санітарно-гігієнічних умов праці ДСН 3.3.6.042-99 системи вентиляції розроблені з наступних умов: видалення шкідливих газових виділень виробництва; асиміляція тепловиділень в приміщенні від устаткування, людей, електродвигунів, а в теплий період від сонячної радіації. Для забезпечення цих умов в цеху передбачено два типи вентиляції: припливна і витяжна.

					ВКР.144.6241мх.04.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Для всіх приміщень припливна та витяжна вентиляції – примусові. Подача та розподіл повітря в приміщенні передбачається згідно ДБН В.2.5-67:2013, що забезпечують допустимі швидкості в робочій зоні.

Система припливної вентиляції забезпечує примусову подачу свіжого повітря із атмосфери в виробниче приміщення у кількості, що гарантує газообмін та підтримку газового складу згідно санітарних вимог; відновлення кількості повітря, видаленого витяжними системами; забезпечення «чистого» повітря.

Припливна система вентиляції П-1 обслуговує наступні приміщення: ділянки, де встановлені деревообробні станки, що вимагають найбільшого видалення повітря з приміщення; ділянка лакування, клейова, волоссящипна. Повітря відцентрованим вентилятором подається по повітропроводу, що розташовується вздовж стіни цеху. Повітропровід має відгалуження, які забезпечують вентиляцію лакувальної, клейовій та волоссящипної ділянок. Повітропровід для подачі повітря, має п'ять отворів розміром 600×500 мм, затягнених сіткою та шиберами. Відгалуження на ділянці лакування має два отвори, в клейовій та волоссящипній по одному отвору розміром 400×300 мм, також затягнених сіткою та шиберами.

Рух повітря по повітропроводах системи припливної вентиляції забезпечується відцентровим вентилятором з електроприводом. Зовнішнє повітря засмоктується вентилятором через жалюзійні решітки, витрата його регулюється повітряними засувками. В зимовий період повітря підігрівається за допомогою повітрянагрівача [12].

В котельні передбачається природна витяжна вентиляція (ВП1-ВП-2): два ковпака з витяжною панеллю – 900×645 мм укріплення розміром 800×800×1000мм, з робочим отвором вікон 700×700 мм.

Висновки за розділом

У цьому розділі обґрунтовано вибір обладнання та розроблено принципові схеми для котельні, системи опалення та вентиляції столярного підприємства.

					ВКР.144.6241мх.04.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

На підприємстві пропонується встановити три водогрійні твердопаливні котли, оскільки в процесі деревообробки постійно утворюється велика кількість відходів, які можуть бути використані як паливо.

Для забезпечення теплових потреб (сушіння пиломатеріалів, опалення, вентиляція, ГВП) обрано три водогрійні котли СН 600 «СОМРАСТ».

Склад котельні: У котельні розміщуються блоки мережних насосів, насосів ГВП та вихідної води, обладнання водопідготовки, підігрівачі ГВП, димососи, транспортер палива, вакуумний деаератор ВДВ-500 та мультициклон.

Котли оснащені мікропроцесорними блоками керування, які можуть регулювати режими роботи, подачу палива, видалення золи та системи тяги з фільтрацією димових газів. Передбачається установка знезалізнення та пом'якшення води методом натрій-катіонування.

Обрано водяну систему опалення. Схема: двотрубна, горизонтальна, з попутним рухом води, нижньою розводкою та штучною циркуляцією води.

Така система має більшу гідравлічну стійкість, забезпечує максимальну різницю температур і, відповідно, мінімальну площу поверхні опалювальних приладів.

Необхідність примусової вентиляції та аспірації обумовлена постійним забрудненням атмосфери цеху деревним пилом, тирсою, стружкою та іншими шкідливостями, що виділяються при обробці деревини.

Найбільш раціональним способом видалення тирси та дрібної стружки є пневмотранспорт системи аспірації за межі цеху з відділенням відходів у циклонах.

Передбачена примусова витяжна вентиляція для окремих приміщень та припливна вентиляція для регулювання кількості свіжого повітря.

Припливна система П-1 обслуговує ділянки деревообробних станків, лакування, клейову та волоссящипну ділянки.

У котельні передбачається природна витяжна вентиляція (ВП1-ВП-2).

					ВКР.144.6241мх.04.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

					ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Розрахунковий розділ	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Мешенко О.С.						
Керівник		Коновалов Д.В.				НУК		
Консульт.								

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1. Розрахунок теплової схеми котельні [15]

Режим 1 (при $t_{\text{зовн}} = -20^{\circ}\text{C}$)

1. Коефіцієнт зниження витрати теплоти на опалення

$$R_{\text{о.в}} = \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о}}} = \frac{18 - (-20)}{18 - (-20)} = 1$$

2. Сумарний відпуск теплоти та опалення $Q_{\text{с.о}} = 1\text{МВт}$

3. Сумарний відпуск теплоти на ГВП (зимовий період)

$$Q_{\text{г.в}}^3 = 0,15 * Q_{\text{с.о}} = 0,15 * 1 = 0,15\text{МВт}$$

4. Температура можливої води на виході с котельні за температурним графіком 95/70°C

$$t_1 = 18 + 64,5 * R^{0,8} + 12,5 R_{\text{о.в}} = 18 + 64,5 * 1^{0,8} + 12,5 * 1 = 95^{\circ}\text{C}$$

5. Температура поворотної мережевої води після опалення за температурним графіком 95/70°C

$$t_2^{\text{о.в}} = t_1 - 25 R_{\text{о.в}} = 95 - 25 * 1 = 80^{\circ}\text{C}$$

6. Розрахункова витрата мережевої води на опалення

$$G_{\text{о.в}} = \frac{Q_{\text{с.о}} * 10^6}{C_{\text{в}}(t_1 - t_2^{\text{о.в}})} = \frac{1 * 10^6}{4200(95 - 70)} = 9,5\text{кг/с}$$

7. Витрата води на ГВП для споживачів

$$G_{\text{г.в}}^{\text{сп}} = \frac{Q_{\text{г.в}}^3 * 10^6}{C_{\text{в}}(t_{\text{г.в}} - t_{1\text{з}})} = \frac{0,15 * 10^6}{4200(60 - 5)} = 0,65\text{кг/с}$$

8. Розрахункова витрата мережевої води на виході с котельні, кг/с

$$G_{\text{м}} = G_{\text{о.в}} = 9,5\text{кг/с}$$

Зм	Арк.	№документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

9. Витрати води для підживлення на заповнення витокам у тепловій мережі (для режимів I-IV)

$$G_{\text{вит}} = \frac{0,75}{100 * 3600} (Q_{\text{о.в}}^{\text{г}} + Q_{\text{г.в}}^{\text{к+прн}}) * q_{\text{сист}} R_{\text{вит}}$$

$$= \frac{0,75}{100 * 3600} * (1 + 0,15) * 280000 * 1 = 0,67 \text{ кг/с}$$

10. Витрати поворотної мережевої води на вході в котельню

$$G_{\text{п.м}} = G_{\text{м}} - G_{\text{вит}} = 9,5 - 0,67 = 8,85 \text{ кг/с}$$

11. Витрата теплоти на підігрів води у вакуумному деаераторі

$$Q_{\text{д}} = (G_{\text{вит}} + G_{\text{г.в}}) C_{\text{в}} (T^1 - T^4) * 10^{-6} = (0,67 + 0,65) * 10^{-6} = 0,027 \text{ МВт}$$

12. Витрати сирій води, що надходить на хімічну очистку

$$G_{\text{с.в}} = R_{\text{к.в}}^{\text{вп}} (G_{\text{вит}} - G_{\text{г.в}}) = 1,2(0,67 - 0,65) = 0,03 \text{ кг/с}$$

13. Витрата теплоти на підігрів сирій води

$$G_{\text{с.в}} = G_{\text{с.в}} = C_{\text{в}} (T_3 - T_{1_3}) * 10^{-6} = 0,03 * 4200(25 - 5) * 10^{-6} = 0,0021 \text{ МВт}$$

14. Витрати теплоти на підігрів хімічно очищеної води, що надходить у деаератор для підживлення

$$Q_{\text{х.в.о}} = (G_{\text{вит}} + G_{\text{г.в}}^{\text{сп}}) C_{\text{в}} (T_4 - T_3) * 10^{-6}$$

$$= (0,67 + 0,65) * 4200(65 - 25) * 10^{-6} = 0,22 \text{ кг/с}$$

15. Сумарний відпуск теплоти водогрійними котлами

$$Q_{\text{к}}^{\text{в}} = Q_{\text{с.о}} + Q_{\text{г.в}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{с.в}} + Q_{\text{х.в.о}} = 1 + 0,15 + 0 + 0,0021 + 0,22 = 1,4 \text{ МВт}$$

16. Потрібна кількість працюючих водогрійних котлів

$$N_{\text{кп}}^{\text{в}} = \frac{1,4}{0,38} = 3,7 \approx 4$$

17. Завантаження водогрійних котлів

$$R_{\text{зав}}^{\text{в}} = \frac{Q_{\text{к}}^{\text{в}}}{N_{\text{кп}}^{\text{в}} * Q_{\text{к}}^{\text{кол}}} * 100 = 92\%$$

18. Витрати води, що пропускається крізь усі водогрійні котли

$$Q_{\text{вкє}} = N_{\text{кп}}^{\text{в}} \frac{G_{\text{к}}^{\text{кол}}}{3,6} = 4 * \frac{19,65}{3,6} = 20,2 \text{ кг/с}$$

Зм	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

19. Кількість відключених водогрійних котлів $N_{KB}^B = 0$

20. Температура мережевої води на вході у водогрійні котли, °C

$$t_{BK_2} = t_{BK_1} - \frac{Q_K^B * 10^6}{C_B * G_{BK_2}} = 78^\circ C$$

21. Температура мережевої води на виході з водогрійних котлів, °C

$$t_{BK_1} = t_{BK_2} + \frac{Q_K^B * 10^6}{C_B * G_{BK_2}} = 78 + \frac{1,4 * 10^6}{4200 * 20,2} = 95^\circ C$$

22. Витрати нагрівальної води на вакуумний деаератор

$$G_d^M = \frac{1,002 * Q_d * 10^6}{C_B (t_{BK_1} - T^1)} = \frac{1,002 * 0,028 * 10^6}{4200(95 - 70)} = 0,07 \text{ кг/с}$$

23. Випар з вакуумного деаератора, кг/с

$$D_{\text{вит}} = 0,002(G_{\text{вит}} + G_{\text{г.в}}^{\text{сп}} + G_d^M) = 0,002(0,67 + 0,65 + 0,07) = 0,0028 \text{ кг/с}$$

24. Витрата води на виході з вакуумного деаератора (продуктивність деаератора), кг/с

$$G_g = G_{\text{вит}} + G_{\text{г.в}}^{\text{сп}} + D_d^M - D_{\text{вип}} = 0,67 + 0,65 + 0,07 - 0,0028 = 1,39 \text{ кг/с}$$

25. Витрата деаерованої води на підживлення теплової мережі, кг/с

$$G_{\text{підж}} = G_{\text{вит}} + G_d^M = 0,67 + 0,07 = 0,74 \text{ кг/с}$$

26. Витрата деаерованої води в баки акумулятори

$$G_{\text{б.а}} = G_d - G_{\text{підж}} = 1,39 - 0,74 = 0,65 \text{ кг/с}$$

27. Витрата води на ГВП, яка повертається в котельню (циркуляційний трубопровід)

$$G_{\text{цирк}}^{\text{ц.т}} = 0,25 * G_{\text{г.в}}^{\text{сп}} = 0,25 * 0,67 = 0,16 \text{ кг/с}$$

Зм	Арк.	№документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

28. Витрата нагрівальної води на підігрівних хімічно очищеної та сирії води

$$G_{\text{хво}}^{\text{г.р}} = \frac{Q_{\text{х.в.о}} \cdot 10^6}{(t_{\text{вк1}} - t_4)} = \frac{0,22 \cdot 10^6}{4200(95 - 40)} = 0,56 \text{ кг/с}$$

29. Витрата від водогрійних котлів у теплову мережу

$$G_{\text{вк}}^{\text{м}} = G_{\text{вк\epsilon}} - (G_{\text{д}}^{\text{м}} + G_{\text{хво}}^{\text{г.р}} + G_{\text{ов}}^{\text{г.р}}) = 20,2 - (0,07 + 0,56 + 0,09) = 19,58 \text{ кг/с}$$

30. Сумарна витрата води перед насосами мережевої води

$$G_{\text{мн}} = G_{\text{пм}} + G_{\text{підж}} + G_{\text{хво}}^{\text{г.р}} + G_{\text{св}}^{\text{г.р}} = 8,8 + 0,74 + 0,56 + 0,09 = 10,15 \text{ кг/с}$$

31. Температура води перед насосами мережевої води, °C

$$t_2^{\text{м.н}} = \frac{t_2^{\text{о.в}} \cdot G_{\text{п.м}} + T^1 \cdot G_{\text{підж}}}{G_{\text{м.н}}} + \frac{t_4 \cdot G_{\text{х.в.о}}^{\text{г.р}} + t_3 \cdot G_{\text{с.в}}^{\text{г.р}}}{G_{\text{м.н}}} \\ = \frac{70 \cdot 8,8 + 70 \cdot 0,74}{10,15} + \frac{65 \cdot 0,56 + 25 \cdot 0,09}{10,15} = 67,79^\circ\text{C}$$

32. Витрати води на рециркуляцію (Режим 1)

$$G_{\text{рец}} = G_{\text{в.к}}^{\text{м}} - G_{\text{м}} = 19,58 - 9,5 = 10,05 \text{ кг/с}$$

33. Витрати води крізь регульований перепуск

$$G_{\text{пер}} = G_{\text{м}} \frac{t_{\text{в.к1}} - t_1}{t_{\text{в.к1}} - t_2^{\text{н.п}}} = 9,5 \cdot \frac{95 - 95}{95 - 67,79} = 0 \text{ кг/с}$$

34. Дійсна витрата води на виході з котельні

$$G_{\text{м}}^{\text{д}} = G_{\text{вк}}^{\text{м}} - G_{\text{рец}} + G_{\text{пер}} = 19,58 - 10,05 + 0 = 9,52 \text{ кг/с}$$

35. Непогодженість балансу

$$\delta G_{\text{м}} = \frac{G_{\text{м}}^{\text{д}} - G_{\text{н}}}{G_{\text{м}}} \cdot 100 = \frac{9,5 - 9,5}{9,5} \cdot 100 = 0$$

Результати розрахунків зведені в нижче представлену таблицю 3.1.

