НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Хіміко-технологічний факультет
Кафедра технології неорганічних речовин та загальної хімічної технології

До захисту допущено

Завідувач кафедри
_____ Н.М. Толстопалова
(підпис) (ініціали, прізвище)

"___" червня 2016 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 6.051301 «Хімічна технологія» _____
(код і назва)

на тему: Знесолення води у виробництві технологічної пари для потреб міської теплоелектроцентралі_____

Виконала: студентка 4 курсу, групи ХН-21
Ященко Тетяна Вікторівна _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник: ст. викладач Лапінський А.В._____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультанти

Консультант з автоматизації ст.викладач Лукінюк Михайло Васильович_____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант з економічної частини доц., к.т.н. Підлісна Олена Анатоліївна _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант з охорони праці доц., к.т.н. Полукаров Юрій Олексійович _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент_____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2016 року

Пояснювальна записка
до дипломного проекту

на тему: Знесолення води у виробництві технологічної пари для потреб міської теплоелектроцентралі

Київ – 2016 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Інститут (факультет) хіміко-технологічний
(повна назва)

Кафедра технології неорганічних речовин та загальної хімічної технології _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – бакалавр

Спеціальність 6.051301 «Хімічна технологія» _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Н.М. Толстопалова
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _червень_2016 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту

Ященко Тетяні Вікторівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Знесолення води у виробництві технологічної пари для потреб міської теплоелектроцентралі _____,
керівник проекту ст. викладач Лапінський А.В._____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 08 »_квітня_ 2016 р. № 1313с

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту _____
_____
_____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити)
Зміст проекту в цілому визначається даними Методичними рекомендаціями (МР) до виконання дипломного проекту, зміст пояснювальної записки конкретизується розділами МР. Технологічна частина: згідно розділам 1 – 6 МР. Автоматичне регулювання та контроль виробництва: згідно розділу 7 МР. Економіко-організаційні розрахунки: згідно розділу 8 МР. Охорона праці: згідно розділу 9 МР. Екологічна безпека виробництва: згідно розділу 10 МР. _____

5. Перелік графічного матеріалу :
- технологічна схема відділення (1 аркуш формату А1);
- схема дистанційного контролю та автоматичного регулювання технологічних параметрів (1 аркуш формату А1);
- креслення загального вигляду технологічного реактора (1 аркуш формату А1);
- ілюстрація результатів розрахунку економіко - організаційної частини (1 аркуш формату А1).

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 6, 10	ст. викладач Лапінський А.В.		
7	ст. викладач Лукінюк М.В.		
8	доц. Підлісна О.А.		
9	доц. Полукаров Ю.О.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Обґрунтування та вибір способу і технологічної схеми виробництва. Описання технологічної схеми виробництва. Креслення технологічної схеми на форматі А4.	10 березня	
2	Характеристика продукції, сировини, допоміжних матеріалів, енергетичних носіїв. Характеристика прийнятого методу виробництва. Хімізм та теоретичні основи і обґрунтування норм технологічних режимів.	15 березня 20 березня	
3	Визначення витратних коефіцієнтів з сировини, напівпродуктів, допоміжних матеріалів та енергетичних носіїв: розрахунок матеріального балансу виробництва; розрахунок витратних коефіцієнтів; багатоваріантні технологічні розрахунки.	 26 березня 02 квітня 12 квітня	
4	Комп‘ютерний набір технологічної частини пояснювальної записки.	16 квітня	
5	Характеристика технологічного обладнання: розрахунок та вибір основних реакторів; розрахунок і вибір допоміжного технологічного обладнання.	 22 квітня 29 квітня	
6	Автоматичний контроль та керування виробництвом	15 травня	
7	Економіко – організаційні розрахунки	21 травня	
8	Екологічна безпека виробництва	25 травня	
9	Охорона праці виробничого процесу	31 травня	
10	Оформлення пояснювальної записки, виконання креслень та ілюстративних плакатів	2 червня	
11	Попередній захист	7 червня	

Студент _____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

Керівник проекту _____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	А4		Завдання на дипломний проект	2	
2	А4	ХН 2117 1440 000 ПЗ	Пояснювальна записка		
3	А1	ХН 2117 1440 001	Технологічна схема	1	креслення
4	А1	ХН 2117 1440 002	Схема автоматизації	1	креслення
5	А1	ХН 2117 1440 003	Установка зворотного осмосу	1	креслення
6	А1	ХН 2117 1440 004	Економіко-організаційні розрахунки	1	ілюстрація

				ХН 2117 1440	
	ПІБ	Підп.	Дата		
Розробн.	Ященко Т.В.			Відомість дипломного проекту	Лист / Листів
Керівн.	Лапінський А.В.				
Консульт.				НТУУ «КПІ», ХТФ, гр. ХН-21	
Н/контр.	Супрунчук В.І.				
Зав.каф.	Толстопалова Н.М.				

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 119 стор.; 3 рис.; 28 табл.; 45 посилань; 4 додатки.

Розроблено проект знесолення води у виробництві технологічної пари. У проекті обгрунтовано вибір методу зворотного осмосу для очищення води. Обґрунтовано норми технологічних режимів, наведена технологічна схема процесу та її опис. Розраховано установки зворотного осмосу першого та другого ступеня для здійснення процесу очищення. На підставі розрахунків обрано основне та допоміжне обладнання у відповідності з заданою продуктивністю виробництва. Наведено схему автоматичного контролю та регулювання процесом, розроблено економіко-організаційну частину проекту, розглянуто безпечні умови проведення виробничого процесу, наведено аналіз і джерела виникнення відходів, надано можливі варіанти їх очищення.

ЗВОРОТНІЙ ОСМОС, МЕМБРАНА, РЕГЕНЕРАЦІЯ, УСТАНОВКА ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ, ПЕРМЕАТ, СЕЛЕКТИВНІСТЬ, ПРОДУКТИВНІСТЬ

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 119 с.; 3 рис.; 28 табл.; 45 ссылок; 4 приложения.

Разработан проект обессоливания воды в производстве технологического пара. В проекте обоснован выбор метода обратного осмоса для очистки воды. Обоснованно нормы технологических режимов, приведена технологическая схема процесса и ее описание. Рассчитано установки обратного осмоса первой и второй степени для осуществления процесса очистки. На основании расчетов выбрано основное и вспомогательное оборудование в соответствии с заданной производительностью. Приведена схема автоматического контроля и регулирования процессом, разработано экономико-организационную часть проекта, рассмотрены безопасные условия проведения производственного процесса, приведен анализ и источники возникновения отходов, предоставлено возможные варианты их очистки.

ОБРАТНЫЙ ОСМОС, МЕМБРАНА, РЕГЕНЕРАЦИЯ, УСТАНОВКА ОБРАТНОГО ОСМОСА, ПЕРМЕАТ, СЕЛЕКТИВНОСТЬ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

ABSTRACT

The explanatory note: 119 p.; 3 fig.; 28 tabl.; 45 references; 4 appendices.

The project of desalination of water in the production process steam. Selection of reverse osmosis method has been grounded. Standard technological conditions have been grounded. The process scheme is described. Complex of reverse osmosis first and second stages have been calculated. Principal and auxiliary equipment has been parametrized corresponding to the given production capacity. Control and management automation scheme is herewith applied. Economy and organization part of the project has been developed. Safe conditions of the manufacturing process has been considered. Analysis of the sources of waste has been provided, given the options of cleaning.

REVERSE OSMOSIS, MEMBRANES, REGENERATION, REVERSE OSMOSIS SYSTEM, PERMEATE, SELECTIVITY, PRODUCTIVITY

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів 12
Вступ 13
1 Обґрунтування та вибір способу виробництва 14
2 Характеристика продукції, сировини, допоміжних матеріалів, енергетичних носіїв 22
2.1 Характеристика продукції 22
2.2 Характеристика сировини 22
2.3 Характеристика допоміжних матеріалів 23
3 Характеристика прийнятого методу виробництва, хімізм, теоретичні основи і обґрунтування норм технологічних режимів 16
3.1 Суть процесу вапнування з коагуляцією 28
3.2 Очищення води на механічних фільтрах 29
3.3 Na-катіонітовий фільтр 30
3.4 Основні фізико-хімічні поняття зворотного осмосу 31
3.5 Характеристика мембран зворотного осмосу 33
3.6 Забруднення мембран зворотного осмосу 36
4 Опис технологічної схеми виробництва 38
5 Витратні коефіцієнти з сировини, напівпродуктів, допоміжних матеріалів та енергоносіїв 41
5.1 Розрахунок матеріального балансу установки зворотного осмосу 41
5.2 Розрахунок витратних коефіцієнтів 43
5.2.1 Витратний коефіцієнт води знесоленої 43
5.2.2 Витрати вапна та коагулянту 43
5.2.3 Витратні коефіцієнти промивних розчинів мембран 44
5.2.4 Витрата NaCl на регенерацію……..…..45

5.2.5 Витратні коефіцієнти води на промивку механічних фільтрів ….....46
6 Характеристика технологічного обладнання 47
6.1 Розрахунок та вибір апарату для першого ступеня зворотного осмосу..47
6.2 Розрахунок та вибір апарату другого ступеня зворотного осмосу..... 49
6.3 Розрахунок та вибір допоміжного технологічного обладнання 51
6.3.1 Розрахунок освітлювача..... 51
6.3.2 Розрахунок баку для води 52
6.3.3 Розрахунок і вибір механічних фільтрів 53
6.3.4 Розрахунок і вибір Na-катіонітового фільтру 53
6.3.5 Насос-дозатор вапняного молока..... 55
6.3.6 Насос-дозатор розчину коагулянту..... 55
7 Автоматичне регулювання та контроль виробництва..... 56
7.1 Аналіз технологічного процесу як об’єкта автоматизації та обгрунтування задач автоматизації..... 57
7.2 Опис розробленої схеми автоматизації 58
8 Економіко-організаційні розрахунки 61
8.1 Технологічна підготовка виробництва 61
8.2 Чисельність персоналу 62
8.3 Організація технічного контролю на виробництві..... 64
8.4 Економічний розрахунок собівартості відділення знесолення води..... 67
8.5 Розрахунок техніко-економічних показників 69
9 Охорона праці 71
9.1 Виявлення та аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проектованому об’єкті. Заходи з охорони праці..... 71
9.1.1 Повітря робочої зони 71
9.1.2 Виробниче освітлення 74
9.1.3 Захист від виробничого шуму і вібрацій..... 76
9.1.4 Електробезпека..... 77
9.1.5 Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання 79
9.2 Пожежна безпека.……80

10 Екологічна безпека виробництва 82
10.1 Аналіз джерел та розрахунок кількості відходів 82
10.2 Можливі варіанти екологізації виробництва 84
10.3 Екологічний моніторинг 85
10.4 Розрахунок екологічних платежів 86
Висновки 88
Перелік посилань 89
Додаток А 94
Додаток Б 104
Додаток В 105
Додаток Г 106
Додаток Д 110
Додаток Е 114

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ТЕЦ – теплоелектроцентраль;

ВПУ – водопідготовча установка;

ЗО – зворотний осмос;

УЗО – установка зворотного осмосу;

ТПФН – триполіфосфат натрію.

ВСТУП

Теплоелектроцентраль (ТЕЦ) є різновидом теплової електростанції, яка не лише виробляє електроенергію, але і є джерелом теплової енергії в централізованих системах теплопостачання у вигляді пари та гарячої води, у тому числі і для забезпечення гарячого водопостачання та опалення житлових і промислових об'єктів.

Для роботи енергогенеруючих компаній, зокрема ТЕЦ, необхідно забезпечувати надійну роботу парових турбін. Вихідна вода для отримання пари вміщує різноманітні домішки різного ступеня дисперсності. Для видалення цих домішок, як грубодисперсних, так і колоїдного ступеню дисперсності, вода піддається попередньому очищенню, яке проводиться із застосуванням різних методів та реагентів. В очищеній воді повинні бути відсутніми завислі речовини, солі, що створюють твердість води, розчинений кисень, так як наявність цих речовин сприяє утворенню накипу, спінюванню котельної води, виносу солей з паром та корозію.

На даний час все більш широко в промисловості та побуті знаходять застосування мембранні методи очищення води. Їх характерною особливістю є стабільно висока якість очищеної води, майже повна відсутність використання реагентів (солей і кислот), екологічність, компактність.

Метою дипломного проекту є розробка схеми знесолення води у виробництві технологічної пари для потреб міської теплоелектроцентралі, характеристика вихідної сировини та продукції, підбір матеріалів, розрахунок витратних коефіцієнтів на задану продуктивність, автоматизація розробленої схеми, проведення економіко-організаційних розрахунків, розроблення заходів для створення у виробничих приміщеннях оптимальних умов праці та пожежної безпеки, підбір можливих методів екологізації виробництва.

1 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СПОСОБУ ВИРОБНИЦТВА

Технологія виготовлення будь-якої продукції взагалі й підготовки води зокрема визначається якістю вихідної сировини та вимогами до якості готової продукції. Для підготовки води використовують природну воду, яку забирають із поверхневих чи підземних джерел, а готовою продукцією може бути питна, вода спеціального призначення або технічна вода [1].

Природні води містять різні домішки мінерального й органічного походження. До мінеральних домішок відносяться гази: N_2, O_2, CO_2, H_2S, NH_3; розчинені у воді солі, кислоти та основи, які знаходяться, в основному, у дисоційованому стані у вигляді катіонів і аніонів. До органічних домішок відносяться колоїдні частинки білкових речовин і гумінових кислот [2].

Очищення води від розчинених сполук проводиться шляхом знесолення. Під знесоленням води розуміють процес зниження вмісту розчинених у ній солей. Розрізняють часткове та повне знесолення.

Часткове знесолення – це опріснення, у результаті якого величина солевмісту в очищеній воді не перевищує 1 мг/дм^3. Повне знесолення забезпечує одержання в процесі обробки води, близької за якістю до дистильованої, що використовується в більшості випадків для живлення котлів ТЕЦ.

До найпоширеніших методів знесолення води відносяться [3]:

1) Йонний обмін – це процес, під час якого деякі речовини поглинають із розчину електроліту катіони або аніони та виділяють у розчин еквівалентну кількість інших йонів із зарядом того ж знаку [4];
2) Зворотній осмос – продавлювання через мембрану води з тиском вище осмотичного (баромембранний процес);
3) Електродіаліз – це мембранний процес, заснований на явищі переносу йонів електроліту через селективні йонообмінні мембрани під дією постійного електричного струму;
4) Дистиляція – випаровування води.

Вибір методу знесолення визначається продуктивністю установки, якістю вихідної та очищеної води.

Традиційно для знесолення води використовується йонний обмін. Йонний обмін опріснення та знесолення води ґрунтується на фільтруванні мінералізованої води крізь шар іонітів. Воду послідовно пропускають крізь Н-катіонітовий, а потім – OH^--, CO_3^{2-}- або HCO_3^--аніонітові фільтри. При цьому з води видаляються катіони й аніони, які знаходяться у водному розчині. У Н-катіонітовому фільтрі катіони розчинених у воді солей (переважно йони Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^+ та ін.) заміщуються на катіони H^+ катіоніту за такими схемами:

$$H[K] + NaCl \leftrightarrow Na[K] + HCl; \quad (1.1)$$

$$2H[K] + Na_2SO_4 \leftrightarrow 2Na[K] + H_2SO_4; \quad (1.2)$$

$$2H[K] + Ca(HCO_3)_2 \leftrightarrow Ca[K]_2 + 2H_2O + 2CO_2\uparrow. \quad (1.3)$$

Після пропускання води крізь аніонітові фільтри аніони кислот, що утворилися за схемами (1.1) – (1.3), обмінюються на OH^--йони аніонітів за схемами:

$$[An]OH + HCl \leftrightarrow [An]Cl + H_2O; \quad (1.4)$$

$$2[An]OH + H_2SO_4 \leftrightarrow [An]_2SO_4 + 2H_2O. \quad (1.5)$$

У загальному вигляді процес катіонування води здійснюється за схемою:

$$R_1H + K^+ \leftrightarrow RK + H^+; \quad (1.6)$$

$$ROH + An^- \leftrightarrow An + OH^-, \quad (1.7)$$

тобто катіони K^+ розчинних у воді солей заміщуються на йони H^+ катіоніту, а їх аніони – на гідроксид-йони аніоніту. Отже, завдяки оборотності реакцій (1.6) і (1.7) воду знесолити за одну стадію неможливо [1].

Очищення води здійснюють іонітами – йонообмінними синтетичними смолами, виготовленими у вигляді гранул розміром 0,2...2 мм. Іоніти виготовляють з нерозчинних у воді полімерних речовин, що мають на своїй поверхні рухомий йон (катіон або аніон), який за певних умов вступає в реакцію обміну з йонами того ж знака, що містяться у воді. Розрізняють

сильно- і слабокислотні катіоніти (в H^+- або Na^+-формі) і сильно- і слабоосновні аніоніти (в ОН- або сольові форми), а також іоніти змішаної дії. Основним фактором кінетики процесу є швидкість йонообміну між йонами води і омиваною часткою смоли. На зовнішній поверхні омиваної частки утворюється нерухома водяна плівка, товщина якої залежить від швидкості потоку очищуючої води та розмірів зерна смоли. Йон, який прагне потрапити всередину частинки смоли, у функціональну групу, повинен дифундувати з води через плівку, пройти через граничну поверхню частинки та всередині смоли в розчині набухання стремиться до асоціації з функціональною групою. Дифузія йонів через плівку є найважливішим етапом процесу.

Виборче поглинання молекул поверхнею твердого адсорбенту відбувається внаслідок впливу на них неврівноважених поверхневих сил адсорбенту.

Йонообмінні смоли мають можливість регенерації. Після виснаження робочої обмінної ємності іонітів, вона втрачає здатність обмінюватися йонами і її необхідно регенерувати. Регенерація проводиться насиченими розчинами, вибір яких залежить від типу йонообмінної смоли. Процеси відновлення, як правило, перебігають у автоматичному режимі. На регенерацію зазвичай витрачають близько 2 годин, з них на розпушування – 10-15 хв, на фільтрування регенеруючого розчину – 25-40 хв, на відмивання – 30-60 хв. Йонообмінне очищення реалізують послідовним фільтром води через катіоніти та аніоніти [3].

До недоліків йонного обміну відносяться [5]:

– висока витрата агресивних реагентів;
– експлуатаційні витрати, що ростуть пропорційно солевмісту води;
– необхідність обробки регенератів і складності з їх скиданням. Регенерат, як правило, має кислу реакцію і вимагає додаткової нейтралізації. Пряме скидання таких відходів заборонено.

Для отримання технологічної пари необхідно очищати воду також від органіки, сполук хлору та завислих речовин, із чим в недостатній мірі

справляється йонний обмін [6]. А тому доцільно використовувати зворотній осмос.

Зворотній осмос – технологія очищення води, яка використовує напівпроникні мембрани. Розчинена речовина утримується під тиском із однієї сторони мембрани, у результаті чистий розчинник (вода) проходить на іншу сторону. Задля забезпечення селективності, ця мембрана не повинна пропускати великі молекули або йони через пори (отвори), проте має вільно пропускати лише менші компоненти розчину (наприклад, розчинник).

Система зворотного осмосу – система водопідготовки. Являє собою комплекс, що складається з низки попередніх фільтрів, що захищають мембрану від пошкоджень, та напівпроникної мембрани.

Основна ціль полягає у продавлюванні води під високим тиском через напівпроникну мембрану з метою усунути з води розчинені речовини, органіку, колоїдні частки та бактерії. Зворотний осмос є оберненим до природнього процесу осмосу, що полягає у русі води з менш насиченого розчину у більш насичений через напівпроникну мембрану. Система зворотного осмосу створює тиск в насиченій зоні (вода та домішки), в результаті чого молекули води просочуються через напівпроникну мембрану в зону ненасиченого розчину (чиста вода).

Для збільшення ефективності процесу використовується тангенціальна подача води до поверхні мембрани при рециркуляції.

Фактори, які впливають на якість та кількість очищеної води: 1) тиск: що вищий робочий тиск, то більш вибірковою може бути мембрана до забруднень і тим менша кількість ступенів очищення потрібна для досягнення найкращого результату. Крім того, високий тиск дозволяє збільшити продуктивність системи. 2) мембрана: не всі мембрани однакові: деякі продуктивніші, у деяких підвищений ступінь очищення, у деяких збільшений термін роботи за рахунок підвищеного опору тертя. 3) солевміст та вміст речовин-забруднювачів: більший солевміст призводить до більшого солевмісту в очищеній воді (пермеаті). До того ж, деякі шкідливі речовини можуть або

забруднити мембрану, зменшивши її проникливість і, відповідно, кількість очищеної води, або зруйнувати її (окислювачі, зокрема хлор) [7].

При зворотному осмосі кількість солей в стоках близька до їх кількості в живильній воді. Скидання води після установок зворотного осмосу (концентрат) має вміст солі в 2,5-4,0 рази більший, ніж у вихідній воді, як правило, 1-2 г/дм^3. Склад концентрату в стехіометричному співвідношенні аналогічний складу вихідної води. Це дає можливість проводити скидання стічних вод (концентрату) без додаткового очищення.

Однак при експлуатації установок зворотного осмосу додатковим джерелом забруднень у скидах є склади для хімічної промивки мембран зворотного осмосу. Правда, сумарна кількість невелика в порівнянні з тими кількостями, які використовуються для регенерації йонообмінних смол [8].

До переваг зворотного осмосу відносяться [5]:

– висока якість води по завислим речовинам, біологічним і органічним забрудненням;
– мінімальні кількості реагентів і сумарне скидання солей у навколишнє середовище;
– можливість скидання концентрату без обробки в каналізацію;
– відносно низькі експлуатаційні витрати;
– відсутність агресивних реагентів і необхідності їх обробки.

Зворотній осмос також має недоліки, такі як: необхідність безперервної роботи зворотноосмотичної установки; великі капітальні витрати; великі енерговитрати [5].

А тому найкращим варіантом, що забезпечить кращі економічні, екологічні та технологічні показники може бути поєднання цих двох методів.

Інколи замість зворотного осмосу використовують електродіаліз і дистиляцію, які полягають у наступному.

Метод електродіалізу – йони розчинених солей переносяться під дією постійного електричного струму через йонообмінні мембрани.

Метод електродіалізу використовує:

1) електролітичну дисоціацію у воді молекул розчинених речовин на йони;

2) спрямований рух йонів в електричному полі;

3) селективні властивості йонообмінних мембран по відношенню до йонів, що мають заряди різних знаків.

Як спосіб знесолення води отримав широке розповсюдження завдяки використанню селективних йонообмінних мембран. Особливість таких мембран полягає в тому, що вони здатні пропускати під дією електричного струму тільки йони одного знака. Ця властивість називається селективністю йонообмінних мембран, на ній заснований спосіб знесолення води електродіалізом.

Йонообмінні мембрани (головний робочий елемент електродіалізу) виготовляються з йонообмінних смол (іонітів), активні групи яких здатні до йонного обміну. Перенесення електрики в мембранах під дією електричного поля обумовлено дифузією противойонів із розчину в мембрану і з мембрани в розчин з протилежного боку. Перенесення йонів у мембрані відбувається за рахунок рухомих противойонів. Мембрана, що містить йоногенні групи позитивних йонів (аніонообмінна мембрана), у електричному полі в початковому розчині пропускає, в основному, тільки аніони. Мембрана, що містить йоногенні групи негативних іонів (катіоннообмінна мембрана) – пропускає, в основному, тільки катіони [3].

Електродіаліз нині застосовують здебільшого для опріснення солоної води. Однак у разі невисокого вмісту солей у воді та в разі їх невеликого об’єму цей спосіб є ефективним для концентрування, особливо для комбінування з іншими способами, наприклад, дистиляцією. Перевагою електродіалізу перед іншими способами є відсутність фазового перетворення води, яке відбувається під час дистиляції, виморожування. Споживання енергії пропорційне вмісту солей у знесолюваній воді. Однак цей спосіб має недоліки, до яких належать: утворення осадів карбонату кальцію, гідроксиду магнію та гіпсу в разі роботи в умовах поляризації; «отруєння» катіонообмінних мембран ферумом, манганом, а аніонообмінних –

органічними речовинами, які містяться в оброблюваній воді; у разі роботи установки на струмі з граничною густиною, нижчою за оптимальні значення, значно зростає вартість процесу; внаслідок відсутності апаратів великої одиничної потужності збільшуються питомі капітальні та експлуатаційні затрати [9].

Основою процесу дистиляції є перехід води в парову фазу з наступною її конденсацією. Для випаровування води потрібно підвести, а при конденсації пара – відвести тепло фазового переходу. Для випаровування використовують теплоту після згорання палива, енергію сонячного випромінювання, теплоту конденсації пари, атомних реакторів та інших енергоносіїв [1].

До переваг даного методу відносяться мінімальні кількості використовуваних реагентів і обсяг відходів, які можуть бути отримані у вигляді твердих солей, а також можливість використання надлишкового тепла, видалення з води розчинених газів [5].

Теплова і економічна ефективність методу визначається режимом випаровування та ступенем рекуперації тепла фазового переходу при конденсації пари [3].

Недоліки методу полягають у наступному: необхідність передпідготовки; великі енерговитрати; великі капітальні затрати.

У наведеній нижче таблиці 1.1 показано оціночне порівняння методів знесолення води за трьома рівнями: мінімальний – Мін, максимальний – Макс і середній – Сер.

Таблиця 1.1 – Оціночне порівняння методів знесолення [5]

Параметр	Йонний обмін	Зворотній осмос	Електродіаліз	Дистиляція
1	2	3	4	5
Надійність	Макс	Сер	Мін	Макс
Ступінь знесолення	Макс	Сер	Мін	Сер
Видалення органіки	Мін	Макс	Мін	Сер
Видалення мікрофлори	Мін	Макс	Сер	Макс

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Видалення завислих речовин	Мін	Макс	Мін	Макс
Видалення розчинених газів	Мін	Мін	Мін	Макс
Вимоги до передпідготовки	Мін	Макс	Макс	Сер
Енерговитрати	Мін	Макс	Макс	Макс
Витрата реагентів	Макс	Мін	Мін	Мін
Витрата живильної води	Мін	Макс	Макс	Мін
Об’єм відходів	Мін	Макс	Сер	Мін
Можливість переробки відходів	Макс	Мін	Мін	Макс
Можливість скидання відходів	Мін	Макс	Сер	Мін

Отже, аналізуючи запропоновані методи, можна дійти до висновків, що для даного типу вихідної води найбільш економічно обґрунтованим є метод знесолення води за допомогою зворотного осмосу з використанням йонного обміну для забезпечення необхідної чистоти води перед подачею на установки зворотного осмосу.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКЦІЇ, СИРОВИНИ, ДОПОМІЖНИХ МАТЕРІАЛІВ, ЕНЕРГЕТИЧНИХ НОСІЇВ

2.1 Характеристика продукції

Продукцією цеху підготовки очищеної води у виробництві технологічної пари для котельного відділу є вода після певних стадій освітлення та знесолення. Вимоги, що висуваються до води для отримання пари, представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вимоги якості води для отримання пари [10]

Показники якості води	Одиниця виміру	Вода для отримання пари
Розчинений кисень	мг/кг	0,05
Вільна вуглекислота	мг/кг	-
Значення pH		6,5-8,5
Завислі речовини	мг/кг	5,0
Загальна твердість	мг-екв/дм^3	0,07

Солевміст і лужність котлової води встановлюються на основі теплохімічних випробувань. Відносна лужність не нормується.

2.2 Характеристика сировини

Вихідна вода потрапляє на ТЕЦ із берегової насосної станції, яка розташована на березі Русанівського каналу. Вона подається в турбінний цех, де попередньо підігрівається до температури (40° ± 1) у конденсаторі турбіни [11].

Склад вихідної води не є постійним. Він залежить від сезону, опадів і стічних вод заводів розташованих вище за течією. У таблиці 2.2 показано приблизну характеристику вихідної та вже освітленої води після освітлювача.

Таблиця 2.2 – Норми якості вихідної та освітленої води

Показники якості води	Вихідна вода	Освітлена вода
Завислі речовини, мг/дм^3	1 ÷10	До 8,0
Солевміст, мг/дм^3	520 ÷ 600	400 ÷520
Твердість, мг-екв/дм^3	3,0 ÷ 4,5	1,5 ÷ 2,0
Лужність, мг-екв/дм^3	2,5 ÷4,0	0,8 ÷1,0
Хлориди, мг/дм^3	8 ÷ 18	8 ÷18
Сульфати, мг/дм^3	160 ÷ 200	160 ÷200
Кремнієва кислота, мг/дм^3	8 ÷18	4 ÷10
Окиснюваність, мг/дм^3	5 ÷13	До 7,0
pH		10,1÷10,2
Ферум, мкг/кг	350 ÷ 900	300

Контроль за якістю вихідної та освітленої води виконується персоналом з періодичністю 1 раз на місяць.