Зм	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

Таблиця 3.1

Підсумкова таблиця розрахунків теплової схеми котельні на п'яти режимах

Найменування величини	Розрахункові режими				
	I	II	III	IV	V
Коефіцієнт зниження витрати теплоти на опалення	1,00	0,74	0,66	0,58	
Сумарний відпуск теплоти на опалення, МВт	1,00	0,74	0,66	0,58	
Сумарний відпуск теплоти на ГВП (зимовий період), МВт	0,15	0,11	0,10	0,09	
літній період					0,10
Температура мережевої води на виході з котельні за температурним графіком 95/70°C	95	78	72	67	
Температура поворотної мережевої води після опалення за температурним графіком 95/70°C	70	59	56	52	
Розрахункова витрата мережевої води на опалення, кг/с	9,5	9,5	9,5	9,5	1,6
Вирата води на ГВП для споживачів, кг/с	0,65	0,48	0,43	0,38	0,53
Розрахункова витрата мережевої води на виході з котельної, кг/с	9,5	9,5	9,5	9,5	1,6
Витрати води для підживлення на заповнення витікань у тепловій мережі(для режимів I-IV)	0,67	0,49	0,44	0,39	
літній період					0,29
Витрата поворотної мережевої води на вході в котельню, кг/с	8,85	9,03	9,08	9,14	1,35

Зм	Арк.	№документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

Найменування величини	Розрахункові режими				
	I	II	III	IV	V
Витрата теплоти на підігрів води у вакуумному деаераторі, кг/с	27724	20428	18239	16051	17236
Витрата сирової води, що надходить на хімічну очистку, кг/с	0,03	0,02	0,02	0,01	0,009
Витрати теплоти на підігрів сирової води, МВт	2165	1596	1425	1254	756
Витрати теплоти на підігрів хімічно очищеної води, що надходить у деаератор води для підживлення, МВт	221791	163425	145915	128405	137889
Сумарний відпуск теплоти водогрійними котлами, МВт	1,40	1,03	0,92	0,81	
літний період					0,26
Потрібна кількість працюючих водогрійних котлів	4	3	2	2	1
Завантаження водогрійних котлів, %	92	87	85	83	75
Витрати води, що пропускається крізь усі водогрійні котли, кг/с	20,2	14,8	13,1	11,5	1,3
Кількість відключених водогрійних котлів	0	1	1	2	3
Температура мережевої води на вході у водогрійні котли, °С	78	78	78	78	47
Температура мережевої води на виході з водогрійних котлів, °С	95	95	95	95	95
Витрата нагрівальної води на вакуумний деаератор, кг/с	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04
Випар з вакуумного деаератора, кг/с	0,0028	0,0020	0,0018	0,0016	0,0017

Зм	Арк.	№документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

Найменування величини	Розрахункові режими				
	I	II	III	IV	V
Витрата води на виході з вакуумного деаератора (продуктивність деаератора), кг/с	1,39	1,02	0,91	0,80	0,86
Витрата деаерованої води на підживлення теплової мережі, кг/с	0,74	0,55	0,49	0,43	0,33
Витрата деаерованої води в баки-акумулятори, кг/с	0,65	0,48	0,43	0,37	0,53
Витрата води на ГВП, яка повертається в котельню (циркуляційний трубопровід), кг/с	0,16	0,12	0,11	0,09	0,13
Витрата нагрівальної води на підігрівач хімічно очищеної та сирової води, кг/с	0,56	0,41	0,37	0,32	0,35
Витрата від водогрійних котлів у теплову мережу, кг/с	19,58	14,29	12,72	11,17	0,89
Сумарна витрата води перед насосами мережевої води, кг/с	10,15	9,99	9,94	9,89	2,04
Температура води перед насосами мережевої води, °C	67,79	58,68	55,64	52,44	16,64
Температура нагрівальної води після підігрівача хімічно очищеної води, кг/с	10,05	7,99	7,56	6,99	0,50
Витрата води крізь регульований перепуск, кг/с	0	4,53	5,48	6,29	0,59
Дійсна витрата води на виході з котельної, кг/с	9,52	10,83	10,64	10,47	0,98
Непогодженість балансу, %	0	1,25	2,43	2,13	1,8

Зм	Арк.	№документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

За розрахунками визначаємо обладнання котельні.

Приймаємо:

- 3 котла водогрійних СН «СОМРАСТ»;
 - вакуумну деаераційну колонку ВДВ-500;
 - блок насосів мережних літніх К65-50-160 видатністю 30 м³/год.;
 - блок насосів мережних зимових К100-65-200а видатністю 95 м³/год.;
 - блок насосів гарячого водопостачання К65-50-160 видатністю 20 м³/год.;
 - теплообмінник пластинчатий гарячого водопостачання РС0,2-20.0-2К-01
- Теплова схема котельні відображена у графічній частині.

3.2. Розрахунок тяги при спалюванні відходів деревини

Розрахунок тяги при спалюванні відходів деревини зроблений за існуючою методикою й представлений у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Розрахунок тяги при спалюванні природного газу

Найменування величини	Формула	Розрахунок
Топка		
Розрядження h_T , кг/м²	Приймаємо	2,0
Поворот з топки в конвективний газохід 90°		
Площа перетину повороту $F_{пов}, м^2$	По конструкції $2 \cdot \left[a \cdot b - \left(d_n \cdot l \cdot n + \frac{0,785 \cdot d_n^2}{2} \cdot n \right) \right]$	$2 \cdot (0,32 \cdot 0,75 - (0,06 \cdot 0,75 \cdot 3 + \frac{0,785 \cdot 0,6^2}{2} \cdot 9)) = 0,185$
Середня швидкість газів $W_{ср}, м/с$	$\frac{B_p \cdot V_g}{3600} \cdot \frac{v + 273}{273}$	$\frac{287 \cdot 4,1}{2700} \cdot \frac{963 + 273}{273} = 1,97$
Секундна витрата газів $V_{сек}, м^3/с$	$W_{ср} / F_{пов}$	$1,97 / 0,185 = 10,62$
Коефіцієнт опору повороту ξ	[14] $\xi_{до\Delta} \cdot \xi_0 \cdot B \cdot c$	$0,62 \cdot 1 \cdot 1 = 0,62$

Зм	Арк.	№документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

Найменування величини	Формула	Розрахунок
Динамічний тиск $h_{\text{д}}$, кг/м ²	[14]	1,4
Опір повороту $h^{\text{т}}_{\text{пов}}$, кг/м ²	$\xi \cdot h_{\text{д}}$	0,62·1,4=0,87
Конвективний пучок		
Кроки труб: поперечний S_1 , мм поздовжній S_2 , мм	згідно конструкції	37,5 40
Відносні кроки: σ_1 σ_2	з теплового розрахунку	1,34 1,43
Діагональний крок S'_2 , мм	п.1.18, [7] $\sqrt{\frac{1}{4} \cdot S_1^2 + S_2^2}$	$\sqrt{\frac{1}{4} \cdot 37,5^2 + 40^2} = 44,2$
Кроки труб: поперечний S_1 , мм поздовжній S_2 , мм	згідно конструкції	37,5 40
Відносні кроки: σ_1 σ_2	з теплового розрахунку	1,34 1,43
Діагональний крок S'_2 , мм	$\sqrt{\frac{1}{4} \cdot S_1^2 + S_2^2}$	$\sqrt{\frac{1}{4} \cdot 37,5^2 + 40^2} = 44,2$
Коефіцієнт ϕ опору ряду шахового пучка Δh_0 ,кг/м ²	[14] $0,1<\phi<1,7$ $1<\sigma<10$	0,64
Середня швидкість газів $w_{\text{ср}}$, м/с	з теплового розрахунку	8,4
Опір конвективного пучка (дві ступені) $\Delta h_{\text{к.ч.}}$, кг/м ²	$2 \cdot [\Delta h_0 \cdot (Z_2+1)]$	$2 \cdot [0,64 \cdot (16+1)]=21,8$
Поворот у конвективному газоході		
Коефіцієнт опору ξ	[14]	2,0
Середня швидкість газів $w_{\text{ср}}$, м/с	з теплового розрахунку	8,4

Зм	Арк.	№документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

Найменування величини	Формула	Розрахунок
Динамічний напір h_d , кг/м ²	[14]	1,9
Опір повороту $h_{пов}^{кч}$, кг/м ²	$\xi \cdot h_d$	$2,0 \cdot 1,9 = 3,8$
Сумарний опір газового тракту Σp , кг/м ²	$h_T + h_{пов}^T + \Delta h_{к.ч} + h_{пов}^{кч}$	$2 + 0,87 + 21,8 + 3,8 = 28,47$

3.3. Розрахунок димової труби

Для забезпечення нормальної роботи котла необхідно подавати в топку до палива повітря, забезпечити швидкість руху гарячих газів по газоходам котла та з котла продуктів згоряння. Рух повітря та димових газів в котлі здійснюється допомогою тягодуттєвого обладнання.

В котельні, яка проєктується, присутня природна тяга, яка створюється димовою трубою внаслідок різниці густини зовнішнього (холодного) повітря та горючих (тепліх) відхідних газів. Більш тяжке холодне повітря потрапляє в топку і витісняє більш легкі гарячі гази (продукти спалювання), в результаті чого виникає рух газів по газоходам котла та димової труби. При цьому чим вища температура відхідних газів та нижча температура повітря, тим сильніша тяга. Тяга також буде тим більша, чим вища димова труба.

Визначаємо витрату палива на котельню:

$$B = \frac{Q_p}{Q_n^p \cdot \eta}, \text{ м}^3/\text{год},$$

де Q_p - розрахункова продуктивність котла, $Q_p = 1,4 \text{ МВт} = 1,2 \text{ Гкал/год}$;

Q_n^p - нижча теплота згоряння деревини, $Q_n^p = 2700 \text{ ккал/м}^3$;

η - ККД котла, $\eta = 0,6$.

$$B = \frac{12000}{2700 \cdot 0,6} = 0,74 \text{ м}^3/\text{год},$$

Зм	Арк.	№документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

Визначаємо об'єм димових газів:

$$V_z = B \cdot [V_o + (\alpha - 1) \cdot V_0] \cdot \frac{273 + t_z}{273}, \text{ м}^3/\text{год},$$

де В - витрата палива на котельню, $B = 0,74 \text{ м}^3/\text{год}$;

V_0 - об'єм продуктів згоряння при спалюванні 1 кг^3 деревини, $V_0 = 14,7 \text{ м}^3/\text{год}$;

α - коефіцієнт надлишку повітря, $\alpha = 1,15$;

V_0 - теоретично необхідний об'єм повітря для процесу горіння 1 м^3 деревини,

$V_0 = 11,4 \text{ м}^3/\text{м}^3$;

t_r - температура відхідних газів, $t_r = 135^\circ\text{C}$.

$$V_z = 0,74 \cdot [14,7 + (1,15 - 1) \cdot 11,4] \cdot \frac{273 + 135}{273} = 5313 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Приймаємо швидкість руху димових газів: $W_r = 20 \text{ м/с}$.

Визначаємо площу перетину димової труби: $F_{mp} = \frac{\pi d_{mp}^2}{4}, \text{ м}^2$,

$$\text{де } d_{tr} - \text{діаметр димової труби, м, } d_{mp} = 0,0188 \cdot \sqrt{\frac{V_z}{W_z}} = 0,0188 \cdot \sqrt{\frac{5313}{20}} = 0,306 \text{ м},$$

де V_r - об'єм димових газів, $V_r = 5313 \text{ м}^3/\text{год}$.

Приймаємо $d_{tr} = 325 \text{ мм}$.

$$F_{mp} = \frac{3,14 \cdot 0,325^2}{4} = 0,083 \text{ м}^2.$$

Визначаємо висоту димової труби:

$$H_{mp} = 2,15 \cdot \frac{\sum H_{ky}}{P \cdot \left(\frac{1}{273 + t_3} - \frac{1}{273 + t_z} \right)}, \text{ м},$$

де Р - барометричний тиск, $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$;

t_3 - температура зовнішнього повітря, $t_3 = -20^\circ\text{C}$;

H_{ky} - газовий опір котельної установки, кг/м^2

$$\sum H_{ky} = H_{кот} + H_{mp} + H_m + H_d + H_{ш};$$

Зм	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

2,15 - коефіцієнт, який враховує температуру та барометричний тиск повітря і газів;

$H_{\text{кот}}$ - газовий опір котла, $H_{\text{кот}} = 1 \text{ кг/м}^2$;

$H_{\text{тр}}$ - газовий опір димової труби, $H_{\text{тр}} = 1,67 \text{ кг/м}$;

$H_{\text{т}}$ - газовий опір розрідження у точці, $H_{\text{т}} = 1 \text{ кг/м}^2$;

$H_{\text{д}}$ - втрати напору на виході димових газів з труби: $H_{\text{д}} = \gamma \cdot \frac{W_{\text{г}}^2}{2 \cdot g}$, кг/м^2 ,

де γ - питома вага газів, кг/м^3 .

$$H_{\text{д}} = 1,073 \cdot \frac{20^2}{2 \cdot 9,8} = 2,19 \text{ кг/м}^2,$$

$H_{\text{ш}}$ - газовий опіршибера, $H_{\text{ш}} = 0,5 \text{ кг/м}$;

$t_{\text{г}}$ - температура димових газів у трубi, $t_{\text{г}} = 135^\circ\text{C}$.

$$\sum H_{\text{ку}} = 1 + 1,67 + 1 + 2,19 + 0,5 = 6,36 \text{ кг/м}^2.$$

$$H_{\text{тр}} = 2,15 \cdot \frac{6,36}{760 \cdot \left(\frac{1}{273 - 20} - \frac{1}{273 + 135} \right)} = 12 \text{ м}.$$

3.4. Аеродинамічний розрахунок системи природної вентиляції

Видалення повітря провадиться окремо із санітарних вузлів і душових, при цьому віддаляється наступна кількість повітря для роздільного санвузла:

- для душових – $25 \text{ м}^3/\text{год.}$; - для унітазу – $25 \text{ м}^3/\text{год.}$

Для кожного приміщення передбачається окремий вентиляційний канал, розташовуваний вертикально в конструкціях внутрішніх стін.

Припливне повітря для компенсації природної витяжки надходить із зовні через квартирки й нещільності вікон та інших зовнішніх огорожень.

В якості розрахункового приймається тракт від жалюзійних ґрат санвузла, як найбільш несприятливий.

Зм	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

Розрахунковий тракт розбивається на ділянки, визначаються їхні довжини й витрати повітря. На ділянку №1 надходить повітря із санвузла, витрата $L=25\text{м}^3/\text{год}$, на ділянку №2 повітря надходить з ділянки №1 і з санвузла $L_{\text{діл}2}=25+25=50\text{ м}^3/\text{год.}$; на ділянку №3 повітря надходить із ділянки №2 і з котельні $L_{\text{діл}3}=50+25+25=100\text{ м}^3/\text{год.}$

Довжини ділянок визначаються за аксонометричною схемою.

Швидкість руху повітря у повітроводах системи вентиляції із природним спонуканням приймається рівною $0,5\ldots 1,0\text{ м/с}$. При орієнтовному значенні швидкості руху повітря на ділянці №1 $V_{\text{діл}1}=0,5\text{ м/с}$.