2.3 Характеристика допоміжних матеріалів

Коагуляційне та вапняне господарство призначені для приготування і подачі розчину коагулянту та вапняного молока в освітлювачі. Реагенти, що використовуються при коагуляції, і їх характеристику наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Реагенти, що використовуються у процесі коагуляції [12,13]

№ п/п	Реагент, стандарт	Характеристика
1	Купорос залізний технічний ГОСТ 6981-54	Коагулянт, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ Марка А Масова частка, не менше ніж 53 % Масова частка вільної сульфатної кислоти, не більше 0,3 % Масова частка нерозчинних у воді речовин, не більше 0,2 %
2	Вапно будівельне повітряне негашене ГОСТ 9179-70	Вапно, CaO Негашене кальцієве вапно, 2-й сорт Масова частка активних CaO і MgO, не менше ніж 80 % CO_2, не більше 5 % Непогашені зерна, не більше 11 %

Механічний фільтр завантажений антрацитом для очищення вихідної води від завислих речовин та іржі. Загальні характеристики антрациту наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Загальні характеристики антрациту [14]

Розмір зерен	0,8 ÷ 1,5 мм
Зольність матеріалу, не більше	10 %
Вміст сірки, не більше	2 %
Зношуваність	до 1 %
Подрібнення	до 5 %

У якості загрузки Na-катіонітового фільтру використовують катіоніт КУ – 2 – 8 – Na (ГОСТ 20298-74), що призначений для пом'якшення та знесолення води. Його технічні характеристики наведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики катіоніту КУ – 2 – 8 – Na [15]

Назва показника	Перший сорт
Зовнішній вигляд	Сферичні зерна від світло-жовтого до темно-коричневого кольору
Розмір зерен, мм	0,315-1,25
Коефіцієнт набухання товарного катіоніту, %	1,0
Повна статична обмінна ємність, ммоль/см³ (мг-екв/см³), не менше	1,8
Динамічна обмінна ємність, ммоль/см³ (мг-екв/см³), не менше	1,7

Для регенерації Na-катіонітового фільтру використовується 8-10 % NaCl (ГОСТ Р 51574-2000, сорт вищий). Сіль таблетована (NaCl) призначена для регенерації іонообмінних смол в установках пом'якшення води. Завдяки спеціальній обробці, високій якості очищення та особливій формі таблеток солі гарантується оптимальний контакт її з водою та рівномірне розчинення. У процесі пом'якшення води солі кальцію і магнію, що визначають тве-

рдість, обмінюються на йонообмінних смолах на солі натрію, які добре розчиняються у воді та не утворюють накипу на нагрівальних елементах. При насиченні йонообмінної смоли йонами твердості проводиться її регенерація соляним розчином. При регенерації, йони натрію з соляного розчину витісняють йони кальцію і магнію, які видаляються в дренаж, тим самим відновлюється працездатність смоли [16]. Характеристика NaCl наведена в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Характеристика NaCl [17]

Назва показника	Характеристика
Зовнішній вигляд	білі гігроскопічні таблетки, сформовані з порошку
Запах	Відсутній
Масова частка NaCl, %, не менше	98,4
Масова частка йона кальцію, %, не більше	0,35
Масова частка йона магнію, %, не більше	0,05

Розчини для очистки мембран готуються в окремих баках-збірниках, звідки подаються на мембрани. Технологія хімічної очистки мембран описана у розділі 3.

Очищаючий розчин концентрованої цитратної кислоти з pH 4 готується згідно ГОСТ 908-79 [18]. Він ефективний для видалення неорганічних відкладень (наприклад, карбонату кальцію, сульфату кальцію, сульфату барію, сульфату стронцію), оксидів або гідроксидів металів (наприклад, феруму, мангану, нікелю, купруму, цинку) і неорганічних колоїдних речовин. Формула: $C_6H_8O_7$ (3-гідрокси-3-карбоксіпентандіова кислота). Концентрація: 2 %.

Очищаючий розчин із лужним pH 10 2 % триполіфосфат натрію (ТПФН) і 0,8 % трилон Б. Цей розчин особливо рекомендується для видалення солей сульфату кальцію та органічних відкладень природного походження

низького і помірного ступеня. Характеристика даних розчинів наведена в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Характеристика розчинів ТПФН і трилону Б [19, 20]

№ п/п	Реагент, стандарт	Характеристика
1	Триполіфосфат натрію технічний ГОСТ 13493-86	$Na_5P_3O_{10}$ Сорт вищий Масова частка P_2O_5, не менше 57 % Масова частка триполіфосфата натрію, не менше 94 % Масова частка заліза, не більше 0,01 % Масова частка нерозчинних у воді речовин, не більше 0,1 %
2	Трилон Б ГОСТ 10652-73	$(NaOCOCH_2)_2NCH_2CH_2N(CH_2COOH)_2$ Масова частка 99,8-100,2 % Масова частка нерозчинних у воді речовин, не більше 0,005 % Масова частка хлоридів, не більше 0,01 % Масова частка заліза, не більше 0,0005 % Масова частка важких металів (Pb), не більше 0,001%

Вода після йонного обміну поступає зі значенням pH 9,0…9,5. З метою корегування pH у межах 6,5…8,5 проводять підкислення води. У якості реагенту для коригування кислотності води використовують контактну технічну сульфатну кислоту 1-го сорту. За фізико-хімічними властивостями вона повинна відповідати ГОСТ 2184-77, її характеристика наведена у таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Характеристика сульфатної кислоти [21]

Назва показника	Норма
Масова частка моногідрату (H_2SO_4), %, не менше	92,5
Масова частка вільного сірчаного ангідриду SO_3, %, не менше	-
Масова частка феруму, %, не більше	0,02

Отже, у даному розділі визначено характеристики продукції, вхідної сировини та допоміжних матеріалів, зазначено необхідну їх якість згідно нормативних документів.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИЙНЯТОГО МЕТОДУ ВИРОБНИЦТВА, ХІМІЗМ, ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ І ОБҐРУНТУВАННЯ НОРМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ

3.1 Суть процесу вапнування з коагуляцією

В освітлювачах відбувається пом'якшення води методом осадження, шляхом введення реагентів, вапна і коагулянту.

Процес гасіння вапна відбувається наступним чином:

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2, \quad (3.1)$$

при цьому виділяється тепло та пар, що утворився, видаляється витяжною вентиляцією. Готове вапняне молоко направляється на вапнування.

Вапнування з коагуляцією здійснюється для зниження лужності, твердості вихідної води, сухого залишку, а також для видалення завислих речовин, сполук силіцію, феруму, зменшення кольоровості.

При вапнуванні води протікають наступні процеси. Насамперед із води видаляється вільна вуглекислота CO_2 і утворюється важко розчинна сполука, яка випадає в осад – $CaCO_3$.

$$CO_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3\downarrow + H_2O. \quad (3.2)$$

При введенні вапна в більшій кількості, ніж це необхідно для зв'язування вуглекислоти, відбувається перехід бікарбонатів HCO_3^- в карбонати CO_3^{2-}.

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O; \quad (3.3)$$

$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2\downarrow + 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O. \quad (3.4)$$

Коагуляцією домішок води називають процес агломерації найдрібніших колоїднодисперсних частинок, що відбувається внаслідок їх взаємного злипання. Коагуляція завершується утворенням крупних агрегатів-пластівців, які відокремлюються від води, що очищується.

Коагуляція при вапнуванні є процесом, який поліпшує формування осаду і перебігання процесу видалення домішок. У якості коагулянту при вапнуванні застосовується залізний купорос – $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. При введенні в

воду разом із вапном розчину залізного купоросу, відбувається утворення гідроксиду феруму:

$$FeSO_4 + Ca(OH)_2 = Fe(OH)_2 + CaSO_4; \quad (3.5)$$

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O = 4Fe(OH)_3. \quad (3.6)$$

Коагулянт утворює нерозчинний у воді осад, що має в'ялу пористу поверхню. Якщо разом із колоїдними речовинами у воді є зважені грубодисперсні частинки (глина, пісок), утворені пластівці обволокують зважені частинки та разом з ними випадають в осад. Спільне вапнування з коагуляцією забезпечує найкращий ефект перебігу обох процесів [22].

Розчин коагулянту використовується 5-10 % концентрації. Вапняне молоко для вапнування застосовується 3-5 % концентрації.

Зміна якості води після процесів коагуляції та вапнування в освітлювачі приведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Норми якості вихідної та освітленої води [22]

Показники якості води	Вихідна вода	Освітлена вода
Завислі частки, мг/дм^3	1 ÷10	До 8,0
Солевміст, мг/дм^3	520 ÷ 600	400 ÷520
Твердість, мг-екв/дм^3	3,0 ÷ 4,5	1,5 ÷ 2,0
Лужність, мг-екв/дм^3	2,5 ÷4,0	0,8 ÷1,0
Хлориди, мг/дм^3	8 ÷ 18	8 ÷18
Сульфати, мг/дм^3	160 ÷ 200	160 ÷200
Кремнієва к-та,мг/дм^3	8 ÷18	4 ÷10
Окиснюваність, мг/дм^3	5 ÷13	До 7,0
pH		10,1÷10,2
Ферум, мкг/кг	350 ÷ 900	300

3.2 Очищення води на механічних фільтрах

Оброблена в освітлювачі вода, навіть при нормальній роботі освітлювача, містить певну кількість механічних домішок, що знаходяться в формі зважених часток від невидимих оком до дрібних пластівців, залишків процесу коагуляції та вапнування.

У момент порушення режимів роботи освітлювача, кількість домішок різко зростає за рахунок винесеного шламу [22].

На етапі попередньої очистки води перед установками зворотного осмосу використовуються механічні фільтри завантажені антрацитом. Принцип роботи механічних фільтрів заснований на механічному уловлюванні нерозчинних домішок води шаром антрациту.

Використання антрациту в очищенні води дає можливість скоротити вміст завислих частинок на 90-98 % і зменшити вміст органічних забруднень на 60-70 %.

3.3 Na-катіонітовий фільтр

Для зниження твердості води перед її подачею на установку зворотного осмосу використовують Na-катіонітовий фільтр.

У якості фільтруючого матеріалу в натрій-катіонітовому фільтрі застосовується катіоніт КУ – 2 – 8 Na.

Сутність пом'якшення води за допомогою Na-катіонування полягає в заміні йонів кальцію і магнію, які залишаються у воді після освітлювачів, на катіони натрію. Реакції обміну представлені в наступному вигляді:

$$MgCl_2 + 2NaR = MgR_2 + 2NaCl; \quad (3.7)$$

$$CaSO_4 + 2NaR = CaR_2 + Na_2SO_4. \quad (3.8)$$

Вода, після фільтрування її через катіоніт, буде містити замість катіонів кальцію і магнію, які обумовлюють її твердість, відповідні катіони натрію. Після виснаження катіоніту проводиться регенерація: 8-10 % розчином хлориду натрію. При пропусканні розчину солі через шар виснаженого катіоніту, катіони натрію витісняють з нього раніше поглинені катіони кальцію і магнію:

$$CaR_2 + 2NaCl = CaCl_2 + 2NaR; \quad (3.9)$$

$$MgR_2 + 2NaCl = 2NaR + MgCl_2. \quad (3.10)$$

Катіоніт, збагачений катіонами натрію знову отримує здатність зм'якшувати тверду воду.

Експлуатація натрій-катіонітового фільтра включає в себе наступні операції [22]:

1) робота;

2) розпушування. Має на меті розпушити ущільнений шар катіоніту, а також видалити з фільтру механічні домішки, що потрапили з водою та стерті частки катіоніту, що порушують гідродинаміку. При розпушуванні необхідно стежити за виносом матеріалу. При появі виносу під час розпушування необхідно припинити розпушування та через деякий час відновити його, плавно збільшуючи витрату на розпушування.

3) регенерація – відновлення йонообмінних властивостей катіоніту. Регенерація натрій-катіонітових фільтрів здійснюється 8-10 % розчином солі (NaCl).

4) відмивання. У відмитій воді на виході з фільтра визначається твердість. Твердість води після натрій-катіонітового фільтру зменшується від 5 до 0,07 мг-екв/дм^3.

3.4 Основні фізико-хімічні поняття зворотного осмосу

Зворотний осмос належить до баромембранних процесів. Спосіб зворотного осмосу полягає у фільтруванні розчинів під тиском крізь напівпроникні мембрани, які пропускають розчинник (воду) і повністю або частково затримують молекули або йони розчинених речовин.

Цей спосіб ґрунтується на явищі осмосу – спонтанного проникнення розчинника (води) крізь напівпроникну мембрану в розчин (рисунок 3.1, *а*). Тиск, за якого встановлюється рівновага (рисунок 3.1, *б*), називається осмотичним. Якщо з боку розчину прикласти тиск, який перевищує осмотичний, то розчинник буде переноситися у зворотному напрямі (рисунок 3.1, *в*). Цей процес називають зворотним осмосом [1].

Рушійну силу процесу зворотного осмосу у разі ідеальної напівпроникної мембрани визначають за формулою:

$$\Delta p = p - \pi_1, \qquad (3.11)$$

де p – надлишковий (робочий) тиск над вихідним розчином;

π_1 – осмотичний тиск розчину.

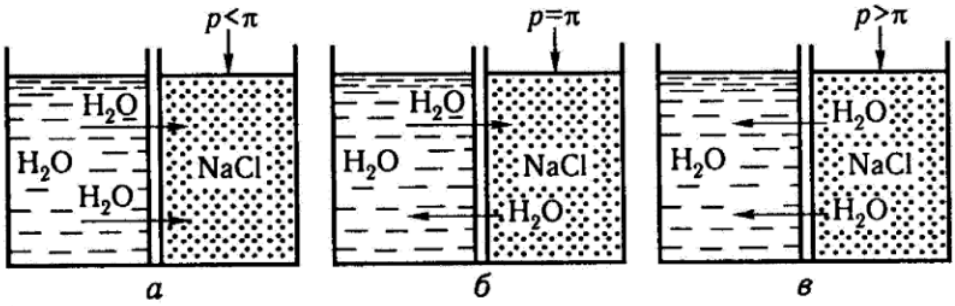


Рисунок 3.1 – Схема виникнення зворотного осмосу [1].

Однак, на практиці напівпроникні мембрани не мають ідеальної напівпроникності, і тому крізь мембрану проникає деяка кількість розчиненої речовини. У цьому разі рушійну силу процесу визначають за формулою:

$$\Delta p = p - (\pi_1 - \pi_2) = p - \Delta\pi, \quad (3.12)$$

де π_2 – осмотичний тиск фільтрату, який проник крізь мембрану.

Згідно рівняння Вант-Гоффа осмотичний тиск розчину залежить від концентрації розчинених домішок [1]:

$$\pi = \varphi \cdot C \cdot R \cdot T, \quad (3.13)$$

де π – осмотичний тиск розчину;

φ – коефіцієнт осмотичного тиску;

C – молярна концентрація розчинених домішок;

R – універсальна газова стала;

T – абсолютна температура розчину, К.

Швидкість переходу речовин крізь мембрану залежить від швидкості зміни поперек мембрани вільної енергії на одну молекулу речовини, так званий хімічний потенціал. Для води, як розчинника, хімічний потенціал розраховується наступним чином [11]:

$$\mu_w = \mu_0(P,T) - cT \approx \mu_0(T) + \upsilon P - cT, \quad (3.14)$$

де $\mu_0(P,T)$ – хімічний потенціал чистого розчинника, що залежить від тиску P та абсолютної температури T;

$c = n_s/n_w$ – відносна концентрація домішок;

υ – питомий об'єм молекули розчинника.