Визначається попереднє значення площі перетину повітроводу:

$$F_{\text{діл}} = \frac{L_{\text{уч}}}{3600 \cdot v_{\text{діл}}}, \text{м}^2,$$

де $L_{\text{діл}}$ – розрахункова витрата повітря на ділянці, $\text{м}^3/\text{год}$;

$V_{\text{діл}}$ - швидкість повітря у повітроводі на ділянці, м/с .

Ділянка №1: $F_{\text{діл}1} = \frac{25}{3600 \cdot 0,5} = 0,0139\text{м}^2$

Ділянка №2: $F_{\text{діл}2} = \frac{50}{3600 \cdot 0,5} = 0,028\text{м}^2$

Ділянка №3: $F_{\text{діл}3} = \frac{100}{3600 \cdot 0,5} = 0,00,055\text{м}^2$

Приймається повітровід з найбільш близьким до попереднього значенням площі перетину повітроводу [1],

Ділянка №1: $F'_{\text{діл}1} = 0,0139\text{м}^2, a \cdot b = 0,12 \cdot 0,12\text{м}$

Ділянка №2: $F'_{\text{діл}2} = 0,028\text{м}^2, a \cdot b = 0,12 \cdot 0,25\text{м}$

Ділянка №3: $F'_{\text{діл}3} = 0,055\text{м}^2, a \cdot b = 0,25 \cdot 0,12\text{м}$

Фактичне значення швидкості повітря у повітроводі обчислюється за формулою:

$$v_{\text{діл}} = \frac{L_{\text{діл.}}}{3600 \cdot F_{\text{уч.}}}, \text{м/с}$$

Зм	Арк.	№документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

$$\text{Ділянка №1: } v_{\text{дiл}} = \frac{L_{\text{дiл1}}}{3600 \cdot F_{\text{дiл.1}}} = \frac{25}{3600 \cdot 0,0144} = 0,48 \text{ м/с}$$

$$\text{Ділянка №2: } v_{\text{дiл.2}} = \frac{L_{\text{дiл.2}}}{3600 \cdot F_{\text{дiл.2}}} = \frac{50}{3600 \cdot 0,028} = 0,5 \text{ м/с}$$

$$\text{Ділянка №3: } v_{\text{дiл.3}} = \frac{L_{\text{дiл.3}}}{3600 \cdot F_{\text{дiл.3}}} = \frac{100}{3600 \cdot 0,055} = 0,505 \text{ м/с}$$

Еквівалентний діаметр повітроводу визначається:

$$d_e = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}, \text{ м,}$$

де a і b – розміри стогін прямокутного повітроводу, площа перетину якого:

$$F_{\text{дiл.}} = a \cdot b, \text{ м.}$$

$$\text{Ділянка №1: } d_e = \frac{2 \cdot 0,12 \cdot 0,12}{0,12 + 0,12} = 0,12 \text{ м;}$$

$$\text{Ділянка №2: } d_e = \frac{2 \cdot 0,12 \cdot 0,25}{0,12 + 0,25} = 0,16 \text{ м;}$$

$$\text{Ділянка №3: } d_e = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 0,25}{0,25 + 0,25} = 0,25 \text{ м.}$$

Використовуючи в якості вихідних дані значення d і v за номограмою визначаємо значення питомої втрати тиску:

$$\text{Ділянка №1: } R_{\text{дiл.1}} = 0,048;$$

$$\text{Ділянка №2: } R_{\text{дiл.2}} = 0,038;$$

$$\text{Ділянка №3: } R_{\text{дiл.3}} = 0,017.$$

Втрати тиску на тертя визначаються за формулою:

$$\Delta P_{\text{тр.}} = 1,3 \cdot R_{\text{дiл.}} \cdot l_{\text{дiл.}}, \text{ Па,}$$

де $R_{\text{дiл.}}$ - питома втрата тиску на ділянці Па/м;

$l_{\text{дiл.}}$ - довжина ділянки повітроводу, м;

1,3 – поправочний коефіцієнт для значень $R_{\text{дiл.}}$, що враховує властивості матеріалу повітроводу

Зм	Арк.	№документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

$$\text{Ділянка №1: } \Delta P_{тр.1} = 1,3 \cdot R_{дiл.1} \cdot l_{дiл.1} = 1,3 \cdot 0,048 \cdot 1,2 = 0,07488 \text{ Па};$$

$$\text{Ділянка №2: } \Delta P_{тр.2} = 1,3 \cdot R_{дiл.2} \cdot l_{дiл.2} = 1,3 \cdot 0,038 \cdot 0,5 = 0,0247 \text{ Па};$$

$$\text{Ділянка №3: } \Delta P_{тр.3} = 1,3 \cdot R_{дiл.3} \cdot l_{дiл.3} = 1,3 \cdot 0,017 \cdot 3,5 = 0,077 \text{ Па}.$$

Для кожної ділянки визначаються місцеві опори й значення їхніх коефіцієнтів:

Ділянка №1:

$$\begin{aligned} \sum \xi_{дiл.1} &= \text{ґратки} - 1,2 + \text{колeно}(2\text{шт}) - 1,2 + \text{тройник на прохід} - 0,5 = \\ &= 1,2 + (1,2 \cdot 2) + 0,5 = 4,1 \end{aligned}$$

$$\text{Ділянка №2: } \sum \xi_{дiл.2} = \text{трійник на сліяння} - 3,4$$

$$\text{Ділянка №3: } \sum \xi_{дiл.3} = \text{коліно} - 1,2 + \text{парасолька} - 1,3 = 1,2 + 1,3 = 2,5$$

Значення втрати тиску на місцеві опори визначаються за формулою:

$$Z_{дiл.} = \sum \xi_{дiл.} \cdot P_{дин.}, \text{ Па},$$

де $\sum \xi$ - сума коефіцієнтів місцевих опорів [1];

$P_{дин.}$ - динамічний тиск потоку на ділянці в Па; $P_{дин.} = \rho_v \cdot \frac{v^2}{2}, \text{ Па};$

$$\text{Ділянка №1: } P_{дин.1} = \rho_v \frac{v_1^2}{2} = 1,213 \cdot \frac{0,48^2}{2} = 0,14 \text{ Па};$$

$$\text{Ділянка №2: } P_{дин.2} = \rho_v \frac{v_2^2}{2} = 1,213 \cdot \frac{0,5^2}{2} = 0,15 \text{ Па};$$

$$\text{Ділянка №3: } P_{дин.3} = \rho_v \frac{v_3^2}{2} = 1,213 \cdot \frac{0,5^2}{2} = 0,15 \text{ Па}.$$

Підставляючи $P_{дин.}$ у формулу $Z_{дiл.} = \sum \xi_{дiл.} \cdot P_{дин.}, \text{ Па}$, одержимо:

$$\text{Ділянка №1: } Z_{дiл.1} = \sum \xi_{дiл.1} \cdot P_{дин.1} = 4,1 \cdot 0,14 = 0,58 \text{ Па};$$

$$\text{Ділянка №2: } Z_{дiл.2} = \sum \xi_{дiл.2} \cdot P_{дин.2} = 3,4 \cdot 0,15 = 0,51 \text{ Па};$$

$$\text{Ділянка №3: } Z_{дiл.3} = \sum \xi_{дiл.3} \cdot P_{дин.3} = 2,5 \cdot 0,15 = 0,0375 \text{ Па}.$$

Зм	Арк.	№документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

Повна втрата тиску на ділянці визначається як сума втрат на тертя й на місцеві опори:

$$\Delta P_{\text{діл.}} = \Delta P_{\text{тр.}} + Z_{\text{діл.}}, \text{Па};$$

$$\text{Ділянка №1: } \Delta P_{\text{діл.1}} = \Delta P_{\text{тр.1}} + Z_{\text{діл.1}} = 0,07488 + 0,58 = 0,65 \text{ Па};$$

$$\text{Ділянка №2: } \Delta P_{\text{діл.2}} = \Delta P_{\text{тр.2}} + Z_{\text{діл.2}} = 0,0247 + 0,51 = 0,5347 \text{ Па};$$

$$\text{Ділянка №3: } \Delta P_{\text{діл.3}} = \Delta P_{\text{тр.3}} + Z_{\text{діл.3}} = 0,077 + 0,375 = 0,452 \text{ Па}.$$

Повний опір розрахункового тракту визначається як сума втрат всього тиску на всіх ділянках:

$$\Delta P_{\text{тракт.}} = \Delta P_{\text{діл.1}} + \Delta P_{\text{діл.2}} + \Delta P_{\text{діл.3}} = 0,65 + 0,54 + 0,452 = 1,6367 \text{ Па}.$$

Припустима межа втрати тиску в тракті становить $0,9 \cdot H_e$, де H_e – розташовуваний тиск, Па.

Розташовуваний тиск, що спонукує повітря переміщатися при природній вентиляції, обумовлений гравітаційними силами, що виникають внаслідок різниці щільності зовнішнього повітря при температурі 5°C ($\rho_{\text{зов.}} = 1,27 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$) і повітря приміщення, при температурі 18°C ($\rho_{\text{зов.}} = 1,213 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$):

$$H_e = g \cdot (\rho_{\text{зов.}} - \rho_e) \cdot h_n, \text{Па},$$

де h_n - відстань по вертикалі від центра жалюзійних ґрат до центра виходу з витяжної шахти, м, приймається 4 м.

$$H_e = 9,8 \cdot (1,27 - 1,213) \cdot 4 = 2,234 \text{ Па},$$

Результати розрахунку зведені в таблицю 3.3.

Зм	Арк.	№документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

Таблиця 3.3

Розрахунок опору ВП

№ діл.	L _{діл.} м ³ /год.	l _{діл.} м	V _{діл.} м/с	a x b м	d ₃ м	R Па/м	ΔP _{тр} Па	Σξ	Z Па	P _{оін.} Па	ΔP _{діл.} Па
1	25	1,2	0,48	0,12x0,12	0,12	0,048	0,0749	4,1	0,58	0,14	0,65
2	50	0,5	0,5	0,12x0,25	0,16	0,038	0,0247	3,4	0,51	0,15	0,5347
3	100	3,5	0,5	0,25x0,25	0,25	0,017	0,077	2,5	0,375	0,15	0,452

АксонOMETрична схема вентиляції наведена в графічній частині.

3.5. Розрахунок теплової потужності системи опалення

Розрахункова тепла потужність системи опалення відповідає максимальному дефіциту теплоти. У котельні при визначенні теплової потужності системи опалення враховують тепловитрати через огорожувальні конструкції, витрати тепла та підігрів зовнішнього інфільтраційного повітря, а також побутові тепловиділення.

Визначення втрати теплоти через зовнішні стіни

$$Q = \kappa \cdot (t_b - t_3) \cdot n \cdot F \cdot \eta, \text{ Вт}$$

$$Q = 2,01 \cdot (20 - (-20)) \cdot 1 - 5,33 \cdot 1,1 = 471 \text{ Вт},$$

де $\kappa = 1/R_o$ – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·°C);

R_o – умовний опір теплопередачі огорожувальної конструкції, (м²·°C)/Вт;

t_b – температура повітря у приміщенні, $t_b = +20$ °C;

t_3 – температура зовнішнього повітря для холодного періоду року, $t_3 = -20$ °C;

n – коефіцієнт враховуючий зменшення різниці температур, $n = 1$;

F – розрахункова площа огорожувальних конструкцій, $F = 2,5 \cdot 2,13 = 5,33$ м²;

η – коефіцієнт враховуючий додаткові тепловитрати, $\eta = 1,1$.

Зм	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

Коефіцієнт теплопередачі для зовнішніх стін:

$$\kappa = 1/R_o = 1/0,497 = 2,01 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) /Вт.}$$

Умовний опір теплопередачі огорожувальної конструкції:

$$R_o = R_b + \sum R_c + R_3, \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) /Вт,}$$

де R_b та R_3 – опір теплосприйняттю та теплопередачі внутрішніх і зовнішніх поверхонь;

$$\sum R_c = \sum \delta_{\pi} / \lambda_{\pi}, \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) /Вт;}$$

де δ_{π} і λ_{π} – товщина прошарків огороження та теплопровідність їх матеріалів, Вт/ (м·°C);

$$R_b = 0,114 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) /Вт; } R_3 = 0,043 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) /Вт.}$$

$$\lambda_{\pi} = 2,39 \text{ Вт/ (м} \cdot ^\circ\text{C) – камінь, } \lambda_{\pi} = 0,75 \text{ Вт/ (м} \cdot ^\circ\text{C) – штукатурка.}$$

$$\delta_{\pi} = 0,02 \text{ м – товщина внутрішньої штукатурки;}$$

$$\delta_{\pi} = 0,04 \text{ м – товщина зовнішньої штукатурки;}$$

$$\delta_{\pi} = 0,61 \text{ м – товщина стіни.}$$

$$\sum R_c = 0,02/0,75 + 0,04/0,75 + 0,61/2,39 = 0,34 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) /Вт}$$

$$R_o = 0,114 + 0,043 + 0,34 + 0,497 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) /Вт.}$$

Визначення втрати теплоти через подвійні вікна.

$$Q = \kappa \cdot (t_b - t_3) \cdot n \cdot F \cdot \eta, \text{ Вт}$$

$$Q = 0,68 \cdot [20 - (-20)] \cdot 1 \cdot 3,2 \cdot 1,1 = 96 \text{ Вт,}$$

$$t_b = +20 ^\circ\text{C}; t_3 = -20 ^\circ\text{C}; n = 1; F = (1,6 \cdot 1) \cdot 2 \text{ м}^2; \eta = 1,1.$$

$$\kappa = 0,68 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) /Вт.}$$

Визначення втрати теплоти через стелю.

$$Q = \kappa \cdot (t_b - t_3) \cdot n \cdot F \cdot \eta, \text{ Вт}$$

$$Q = 0,59 \cdot (20 - (-20)) \cdot 0,9 \cdot 7,2 \cdot 1 = 170 \text{ Вт,}$$

$$t_b = +20 ^\circ\text{C}; t_3 = -20 ^\circ\text{C}; n = 1; F = 2,5 \cdot 2,88 = 7,2 \text{ м}^2; \eta = 1.$$

$$\kappa = 1/R_o, \text{ Вт/ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C); } \kappa = 1/1,68 = 0,59 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) /Вт.}$$

$$R_b = 0,114 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) /Вт; } R_3 = 0,086 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) /Вт.}$$

Зм	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

$\lambda_d = 0,14 \text{ Вт/ (м} \cdot \text{°C)}$ – коефіцієнт теплопровідності деревини,

$\lambda_m = 0,084 \text{ Вт/ (м} \cdot \text{°C)}$ – коефіцієнт теплопровідності мінераловати.

$\delta_d = 0,04 \text{ м}$ – товщина деревини.

$\delta_m = 0,04 \text{ м}$ – товщина мінераловати.

$$\sum R_c = 0,04/0,14 + 0,1/0,84 = 1,48 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/ Вт}$$

$$R_o = 0,114 + 1,48 + 0,086 = 1,68 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/ Вт}$$

Визначення втрати теплоти через підлогу

$$Q = Q_I + Q_{II} = 82 + 42 = 124 \text{ Вт}$$

$$Q_I = 0,41 \cdot (20 - (-20)) \cdot 1 \cdot 5 \cdot 1 = 82 \text{ Вт},$$

$$Q_{II} = 0,22 \cdot (20 - (-20)) \cdot 1 \cdot 4,7 \cdot 1 = 42 \text{ Вт},$$

$$t_b = +20 \text{ °C}; t_3 = -20 \text{ °C}; n = 1;$$

$$F_I = 2,5 \cdot 2 = 5 \text{ м}^2; \eta = 1, F_{II} = 2,5 \cdot 1,88 = 4,7 \text{ м}^2$$

$$k = 1/R_{уп}, \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{°C)};$$

$$R_{уп} = R_{н.п} + \sum \delta_p / \lambda_p, \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/ Вт},$$

де $R_{н.п}$ - опір тепло сприйняттю не утепленої підлоги, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C)/ Вт}$;

δ_p, λ_p - товщини і теплопровідність матеріалу утеплюючого прошарку.

$$k_I = 1/2,42 = 0,41 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{°C)};$$

$$k_{II} = 1/4,57 = 0,22 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{°C)};$$

$$R_{Iуп} = 2,15 + 0,02/0,14 + 0,1/0,755 = 2,42 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/ Вт}.$$

$$R_{IIуп} = 4,3 + 0,02/0,14 + 0,1/0,755 = 4,57 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/ Вт}.$$

$\lambda_c = 0,755 \text{ Вт/ (м} \cdot \text{°C)}$ – коефіцієнт теплопровідності цементу,

$\lambda_d = 0,14 \text{ Вт/ (м} \cdot \text{°C)}$ – коефіцієнт теплопровідності деревини.

$\delta_c = 0,10 \text{ м}$ – товщина цементу.

$\delta_d = 0,04 \text{ м}$ – товщина деревини.

Втрата теплоти на підігрів холодного повітря

Кількість теплоти на підігрів зовнішнього повітря у об'ємі, який забезпечує мінімальний нормативний повітрообмін у житлових приміщеннях, розраховується за формулою:

Зм	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

$$Q_{\Pi} = 1,005 \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{в}}^{\text{А}}) \cdot F, \text{ Вт}$$

$$Q_{\Pi} = 1,005 \cdot (20 - (-6)) \cdot 10,5 = 274 \text{ Вт},$$

де $t_{\text{в}}$ - температура внутрішнього повітря, $t_{\text{в}} = 20^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{в}}^{\text{А}}$ - вентиляційна температура зовнішнього повітря, $t_{\text{в}}^{\text{А}} = -6^{\circ}\text{C}$;

F - площа котельні, $F = 2,5 \cdot 4,2 = 10,5 \text{ м}^2$.

Розрахунок побутових тепловиділень.

$$Q_{\text{поб}} = 21 \cdot F, \text{ м}^2;$$

$$Q_{\text{поб}} = 21 \cdot 41,25 = 866,25 \text{ Вт}$$

де F - площа котельні, $F = 2,5 \cdot 16,5 = 41,25 \text{ м}^2$.

Таким чином загальні потреби теплової енергії на опалювання складають 4125 Вт.

Визначення площі поверхні і кількості опалювальних приладів для котельні.

Стандартний температурний напір

$$\Delta t_{\text{cp}}^{\text{ст}} = t_{\text{cp}} - t_{\text{г}} = 0,5 \cdot (t_{\text{вх}} + t_{\text{вих}}) - t_{\text{г}} = 0,5 \cdot (95 + 70) - 18 = 64,5^{\circ}\text{C}$$

Розрахункова площа теплового потоку

$$q_{\text{np}} = q_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{\Delta t_{\text{cp}}}{70} \right)^{1+n} \cdot \left(\frac{G_{\text{np}}}{0,1} \right)^p \cdot C_{\text{np}}$$

Приймаємо: реєстри діаметром 114x4,0 мм.;

$$f_1 = 0,244 \text{ м}^2; \quad q_{\text{ном}} = 758 \text{ Вт/м}^2; \quad G_{\text{np}} = 0,005 - 0,014 \text{ кг/с}$$

$$n = 0,3; \quad p = 0,02; \quad C_{\text{np}} = 1,039$$

$$Q = G \cdot \Delta t \cdot C_p$$

$$G_{\text{np}} = \frac{Q}{\Delta t \cdot C_p} = \frac{87448,9026}{337,5 \cdot 4,187 \cdot 10^3} = 0,061 \text{ кг/с}$$

$$q_{\text{np}} = 758 \left(\frac{64,5}{70} \right)^{1+0,3} \cdot \left(\frac{0,061}{0,1} \right) \cdot 1,039 = 721,03 \text{ Вт/м}^2$$

Зм	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

$$Q_{np} = q_{np} \cdot F_p; \quad F_p = \frac{Q_{np}}{q_{np}}; \quad F_p = \frac{Q_{np}}{q_{np}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2$$

$$Q_{np} = Q_{nomp} - 0,9 \cdot Q_{mp}$$

$$F_p = \frac{Q_{nomp} - 0,9 \cdot Q_{mp}}{q_{np}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2$$

$$Q_{mp} = 10\% \cdot Q_{C.O} = 8744,89026 \text{ Вт},$$

де $\beta_1 = 1,02$ – ступінь номенклатурного ряду опалювальних пристроїв 0,12 кВт;

$\beta_2 = 1,02$ – у зовнішній стіні, в тому числі під світловим отвором;

$$Q_{np} = 87448,9026 - 0,9 \cdot 8744,89026 = 79578,501 \text{ Вт}$$

$$F_p = \frac{79578,501}{721,03} \cdot 1,02 \cdot 1,02 = 107,10 \text{ м}^2$$

$\beta_4 = 1,0$ – при відкритій установці; $\beta_3 = 1,0$ – при числі секцій;

$$N_p = \frac{F_p \cdot \beta_4}{f_1 \cdot \beta_3} = \frac{107,10 \cdot 1,0}{0,244 \cdot 1,0} = 5,96 - \text{приймаємо } N_p = 6,$$

Отже по 3 метра в 2 приборах. Результати розрахунку зводимо в табл. 3.4.

3.6. Гідравлічний розрахунок трубопроводів і системи водяного опалення

Гідравлічний розрахунок проводиться з метою визначення діаметрів труб системи опалення, швидкості течії теплоносіїв, за умови забезпечення працездатності системи.

Методика розрахунку наведена в літературних джерелах [17]

Тип системи: двохтрубна горизонтальна з нижнім розташуванням прямого магістрального трубопроводу.

Гідравлічний розрахунок представлено в таблиці 3.5, вихідні данні якого взяті з вище наведених розрахунків.

Зм	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

Висновки за розділом

Проведені розрахунки теплової схеми котельні для п'яти різних режимів роботи. Теплові навантаження: сумарний відпуск теплоти на опалення коливається від 1,00 МВт (Режим I) до 0,58 МВт (Режим IV), а також є потреба в літньому режимі; сумарний відпуск теплоти на ГВП становить 0,15 МВт у зимовий період (Режим I) і 0,10 МВт у літній період (Режим V).

Для забезпечення роботи котельні прийнято 3 водогрійних котли СН «СОМРАСТ», вакуумну деаераційну колонку ВДВ-500, блоки мережних насосів (літніх та зимових), блок насосів ГВП та пластинчастий теплообмінник ГВП.

Виконаний розрахунок тяги та димової труби. Розрахунок тяги виконано при спалюванні відходів деревини. Рух повітря і димових газів у котлі забезпечується тягодуттєвим обладнанням.

У котельні, що проектується, використовується природна тяга, яка виникає внаслідок різниці густини зовнішнього (холодного) повітря та гарячих димових газів. Сила тяги зростає з підвищенням температури відхідних газів, зниженням температури повітря та збільшенням висоти димової труби.

Для забезпечення необхідної тяги виконано розрахунок параметрів димової труби. Визначена висота димової труби.

Проведений аеродинамічний розрахунок системи природної вентиляції. Результатом аеродинамічного розрахунку є підбір розмірів повітропроводів та визначення параметрів системи вентиляції, що забезпечує необхідний повітрообмін.

Розрахована теплова потужність системи опалення, яка відповідає максимальному дефіциту теплоти, враховуючи тепловитрати через огорожувальні конструкції (стіни, вікна, стеля, підлога) та на підігрів інфільтраційного повітря та ін.

Загальні потреби: Загальні потреби теплової енергії на опалення складають 4125 Вт.

Опалювальні прилади: Для забезпечення необхідної теплової потужності обрано опалювальні прилади (реєстри).

Зм	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

Виконаний гідравлічний розрахунок трубопроводів системи водяного опалення, визначені діаметри труб, швидкості теплоносія для забезпечення працездатності двотрубною горизонтальною системою з нижнім розташуванням прямого магістрального трубопроводу.

Зм	Арк.	№документа	Підпис	Дата	ВКР.144.6241мх.04.03.ПЗ	Арк.

Таблиця 3.4

Розрахунок опалювальних пристроїв

Примі- щення	$Q_{потр},$ Bm	$t_{\theta},$ $^{\circ}C$	$t_{вх},$ $^{\circ}C$	$t_{вих},$ $^{\circ}C$	$\Delta t_{сер},$ $^{\circ}C$	$G_{пр},$ $кг/с$	$q_{пр},$ $Bm/м^2$	Поправковий коефіцієнт		$Q_{тр},$ Bm	$Q_{пр},$ Bm	$F_p,$ $м^2$	Поправковий коефіцієнт		N_p
								β_1	β_2				β_3	β_4	
Котельня	4125	18	95	70	64,5	0,061	721,03	1,02	1,02	866,25	3258,75	0,01	1,0	1,0	6

Таблиця 3.5

Гідравлічний розрахунок теплопроводів для котельні

За схемою трубопроводу			Попередні розрахунки								Кінцеві розрахунки					
№ діл.	Q_i , <i>Вт</i>	l_i , <i>м</i>	d_i , <i>мм</i>	d_i , <i>мм</i>	ω_i , <i>м/с</i>	R	$R \cdot l$, <i>Па</i>	$\sum \xi_i$	Z , <i>Па</i>	$R \cdot l + Z$	d , <i>мм</i>	ω , <i>м/с</i>	R	$R \cdot l$, <i>Па</i>	Z , <i>Па</i>	$R \cdot l + Z$
0-1	87448,9	30	231,82	25	0,15	8	240	1	199	439	25	0,15	8	240	199	439
1-2	83195,6	5,2	221,76	25	0,15	7,9	41,1	3	199	240,1	20	0,15	25	130	322	452
2-3	79578,4	5,2	211,68	25	0,105	7,5	39	3	199	238	20	0,15	25	130	322	452
3-4	75961,2	5,2	201,6	25	0,1	6,5	33,8	3	176	208,3	20	0,11	20	104	322	426
4-5	72344	5,2	191,52	25	0,065	5,5	28,6	3	162,5	191,1	20	0,1	18	93,6	309	402,6
5-6	68726,8	5,2	181,94	25	0,06	5	26	3	157	183	20	0,1	18	93,6	309	402,6
6-7	65109,6	5,2	171,36	25	0,05	5	26	3	157	183	20	0,05	16	83,2	289	372,2

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
					Дослідницький розділ	Літ.	Арк.
Студент		Мешенко О.С.					Аркушів
Керівник		Коновалов Д.В.					
Консульт.						НУК	

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

Дослідження систем хімічного очищення води

4.1. Загальні відомості про властивості води

Надійна та економічна робота котельної установки у визначній мірі залежить від якості води, що використовується для живлення водогрійних котлів. Якість живильної води повинна відповідати нормам ДСТУ EN 12953-10:2022.

Джерелом водопостачання при живленні котлів можуть бути ставки, річки, озера, ґрунтові або артезіанські води, а також водопровід. Такі природні води завжди містять різні домішки, які надають воді певні властивості, що мають велике значення для роботи котлів.

Всі домішки природних вод можуть бути розділені в основному на дві групи: 1- нерозчинні, або механічні (мул, пісок, глина та ін.); 2 - розчинні речовини. До останніх відносяться гази (C_2 , O_2 , повітря); важкорозчинні мінеральні речовини (солі кальцію та магнію); легкорозчинні – сода (Na_2CO_3), сірчаноокислий кальцій ($CaSO_4$), хлористий кальцій ($CaCl_2$), і ін.; продукти забруднення водного джерела стічними водами промислових підприємств і населених пунктів – аміак, сірководень, хлор, органічні сполуки (феноли, крезоли) та інше.

Залежно від складу та кількості домішок у воді змінюються її властивості.

Найбільш істотною частиною домішок є важкорозчинні речовини, що складаються в основному із солей кальцію та магнію. Ці сполуки є накипоутворюючими та надають воді жорсткість. Жорсткість - важливий показник якості води, який визначає утворення накипу в котлах.

За одиницю виміру жорсткості прийняті міліграм-еквівалент на літр (мг-екв/л) і мікрограм - еквівалент на літр (мкг-екв/л). 1 мг-екв/л жорсткості відповідає змісту 20,04 мг/л іони кальцію Ca^{2+} або 12,16 іони Mg^{2+} .

Важливими показниками якості води є також кислотність, лужність і сухий залишок [10].

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Кислотність води обумовлюється наявністю вільних мінеральних і органічних кислот. Вона оцінюється по величині показника концентрації іона водню (рН). Для нейтральної води рН=7; якщо рН<7 - реакція кисла, а при рН>7 - реакція лужна. Для більшості природних вод рН=6,5...7.

Лужність води характеризується змістом у ній бікарбонатних, карбонатних і гідроксильних іонів у сполученні з катіонами Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} . Одиниця її вміру в мг-екв/л.

До показників якості води належить і її солевміст, тобто сумарна концентрація солей у воді, підрахована по іонному вмісту.

Сухий залишок характеризує загальний вміст у воді мінеральних і органічних речовин і виражається в мг/л. Величина сухого залишку є одним із критеріїв придатності води для живлення котлів.

Наявність різних домішок у природній воді викликають накипоутворення, корозію та відкладення солей, тому для забезпечення нормального режиму роботи випарних поверхонь нагрівання, захисту їх від корозії, живильна вода повинна задовольняти відповідним нормам ДСТУ EN 12953-10:2022.

У даній установці на потреби гарячого водопостачання та підживлення надходить вода з існуючого господарсько-питного водопроводу котельні, що відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10.

До питної води пред'являються особливі вимоги відносно смаку, кольору. Загальне число мікроорганізмів в 1 моль питної води повинне бути не вище 100, число бактерій групи кишкових паличок (Коло-індекс) - не більше 3.

Вміст домішок, які впливають на органолептичні властивості води (смак, кольори, запах) і зустрічаються в природній воді або додаються до води при її переробці, не повинне перевищувати, мг/л:

- залізо (Fe^{+2} , Fe^{+3}) - 0,3;
- марганець (Mn^{+2}) - 0,1;
- мідь (Cu^{+2}) - 1,0;
- цинк (Zn^{+2}) - 5,0;
- поліфосфати (PO_4^{-3}) - 3,5;

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- сульфати (SO_4^{-2}) - 500,0;

- хлориди (Cl^-) - 350,0.