Таким чином, питомий потік очищеної води крізь мембрану:

$$J_w = K_w n_w \nabla \mu_w \approx \frac{K_w n_w \left(\mu_{w_1} - \mu_{w_2}\right)}{\delta_m} =$$

$$= k_w \left(P_1 - P_2 - \frac{c_1 T}{\upsilon} + \frac{c_2 T}{\upsilon}\right) = k_w (\Delta P - \Delta \pi), \qquad (3.15)$$

де J_w – питомий потік розчинника, дм^3/(год·м^2);

n_w – концентрація розчинника;

K_w – коефіцієнт пропорційності;

δ_m – товщина мембрани;

k_w – коефіцієнт проникності мембрани, дм^3/(год·м^2·атм);

ΔP – перепад тиску на мембрані;

$\Delta \pi$ – різниця осмотичних тисків розчину, атм.

Також, існує потік розчинених солей крізь мембрану:

$$F_s^i = K_s^i \cdot \left(\Delta C^i\right) = K_s^i \cdot \left(C_{in}^i - C_{perm}^i\right), \qquad (3.16)$$

де F_s^i – питомий потік розчиненої речовини крізь мембрану;

K_s^i – коефіцієнт масопереносу даної речовини;

ΔC^i – рушійна сила процесу – різниця концентрацій в об'ємі води, що очищується C_{in}^i і в перміаті C_{perm}^i.

3.5 Характеристика мембран зворотного осмосу

Головними характеристиками мембран є продуктивність та селективність. Продуктивність виражається кількістю фільтрату, віднесеним до одиниці часу й одиниці поверхні мембрани [23]:

$$J_w = \frac{\Delta q}{S \Delta \tau} = K_w \cdot \Delta P, \qquad (3.17)$$

де J_w – потік води крізь мембрану;

Δq – об'єм перміату, який пройшов крізь мембрану площею S за інтервал часу $\Delta \tau$;

K_w – константа проникності;

ΔP – різниця тисків (згідно рівняння 3.12).

Селективність мембран – це їхня вибіркова здатність пропускати ті чи інші речовини; чим вона вища, тим ефективніший процес розділення [24]. Селективність мембран визначається за формулою (у %):

$$R = 1 - \frac{C_{perm}}{C_{in}}, \tag{3.18}$$

де R – коефіцієнт селективності;

C_{perm}, C_{in} – концентрації домішок у потоках пермеату та вихідної води відповідно.

Також важливим показником є вихід по пермеату системи:

$$a_{perm} = \frac{Q_{perm}}{Q_{in}} = \frac{Q_{perm}}{Q_{conc}+Q_{perm}}, \tag{3.19}$$

де a_{perm} – вихід по пермеату;

Q_{in}, Q_{perm} і Q_{conc} – об'ємні потоки вихідної води, пермеату та концентрату, відповідно.

Продуктивність і селективність залежать не тільки від самої мембрани, але й від параметрів процесу поділу. До таких параметрів, у першу чергу, відносяться: тиск, температура, солевміст вихідної води і гідравлічний ККД (конверсія). При збільшенні робочого тиску питома продуктивність мембран зростає лінійно.

Селективність в області малих тисків лінійно зростає зі збільшенням тиску, потім швидкість зростання знижується і селективність досягає максимальної величини, яка визначається типом мембрани та природою розчиненої речовини. Такий характер залежності обумовлений тим, що в області невисоких тисків зі збільшенням рушійної сили зростає лише потік води через мембрану, у той час як потік розчиненої речовини практично не змінюється. Те, що селективність залишається постійною навіть після досягнення максимуму проникності, пояснюється зниженням потоку розчиненої речовини через мембрану при значному її ущільненні [25].

Із ростом температури підвищується рухливість йонів і молекул, що в підсумку призводить до зростання питомої продуктивності мембрани при одночасному зниженні її селективності.

При збільшенні солевмісту вихідної води зростає осмотичний тиск вихідного розчину і значно слабше (в силу селективності мембрани) – осмотичний тиск пермеату. Отже, зменшується різниця тисків, що призводить до зниження продуктивності мембрани. Також знижується і селективність мембрани через зростання дифузійного потоку, що є пропорційним вихідній концентрації.

Підвищення конверсії призводить до збільшення середньої концентрації розчинених речовин, а крім того підсилює явище концентраційної поляризації, через що особливо підвищується концентрація солей над поверхнею мембрани. Все це призводить до зменшення як селективності, так і питомої продуктивності.

Збільшення конверсії можливо до певної межі, поки значення осмотичного тиску концентрату через зростання його солевмісту не наблизиться до тиску живильної води. Тоді процес перенесення розчинника (води) припиняється. Також можливе досягнення концентрацією малорозчинних солей границі розчинності, що призведе до масового забруднення мембран домішками [26].

Концентраційна поляризація – відношення концентрації розчиненої речовини біля поверхні мембрани до її концентрації у вихідному розчині. Вплив концентраційної поляризації на робочі характеристики мембран є негативним, оскільки при цьому внаслідок збільшення осмотичного тиску розчину знижується рушійна сила процесу розділу води. Крім того, при цьому можливе випадання в осад і осадження на мембрані важкорозчинних солей, гелеутворення високомолекулярних сполук. У результаті чого зменшується питома продуктивність і селективність мембран, знижується термін їх служби [27].

Основними негативними ефектами концентраційної поляризації є: зменшення рушійної сили процесу; можливість утворення на мембрані шару нерозчинного осаду, який може привести до зміни робочих характеристик мем-

бран, у тому числі до зростання гідравлічного опору; можливість зміни структури і навіть руйнування матеріалу мембрани.

Для зменшення негативного впливу концентраційної поляризації перемішують розчин над мембраною за допомогою збільшення швидкості вихідної суміші над її поверхнею, а також застосування турбулізуючих вставок [28].

3.6 Забруднення мембран зворотного осмосу

У процесі експлуатації при будь-якій якості підготовки живильної води з часом відбувається забруднення поверхні мембранних елементів. Утворений шар осаду блокує поверхню мембран, створює додатковий гідравлічний опір потоку води та сприяє дифузії розчинених компонентів через мембрану, у результаті чого знижуються показники продуктивності та селективності.

Для забезпечення тривалої та стабільної роботи мембран необхідно періодично проводити очищення їх поверхні від забруднень.

Існують три основні критерії для визначення необхідності проведення промивки зворотноосмотичного модуля (установки):

– зниження нормалізованої селективності на 10 %;
– зниження нормалізованої продуктивності на 10 %;
– збільшення нормалізованого гідравлічного опору на 10-15 %.

Термін «нормалізований» означає приведення значення відповідного параметра до стандартних умов за робочої температури, тиску, витратних характеристик потоку живильної води.

Очищення поверхні мембран, як правило, складається з хімічної обробки з використанням реагентів, що розчиняють відкладення.

Реагенти, що використовуються для хімічної обробки мембран, не повинні пошкоджувати саму мембрану. Тому необхідно визначити їх безпечну концентрацію та тривалість контакту.

Необхідність застосування реагентів або їх комбінації обумовлюється характером забруднень, властивих для конкретної водопідготовчої установки

(ВПУ), що працює на воді певного складу. Кислотні рецептури використовуються для видалення неорганічних осадів, таких як карбонати та сульфати кальцію і магнію, гідроксиди феруму та алюмінію. Лужні рецептури призначені в основному для видалення органічних забруднень, що містять біологічні та глинисті речовини, сполуки силіцію, гумінові та фульвокислоти. Основними компонентами рецептур є неорганічні (хлоридна, фосфатна) і органічні (цитратна, оксалатна) кислоти, луги, органічні та неорганічні комплексоутворювачі.

Цикл обробки миючим складом складається з декількох операцій, що включають: циркуляційну промивку розчином реагенту протягом 20-30 хв, витримку мембранних елементів в миючому розчині від 20 хв до декількох годин, його додаткову рециркуляцію протягом 15-20 хв і відмивання установки від залишків розчину очищеною водою. Така операція проводиться для кожного з застосовуваних хімічних реагентів [29].

Розглянемо вибрані розчини.

Розчин 1: це очищаючий розчин з кислим pH 4 2%-ої цитратної кислоти. Він ефективний для видалення неорганічних відкладень (наприклад, карбонату кальцію, сульфату кальцію, сульфату барію, сульфату стронцію), оксидів чи гідроксидів металів (наприклад, феруму, мангану, нікелю, купруму, цинку) і неорганічних колоїдних речовин. Для регулювання рівня pH не допускається застосовувати гідрохлорид натрію, а використовують гідрохлорид амонію. Цитратна кислота може використовуватися в порошковому вигляді.

Розчин 2: це очищаючий розчин з лужним pH 10 2 % ТПФН і 0,8 % трилон Б. Цей розчин особливо рекомендується для видалення солей сульфату кальцію й органічних відкладень природного походження низького і помірного ступеня. ТПФН і трилон Б можуть використовуватися в порошковому вигляді [30].

4 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА

1 – бак вихідної води; *2* – освітлювач; *3* – мішалка з вапняним молоком; *4* – мішалка з коагулянтом; *5* – насос-дозатор коагулянту; *6* – насос-дозатор вапняного молока; *7* – насос вихідної води; *8* – бак освітленої води; *9* – механічний фільтр; *10* – натрій-катіонітовий фільтр; *11* – бак із розчином NaCl; *12* – бак із розчином цитратної кислоти; *13* – бак із розчином триполіфосфату натрію; *14* – бак із розчином трилону Б; *15* – I ступінь зворотного осмосу; *16* – II ступінь зворотного осмосу

Рисунок 4.1 – Технологічна схема знесолення води у виробництві технологічної пари для потреб міської теплоелектроцентралі.

Підігріта до 40 °С (±1) вода під напором подається до баку вихідної води *1*, далі за допомогою насосів сирої води або насосів водоструминних ежекторів надходить в освітлювач *2*. В освітлювач поступово дозуються реагенти, а саме: коагулянт $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (з мішалки коагулянту *4*) та вапняне молоко $Ca(OH)_2$ (з мішалки $Ca(OH)_2$ *3*). Обертальний рух води сповільнюється за допомогою перфорованих вертикальних перегородок, а вирівнювання швидкості підйому води здійснюється горизонтальними решітками. Тверда фаза, що виділяється, підтримується водою у зваженому стані, причому максимальний рівень осаду підтримується на 1,5 м нижче верхнього збірного пристрою, у результаті чого утворюється захисний шар освітленої води. Основна частина води, піднімаючись, проходить шар зваженої фази та захисну зону, звільняючись при цьому від суспензії, збирається в кільцевому жолобі та виводиться з освітлювача. Менша частина води (10-15 %) із верхньої частини зваженого шару разом із твердою фазою надходить через шламоприймальні вікна в шламоущільнювач, у якому через відсутність висхідного руху шлам відстоюється, частково зневоднюється і видаляється по лінії постійної чи періодичної продувки. Звільнена від осаду

вода відводиться від шламоущільнювача та подається по трубопроводу в збірний жолоб освітлювача. Для видалення піску, що накопичується, і інших грубодисперсних домішок у нижній частині освітлювача роблять періодичну продувку.

Коагулянт подається на спеціально захищену від корозії механічну мішалку *4* разом з водою для змішування до концентрованого розчину. Після змішування через тканинний фільтр подається до освітлювача за допомогою насоса-дозатора *5*.

Після попереднього гасіння вапна та очищення його від нерозчинених домішок вапняне молоко разом з водою подається на механічну мішалку *3* для отримання потрібної концентрації. Далі насосом-дозатором *6* поступово перекачується до освітлювача *2*.

Після освітлювача вода збирається в баку освітленої води *8*, звідки подається на два механічні фільтри *9*, де очищується від дрібнодисперсних домішок, які не осіли в освітлювачі, а також від хімічних і органічних домішок.

Після фільтрів *9*, вода подається на пом'якшення води до двох Na-катіонітових фільтрів *10*. У процесі пом'якшення з води видаляються катіони твердості (Ca^{2+}, Mg^{2+}) і заміщаються на йони Na^{+}. Попереднє пом'якшення води на установках йонного обміну зменшує навантаження за солями твердості на установки зворотного осмосу (твердість води зменшується від 5 до 0,07 мг-екв/дм^3). Регенерація натрій-катіонітових фільтрів здійснюється 8-10 % розчином NaCl, що надходить із баку *11*.

Після цього вода під тиском 0,6 МПа потрапляє на першу ступінь зворотного осмосу (ЗО) *15*, яка складається з чотирьох установок для забезпечення необхідної продуктивності. Дана установка обладнана високопродуктивними мембранними модулями з селективністю не менше 99 %. Концентрат із першого ступеня ЗО скидається в каналізацію. Для досягнення необхідного ступеня очищення води для отримання технологічної пари використовується дві ступені ЗО. Тому далі вода під тиском 0,6 МПа подається на

другу ступінь зворотного осмосу *16*, яка також складається з чотирьох установок. Концентрат з другого ступеня ЗО направляється на першу ступінь зворотного осмосу, а пермеат – для отримання пари в котельню. Промивка мембран здійснюється розчинами цитратної кислоти (бак *12*), триполіфосфату натрію (бак *13*) і трилону Б (бак *14*).

Перед установками зворотного осмосу потік вхідної води на кожний модуль проходить фільтрацію через картриджний фільтр (1 мкм). Цей фільтр призначений для захисту зворотноосмотичних мембранних елементів в аварійних ситуаціях від проскоку механічних часточок. Далі, водний потік через насос прямує на мембрани. Робочий тиск у модулях установки зворотного осмосу 1,2-1,6 МПа створюється за допомогою насосів високого тиску.

Установка зворотного осмосу розділяє вхідну воду на два потоки: очищену воду (пермеат) і воду з підвищеним у порівнянні з вхідним розчином вмістом розчинених речовин (концентрат). Для збільшення ефективності процесу використовується тангенціальна подача води до поверхні мембрани при рециркуляції.

5 ВИТРАТНІ КОЕФІЦІЄНТИ З СИРОВИНИ, НАПІВПРОДУКТІВ, ДОПОМІЖНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЕНЕРГОНОСІЇВ

5.1 Розрахунок матеріального балансу установки зворотного осмосу

Вихідні дані для розрахунку:

Продуктивність по очищеній воді L_K, м^3/год – 240.