Загальна жорсткість питної води повинна бути не вище 7 мг-екв/л, сухий залишок - 1000 мг/л, рН - від 6,0-9,0.

Вимоги до якості підживленої води прийняті за ДСТУ EN 12953-10:2022 (розділ Вимоги до якості живильної та котлової води).

Таблиця 4.1

Норми якості мережний і живильній води водогрійних котлів

Показник	Система теплопостачання					
	відкрита			закрита		
	температура мережної води, ° С					
	115	150	200	115	150	200
Прозорість за шрифтом, см, не менш	40	40	40	30	30	30
Карбонатна жорсткість, мкг-екв/кг	800	750	375	800	750	375
при рН не більше 8,5	700	600	300	700	600	300
при рН більше 8,5	Не допускається			З розрахунку		
Зміст розчиненого кисню, мкг/кг	50	30	20	50	30	20
Зміст сполук заліза (у перерахуванні на Fe), мкг/кг	300	300	250	600	500	375
		250	200	500	400	300
Значення рН при 25° С	від 7 до 8,5			від 7,0 до 11,0		
Зміст нафтопродуктів, мг/кг	1,0					

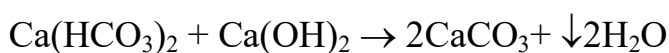
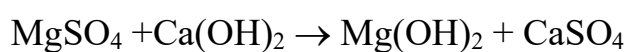
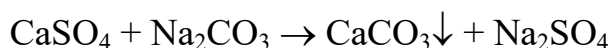
4.2. Вибір методу обробки води

Водопідготовка – це комплекс технологічних процесів обробки й очищення води для приведення її якості у відповідність вимогам споживачів.

Хімічна підготовка води для живлення водогрійних котлів включає декілька етапів:

1- попереднє очищення води від механічних домішок методом осадження, що дозволяє видалити велику частину домішок, що знаходяться в грубодисперсному або колоїдному стані. На цій стадії для обробки води застосовуються відстійники, освітлювачі й механічні фільтри. Для поліпшення процесів осадження й освітлення оброблюваної води застосовують коагуляцію.

2- реагентне пом'якшення (первинне), коли з води видаляють основну масу солей тимчасової (карбонатної) і постійної (некарбонатної) жорсткості.



В процесі реагентного пом'якшення води утворюються завислі речовини, що складаються в основному з нерозчинних сполук солей жорсткості, що випадають в осад. Для видалення цих речовин застосовують освітлювачі й механічні фільтри.

Реагентним методом можна знизити загальну жорсткість води до 0,4...0,8 мг-екв/л. Чим вище температура води, яку обробляють, тим нижчу жорсткість води можна отримати цим методом.

3 - іонний обмін, коли видаляють частину солей жорсткості, що залишилися і, якщо потрібно, повне або часткове знесолювання води. Норми якості води для живлення котлів, особливо високого і надвисокого тиску, вимагають практично повного її знесолювання. В таких випадках необхідно застосовувати іонообмінні процеси Н- ОН-аніонування.

На попередньому етапі підготовки води виділяють такі найбільш характерні процеси:

- освітлення – зменшення каламутності, видалення колоїдних і завислих часток;
- знебарвлення – зменшення кольоровості;
- дезодорація – зменшення інтенсивності запаху та присмаку;

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- знезараження – знищення бактерій і вірусів, які містяться у воді;
- знезалізнення зменшення концентрації заліза (може також відноситися і до другого етапу очищення).

На заключному етапі хімічної обробки води використовують такі процеси:

- пом'якшення – видалення солей кальцію та магнію, що зумовлюють жорсткість;
- знесолення – видалення з води розчинених солей;
- дегазація – видалення з води газів, у першу чергу, кисню та вільної вуглекислоти;
- стабілізаційна обробка води – хімічна обробка з метою зменшення корозійних властивостей води та запобігання випадінню солей.

Оскільки джерелом для потреб гарячого водопостачання та підживлення надходить вода з існуючого господарсько-питного водопроводу то нема потреби проводити перший етап обробки води. З метою видалення з води речовин, що утворюють накип, буде проводитись її пом'якшення перед подачею у котел.

4.3. Методи усунення жорсткості води

4.3.1. Загальні відомості про жорсткість води

Іони Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Fe^{+3} спричиняються жорсткість природних вод. Тому що концентрація Fe^{+2} й Fe^{+3} у воді незначна, те загальна жорсткість природних вод характеризується сумою іонів Ca^{+2} і Mg^{+2} . Гідрокарбонати кальцію й магнію ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) і їхні карбонати (CaCO_3 , MgCO_3) визначають карбонатну жорсткість. При нагріванні гідрокарбонати розкладаються на CaCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$ з виділенням CO_2 .



Розчинність карбонатів кальцію й магнію значно менше, ніж гідрокарбонатів, тому при нагріванні жорсткість води знижується. Жорсткість води, обумовлена гідрокарбонатами кальцію й магнію, називається тимчасовою. Різниця між ка-

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

рбонатною й тимчасовою жорсткістю називається залишковою жорсткістю і обумовлена карбонатами, що залишилися в розчині.

Підвищена жорсткість води сприяє посиленому утворенню накипу в парових котлів, що значно знижує інтенсивність теплообміну, приводить до великої перевитрати палива й перегріву металевих поверхонь. Жорсткість води збільшує витрату мила при пранні, оскільки частина його утворює із катіонами Ca^{+2} , Mg^{+2} нерозчинний осад.

Для усунення або зменшення жорсткості води застосовують спеціальні методи, які поділяють на фізичні, хімічні й фізико-хімічні.

4.3.2. Фізичні методи пом'якшення води

Фізичні способи передбачають термічну обробку води, дистиляцію або заморожування. Нагріваючи до $120\ldots 200^{\circ}\text{C}$ дуже жорстку воду, наприклад, із загальною жорсткістю 17 мг-екв/л, і змушуючи карбонат кальцію випадати в осад, можна знизити як карбонатну, так і загальну жорсткість в 620...3700 разів. Техніко-економічні проблеми, які при цьому треба вирішувати:

- дешеве тепло;
- швидка кристалізація карбонату кальцію бажано в об'ємі розчину;
- фільтрація осаду;
- очищення поверхонь устаткування для термічного пом'якшення води від карбонату кальцію.

Ці способи дозволяють видалити із води майже всі солі, проте потребують великої витрати енергії.

4.3.3. Хімічні методи пом'якшення води

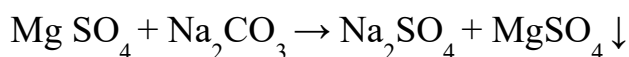
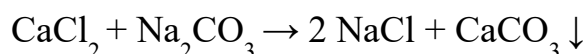
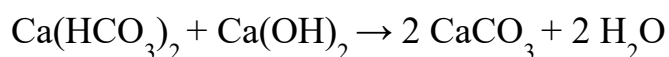
Хімічні способи пом'якшення води полягають в обробці її розчинами хімічних сполук (реагентне пом'якшення). Критеріями вибору конкретного методу

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

очищення розчину є загальна жорсткість вихідної води, вартість і доступність осаджувальних реагентів, можливість використання коагулянтів або флокулянтів.

Найбільше промислове застосування з хімічних методів отримали вапняно-содовий і фосфатний способи зм'якшення.

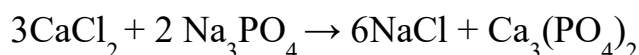
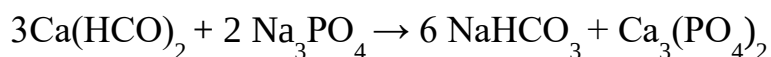
Вапняно-содовий спосіб полягає в обробці води спочатку вапняним молоком, а потім содою. При цьому кальцієві солі перетворюються в нерозчинний карбонат кальцію, магнієві - у гідроксид і карбонат магнію:



На рис. 4.1 представлена схема вапняно-содового способу пом'якшення води. Вода через водороспилювач 1 подається до сатуратора 3, куди додається гашене вапно, а потім у змішувач 4. У змішувач із дозатора 2 поступає також розчин соди, і потік води, що очищається, з реагентами йде в конічну трубу - реакційну камеру 5. З реакційної камери вода попадає у відстійник 6, де відбувається відділення нерозчинного осаду - шлам, що віддаляється з нижньої частини відстійника. Пом'якшена вода проходить фільтр 7, розташований у верхній частині відстійника, і через кільцевий жолоб 8 виділяється в збірні резервуари й потім - до споживачів.

Вапняно-содовий спосіб є найбільш поширеним і дешевим, але при ньому досягається лише порівняно грубе пом'якшення води (приблизно до 0,3 мг-екв/л).

Фосфатний спосіб полягає в обробці води фосфатом натрію:



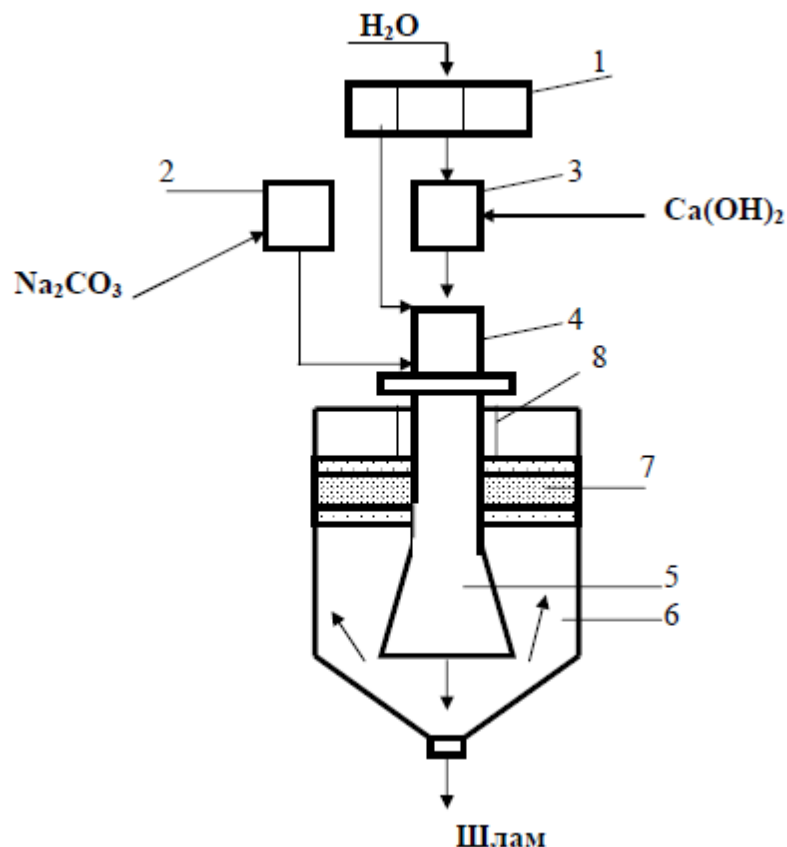


Рис.4.1 Схема вапняно-содового способу пом'якшення води

Розчинність фосфатів кальцію й магнію у воді дуже мала, що визначає високу ефективність фосфатного способу (зміст солей знижується приблизно до 0,03 мг-екв/л). Фосфатний спосіб - досить дорогий спосіб пом'якшення, тому застосовується головним чином у комбінованих схемах, у яких основна маса солей видаляється з води лужним молоком або содою, а остаточне пом'якшення здійснюється за допомогою фосфатів.

4.4. Фізико - хімічні методи пом'якшення води

4.4.1. Безреагентна (магнітна) водопідготовка

Безреагентна водопідготовка, або магнітна обробка води, або магнітогідродинамічний резонанс відомий ще з 1936 року. Цей метод запобігання відкладень накипу на теплообмінних поверхнях без нагрівання не пом'якшує воду в тому ро-

зумінні, що не знижує її карбонатну й загальну твердість. Але оскільки пом'якшення води не є самоціллю й метод МГД - резонансу вирішує головне завдання пом'якшення - запобігання карбонатних відкладень - про нього не варто забувати. Головні переваги перед відомими методами пом'якшення води - дешевина й простота в експлуатації. МГД - резонатор треба тільки змонтувати й налагодити. Він не вимагає ніяких експлуатаційних витрат. Механізм запобігання накипоутворення на теплообмінних поверхнях за допомогою магнітогідродинамічного резонансу зводиться до ініціювання у воді структурної перебудови, фазового переходу другого роду. У результаті карбонат кальцію, що звичайно кристалізується в кристалографічній модифікації кальцит, починає кристалізуватися в модифікації арагоніт. Арагоніт не відкладається на теплообмінних поверхнях. Більше того, якщо відкладення кальциту промивати «омагніченою водою», він переходить в арагоніт, відкладення розпушуються, відшаровуються від поверхні й несуться потоком води

4.4.2. Фільтрування або зворотний осмос

Використання для очищення води осмосу або фільтрування через пористу перегородку з розміром пор порядку молекули почалося в 60-х роках ХХ століття. Особливо перспективним саме для очищення води виявився зворотний осмос. Однак широке застосування цієї технології стало можливим відносно недавно завдяки вдосконалюванню процесу, конструкції апаратів і різкому зниженню собівартості зворотноосмотичних мембран. У світі щорічно встановлюються десятки тисяч таких систем.

Осмосом називається мимовільний перехід речовини через напівпроникну мембрану, що розділяє два розчини з різною концентрацією або розчин і чистий розчинник. У загальному випадку розчинена речовина з розчину з високою концентрацією намагається перейти в розчин з низькою концентрацією. Якщо підвищити тиск у розчині з низькою концентрацією, то потік розчиненої речовини при-

пиниться. Різниця тисків, що припиняє рух речовини (фільтрацію) через мембрану, називається осмотичним тиском.

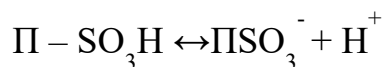
Якщо розчин, що очищає воду, подати під тиском 3...8 МПа на напівпроникну мембрану, то вода профільтрується через пори, а розчинена речовина залишиться. Ефективність зворотного осмосу оцінюють по селективності мембрани - здатності втримувати іони й молекули різного розміру, а також по питомій продуктивності одиниці поверхні. Сьогодні синтезовані полімерні мембрани із широким діапазоном розмірів пор і високою механічною міцністю. Так, комплектація мембранного апарата набором мембран зі зменшуваним по ходу руху рідини розміром пор забезпечує отримання з багатокомпонентного розчину органічних і неорганічних сполук особливо чисту воду.

Після очищення води зворотноосмотичним методом вільний хлор, механічні частки, смаки й запахи, токсичні органічні речовини, важкі метали, одноклітинні мікроорганізми віддаляються на 96...100 %. Недоліком зворотного осмосу як одного з методів пом'якшення питної води є занадто глибоке очищення від карбонатної й загальної лужності та висока вартість мембран, які залежно від якості води можна замінювати один раз на рік.