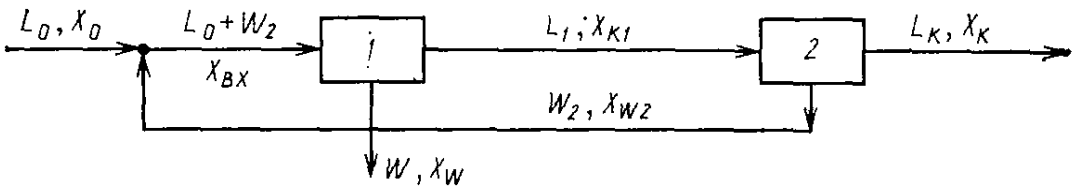
Загальний солевміст вхідної води x_0, мг/дм^3 – 400.

Вихід пермеату α, % – 80.

Селективність мембран φ, % – 99.

Вимоги до якості вихідної води після другого ступеня зворотного осмосу: електропровідність 0,3 мкСм·см$^{-1}$.

Схематичне зображення двоступінчатої схеми зворотного осмосу наведено на рисунку 5.1.



1,2 – перша та друга ступені зворотного осмосу відповідно

Рисунок 5.1 – Схематичне зображення двоступінчатої схеми зворотного осмосу з поверненням концентрату.

У цій схемі концентрат, отриманий із другого по ходу рідини апарату, повертається в перший апарат і, таким чином, забезпечується підвищена ступінь очистки. Використовуючи позначення потоків і концентрацій, прийняті на рисунку 5.1, рівняння матеріального балансу, отримаємо рівності [31]:

$$L_K + W = L_0\ ; \tag{5.1}$$

$$L_K \cdot x_k + W \cdot x_w = L_0 \cdot x_0\ ; \tag{5.2}$$

$$L_K + W_2 = L_1\ ; \tag{5.3}$$

$$L_K \cdot x_K + W_2 \cdot x_{w_2} = L_1 \cdot x_{K_1}\ ; \tag{5.4}$$

$$L_0 \cdot x_0 + W_2 \cdot x_{w_2} = (L_0 + W_2) \cdot x_{\text{вх}}\ ; \tag{5.5}$$

$$\frac{L_K}{L_1} = (x_K / x_{K_1})^{\frac{1}{a-1}}; \tag{5.6}$$

$$\frac{L_1}{L_0 + W_2} = (x_{K_1} / x_{\text{вх}})^{\frac{1}{a-1}}; \tag{5.7}$$

де a знаходиться з виразу:

$$\varphi = 1 - a = const. \tag{5.8}$$

$$a = 1 - 0{,}99 = 0{,}01.$$

Проводимо розрахунки для 60 м^3/год за формулами (5.1-5.8) у середовищі MS Excel, отримуємо результати, що наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунків

Параметр	Позначення на схемі	Розмі-рність	Числове значення
Витрата живильної води	L_0	м^3/добу	1818,9
Витрата води, яка входить на 1 ступінь ЗО	$L_0 + W_2$	м^3/добу	1894,7
Солевміст води, яка входить на 1 ступінь ЗО	$x_{\text{вх}}$	мг/дм^3	387,1
Витрата концентрату після 1 ступені ЗО	W	м^3/добу	378,9
Солевміст концентрату після 1 ступені ЗО	x_w	мг/дм^3	1919,9
Витрата води після 1 ступені ЗО	L_1	м^3/добу	1515,8
Солевміст перміату після 1 ступені ЗО	x_{K_1}	мг/дм^3	3,9
Витрата концентрату після 2 ступені ЗО	W_2	м^3/добу	75,8
Солевміст концентрату після 2 ступені ЗО	x_{w_2}	мг/дм^3	76,7

За даними розрахунків складаємо матеріальний баланс процесу очищення води на двоступеневій установці зворотного осмосу. Дані заносимо в таблицю 5.2 матеріального балансу.

Таблиця 5.2 – Матеріальний баланс по солевмісту

Прихід		Витрата	
Точка	$м^3$/добу	Точка	$м^3$/добу
Живильна вода	1818,9	Пермеат	1440
		Концентрат після 1 ступені ЗО	378,9
Всього:	1818,9	Всього:	1818,9

5.2 Розрахунок витратних коефіцієнтів

5.2.1 Витратний коефіцієнт води знесоленої

На 1 $м^3$ води знесоленої витрачається води вихідної:

$$\beta_{вих} = \frac{L_0}{L_K}; \quad (5.9)$$

$$\beta_{вих} = \frac{7275,6}{5760} = 1,26\ \frac{м^3}{м^3}.$$

5.2.2 Витрати вапна та коагулянту

Витрата вапна у вигляді $Ca(OH)_2$ визначається [32]:

$$Q_{в.доб.} = 24 \cdot 28,04 \cdot Q \cdot 1,1 \cdot Д_{в.}/1000 = 24 \cdot 28,04 \cdot 240 \cdot 1,1 \cdot 3,85/1000 =$$
$$= 684\ кг/добу.$$

Витрата вапняного молока на добу розраховується:

$$V_{в.доб.} = Q_{в.доб.} \cdot 100/1000/C_{в.м.}/\rho_{в.м.},$$

де $C_{в.м.}$ – масова концентрація вапняного молока, %;

$\rho_{в.м.}$ – густина вапняного молока, кг/$м^3$.

$$V_{в.доб.} = 684 \cdot 100 / 5 / 1040 = 13,15\ м^3/добу.$$

Кількість води для приготування вапняного молока:

$$V_{H2Oв.м.} = (V_{в.доб.} \cdot \rho_{в.м.} - Q_{в.доб.}) / 24 = (13,15 \cdot 1040 - 684) / 24 =$$
$$= 541,3\ кг/год = 0,54\ м^3/год.$$

Витрата коагулянту визначається за формулою:

$$Q_{к.доб.} = 24 \cdot Q \cdot 1,1 \cdot E_к \cdot q_к / 1000,$$

де $E_к$ – еквівалентна маса безводного коагулянту $FeSO_4$, (г-екв)/моль;

$q_к$ – максимально необхідна доза коагулянту, (мг-екв)/дм^3.

$$Q_{к.доб.} = 24 \cdot 240 \cdot 1{,}1 \cdot 78 \cdot 0{,}7 / 1000 = 345{,}9 \text{ кг/добу.}$$

Витрата 5%-го розчину коагулянту визначається за формулою:

$$V_{к.доб.} = Q_{к.доб.} \cdot 100 / 1000 / C_к / \rho_к,$$

де $C_к$ – концентрація безводного коагулянту, %;

$\rho_к$ – густина 5%-го розчину коагулянту, кг/м^3;

$$V_{к.доб.} = 345{,}9 \cdot 100 / 5 / 1048 = 6{,}6 \text{ м}^3\text{/добу.}$$

Кількість води для приготування розчину коагулянту:

$$V_{H2Oк} = (V_{к.доб.} \cdot \rho_к - Q_{к.доб.}) / 24 = (6{,}6 \cdot 1048 - 345{,}9) / 24 =$$
$$= 273{,}8 \text{ кг/год} = 0{,}27 \text{ м}^3\text{/год.}$$

5.2.3 Витратні коефіцієнти промивних розчинів мембран

Для промивки мембран використовується 2 %-вий розчин цитратної кислоти, 2 %-вий розчин ТПФН і 0,8 %-вий розчин трилону Б.

Витратні коефіцієнти промивного розчину кислоти на одну установку зворотного осмосу:

$$\beta_{1\text{пром.кислоти}} = L_{\text{пром.к-ти}} \cdot \tau \cdot N, \quad (5.10)$$

$$\beta_{2\text{пром.кислоти}} = \frac{L_{\text{пром.к-ти}} \cdot \tau \cdot N}{T_{\text{пром}} \cdot L_K}, \quad (5.11)$$

де $L_{\text{пром.к-ти}}$ – витрата розчину кислоти на промивку однієї мембрани, м^3/год;

τ – час промивки мембрани, год;

N – кількість мембран;

$T_{\text{пром}}$ – час роботи установки між промивками, год;

L_K – продуктивність по очищеній воді однієї установки, м^3/год.

$$\beta_{1\text{пром.кислоти}} = 3 \cdot 1 \cdot 35 = 105 \text{ м}^3,$$

$$\beta_{2\text{пром.кислоти}} = \frac{3 \cdot 1 \cdot 35}{2208 \cdot 60} = 0{,}0008 \text{ м}^3\text{/м}^3.$$

Витратні коефіцієнти промивного розчину ТПФН $Na_5P_3O_{10}$ на одну установку зворотного осмосу:

$$\beta_{Na_5P_3O_{10}} = L_{Na_5P_3O_{10}} \cdot \tau \cdot N, \quad (5.12)$$

$$\beta_{Na_5P_3O_{10}} = \frac{L_{Na_5P_3O_{10}} \cdot \tau \cdot N}{T_{пром} \cdot L_K}, \quad (5.13)$$

де $L_{Na_5P_3O_{10}}$ – витрата розчину ТПФН на промивку однієї мембрани, м^3/год.

$$\beta_{Na_5P_3O_{10}} = 2 \cdot 1 \cdot 35 = 70 \text{ м}^3,$$

$$\beta_{Na_5P_3O_{10}} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 35}{2208 \cdot 60} = 0{,}0005 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Витратні коефіцієнти промивного розчину трилону Б на одну установку зворотного осмосу:

$$\beta_{тр.Б} = L_{тр.Б} \cdot \tau \cdot N, \quad (5.14)$$

$$\beta_{тр.Б} = \frac{L_{тр.Б} \cdot \tau \cdot N}{T_{пром} \cdot L_K}, \quad (5.15)$$

де $L_{тр.Б}$ – витрата розчину трилону Б на промивку однієї мембрани, м^3/год.

$$\beta_{тр.Б} = 1 \cdot 1 \cdot 35 = 35 \text{ м}^3,$$

$$\beta_{тр.Б} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 35}{2208 \cdot 60} = 0{,}0003 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

5.2.4 Витрата NaCl на регенерацію

Витрата NaCl на одну регенерацію кожного натрій-катіонітового фільтру [33]:

$$G_{NaCl} = \frac{E_{роб}^{Na} \cdot h_k \cdot Д_C \cdot f}{1000}, \quad (5.16)$$

де $E_{роб}^{Na}$ – робоча обмінна ємність Na-катіоніту, (г-екв)/м^3;

h_k – висота катіонітової загрузки, м;

$Д_C$ – питома витрата солі для регенерації, г/(г-екв);

f – площа фільтрування, м^2.

$$G_{NaCl} = \frac{1244 \cdot 2{,}5 \cdot 200 \cdot 5{,}3}{1000} = 3297 \text{ кг}.$$

Визначимо витрату води на промивку (розпушення) катіонітової загрузки:

$$q_{розп} = \frac{w_{розп} \cdot f \cdot t_{розп} \cdot 60}{1000}, \quad (5.17)$$

де $w_{розп}$ – інтенсивність розпушення, дм^3/(м^2·с);

$t_{розп}$ – тривалість розпушення, хв.

$$q_{розп} = \frac{3 \cdot 5{,}3 \cdot 15 \cdot 60}{1000} = 14{,}3 \text{ м}^3.$$

Витрата води на відмивку катіонітової загрузки від продуктів регенерації:

$$q_{відм} = w_{відм} \cdot f \cdot h_k = 4{,}5 \cdot 5{,}3 \cdot 2{,}5 = 59{,}6 \text{ м}^3, \qquad (5.18)$$

де $w_{розп}$ – інтенсивність відмивки, що дорівнює 4 – 5 м^3 на 1 м^3 катіонітової загрузки.

5.2.5 Витратні коефіцієнти води на промивку механічних фільтрів

Витрата води на розпушення кожного фільтра, визначається за формулою:

$$q_{розп} = f \cdot i \cdot tрозп \cdot 60 / 1000, \qquad (5.19)$$

де f – площа фільтрування кожного фільтра, м^2;

i – інтенсивність розпушення фільтра, дм^3/(с · м^2);

$t_{розп}$ – тривалість розпушення фільтра, хв;

$$q_{розп} = 9{,}1 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 60 / 1000 = 27{,}3 \text{ м}^3.$$

Витрата води на відмивання фільтрів шляхом спуску в дренаж першого мутного фільтрату зі швидкістю 4 м/с протягом 10 хв визначається за формулою:

$$q_{відм} = f \cdot w \cdot t_{відм} / 60 , \qquad (5.20)$$

де w – швидкість фільтрування, м/год;

$t_{відм}$ – тривалість відмивання фільтра, хв.

$$q_{відм} = 9{,}1 \cdot 4 \cdot 10 / 60 = 6{,}07 \text{ м}^3.$$

6 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Основним апаратом відділу отримання технологічної пари є установка зворотного осмосу (УЗО).

Призначення УЗО – отримання пермеату шляхом видалення з води небажаних компонентів за допомогою мембран, що знаходяться в модулях зворотного осмосу. Вихід пермеату залежить від якості вихідної води та глибини очищення.

Розрахунок мембранної установки

Розрахунок мембранної установки проводиться, коли обрані, встановлені або прийняті наступні вихідні дані:

– тип мембран;
– вплив зовнішніх чинників на технологічні параметри мембран, насамперед – тиску, температури, концентрації і швидкості розчину на питому продуктивність за цільовим компонентом;
– тип мембранного апарату;
– технологічна схема установки.

Мета розрахунку:

– визначити потрібну площу мембран і, відповідно, потрібну кількість мембранних модулів для забезпечення заданої продуктивності;
– провести секціонування установки (при необхідності).

6.1 Розрахунок та вибір апарату для першого ступеня зворотного осмосу

Продуктивність по пермеату першої ступені зворотного осмосу [34]:

$$W_{1п} = (W_2 + L_0) - W = 1894{,}7 - 378{,}9 = 1515{,}8 \frac{м^3}{добу} = 64 \ \frac{м^3}{год}.$$

Знаходимо необхідну робочу площу мембран:

$$F_p = \frac{W_п}{G}, \tag{6.1}$$

де G – питома продуктивність мембрани:

$$\mathrm{G} = \frac{G_{\text{п}}}{S}, \tag{6.2}$$

де $G_{\text{п}}$ – продуктивність мембрани, м^3/год;

S – площа однієї мембрани, м^2:

$$\mathrm{G} = \frac{1{,}904}{41} = 0{,}0464\ \text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год}),$$

$$F_p = \frac{64}{0{,}0464} = 1379{,}3\ \text{м}^2.$$

Кількість мембранних модулів:

$$\mathrm{n}_{\text{мод}} = \frac{\mathrm{F_p}}{\mathrm{S}} = \frac{1379{,}3}{41} = 34 + 1\ \text{резервний}. \tag{6.3}$$

За заданою продуктивністю вибираємо 4 установки зворотного осмосу системи Nerex BWRO3085-S.

Тип мембранного елементу TORAY (Японія).

Базова комплектація установки зворотного осмосу [35]:

– мембранні елементи TORAY TMH20A-440;
– відцентровий насос високого тиску Lowara;
– мембранотримачі зі скловолокна;
– префільтр тонкої очистки з фільтроелементом 5 мкм;
– сталева рама, покрита емаллю;
– трубна обв’язка PVC-U;
– електричний шкаф управління з промисловим контролером;
– комплект КВП;
– порти підключення установки промивки мембран.

Вимоги до якості води, яка подається на першу ступінь зворотного осмосу, наведені в таблиці 6.1.

Робочі та технічні характеристики системи зворотного осмосу наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.1 – Вимоги до води, що подається на 1 ступінь зворотного осмосу [35]

Параметр	Розмірність	Значення параметру (не більше)
Температура води	°С	4 ÷ 30
Мутність	мг/дм^3	2
Окиснюваність	мг O_2 /дм^3	4,0
Солевміст	мг/дм^3	6000
Твердість	(мг-екв)/дм^3	60
Залізо	мг/дм^3	0,1
Манган	мг/дм^3	0,05
Силікати	мг/дм^3	20,0
Залишковий хлор	мг/дм^3	0,1

Таблиця 6.2 – Робочі характеристики і технічні дані системи зворотного осмосу [35]

Параметр	Розмірність	Значення параметру
Продуктивність при 15 °С	м^3/год	30 ÷ 35
Електроживлення	В, Гц	380/50
Потужність насосу	кВт	22
Тиск на вході	МПа	0,1 ÷ 0,6
Споживання води в режимі гідравлічної промивки	м^3/год	40,0 ÷ 55,0
Робочий тиск в модулі	МПа	1,2÷1,6
Діаметр підключень: Вхід установки Вихід перміату Вихід концентрату	 Фланець Фланець Фланець	 DN80 DN80 DN80
Габарити установки (Ш-Д-В)	мм	5800-1000-2230

6.2 Розрахунок та вибір апарату другого ступеня зворотного осмосу

Продуктивність по пермеату другого ступеня зворотного осмосу [34]:

$$W_{п2} = L_1 - W_2 = 1515{,}8 - 75{,}8 = 1440\frac{м^3}{доба} = 60\frac{м^3}{год}.$$

Знайшовши питому продуктивність мембрани за формулою (6.2), знаходимо необхідну робочу площу мембран за формулою (6.1):

$$G = \frac{1{,}904}{41} = 0{,}0464\ м^3/(м^2 \cdot год),$$

$$F_p = \frac{60}{0{,}0464} = 1293{,}1\ м^2.$$

Кількість мембранних модулів знаходимо за формулою (6.3):

$$n_{мод} = \frac{1293{,}1}{41} = 32 + 3\ резервні.$$

За заданою продуктивністю обираємо 4 установки зворотного осмосу для другої ступені Nerex BWRO3085-S.

Тип мембранного елементу TORAY (Японія).

Базова комплектація установки зворотного осмосу [35]:

– мембранні елементи TORAY TMH20A-440;
– відцентровий насос високого тиску Lowara;
– мембранотримачі зі скловолокна;
– префільтр тонкої очистки з фільтроелементом 5 мкм;
– сталева рама, покрита емаллю;
– трубна обв’язка PVC-U;
– електричний шкаф управління з промисловим контролером;
– комплект КВП;
– порти підключення установки промивки мембран.

Вимоги до якості води, яка подається на другу ступінь зворотного осмосу аналогічні до таблиці 6.1.

Робочі та технічні характеристики системи зворотного осмосу аналогічні до таблиці 6.2.

Отже, на підставі розрахунку та для забезпечення продуктивності живильної води обсягом 240 $м^3$/год необхідно на кожну ступінь очищення 4 установки зворотного осмосу з 35 мембранами кожна, таким чином всього 8 установок та 280 мембран.

6.3 Розрахунок та вибір допоміжного технологічного обладнання

6.3.1 Розрахунок освітлювача

Склад вихідної води, мг-екв/дм^3:

$[Ca^{2+}] = 3,2$; $[HCO_3^-] = 2,9$;

$[Na^+] = 0,4$; $[NO_3^-] = 0$;

$[Mg^{2+}] = 0,9$; $[SO_4^{2-}] = 15,8$.

Продуктивність установки складає:

$$Q = 240 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Приймаємо дозу коагулянту 0,7 мг-екв/дм^3, залишкову лужність не менш 0,7 мг-екв/дм^3.

Дозу вапна визначаємо за рівнянням [32]:

$$Д_{в.} = [CO_2]_{в.в.} + [HCO_3^-]_{в.в.} – [HCO_3^-]_{зал.} + Д_{к.},$$

де $[CO_2]_{в.в.} = CO_{2\ в.в.} / E_{CO2}$,

де $CO_{2\ в.в.}$ – вміст вільної вуглекислоти у вихідній воді, мг/дм^3;

E_{CO2} – еквівалентна маса CO_2, (мг-екв)/моль;

$Д_{к.}$ – доза коагулянту, (мг-екв)/дм^3.

$$Д_{в.} = 21 / 22 + 2,9 – 0,7 + 0,7 = 3,85 \text{ (мг-екв)/дм}^3.$$

Вапном осаджується HCO_3^- у кількості:

$$[HCO_3^-]_{осадж.} = [HCO_3^-]_{в.в.} – [HCO_3^-]_{зал.},$$

$$[HCO_3^-]_{осадж.} = 2,9 – 0,7 = 2,2 \text{ мг-екв/дм}^3.$$

У першу чергу з катіонів осаджується Ca^{2+}. При прийнятому дозуванні вапна кількість кальцію в оброблюваній воді дорівнює кількості кальцію у вихідній воді плюс внесене з вапном [32]:

$$[Ca^{2+}]_{вап.в.} = [Ca^{2+}]_{в.в.} + Д_{в.} = 3,2 + 3,85 = 7,05 \text{ (мг-екв)/дм}^3.$$

Кальцій осаджується у вигляді $CaCO_3$, зв'язуючись з йонами HCO_3^- у кількості 2,2 мг-екв/дм^3.

Залишковий вміст кальцію у вапнованій воді:

$$[Ca^{2+}]_{зал.} = [Ca^{2+}]_{вап.в.} – [HCO_3^-]_{осадж.} = 7,05 – 2,2 = 4,85 \text{ (мг-екв)/дм}^3.$$

Вміст Na^+ і Mg^{2+} залишається незмінним.

Вміст сульфатів збільшується за рахунок дозування коагулянту $FeSO_4$:

$$[SO_4^{2-}]_{вап.в.} = [SO_4^{2-}]_{в.в.} + Д_{к.},$$

$$[SO_4^{2-}]_{вап.в.} = 15,8 + 0,7 = 16,5 \text{ (мг-екв)/дм}^3.$$

Вміст хлоридів у воді не змінюється.

Кількість шламу, що утвориться при вапнуванні з коагуляцією, визначається за рівнянням:

$$Q_ш = C_{зв.р.} + 50 \cdot (Ж_{Ca}^{в.} + Д_{в.}) + 56 \cdot \alpha_{д.} \cdot Д_{в.} + 78 \cdot Д_{к.},$$

де $C_{зв.р.}$ – кількість зважених речовин у вихідній воді, г/м^3;

$\alpha_{д.}$ – кількість домішок у вапняному молоці, що дозується (20-50 %), частки од.

$$Q_ш = 10 + 50 \cdot (3,2 + 3,85) + 56 \cdot 0,5 \cdot 3,85 + 78 \cdot 0,7 = 524,9 \text{ г/м}^3.$$

Величина продувки освітлювача визначається за формулою:

$$p = (Q_ш – C_{зв.р.зал.}) \cdot 100 / 1000 / \delta_{ср.},$$

де $C_{зв.р.зал.}$ – залишковий вміст зважених речовин у воді після освітлювача, г/м^3;

$\delta_{ср.}$ – середня концентрація зважених речовин в шламоущільнювачі, г/дм^3.

$$p = (524,9 – 1) \cdot 100 / 1000 / 27 = 1,94 \text{ \%}.$$

Отже, із продувкою видаляється наступна кількість води:

$$V_{H2Опрод.} = Q \cdot 1,1 \cdot p / 100 = 240 \cdot 1,1 \cdot 1,94 / 100 = 5,12 \text{ м}^3\text{/год}.$$

Витрати вапна та коагулянту наведені в розділі 5.2.2.

Сумарна витрата води на власні нестатки освітлювача:

$$V_{в.н.осв.} = V_{H2Опрод} + V_{H2Ов.м.} + V_{H2Ок} = 5,12 + 0,54 + 0,27 = 5,93 \text{ м}^3\text{/год}.$$

Для забезпечення заданої продуктивності обираємо освітлювач ВТИ-250, і один резервний.

6.3.2 Розрахунок баку для води

Розрахунок баку вихідної води проводиться згідно рівняння:

$$Vp = W \cdot \tau \cdot 1,3,$$

де W – об'ємна витрата води, м^3/год;

τ – час перебування води в ємності, год.

Обираємо час перебування води в ємності 2 години.

$$Vp = 240 \cdot 2 \cdot 1{,}3 = 624 \text{ м}^3.$$

Обираємо ємність РВС-700 [36], з параметрами: висота 9 м, ширина 10,43 м.

6.3.3 Розрахунок і вибір механічного фільтру

Необхідна площа фільтрування приблизно визначається за формулою:

$$F' = Q_0 / w = (240 + 5{,}93) \cdot 1{,}1 / 15 = 18{,}03 \text{ м}^2.$$

де Q_0 – продуктивність фільтрів за проясненою водою з урахуванням витрати води на власні нестатки, м^3/год;

w – швидкість фільтрування при нормальному режимі роботи фільтрів, м/год.

Необхідна площа фільтрування кожного фільтра визначається за формулою:

$$f' = F' / n ,$$

де n – число фільтрів.

$$f' = 18{,}03 / 2 = 9{,}015 \text{ м}^2.$$

Підбираємо площу фільтрів, що випускаються серійно заводами, з округленням отриманого значення у бік збільшення ($f > f'$).

Встановлюємо три стандартні однокамерні фільтри площею фільтрування f = 9,1 м^2, діаметром D = 3400 мм, висотою шару 1000 мм, один з яких резервний [32].

6.3.4 Розрахунок і вибір Na-катіонітового фільтру

Вихідні дані для розрахунку:

Продуктивність установки L_0 5760 м^3/добу або 240 м^3/год.

Твердість загальна $Ж_0$, мг-екв/дм^3 – 5.

Вміст йонів натрію в вихідній воді, мг/ дм^3 – 15.

Допустима твердість пом’якшеної води $Ж_п$, мг-екв/дм^3 – 0,07.

Карбонатна твердість вихідної води $Ж_к$, мг-екв/дм^3 – 1,9.

Розрахунок одноступінчатої установки ведеться тільки на корисну продуктивність [33].

Число фільтроциклів на добу:

$$n = \frac{T}{t + t_1},$$

де T – тривалість роботи установки на добу, год;

t – корисна тривалість одного фільтроциклу, год;

t_1 – тривалість операцій, пов'язаних із регенерацією катіонітового фільтру, год:

$$n = \frac{24}{10,5 + 1,5} = 2$$

Повна обмінна ємність катіоніту $E_{повн}$ = 1800 (г-екв)/м^3 при крупності (0,3-0,8) мм.

Робоча обмінна ємність Na-катіоніту:

$$E_{роб}^{Na} = \alpha_e \cdot \beta_{Na} \cdot E_{повн} - 0,5 \cdot q_{пит} \cdot Ж_0,$$

де α_e – коефіцієнт ефективності регенерації, який враховує неповноту регенерації катіоніта, 0,81 [33]; $q_{пит}$ – питома витрата води на відмивку катіоніту, м^3 води/ м^3 катіоніту; β_{Na} – коефіцієнт, який враховує зниження обмінної ємності за іонами кальцію і магнію внаслідок часткового затримання йонів натрію, 0,86 [33]:

$$E_{роб}^{Na} = 0,81 \cdot 0,86 \cdot 1800 - 0,5 \cdot 4 \cdot 5 = 1244 \text{ (г-екв)/м}^3.$$

Необхідний об'єм катіоніту:

$$W_{kat} = \frac{L_0 \cdot Ж_0}{n \cdot E_{роб}^{Na}} = \frac{5760 \cdot 5}{2 \cdot 1244} = 11,6 \text{ м}^3.$$

Висоту катіонітової загрузки приймаємо $h_к$ = 2,5 м.

Швидкість фільтрування визначаємо за формулою:

$$v_{розр}^{Na} = \frac{E_{роб}^{Na} \cdot h_k}{T_M \cdot Ж_0 + 0,02 \cdot E_{роб}^{Na} \cdot d_{80}^2 \cdot (ln Ж_0 - ln Ж_п)}, \quad (6.4)$$

$$T_M = \frac{24}{2} - \left(t_{розп} + t_{рег} + t_{відм}\right), \quad (6.5)$$

де T_M – тривалість міжрегенераційного періоду;

d_{80} – 80%-ий калібр катіонітової загрузки;

$t_{\text{розп}}$ – тривалість розпушення катіоніту, год;

$t_{\text{рег}}$ – тривалість регенерації, год;

$t_{\text{відм}}$ – тривалість відмивки, год.

Згідно з формулами (6.4) і (6.5):

$$T_M = \frac{24}{2} - (0{,}25 + 0{,}42 + 0{,}83) = 10{,}5 \text{ год},$$

$$v_{\text{розр}}^{Na} = \frac{1244 \cdot 2{,}5}{10{,}5 \cdot 5 + 0{,}02 \cdot 1244 \cdot 0{,}8^2 \cdot (ln5 - ln0{,}07)} = 25{,}82 \frac{\text{м}}{\text{год}}.$$

Необхідна сумарна робоча площа Na-катіонітових фільтрів:

$$F_{Na} = \frac{Q_{\text{доб}}}{v_{\text{розр}}^{Na} \cdot (T - n \cdot (t_{\text{розп}} + t_{\text{рег}} + t_{\text{відм}})} = \frac{5760}{25{,}82 \cdot (24 - 2 \cdot (0{,}25 + 0{,}42 + 0{,}83)} = 10{,}6 \text{ м}^2.$$

Отже, приймаємо 2 фільтри ИФП 2,6-0,6 з площею по 5,3 м^2 [37], а також один резервний фільтр тих же розмірів.

6.3.5 Насос-дозатор вапняного молока

На освітлювач потрібно подавати 0,54 м^3/год вапняного молока. Приймаємо насос-дозатор вапняного молока типу НД630/10, продуктивністю 0,63 м^3/год, напір нагнітання 100 м вод. ст. з електродвигуном ВАО-32-4, потужністю 3 кВт.

6.3.6 Насос-дозатор розчину коагулянту

На освітлювач потрібно подавати 0,27 м^3/год розчину коагулянту. Приймаємо насос-дозатор розчину коагулянту типу НД400/16, продуктивністю 0,4 м^3/год, напір нагнітання 160 м вод. ст. з електродвигуном ВАО-21-4, потужністю 1,1 кВт.