4.5. Іонообмінні способи

З фізико-хімічних способів найбільш широке застосування знаходять іонообмінні способи, засновані на властивості деяких важкорозчинних твердих речовин обмінювати свої іони на іони солей, розчинених у воді.

Іонообмінні смоли - полімерні матеріали, що містять іоногені групи, здатні до обміну іонів при контакті з розчинами електролітів. Іоногені групи закріплені на молекулярному каркасі (матриці) і дисоціюють, даючи полііони (фіксовані іони) і рухливі протиіони, що компенсують заряди полііонів:



За знаком протиіону розрізняють відповідно катіоніти (полікіслоти), аніоніти (поліоснови) і поліамфоліти (амфотерні іоніти, здатні здійснювати як катіонний, так й аніонний обмін).

Катіоніти, що містять рухливі катіони натрію або водню, називаються Na-катіонітами й H-катіонітами відповідно. Аніоніти, що вміщують рухливу гідроксильну групу, OH-аніонітами.

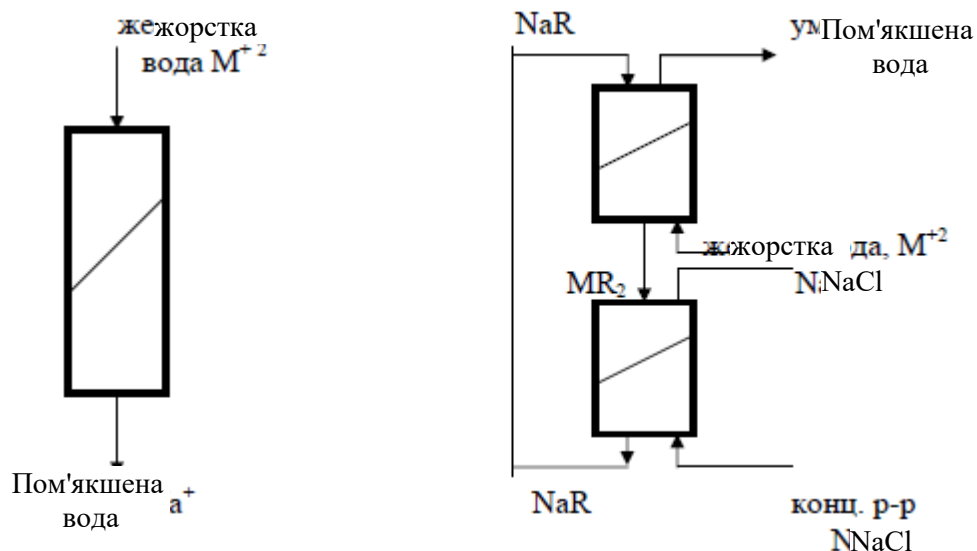


Рис.4.2 Схема іонообмінного пом'якшення води (M-Ca, Mg) на нерухомому шарі сорбенту (а) і в протитоку (б) із шарами сорбенту (Na, MR₂), що рухаються, і потоками розчинів (пом'якшена вода й розчин NaCl, що регенерує)

Методи іонного обміну:

- Na-катіонування. Цей метод обробки води заснований на її пропусканні через Na-форму катіоніта, який попередньо регенерується повареною сіллю.
- H- катіонування. Метод H- катіонування заснований на пропуску води через катіоніт, регенерований кислотою. У процесі фільтрування катіони, що знаходяться в оброблюваній воді, обмінюються на іони водню, що знаходяться в катіоніті.
- Na-H- катіонування. Всі технологічні схеми Na-H- катіонування води (паралельна і послідовна) мають на меті пом'якшити воду й одночасно знизити її лужність і солевміст, а також видалити вуглекислоту, що утвориться. Вільна вугле-

кислота, що утворилася при нейтралізації й у процесі Н-катіонування, видаляється в декарбонізаторі.

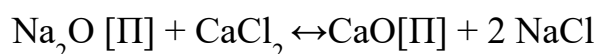
- Н- катіонування з «голодною» регенерацією фільтрів. При звичайному Н- катіонуванні регенерація проводиться з питомою витратою кислоти, в 2...2,5 рази більше теоретично необхідного. При «голодній» регенерації фільтра питома витрата кислоти дорівнює його теоретичній питомій витраті, тобто переводяться в Н-форму тільки верхні шари, а нижні шари залишаються в сольових формах і містять катіони кальцію, магнію й натрію.

- NH_4 -катіонування. При NH_4 - катіонування оброблювана вода фільтрується через шар катіоніта, регенерованого солями амонію. У фільтраті утворюються солі амонію, при нагріванні води в котлі солі амонію розкладаються. Аміак і вуглекислота, що утворюються при розкладанні бікарбонату амонію, несуться паром, а в котловій воді залишаються соляна й сірчана кислоти.

- Na-Cl-іонування. Cl- іонування здійснюється після попереднього Na- катіонування. При пропуску Na- катіонованої води через сильноосновний аніоніт в Cl-формі протікають реакції обміну аніонів на іони хлору.

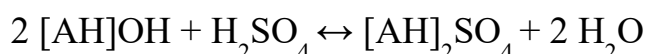
У якості Na-катіонітів застосовуються алюмосилікати: глауконцій, цеоліт, пермутит й ін. У якості Н-катіонітів застосовуються сульфіроване вугілля й інші речовини, до ОН-аніонітів відносяться штучні смоли складної сполуки, наприклад карбамідні.

Катіонний обмін з використанням алюмосилікату сполуки $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n \cdot \text{H}_2\text{O}$ протікає за рівнянням:



де П - частина молекули, яка не бере участі в обміні.

Аніонний обмін можна представити у вигляді:



Більшість іонообмінних процесів проводиться в динамічних умовах - пропусканням розчину через нерухомий шар сорбенту, в періодичних процесах або протиточним рухом розчину й сорбенту в безперервних процесах.

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Процес пом'якшення води на катіонітових фільтрах складається з наступних послідовних операцій:

- фільтрування води через шар катіоніта до моменту досягнення граничної жорсткості, що допускається, у фільтраті (швидкість фільтрування в межах $10...25\text{ м}^3/\text{год}$);
- розпушення шару катіоніта висхідним потоком пом'якшеної води, відпрацьованого регенерату або відмивних вод (інтенсивність потоку $3...4\text{ л/см}^2$);
- спуски водяної подушки щоб уникнути розведення розчину, що регенерує;
- регенерації катіоніта за допомогою фільтрування відповідного розчину (швидкість фільтрування $8...10\text{ м}^3/\text{год}$).

При проходженні води через шар катіоніта відбувається її пом'якшення, що закінчується на деякій глибині. Шар катіоніта, пом'якшуючий воду, називають працюючим шаром або зоною пом'якшення. При подальшому фільтруванні води верхні шари катіоніта виснажуються й втрачають обмінну здатність. В іонний обмін вступають нижні шари катіоніта й зона пом'якшення поступово опускається. Через якийсь час спостерігаються три зони: працюючого, виснаженого й свіжого катіоніта. Жорсткість фільтрату буде постійної до моменту сполучення нижньої границі зони зм'якшення з нижнім шаром катіоніта. У момент сполучення починається «проскакування» катіонів Ca^{+2} і Mg^{+2} і збільшення залишкової жорсткості, поки вона не стане рівної жорсткості вихідної води, що свідчить про повне виснаження катіоніта.

По вичерпанні робочої обмінної здатності катіоніта його піддають регенерації, тобто відновленню обмінної ємності виснаженого іонообмінника.

Катіоніти регенерують промиванням розчином NaCl або кислотою. Для регенерації аніоніту його промивають лугом. На регенерацію звичайно затрачають близько 2г, з них на розпушення - $10...15\text{ хв}$, на фільтрування розчину, що регенерує, - $25...40\text{ хв}$, на відмивання - $30...60\text{ хв}$.

На практиці обмежуються однократним пропуском солі при жорсткості пом'якшеної води до $0,20\text{ мг-екв/л}$ або дворазовим - при жорсткості нижче $0,05\text{ мг-екв/л}$.

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

4.6. Характеристики катіонітів

Іонообмінні смоли поділяють на гетеропористі, макропористі й ізопористі.

Гетеропористі смоли на дивінілбензоловій основі характеризуються гетерогенним характером гелевидної структури й невеликих розмірів пор.

Макропористі мають губчасту структуру й пори понад молекулярний розмір. Ізопористі мають однорідну структуру й повністю складаються зі смоли, тому їхня обмінна здатність вище, ніж у попередніх смол.

Якість катіонітів характеризується фізичними властивостями, хімічною й термічною стійкістю, робочою обмінною ємністю й ін. Фізичні властивості катіонітів залежать від їхньої фракційної сполуки, механічної міцності й насипної щільності (набухаємості). Фракційний (або зерновий) склад характеризує експлуатаційні властивості катіонітів. Він визначається ситовим аналізом. При цьому враховуються середній розмір зерен, ступінь однорідності й кількість пилоподібних часток, непридатних до використання.

Дрібнозернистий катіоніт володіє більш розвиненою поверхнею, тому має трохи більшу обмінну ємність, чим великозернистий. Однак зі зменшенням зерен катіоніта гідравлічний опір і витрата електроенергії на фільтрування води збільшуються. Оптимальні розміри зерен катіоніта, виходячи із цих міркувань, приймають у межах 0,3...1,5 мм. Рекомендується застосовувати катіоніти з коефіцієнтом неоднорідності $K_n = 2$.

4.6.1. Сильнокислий катіоніт

Сильнокислий катіоніт регенерується сірчаною кислотою (можна використати й соляну кислоту). Коли жорстка вода проходить через апарат, наповнений сильнокислим катіонітом, водневий іон — протон, що є рухливим протиіоном у цьому виді смоли, заміщається на Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} або Fe^{3+} й інші катіони, які можуть бути присутнім у воді. Аніони, які присутні в пом'якшуваній воді, із цим типом смоли не обмінюються й залишаються в розчині.

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Протон (H^+), потрапляючи у воду, надає їй кислу, що досягає 2,0–3,0 одиниць рН. Тому, апарат, наповнений сильнокислим катіонітом, сполучний трубопровод, ємності й запірну арматури гумують, тобто покривають антикорозійним шаром гуми. В обмінних процесах відіграють роль два фактори:

- концентрація іона, що обмінюється, як з боку розчину, так і з боку смоли;
- здатність до обміну іона, що присутній в пом'якшуваній воді.

За здатністю до обміну із сильно кислим катіонітом можна розмістити катіони в наступній послідовності: 1- водень; 2- кальцій; 3- магній; 4- калій; 5- натрій.

У принципі, проглядається закономірність - чим більше радіус іона, тим вище його здатність до обміну із протоном смоли. Якщо у жорсткій воді одночасно присутні перераховані вище іони в однакових концентраціях, то в першу чергу з рухливим протиіоном H^+ свіжореґенованого сильного катіоніту почне обмінюватися Ca^{2+} , причому кожен іон кальцію замінить у катіоніті два іони водню. Якщо концентрація Ca^{2+} знизиться до деякої граничної межі, наступить черга Mg^{2+} й якийсь період ці іони будуть обмінюватися із протоном смоли разом.

Як правило, іонообмінні апарати являють собою вертикальний циліндр, заповнений смолою. Вода на пом'якшення надходить у верхню частину апарата, обмиваючи шари смоли й поступово звільняючись від іонів жорсткості. Якщо відбирати проби води по висоті «зверху вниз» іонообмінного апарата, заповненого сильнокислим катіонітом, то спостерігається поступове зменшення у воді концентрації Ca^{2+} , потім Mg^{2+} і так далі відповідно до вищенаведеного ряду. Але при цьому в розчині увесь час збільшувалася б кислотність або, що теж саме, знижувався рН. З вищесказаного випливає й метод контролю «спрацювання» смоли в іонообмінному апараті. Як тільки у воді на виході з апарата з'являться іони твердості або припиниться зниження рН, його треба перемикати в режим реґенерації смоли. Внаслідок особливостей буферності води з карбонатною твердістю рН води на виході з іонообмінного апарата може й не досягати мінімальних значень 3 або 2. У воді з карбонатною твердістю критерієм закінчення процесу обміну рухливих протонів смоли служить $pH = 4,3$ або зміна фарбування індикаторів: бром-

фенолового синього із синьої на жовту; метилового жовтогарячого з жовтого на червону; бромкрезолового зеленого із синьої на жовту.

Не можна допускати повного виснаження обмінної ємності сильнокислого катіоніта, тому що тоді буде потрібно його подвійна по тривалості регенерація, а також через те, що в котлах високого тиску зовсім неприпустиме влучення солей твердості через втрату контролю над якістю зм'якшення живильної води.

При проєктуванні технологічної лінії по глибокому пом'якшенню води продуктивність установки розраховують виходячи з обмінної ємності аніонообмінній смоли. І цьому є дві причини: 1 - обмінна ємність аніонітів помітно нижче, ніж обмінна ємність катіонітів. Ця проблема в принципі вирішується збільшенням об'єму й відповідно розміру завантаження аніонообмінного апарата, але таке рішення можливо тільки у вузьких межах; 2 - неприпустиме потрапляння в котел високого тиску кремнієвих кислот, очищення від яких забезпечують аніоніти. Хоча влучення в котел кремнієвих кислот менш критично, чим влучення солей жорсткості, краще свідомо закласти в проєкт «резерв» по продуктивності установки глибокого пом'якшення води, чим поставити під загрозу надійність роботи котлів високого тиску.

4.6.2. Зниження лужності

Однією з неприємних складових води, яка використовується для підживлення котлів, є лужність. Під загальною лужністю води розуміють суму концентрацій іонів CO_3^{2-} , HCO_3^- і OH^- , тобто всього того, що реагує із сильною кислотою, а точніше з H^+ .

Особливі складності доставляє карбонатна складова або карбонатна жорсткість. Як тільки сира вода в технологічній схемі пом'якшення пройшла через стадію катіонування, Ca^{2+} або Mg^{2+} обмінюються на H^+ , і в потоці води з'являється слабкодисоціюючі карбонат, гідрокарбонат-іони й вугільна кислота H_2CO_3 . Ця кислота дуже нестійка. Вона дуже швидко розкладається на двоокис вуглецю (CO_2) і воду. Тому в багатьох технологічних схемах глибокого пом'якшення

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

включається декарбонізатор. Його розміщують після іонообмінних апаратів, заповнених катіонітом.

Декарбонізатор являє собою ємність, заповнену насадкою або кільцями Рашига на підтримуючій решітці. Потік повітря від вентилятора, проходячи через насадку, піднімається у верхню частину ємності - декарбонізатор. Разом з ним з потоку води після апарата із сильноокислим катіонітом виноситься й двоокис вуглецю. Вода після декарбонізатора звичайно містить 0,2 мг екв/л CO_2 . Декарбонізацію кислого потоку можна також здійснити, пропускаючи кислий розчин через сильноосновний аніоніт, що регенерується каустиком.