7 АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ВИРОБНИЦТВА

Складність і висока швидкість протікання технологічних процесів у хімічній промисловості та їх чутливість до порушень режиму спричиняють підвищену увагу до питань автоматизації хіміко-технологічних процесів. Автоматичні контроль та керування технологічними процесами забезпечують високу якість продукції, раціональне використання сировини та енергії, подовження термінів міжремонтного періоду роботи устаткування, зменшення чисельності технічного персоналу [38].

У дипломному проекті було розроблено схему установки знесолення води для отримання технологічної пари, яка більш детально представлена у розділі 4.

Підігріта вода під напором подається до баку вихідної води, далі за допомогою насосів сирої води або насосів водоструминних ежекторів надходить в освітлювач. В освітлювач поступово дозуються реагенти, а саме: коагулянт $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ та вапняне молоко $Ca(OH)_2$.

Після освітлювача вода збирається в баку освітленої води, звідки насосом подається на два паралельно працюючі фільтри, де очищується від дрібнодисперсних домішок, які не осіли в освітлювачі, а також від хімічних і органічних домішок. Після фільтрів, вода подається на пом’якшення води на Na-катіонітові фільтри.

Після цього вода під тиском 0,6 МПа потрапляє на першу ступінь установки зворотного осмосу. Далі вода під тиском 0,6 МПа подається на другу ступінь установки зворотного осмосу. Концентрат з другого ступеня ЗО направляється на першу ступінь зворотного осмосу.

Очищена таким чином вода у виробництві пари подається в котельню.

7.1 Аналіз технологічного процесу як об’єкта автоматизації та обґрунтування задач автоматизації

На підставі аналізу технологічного процесу отримання технологічної пари постають наступні задачі автоматизації:

– контроль рівня води у баку для збирання вихідної води;

– контроль і регулювання витрати вапняного молока та коагулянту в освітлювач;

– контроль рівня води в освітлювачі;

– контроль рівня води у баку для збирання освітленої води;

– контроль та регулювання перепаду тиску на фільтрах;

– контроль рівня та регулювання перепаду тиску в натрій-катіонітовому фільтрі;

– контроль тиску на вході в установки зворотного осмосу;

– контроль і регулювання витрати води після установок зворотного осмосу;

– контроль pH води після установки зворотного осмосу;

– контроль електропровідності очищеної води.

Параметри контролю та регулювання відділення отримання технологічної пари наведено у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Параметри регулювання та контролю виробництва

№ п/п	Назва стадії процесу (технологічний об’єкт), місце заміру параметра	Назва контрольованого чи регульованого параметра	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до рівня автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	2	3	4	5
1	Бак вихідної води	Рівень	3 м	Контроль, сигналізація
2	Освітлювач	Рівень	2,3 м	Контроль, сигналізація
3	Мішалка з вапном	Рівень	1,5 м	Контроль, сигналізація

Продовження таблиці 7.1

1	2	3	4	5
4	Насос-дозатор вапна	Витрата	0,7 мг-екв/дм^3	Контроль, регулювання
5	Мішалка з коагулянтом	Рівень	1,5 м	Контроль
6	Насос-дозатор коагулянту	Витрата	0,7 мг-екв/дм^3	Контроль, регулювання
7	Бак освітленої води	Рівень	3 м	Контроль
8	Фільтр	Перепад тиску	0,45 – 0,6 МПа	Контроль, регулювання
9	Натрій-катіонітовий фільтрі	Рівень	3 м	Контроль, регулювання, сигналізація
		Перепад тиску	0,45 – 0,6 МПа	
10	I ступінь установки зворотнього осмосу	Тиск	0,6 МПа	Контроль, регулювання
		Витрата		
11	II ступінь установки зворотнього осмосу	Тиск	0,6 МПа	Контроль, регулювання
		Витрата		
		pH	6,5…8,5	
		Електропровідність	0,3 мкСм/см	

7.2 Опис розробленої схеми автоматизації

Для нормальної роботи усього технологічного устаткування, мінімізації можливих людських помилок, стабілізації, контролю та реєстрації технологічних параметрів розроблено схему автоматизації.

Для контролю рівня у баці вихідної води та в освітлювачі застосовано відповідно контури *1* і *6*, які складаються з первинних перетворювачів рівня (поз. *1-1*, *6-1*), проміжних перетворювачів (*1-2*, *6-2*) та приладів вторинних показувальних, реєструвальних із вбудованими пристроями сигналізації (*1-3*, *6-3*).

Для контролю рівня у баці освітленої води розроблено відповідно контур *7*, який складається з первинного перетворювача рівня (*7-1*) та приладу вторинного показувального, реєструвального (*7-2*).

Для контролю рівня у мішалці з вапном та мішалці з коагулянтом використано відповідно контури *3* та *4*, які складаються з первинних перетворювачів рівня (*3-1*, *4-1*), проміжних перетворювачів (*3-2*, *4-2*) та приладів вторинних показувальних, реєструвальних із вбудованими пристроями сигналізації (*3-3*, *4-3*).

Для контролю та регулювання витрати вапна та коагулянту призначено відповідно контури *2* та *5*, які складаються з первинних перетворювачів витрати (*2-1*, *5-1*), проміжних перетворювачів (*2-2*, *5-2*), приладів вторинних показувальних, реєструвальних (*2-3*, *5-3*), регулювальних блоків (*2-4*, *5-4*), пускачів магнітних безконтактних нереверсивних (*МП2*, *МП3*), виконавчих механізмів (*2-5*, *5-5*).

Для контролю та регулювання перепаду тиску в механічному та натрій-катіонітовому фільтрах застосовано відповідно контури *8* і *10*, які складаються з вимірювального тензоперетворювача різниці тисків (*8-1*, *10-1*) та приладів вторинних показувальних, реєструвальних із вбудованими пристроями сигналізації (*8-2*, *10-2*).

Для контролю рівня в натрій-катіонітовому фільтрі розроблено контур *9*, який складається з первинного перетворювача рівня (*9-1*), проміжного перетворювача (*9-2*) і приладу вторинного показувального, реєструвального з вбудованими пристроями сигналізації (*9-3*).

Для контролю тиску перед установками зворотного осмосу використано відповідно контури *11* і *13*, які складаються з первинних перетворювачів тиску (*11-1*, *13-1*), проміжних перетворювачів (*11-2*, *13-2*) та приладів вторинних показувальних, реєструвальних із вбудованими пристроями сигналізації (*11-3*, *13-3*).

Для контролю та регулювання витрати води призначено відповідно контури *12* і *15*, які складаються з первинних перетворювачів витрати (*12-1*, *15-1*), проміжних перетворювачів (*12-2*, *15-2*), приладів вторинних показувальних, реєструвальних (*12-3*, *15-3*), регулювальних блоків (*12-4*, *15-4*), пуска-

чів магнітних безконтактних нереверсивних (*МП4*, *МП5*), виконавчих механізмів (*12-5*, *15-5*).

Для контролю pH води після установки зворотного осмосу застосовано контур *15*. Контур містить первинний вимірювальний перетворювач (*15-1*), перетворювач високоомний (*15-2*), показувальний та реєструвальний прилад (*15-3*).

Контур *16* забезпечує контроль електропровідності води після установки зворотного осмосу. Контур містить первинний перетворювач кондуктометричного аналізатора (*16-1*) і вторинний прилад кондуктометричного аналізатора (*16-2*).

Докладніше назва, тип моделі та характеристики приладів автоматизації описані у специфікації устаткування (додаток А).

8 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ

Із розвитком промисловості швидко зростає потреба у знесоленій воді, яка не містить солей, що утворюють шкідливі відкладення на поверхні теплообмінного обладнання.

У середині семидесятих років у промисловість почали запроваджуватись агрегати зворотнього осмосу, які працюють за принципом фільтрування води крізь напівпроникну мембрану, що дозволяє на відміну від йонного обміну у декілька разів скоротити виробничі площі, металоємкість виробництва, зменшити реакційний об’єм апаратів, зменшити необхідність використання дорогоцінних йонообмінних матеріалів, зменшити потреби у різноманітних хімічних речовинах для відновлення властивостей йонообмінної смоли та отримати знесолену воду високої якості.

Використання агрегатів зворотнього осмосу дозволяє значно зменшити кількість промислових відходів, на відміну від йонообмінного знесолення, підвищити рентабельність виробництва, зменшити собівартість продукції та чисельність виробничого персоналу.

Залишивши йонний обмін тільки для попередньої обробки води, для запобігання утворення відкладень на поверхні мембран, досягається значне скорочення технологічної схеми, зменшення енергозатрат та металоємкості виробництва, кількості трубопровідної арматури, собівартості, підвищення інтенсивності технологічного процесу.

Головним продуктом виробництва проектованого цеху є очищена вода для отримання технологічної пари.

8.1 Технологічна підготовка виробництва

Виробничі процеси у цеху очищення води для отримання технологічної пари поділяються на основні, допоміжні, підсобні та побічні таким чином:

Основні – власне процес підготовки очищеної води для отримання пари:

– подача води;

– дозування вапняного молока в освітлювач;
– дозування коагулянту в освітлювач;
– освітлення води;
– фільтрування через два паралельно розміщені фільтри;
– пом’якшення води в натрій-катіонітовому фільтрі;
– проходження води через I ступінь установки зворотного осмосу;
– проходження води через II ступінь установки зворотного осмосу;
– контроль якості очищеної води.

Допоміжні:

– підготовка обладнання;
– ремонт обладнання;
– енерго- і теплозабезпечення;
– регенерація фільтрів;
– промивка мембран зворотного осмосу.

Підсобні:

– прибирання цеху, складських приміщень.

Побічні:

– скид та утилізація відходів виробництва;

Основний технологічний процес проводиться безперервно і з заданою продуктивністю. Щогодинна необхідна кількість очищеної води складає 240 м^3/год.

Випуск води за рік становить:

$$B = 8760 \cdot 240 = 2\ 102\ 400\ м^3/рік.$$

8.2 Чисельність персоналу

У таблиці 8.1 показано кількість працюючих на виробництві знесолення води для отримання технологічної пари.

Таблиця 8.1 – Кількість працюючих на виробництві знесолення води для отримання технологічної пари

№ п.п.	Посада	Кількість
1	Начальник цеху	1
2	Головний технолог цеху	1
3	Інженер	6
4	Оператор обладнання	4
5	Прибиральниця	1
6	Завідуючий складом	1
7	Лаборант	9
8	Охоронець	4

Усього у відділенні працює 27 чоловік (чисельність працівників за списком). Із них начальник цеху, головний технолог, завідуючий складом і прибиральниця, які працюють з 8.00 до 16.00; 4 оператори обладнання і 4 охоронці, які працюють у 3 зміни, позмінно; 6 інженерів та 9 лаборантів, які працюють по двоє і по троє, відповідно, у 3 зміни.

Робочий тиждень для робочого персоналу: 7 днів на тиждень, режим роботи у 3 зміни, тривалість робочої зміни 8 годин. Для керуючого персоналу: 5 днів на тиждень, режим роботи з $8^{\underline{00}}$ до $16^{\underline{00}}$:

Перша зміна працюватиме з $8^{\underline{00}}$ до $16^{\underline{00}}$: $Ч_{яв} = 11$ осіб.

Друга зміна – з $16^{\underline{00}}$ до $24^{\underline{00}}$: $Ч_{яв} = 7$ осіб.

Третя зміна – з $24^{\underline{00}}$ до $8^{\underline{00}}$: $Ч_{яв} = 7$ осіб.

Графік роботи підприємства

$$Т_{прац}^{рік} = \frac{365 - Т_{св}}{7} \cdot 40 - (Т_{св}^{*} - 1) \cdot 1 = \frac{365 - 11}{7} \cdot 40 - (8 - 1) \cdot 1 = \\ = 2016 \text{ год.}$$

$$N_{бриг} = \frac{Т_{підпр}^{рік}}{Т_{прац}^{рік}} = \frac{8760}{2016} = 4{,}3 \approx 4 \text{ бригади.}$$

Цеху необхідно 4 бригади працівників для забезпечення безперервного режиму роботи.

Графіки змінності наведено в таблицях 8.2 та 8.3.

Таблиця 8.2 – Графік змінності керуючого персоналу та прибиральниці

№ бригади	Дні													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I	1	1	1	1	1	В	В	1	1	1	1	1	В	В

Таблиця 8.3 – Графік змінності бригадних працівників

№ бригади	Дні															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I	1	1	1	1	В	2	2	2	2	В	3	3	3	3	В	В
II	В	2	2	2	2	В	3	3	3	3	В	В	1	1	1	1
III	2	В	3	3	3	3	В	В	1	1	1	1	В	2	2	2
IV	3	3	В	В	1	1	1	1	В	2	2	2	2	В	3	3

Тривалість змінообороту 16 днів.

$$T_{\text{прац.}}^{\text{рік}} = \frac{365}{T_{\text{зм.об.}}} \cdot \left(T_{\text{зм.об.}} - T_{\text{вихідн.}}\right) \cdot T_{\text{зміни}},$$

$$T_{\text{прац.}}^{\text{рік}} = \frac{365}{16} \cdot (16 - 4) \cdot 8 = 2190 \text{ год.}$$

8.3 Організація технічного контролю на виробництві

Технічний контроль якості – сукупність методів, засобів і заходів, які забезпечують відповідність якості продукції вимогам стандартів і нормативів.

На даному підприємстві об’єктами технологічного контролю є: вихідна вода, вода для отримання технологічної пари, технологічний процес, працівники підприємства.

Суб’єктами технологічного контролю є: начальник цеху та головний технолог.

Види контролю якості:

– за технічним рівнем – ручний;
– за параметрами контролю – якісний;
– за стадіями процесу – вхідний, поточний і заключний;
– за ступенем охоплення об’єктів – пооопераційний;
– за обсягом – суцільний.

На виробництві виконуються вхідний, проміжний та вихідний контролі. Усі види контролю якості води проводять лаборанти.

Вхідний контроль якості води виконують працівники лабораторії, аналізуючи проби води, яка надходить на виробництво. Контроль проводиться два рази за зміну. За результатами вхідного контролю ведеться журнал вхідного контролю.

На проміжному контролі якості води проби води відбираються після кожного технологічного апарату раз за зміну. Воду аналізують на загальний солевміст, вміст феруму, мангану, твердість загальну, органічний вуглець, розчинений хлор. За результатами проміжного контролю формують журнал проміжного контролю.

Вихідний контроль якості води проводиться автоматично під наглядом лаборанта два рази за зміну. Контролюється електропровідність води очищеної та загальний органічний вуглець. За результатами оформлюється паспорт якості.

У паспорті вказується назва підприємства, номер паспорту, відповідність стандартам, основні характеристики та їх граничні межі. Паспорт підписується головним технологом або уповноваженою ним особою. Обов’язковий підпис лаборанта, який робив вихідний контроль.