4.6.3 Слабокислий катіоніт

Деякі типи води з високою загальною й карбонатною жорсткістю доцільно обробити спочатку слабоокислим катіонітом. Він видалить Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , а іон водню, що виділився при цьому, переведе присутній у воді карбонат-іон у гідрокарбонатіон, тобто в HCO_3^- . Через те, що більшість промислових джерел водопостачання містять певну кількість некарбонатної жорсткості (CaSO_4 , CaCl_2 і т.д.), необхідно слідом за апаратом зі слабоокислим катіонітом розміщувати апарат із сильноокислим катіонітом, щоб досягти повного видалення загальної жорсткості.

Слабокислий і сильноокислий катіоніти можна розміщувати в різних іонообмінних апаратах, але можна і як два окремих шари в одному апараті. Ефективність регенерації слабокислого катіоніту дуже висока в порівнянні з регенерацією сильноокислого катіоніта. Отже, з'являється можливість використати потік після регенерації сильного катіоніта для регенерації слабого.

При розміщенні слабокислого й сильноокислого катіоніта в одній ємності, останній розміщують у нижній частині апарата, оскільки питома вага в нього вище, ніж у слабокислого. Це буде перешкоджати змішуванню шарів при зворотному промиванні й розпушенні. Звичайно, слабокислий катіоніт у процесі обміну виділяє 40...60 % кислоти (H^+) за один цикл.

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Двошарове заповнення слабким і сильним катіонітом не застосовується в котлах високого тиску через присутність натрію в потоці, якщо регенерацію одного з катіонітів ведуть розчином хлориду натрію.

При регенерації слабокислого катіоніта сірчаною кислотою необхідно строго контролювати концентрацію сірчаної кислоти (H_2SO_4) і стежити за тим, щоб вона не перевищила 0,7 %. Більше висока концентрація сірчаної кислоти приведе до витиснення Ca^{2+} зі смоли, що викличе кристалізацію й осадження сульфату кальцію — гіпсу (CaSO_4). Гіпс не розчиняється в багатьох концентрованих кислотах. Видаляти його зі смоли прийдеться тільки механічно. Осадження гіпсу неприйнятно, тому що це підвищує гідравлічний опір устаткування.

4.6.4. Сильноосновний аніоніт

Призначенням сильноосновного аніоніту є видалення слабодисоціюючих кислот: кремнієвих (H_2Si_3 й H_4Si_4) і вугільної (H_2CO_3). Крім того, сильноосновний аніоніт видаляє аніони сильних кислот у потоці, що виходить із катіонообмінних апаратів: сульфати (SO_4^{2+}), хлориди Cl^- і інші аніони.

Рухливим противоіоном сильноосновного аніоніту є OH^- , що при регенерації витягається аніонітом з каустику (NaOH). У робочому циклі гідроксильний іон OH^- , витісняючись із аніоніту кремнієвими або вугільними кислотами й нейтралізуючись у потоці після катіонообмінних апаратів водневим іоном, утворить воду. Електропровідність води забезпечують катіони й аніони. У чистій воді концентрація їх як продуктів дисоціації води всього 0,0000001 моль/л. Як наслідок, електропровідність води, що виходить з апарата, заповненого сильноосновним аніонітом, дуже низька - близько 1,9 мікросименс. Саме тому будь-які перегони електропровідності будуть свідчити про проскоках катіонів в апаратах.

Сильноосновні аніоніти характеризуються двома обмінними ємностями: сольовою і загальною. Сольова ємність визначається здатністю видаляти вугільну й кремінні кислоти. Загальна ємність є сумою сольової обмінної ємності аніоніту і його обмінною ємністю стосовно SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- і іншим аніонам.

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Вода багатьох джерел містить органіку. Сильноосновні аніони адсорбують з води органічні забруднення. Поверхневі води відомі своєю схильністю містити залізо-органічні сполуки, які проскакують через катіоніт, тому що залізо в них утримується не в іонній формі. Коли вони досягають аніоніту, аніонообмінна смола адсорбує залізо-органічний комплекс. Він не віддається в процесі регенерації, але займає місце, що звичайно займають інші іони. Кінцевий результат - зменшення обмінної ємності аніоніту.

Аніони адсорбують також інші форми органіки в процесі регенерації. Адсорбована органіка не тільки посідає обмінні місця, але також реагує зі смолою, міняючи її властивості. Така видозміна проявляється в зниженні сольової ємності сильнокислих аніонітів. Тобто аніоніт починає втрачати здатність видаляти кремнієві й вугільну кислоти, але демонструє збільшення обмінної ємності при видаленні аніонів сильних кислот.

Кінцевим результатом у системі водопідготовки для котлів високого тиску буде постійне скорочення пробігу між регенераціями, тому що концентрація кремнієвих кислот у потоці, що впливає із сильноосновного аніоніту, є головним контрольованим параметром. Аніонообмінна смола може також затримувати мікробіологічні забруднення. Добре ростуть на аніоніті гриби. Обробка розчином формальдегіду — один з методів стерилізації аніонітової ділянки технологічної схеми.

4.6.5. Слабоосновний аніоніт

Слабоосновний аніоніт не може видаляти іони слабодисоціюючих кислот - кремнієвих і вугільної. Однак він має високу обмінну ємність стосовно аніонів сильних кислот: SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- і т.д. Слабоосновний аніоніт може замінити сильноосновний у технологічних схемах, що включають декарбонізатор, а також у тих випадках, коли зміст кремнієвих кислот не грає вирішальної ролі.

Можливо спільне використання двох аніонітів - слабоосновного й сильноосновного, в одному апараті. Такий варіант рекомендується в технологічних схе-

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

мах, де після вузла катіонування відсутній декарбонізатор. У цьому випадку слабоосновний аніоніт завантажують поверх сильноосновного аніоніту. Протягом робочого циклу варто слідкувати, щоб у процесі зворотного промивання ці дві смоли не змішалися. Наприкінці робочого циклу питома вага слабоосновного й сильноосновного аніоніту майже однакова, але після регенерації відчутне відрізняється. Саме тому слабоосновний аніоніт варто розміщати зверху - над сильноосновним. У технологічному плані перевагами такого розміщення є: по-перше, потік від катіонітового блоку попадає спочатку на аніоніт з великою обмінною ємністю; по-друге, слабоосновні смоли також як і сильноосновний аніоніт поглинають органікові, але органіка, поглинена ними, віддаляється вже при звичайній регенерації. Це допомагає захищати сильноосновну смолу від незворотного органічного забруднення.

4.6.6. Характеристики катіонообмінників

Серед сильноокислотних катіонообмінників вітчизняного виробництва, рекомендованих до застосування для господарсько-питного водопостачання, можна виділити **КУ-2-8чс**. Одержують його сульфіванієм гранульованого сополімеру стиролу з 8% дивінілбензола. КУ-2-8чс за структурою й властивостями близький до закордонних сульфокатіонітів особого ступеня чистоти: амберлайту IRN-77 (США), зероліту 325 NG (Англія), дауексу HCR-S-H (США), дуолайту ARC-351 (Франція), вофатиту RH (Німеччина). По зовнішньому вигляду - сферичні зерна від жовтого до коричневих кольорів, розміром 0,4-1,25 мм, питомий об'єм не більше 2,7 см³/г. Повна статична обмінна ємність не менш 1,8 г-екв/л хв, динамічна обмінна ємність із повною регенерацією не менш 1,6 г-екв/л.

Широке застосування знайшли сильноокислотні катіоніти фірми Пьюролайт: С100, 3100Е, 3120Е (аналоги вітчизняних смол КУ-2-8, КУ-2-8чс). Застосовується іонообмінна смола фірми Пьюролайт С100Е Аg (обмінна ємність 1,9 г-екв/л, насипна маса 800-840 г/л), що представляє собою срібловмістний катіоніт для пом'якшення води, що володіє бактерицидною дією.

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Існує вітчизняний аналог КУ-23С - макропористий катіоніт бактерицидної дії (статична обмінна ємність 1,25 м-екв/л, насипна маса 830...930 г/л).

Для пом'якшення питної води як у промисловості, так й у побуті застосовується катіоніт Пьюрофайн С100ЕФ, який має ряд переваг у порівнянні із загальноприйнятими смолами для пом'якшення води. Володіє набагато більшою робочою ємністю при звичайних швидкостях потоку, підвищеною робочою ємністю при високих швидкостях потоку, при перемінному й переривчастому потоці. Мінімальна загальна обмінна ємність 2,0 г-екв/л. Особливість катіоніта С100ЕФ полягає в тому, що він вимагає меншого об'єму й кількості регенеранта (NaCl).

Сильнокислотний катіоніт IONAC/3 249 застосовується для зм'якшення води побутового й муніципального застосування. Обмінна ємність 1,9 м-екв/л.

Використання вказаних смол при пом'якшенні води натрій - катіонітовим методом в одноступеневому процесі дозволяє знизити жорсткість води до 0,05...0,1 мг-екв/л, і до 0,01 мг-екв/л при двоступінчастому.

4.7. Витрати на демінералізацію й регенерацію

Початкові витрати на установку глибокого пом'якшення досить високі. В процесі експлуатації основними витратами є вартість смол і реагентів. Смоли коштують дуже дорого, при цьому найбільш висока ціна аніонітів.

Заміна аніоніту в апараті, що містить 8,5 м³ смоли, може досягати 40 тис. дол. тільки для одного типу смоли. Вартість витрат на заповнення смоли в процесі експлуатації за рахунок її руйнування, втрат при зворотних промиваннях і т.д. оцінюється в 3 % на рік.

У більшості випадків для регенерації іонообмінних смол застосовується сірчана кислота концентрацією 96...97% й 50% каустик. Сірчана кислота коштує приблизно 50 дол. за тонну, а каустик приблизно 120 дол. за тонну. Кількість кислоти й каустику, використовувані на одну регенерацію, змінюються залежно від обмінної ємності смоли. Типові витрати на регенерацію катіоніта: 0,07...0,12 т сі-

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

рчаної кислоти концентрацією 96...97 % на 1 м³ смоли. Порядок витрат на регенерацію сильноосновних аніонітів: 0,14...0,20 т 50% каустику на 1 м³ смоли.

Повний цикл регенерації й промивання займає кілька годин. При проектуванні установки глибокого пом'якшення вибирають такий склад обладнання, щоб робочий цикл виробництва якісної демінералізованої води становив приблизно 24 години. У деяких випадках передбачається здвоєна технологічна схема, що дає можливість використати кожен технологічну лінію: одна - у роботі, а інша - на регенерації. В інших випадках у технологічній схемі передбачаються резервуари для зберігання глибоко пом'якшеної води. Об'єм резервуара для зберігання демінералізованої води вибирається залежно від годинної потреби в живильній воді для котлів високого тиску (продуктивності) і з урахуванням часу регенерації смоли в установці глибокого пом'якшення.

В сучасних технологічних схемах глибокого пом'якшення передбачається автоматичне перемикавання послідовності виконання операцій при роботі й регенерації демінералізуючої системи. Деякі оператори вимагають, щоб у процесі регенерації було передбачено ручне керування кожною операцією. Це страхує від ситуацій, коли збій в автоматизованому керуванні послідовністю операцій міг би направити використаний розчин після регенерації на початок процесу, замість того, щоб направити його в стоки.

Висновки за розділом

Надійна та економічна робота котельної установки значною мірою залежить від якості живильної води. Природні води завжди містять домішки (нерозчинні: мул, пісок; розчинні: гази, мінеральні солі, продукти забруднення). Найбільш істотними домішками є солі кальцію та магнію, які є накипоутворюючими речовинами та надають воді жорсткість. Жорсткість, кислотність, лужність і сухий залишок є важливими показниками якості води.

Наявність домішок у воді призводить до накипоутворення, корозії та відкладення солей.

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Водопідготовка – це комплекс процесів для приведення якості води у відповідність до вимог споживачів.

Хімічна підготовка води для живлення водогрійних котлів включає декілька етапів:

1 - попереднє очищення (видалення механічних домішок методом осадження, застосування відстійників, освітлювачів, механічних фільтрів, коагуляції);

2 - реагентне пом'якшення (видалення основної маси солей тимчасової та постійної жорсткості);

3 - іонний обмін (видалення залишку солей жорсткості та, за потреби, повне або часткове знесолювання).

Для поданої в установку води з господарсько-питного водопроводу немає потреби проводити перший етап обробки.

Першочерговою метою обробки є пом'якшення води для видалення речовин, що утворюють накип, перед подачею в котел.

Методи пом'якшення води поділяються на:

- Фізичні методи (термічна обробка, дистиляція, виморожування) потребують великої витрати енергії.

- Хімічні методи (реагентне пом'якшення)

- Фізико-хімічні методи:

- безреагентна (магнітна) обробка не знижує жорсткість, але запобігає карбонатним відкладенням, зводячись до ініціювання кристалізації карбонату кальцію в модифікації арагоніт, який не відкладається на поверхнях. Метод є дешевим і простим в експлуатації;

- зворотний осмос (мембранне очищення) забезпечує глибоке очищення від механічних часток, солей, органіки та мікроорганізмів (96-100% видалення), але має високу вартість мембран;

- іонообмінні способи є найбільш широкоживаними з фізико-хімічних методів.

					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

					Лист	
					ВКР.144.6241мх.04.04.ПЗ	
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

					ВКР.144.6241мх.04.05.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
					Конструкторський розділ	Літ.	Арк.
Студент		Мешенко О.С.					Аркушів
Керівник		Коновалов Д.В.					
Консульт.						НУК	

РОЗДІЛ 5. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

Розробка системи хімічного очищення води

5.1. Розробка схеми системи хімводоочищення котельні

Система хімводоочищення необхідна для обробки вихідної води, що йде на потреби гарячого водопостачання та на підживлення теплової мережі, що відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Для підживлення мережі використовується вода із системи водопостачання, що після хімводоочищення надходить у вакуумну деаераційну установку ВДВ-500. Деаерована вода через регулятор тиску надходить у зворотний мережний трубопровід для підживлення тепломережі.

Для зменшення вмісту заліза передбачається установка знезалізнення. Пом'якшення води виконується способом натрій -катіонування.

Знезалізнення води відбувається у фільтрах знезалізнення. Через фільтр, завантажений сульфовугіллям, пропускається аерована вода протягом 170...180 годин. За цей час на поверхні зерен сульфовугілля утвориться плівка зі сполук заліза, що надалі служить каталізатором. Коли втрати напору в шарі завантаження зростають до 10 м вод. ст., фільтр відключають на промивання.

Хімводочищення води прийнято за схемою одноступінчастого Na-катіонування. До установки прийнятий блок із двох Na-катіонітових фільтрів. Один фільтр робочий, другий резервний.

У баку мокрого зберігання солі підтримується постійний рівень за допомогою бачка постійного рівня 26% -й розчин солі з бака мокрого зберігання надходить у мірник, що працює за принципом сполучених посудин. Мірник після заповнення розчином солі відключається від ємності мокрого зберігання. Концентрований розчин солі за допомогою ежектора розбавляється до 7%-ї концентрації та подається на регенерацію.

					ВКР.144.6241мх.04.05.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

5.2. Розрахунок Na-катіонітних фільтрів

Згідно ДБН В.2.5-39:2008 кількість підживленої води становить 0,75% від кількості води, що циркулює в системі. Об'єм води в системі теплопостачання допускається приймати рівним 65 м^3 на 1 МВт розрахункового теплового потоку при закритій системі теплопостачання.

Кількість підживленої води становить:

$$G_{\text{підж.}} = 3 \cdot 65 \cdot 0,0075 = 1,46 \text{ м}^3$$

Витрата води на гаряче водопостачання становить $2,5 \text{ м}^3/\text{год.}$ Разом, через Na-катіонітні фільтри проходить:

$$Q_{\text{Na}} = 2,5 + 1,46 = 3,96 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Попередній розрахунок діаметра:

$$d = \sqrt{\frac{Q_{\text{Na}}}{0,785 \cdot w}} = \sqrt{\frac{3,96}{0,785 \cdot 25}} = 0,44 \text{ м.}$$

Площа фільтрування Na-катіонітного фільтра:

$$f_{\text{Na}} = \frac{Q_{\text{Na}}}{w_{\text{н}} \cdot a} = \frac{3,96}{25 \cdot 2} = 0,08 \text{ м}^2,$$

де a - кількість працюючих фільтрів.

До установки вибираються фільтри діаметром 1000 мм із площею фільтрування $f_{\text{Na}} = 0,62 \text{ м}^2$. Кількість регенерацій у зазначених межах вибирається залежно від ступеня автоматизації, продуктивності установки, якості застосовуваних іонітів та інших умов.

Кількість солей жорсткості A , що видаляються на Na-катіонітних фільтрах:

$$A = 24 \cdot J_0 \cdot Q_{\text{Na}} = 24 \cdot 3,0693 \cdot 3,96 = 291,7 \text{ г-екв/добу},$$

де J_0 – загальна жорсткість води, що надходить на Na-катіонітні фільтри, г-екв/ м^3 ; приймається згідно аналізу вихідної води $J_0 = 3,0693 \text{ моль/м}^3$.

					ВКР.144.6241мх.04.05.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

На Na-катіонітні фільтри II ступеню (якщо є II ступінь) звичайно надходить вода із залишковою жорсткістю фільтра до 0,1 мг-екв/л.

Кількість регенерацій кожного фільтра в добу:

$$n = \frac{A}{f_{Na} \cdot H_{cl} \cdot E_p^{Na} \cdot a} = \frac{291,7}{0,08 \cdot 2 \cdot 313,9 \cdot 2} = 2,9,$$

де $H_{ш}$ – висота шару катіоніту, м; $H_{ш}=2$ м, табл. 5.4 [15];

E_p^{Na} – робоча обмінна спроможність катіоніту при натрій-катіонуванні, г-екв/м³;

a - число працюючих фільтрів: a=2

При відсутності натрію у вихідній воді E_p^{Na} визначається як:

$$E_p^{Na} = \alpha_e \cdot E_{п} - 0,5 \cdot g \cdot Ж_0 = 0,64 \cdot 500 - 0,5 \cdot 4 \cdot 3,0693 = 313,9 \text{ г-екв/м}^3,$$

де α_e – коефіцієнт ефективності регенерації, що враховує неполадку регенерації катіоніту залежно від питомої витрати солі на регенерацію (при питомій витраті повареної солі $q_c=110$ мг-екв/л, $\alpha_e=0,64$, табл. 5.5 [15].

$E_{п}$ – повна обмінна здатність катіоніту при крупності зерен сульфовугілля 0,5...1,1мм: $E_{п}=500$ г-екв/м³;

0,5 - частка зм'якшення відмивної води;

g - питома витрата води на відмивання катіоніту, приймається $g=4$ м³/м³ по табл. [10].

Приймаємо кількість регенерацій кожного фільтра рівною 2. Витрата 100% повареної солі на одну регенерацію фільтра визначається:

$$Q_c^{Na} = \frac{E_p^{Na} \cdot f_{Na} \cdot H_{cl} \cdot q_c}{1000} = \frac{313,9 \cdot 0,08 \cdot 2 \cdot 110}{1000} = 5,52 \text{ кг},$$

де q_c – питома витрата солі на регенерацію, г/г-екв обмінної спроможності катіоніту. Питома витрата солі на регенерацію приймається [10] залежно від жорсткості пом'якшеної води та необхідної жорсткості фільтра.

Витрата міцного (26%-го) розчину солі на регенерацію:

$$Q_{н.р.} = \frac{Q_c \cdot 100}{1000 \cdot \rho \cdot \beta} = \frac{5,52 \cdot 100}{1000 \cdot 1,2 \cdot 26} = 0,02 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

					ВКР.144.6241мх.04.05.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де β - щільність регенераційного розчину [10];

$$\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3;$$

β – концентрація регенераційного розчину $\beta=26\%$ [10].

Добова витрата технічної солі на регенерацію фільтрів визначається за наступною формулою:

$$Q_{m.c.} = \frac{Q_c^{Na} \cdot n \cdot a \cdot 100}{93} = \frac{5,52 \cdot 2,0 \cdot 2 \cdot 100}{93} = 23,7 \text{ кг/доб},$$

де 93 - зміст NaCl у технічній солі, %.

Витрата води на одну регенерацію Na-катіонітного фільтра складається з:

1) витрати води на промивання фільтра, що спушує:

$$Q_{взр} = \frac{i \cdot f_{Na} \cdot 60 \cdot t_{cn}}{1000} = \frac{4 \cdot 0,08 \cdot 60 \cdot 30}{1000} = 0,58 \text{ м}^3,$$

де i - інтенсивність промивання, що спушує, фільтрів, $i=4$ л/с·м² [10];

t_{cn} – тривалість промивання, що спушує, $t_{cn}=30$ хв [10].

2) витрати води на приготування регенераційного розчину солі:

$$Q_{p.p.} = \frac{Q_c^{Na} \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{p.p.}} = \frac{5,52 \cdot 100}{1000 \cdot 7 \cdot 1,048} = 0,08 \text{ м}^3,$$

де b - концентрація регенераційного розчину, $b=7\%$ [10];

$$\rho_{p.p.} = 1,048 \text{ кг/м}^3.$$

3) витрати води на відмивання катіоніту від продуктів регенерації:

$$Q_{від} = q_{від} \cdot f_{Na} \cdot H_{ш} = 4 \cdot 0,08 \cdot 2 = 0,64 \text{ м}^3,$$

де $q_{від}$ – питома витрата води на відмивання катіоніту, $q_{від}=4$ м³/м³ [10].

Витрата води на одну регенерацію Na-катіонітного фільтра без використання відмивної води на розпушення становить:

$$Q'_{с.н.} = Q_{сп} + Q_{p.p.} + Q_{від} = 0,58 + 0,08 + 0,64 = 1,3 \text{ м}^3.$$

Витрата води на одну регенерацію при використанні відмивної води на промивання, що спушує:

$$Q''_{с.н.} = Q_{p.p.} + Q_{від} = 0,08 + 0,64 = 0,72 \text{ м}^3.$$

					ВКР.144.6241мх.04.05.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Середньогодинна витрата води на власні потреби Na-катіонітних фільтрів:

$$Q''_{c.n.} = \frac{Q_{c.n.} \cdot a \cdot n}{24} = \frac{9,55 \cdot 2 \cdot 2}{24} = 1,6 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Період роботи фільтра між регенераціями:

$$T_{Na} = \frac{24}{n} - t_{рег}^{Na} = \frac{24}{2} - 1,7 = 10,3 \text{ год},$$

де $t_{рег}^{Na}$ – час регенерації Na-катіонітного фільтра у зв'язку з більшими коливаннями варто визначати для кожного конкретного випадку розрахунковим шляхом:

$$t_{рег}^{Na} = t_{сп} + t_{р.р.} + t_{від} = 30 + 17 + 68,6 = 115,6 \text{ хв.},$$

де $t_{р.р.}$ – час пропуску регенераційного розчину через фільтр:

$$t_{р.р.} = \frac{Q_{р.р.} \cdot 60}{w_{р.р.} \cdot f_{Na}} = \frac{0,08 \cdot 60}{3,5 \cdot 0,08} = 17 \text{ хв}$$

де $w_{р.р.}$ – швидкість пропуску регенераційного розчину, $w_{р.р.} = 3,5 \text{ м/год}$ [10].

Час відмивання фільтра від продуктів регенерації:

$$t_{від} = \frac{Q_{від} \cdot 60}{w_{від} \cdot f_{Na}} = \frac{0,64 \cdot 60}{7 \cdot 0,08} = 68,6 \text{ хв}$$

де $w_{від}$ – швидкість відмивання: $w_{від} = 7 \text{ м/год}$ [10].

При установці фільтрів для здійснення автоматичної регенерації встановлюються командні електричні прилади (КЕП), що складаються з однієї або декількох (при двох і більше ступенів фільтрів) груп устаткування та приладів автоматизації.

					ВКР.144.6241мх.04.05.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

					ВКР.144.6241мх.04.06.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
					Заклучний розділ				Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Мешенко О.С.										
Керівник	Коновалов Д.В.										
Консульт.									НУК		

РОЗДІЛ 6. ЗАКЛЮЧНИЙ РОЗДІЛ

У кваліфікаційній роботі розроблений проєкт реконструкції котельні тепловою потужністю 2 МВт для столярного підприємства з дослідженням системи очищення води.

Пропонується використання вільної площі в існуючому цеху столярного підприємства для розміщення там котельні для технологічних потреб (сушіння пиломатеріалів), а також для покриття навантажень систем опалення, вентиляції й гарячого водопостачання. В котельні встановлюються три водогрійних котла типу СН 600 «СОМРАСТ», у яких як паливо можуть максимально використатися відходи підприємства після переробки деревини (дрова, обпилювання, кора).

Розроблена принципова теплова схема котельні, розрахована теплова видатність та інші параметри теплоносіїв. На підставі цих розрахунків було обрано обладнання для котельні.

Обирана система опалення - двотрубна, горизонтальна, з попутним рухом води, нижньою розводкою та штучною циркуляцією води. Така система має більшу гідравлічну стійкість, найвищу температуру, що забезпечує максимальну різницю температур ($t_{\text{вх}} - t_{\text{вих}}$), а звідси мінімальну площу поверхні приладів, меншу витрату металу, труб, фасонних частин та менш трудомісткий монтаж систем.

Розрахована система опалення при прийнятих параметрах теплоносіїв. Визначені параметри димових труб.

Для утворення нормальних санітарно-гігієнічних умов праці обслуговуючого персоналу в цеху столярного підприємства розроблені системи вентиляції. Цех обладнується системами примусової припливної та витяжної вентиляції, а також системами аспірації (пневмотранспорту деревинних відходів) поряд з джерелом утворення стружки. У котельні передбачається природна витяжна вентиляція

Вентиляція виконує: видалення шкідливих газових виділень виробництва; асиміляцію тепловиділень в приміщені від устаткування, людей, електродвигунів, а в теплий період часу від сонячної радіації.

					ВКР.144.6241мх.04.06.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Проведене дослідження системи хімічного очищення води, що йде на потреби гарячого водопостачання та на підживлення теплової мережі. Хімводочищення води прийнято за схемою одноступінчастого Na-катіонування. Була підібрана і обчислена система хімічного водоочищення для обробки вихідної води для котельні та розрахований натрій - катіонітний фільтр.

					ВКР.144.6241мх.04.06.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Волков О.Д. Проектування вентиляції промислової будівлі. Харків: Вища школа, 1989. 240с.
2. Гомеля М. Д., Шаблій Т. О., Радовенчик Я. В. Фізико-хімічні основи процесів очищення води: підручник. Київ : Кондор-Видавництво, 2019. 256 с.
3. Гузик Д.В., Федяй Б.М. Сучасні системи вентиляції. ПолтНТУ, 2017. 312 с.
4. ДБН В.2.2-15-2005 Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77411.
5. ДБН В.2.5.-77:2014. Котельні. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59086.
6. ДБН В.2.5-39:2008 Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=47699.
7. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1018>.
8. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98037.
9. Джерела та системи теплопостачання і основи їх проектування [Електронний ресурс] : навч. посібник / укладач Кузнецова С.А.: НУК. – Електронні текстові дані (1 файл: 2.3 Мбайт). Миколаїв : НУК, 2022. 105 с.
10. Дорощенко В. В., Коцюба І. Г., Єльнікова Т. О., Уваєва О. І. Водопідготовка : навч. посіб. Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. 153 с.
11. Драганов Б. Х., Іщенко В. В. Експлуатація теплоенергетичних установок і систем. Київ : Аграрна освіта, 2009. 230 с.
12. ДСТУ Б EN 15251:2011 Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики en 15251:2007, idt

					ВКР.144.6241мх.04.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

[Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.mathcentre.com.ua / download/dstu_en_15251-2011.pdf](http://www.mathcentre.com.ua/download/dstu_en_15251-2011.pdf).

13. ДСТУ Б EN 13779:2011. Вентиляція громадських будівель. Вимоги до використання систем вентиляції та кондиціонування повітря (EN 13779 – 2007, IDT). Київ : Мінрегіон України, 2012. 146 с.

14. Єпіфанов О.А. Тепловий розрахунок котельних агрегатів малої потужності : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2004. 152 с.

15. Жуковський С.С., Лабай В.Й. Аеродинаміка вентиляції : навч. посіб. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2003. 270 с.

16. Зайцев О.М., Любарець О.П. Проектування систем опалення. Відень, 2008. 201 с.

17. Пирков В. В. Особливості проектування сучасних систем водяного опалення. Київ: П ДП «Такі справи», 2003. 176 с. [Електронний ресурс]. URL: <https://devi.rv.ua/data/files/books/otopl/cf3971d30ca2ac9d31a84e7e8585e0a8.pdf>

18. Ратушняк Г.С., Лялюк О.Г. Засоби очищення газових викидів : навч. посіб. Київ : ІВН КП «Укреліотех», 2009. 202 с.

19. Степанов, Д. В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності: монографія / Д. В. Степанов, Л. А. Боднар. Вінниця: ВНТУ, ГНК, 2010. С. 250.

20. Стручаєв М. І. Дослідження впливу вологості палива та температури газів на ефективність роботи котлів для спалювання деревини та горючих відходів с/г виробництва // Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта): матеріали Міжнар. наук.-практ. конференції. Київ, НУБіП, 2015. С. 40-44.

21. Теплотехнічні процеси та установки : навчальний посібник для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» освітньо-професійної програми «Теплоенергетика» кваліфікаційного рівня «бакалавр» [Електронний ресурс] / укладач Шаповалов Ю.О. : НУК. – Електронні текстові дані (1 файл: 6.3 Мбайт). Миколаїв : НУК, 2021. 60 с.

					ВКР.144.6241мх.04.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		