м. Київ, вул. Промислова, 4

www.kyivenergo.ua

Паспорт № 1

Найменування продукту: вода знесолена

Знак відповідності

Цех підготовки води для потреб ТЕЦ

Показники якості води	Значення показника
pH води	6,5…8,5
Нітрати, не більше	0,00002%
Важкі метали, не більше	0,00001%
Окислювальні речовини, не більше	0,05 мг/кг
Електропровідність	≤ 1.1 мкСм·см$^{-1}$ при 20 °С
Загальна твердість	0,05 мг/дм^3

Дата виготовлення _____

Начальник лабораторії_____
(підпис)

Головний технолог_____
(підпис)

Працівники проходять вхідний технічний контроль, який визначає їх кваліфікаційний рівень у вигляді співбесіди та проміжний контроль у вигляді атестації раз на три роки. Технологічне обладнання перевіряється оператором та технологом після його закупки та запуску у виробництво, а також у кінці і на початку кожної робочої зміни оператором обладнання.

8.4 Економічний розрахунок собівартості відділення знесолення води

Розрахунок витрат сировини.

У таблиці 8.4 показано витрати на сировину та допоміжні матеріали в рік. Така кількість сировини та допоміжних матеріалів обумовлена виробничою необхідністю з урахуванням можливих додаткових витрат.

Таблиця 8.4 – Витрати на сировину та реагенти

Назва	Вартість, грн/рік
Вихідна вода	
Вапняне молоко	
Коагулянт	
Цитратна кислота	
Сульфатна кислота	
Триполіфосфат натрію	
Трилон Б	
Катіоніт КУ-2-8-Na	
Хлорид натрію	

Всього в рік витрачається на сировину та реагенти 3 861 700 грн./рік.

Розрахуємо витрати електроенергії.

Період роботи підприємства за рік τ = 8760 год.

$$Ц_{ел} = \sum (Т_{рег} \cdot \tau) \cdot Р_{обл}^{річ},$$

де $Т_{рег}$ – тарифна ставка за регульованим тарифом. Згідно тарифів на електроенергію від 24.05.2016 №826 [44] для першого класу напруги ціна за 1 кВт·год = 156,82 копійок, тобто $Т_{рег}$= 1,57 грн./(кВт·год.);

$Р_{обл}^{річ}$ – річна потужність обладнання, 73,4 кВт (сумарна по всьому технологічному обладнанню):

$$Ц_{ел} = (1{,}57 \cdot 8760) \cdot 73{,}4 = 1\ 009\ 484{,}88\ \frac{грн}{рік}.$$

У таблиці 8.5 наведена вартість основних фондів, до яких входять затрати на обладнання та приміщення, із суми яких вираховуємо амортизаційні відрахування.

Таблиця 8.5 – Вартість основних фондів цеху підготовки знесоленої води для отримання пари

Основні фонди	Кількість одиниць	Вартість, грн.
Бак вихідної води	2	500 000
Освітлювачі ВТИ-250і	2	1 904 000
Насоси Д 240-70	6	120 000
Насоси-дозатори НД 1000/10	2	8 000
Механічні мішалки	2	32 000
Бак освітленої води	2	60 000
Механічні фільтри	3	75 900
Натрій-катіонітові фільтри ИФП 2,6-0,6	3	466 950
Бак регенерації натрій-катіонітових фільтрів	2	20 000
Баки промивки установок зворотнього осмосу	3	100 000
Установки зворотнього осмосу	10	7 800 000
Вапняне господарство та коагулянту		500 000
Вартість приміщення		1 000 000

Виходячи з даних, вказаних у таблиці 8.5 вартість основних фондів цеху підготовки знесоленої води у виробництві технологічної пари становить:

$$ОФ = В_{буд} + В_{обл} + В_{н.а} = 1\ 000\ 000 + 11\ 586\ 850 + 200\ 000 = 12\ 786\ 850 \text{ грн.}$$

Амортизація будівель ($Т_{експ}$ = 20 років):

$$А_{буд} = В_{буд} / Т_{експ} = 1\ 000\ 000 / 20 = 50\ 000 \text{ грн./рік.}$$

Амортизація обладнання ($Т_{експ}$ = 5 років):

$$А_{обл} = В_{обл} / Т_{експ} = 11\ 586\ 850 / 5 = 2\ 317\ 370 \text{ грн./рік.}$$

Амортизація нематеріальних активів ($Т_{експ}$ = 12 років):

$$А_{н.а.} = В_{н.а.} / Т_{експ} = 200\ 000 / 12 = 40\ 000 \text{ грн./рік.}$$

Амортизаційні відрахування:

$$А = А_{буд} + А_{обл} + А_{н.а.} = 50\ 000 + 2\ 317\ 370 + 40\ 000 = 2\ 407\ 370 \text{ грн./рік.}$$

Заробітна плата працівників наведена в таблиці 8.6.

Таблиця 8.6 – Заробітна плата працівників

Посада	Кількість	Зарплата грн./міс.	Всього грн./міс.
Начальник цеху	1	10 000	10 000
Головний технолог	1	7 500	7 500
Інженер	6	4 500	27 000
Оператор обладнання	4	4 000	16 000
Прибиральниця	1	2 000	2 000
Завідуючий складу	1	3 000	3 000
Лаборант	9	4 500	40 500
Охоронець	4	3 000	12 000
Преміальні виплати			20 000
Всього			138 000

ФОП визначається за формулою:

$$ФОП = ЗП \cdot 12 \cdot 1{,}37,$$

де ЗП – сумарна місячна заробітна плата всіх працівників підприємства, грн.;

12 – кількість місяців у році;

1,37 – єдиний соціальний внесок в Україні:

$$ФОП = 138\,000 \cdot 12 \cdot 1{,}37 = 2\,268\,720 \text{ грн./рік.}$$

Вартість оборотних засобів цеху:

$$ОбЗ = В_{сиров} + Ц_{ел} + ФОП;$$

ОбЗ = 3 861 700 + 1 009 484,88 + 2 268 720 = 7 139 904,88 грн./рік.

Розрахунок собівартості води:

С = А + ОбЗ = 2 407 370 + 7 139 904,88 = 9 547 274,88 грн./рік.

За рік підприємство виготовляє 2 102 400 $м^3$ води.

Отже, собівартість одного $м^3$ знесоленої води становить:

$$С_{одн} = 9\,547\,274{,}88 / 2\,102\,400 = 4{,}85 \text{ грн./м}^3.$$

8.4 Розрахунок техніко-економічних показників

Річна собівартість продукції:

С = 8 187 274,88 грн./рік.

Запланована ринкова ціна 1 $м^3$ води:

$$Ц_{од} = 8,0 \text{ грн./м}^3.$$

$$В = 8,0 \cdot 2\,102\,400 = 16\,819\,200 \text{ грн./рік.}$$

Річний прибуток:

$$П = Ц – С = 16\,819\,200 – 8\,187\,274,88 = 8\,631\,925,12 \text{ грн./рік.}$$

Капіталовкладення:

$$К = ОФ + ОбЗ = 12\,786\,850 + 5\,779\,904,88 = 18\,566\,754,88 \text{ грн.}$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$Е = П / К = 8\,631\,925,12 / 18\,566\,754,88 = 0,46.$$

Термін повернення капіталу:

$$Т_{пов} = К / П = 18\,566\,754,88 / 8\,631\,925,12 = 2,15 \text{ р.}$$

Рентабельність:

$$Р = (П / С) \cdot 100\% = (8\,631\,925,12 / 8\,187\,274,88) \cdot 100\% = 105,4\ \%.$$

Фондовіддача: .

$$ФВ = Ц / ОФ = 16\,819\,200 / 12\,786\,850 = 1,32 \text{ (грн. прод. / грн. ОФ).}$$

Фондоємність:

$$ФЄ = 1 / ФВ = 1 / 0,82 = 0,76 \text{ (грн. ОФ / грн. прод.).}$$

9 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розглянувши технологічну схему відділення можна прийти до висновку, що на виробництві використовуються шкідливі й небезпечні виробничі фактори, до складу яких входять: агресивні та токсичні речовини, пожежонебезпечні матеріали та речовини, електроенергія, механічна енергія.

До небезпечного обладнання у відділенні можна віднести: апарати під тиском, обладнанні аерожолобами, апарати електричної та механічної дії.

При проектуванні виробництва прийняті проектні рішення, які відповідають вимогам охорони праці та пожежної профілактики.

Зробивши висновки щодо шкідливості та небезпечності виробництва, розроблено заходи для створення у виробничих приміщеннях оптимальних умов праці та пожежної безпеки.

9.1 Виявлення та аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проектованому об'єкті. Заходи з охорони праці

9.1.1 Повітря робочої зони

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 можна зробити висновок, що роботи у цеху відносяться до категорії середньої важкості IIб. У таблиці 9.1 наведені оптимальні значення параметрів мікроклімату прийняті проектом.

Таблиця 9.1 – Оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничого приміщення

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Середньої важкості IIб	17 – 19	40 – 60	0,2
Теплий		20 – 22	40 – 60	0,3

У цеху водопідготовки передбачається використання агресивних та шкідливих речовин, тому в таблиці 9.2 представлено коротку санітарну характеристику цеху згідно з ГОСТ 12.1.005-88.

Таблиця 9.2 – Коротка санітарна характеристика цеху (лабораторії), що проектується

Шкідливі речовини, що використовуються в цеху	Група шкідливої речовини, характеристика шкідливої дії	ГДК шкідливої речовини у повітрі робочої зони, мг/м^3	Клас небезпечності шкідливої речовини	Засоби індивідуального захисту: тип, марка, ГОСТ	Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони	Засоби долікарської допомоги
1	2	3	4	5	6	7
H_2SO_4	Подразнюючі. Подразнення та опіки.	1	II	Спеціальний одяг, ГОСТ 27574 або ГОСТ 27575; захисні окуляри, тип Г по ГОСТ 12.4.013; резинові рукавиці, тип В, ГОСТ 20010; костюм з кислотостійкої тканини; черевики типу В, ГОСТ 12.4.137	Гравіметричний та санітарно-хімічний, 1 раз на місяць	При вдиханні: свіже повітря, інгаляція 2 % розчином соди; при опіках: промити мильною водою та слабим розчином соди; з очей змити водою
Залізний купорос	Подразнюючі	2	III			Промити водою чи змочити 24 % розчином соди чи фосфату натрію
Вапняне молоко	Подразнюючі	2	III			Витерти осад, промити водою та 2% розчином борної кислоти

Продовження таблиці 9.2

1	2	3	4	5	6	7
Трилон Б	Подразнюючі. Подразнення слизистих оболонок, верхніх дихальних шляхів	2	III	Респіратор ШБ-1 "Пелюстка" ГОСТ 12.4.004-74; захисні окуляри, тип Г по ГОСТ 12.4.013	Гравіметричний, 1 раз на місяць	При вдиханні: свіже повітря, зняти забруднений одяг. Очі і шкірні покриви ретельно промити водою. При ковтанні прополоскати рот, дати води для пиття.
$Na_5P_3O_{10}$	Подразнюючі. Подразнення слизових оболонок і дихальних шляхів.	0,3	IV	Спеціальний одяг, ГОСТ 27574 або ГОСТ 27575; Респіратор ШБ-1 "Пелюстка" ГОСТ 12.4.004-74; захисні окуляри, тип Г по ГОСТ 12.4.013	Санітарно-хімічний, 1 раз на місяць	При попаданні на шкіру: змити струменем води, при попаданні в очі: промити великою кількістю води.
Цитратна кислота	Подразнюючі. Подразнення слизових оболонок і шкірних покривів	1	III	Респіратор ШБ-1 "Пелюстка" ГОСТ 12.4.004-74; резинові рукавиці, тип В, ГОСТ 20010; захисні окуляри, тип Г по ГОСТ 12.4.013; халат лавсановий білий ГОСТ І 2.4.1 03-83		При попаданні на шкіру: змити сильним струменем води, при попаданні на слизову оболонку очей: промити великою кількістю води.

Шкідлива дія пилу (вугільний пил) може проявитися у вигляді механічних пошкоджень шкіри, слизової оболонки, дихальних шляхів, очей, легенів, а також у вигляді токсичної (отруйної) і хімічної дії.

Для захисту персоналу від пилу передбачено індивідуальні засоби захисту: протипилевий одяг, респіратори, захисні окуляри, марлеві пов'язки, протигази.

Для нормалізації повітря робочої зони проектом передбачено систему штучної вентиляції. Природний обмін повітря здійснюється за допомогою вікон.

Для нормалізації мікроклімату застосовуємо змішану загальнообмінну вентиляцію для рівномірного повітрообміну. Місцева вентиляція служить для подачі свіжого повітря до робочого місця. Аерація передбачена для видалення забрудненого повітря з місця його утворення. Для підвищення ефективності вентиляційних систем передбачена герметизація всього технологічного обладнання та укриття місць пиловидалення із пристроєм місцевих відсмоктувачів.

Передбачено аварійну вентиляцію (тільки витяжна), призначена для швидкого видалення великих кількостей шкідливих та вибухонебезпечних речовин, а також забрудненого пилом повітря, що виникає при порушеннях технологічного процесу або аваріях технологічного обладнання.

Для контролю мікроклімату використовуються: термометри, психрометри та анемометри.

9.1.2 Виробниче освітлення

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 у відділі водопідготовки виконуються роботи VIIIб розряду зорових умов.

У проекті передбачено використання суміщеного освітлення – поєднання бічного двостороннього і штучного освітлення. До штучного відносяться: робоче, аварійне і ремонтне освітлення.

У таблиці 9.3 представлені санітарні норми освітлення, наведені значення параметрів освітлення, прийняті проектом.

Таблиця 9.3 – Норми параметрів освітлення

Розряд зорових робіт	Характеристика зорової роботи	Освітленість при системі загального освітлення, лк	Значення КПО, %		
			Природне освітлення	Суміщене освітлення	
			бокове	верхнє	бокове
VIIIб	Загальне періодичне спостереження при постійному перебуванні людей у приміщенні	100	0,3	0,7	0,2

Система штучного освітлення – комбінована, на виробництві прийняті люмінесцентні лампи типу ЛД-80 з потужністю 80 Вт, та світловим потоком – 4200 Лм.

Для аварійного й евакуаційного освітлення передбачене застосування ламп розжарювання, поміщених у світильник «Альфа», а також переносних світильників «Универсаль» УП-200, напругою 12 В.

При відключенні робочого освітлення передбачена система аварійного освітлення. Світильники аварійного освітлення приєднуються до мережі робочого освітлення з автоматичним перемиканням на незалежне живлення.

Нижче приведений розрахунок системи загального електричного освітлення цеху методом коефіцієнта використання світлового потоку [39].

Розрахунок потоку, необхідного для забезпечення заданої освітленості горизонтальної поверхні при загальному рівномірному освітленні з урахуванням світла, що відбивається стінами та стелею проводиться за формулою (для люмінесцентних ламп):

$$F = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{n \cdot u \cdot m},$$

де F – світловий потік однієї лампи, лм;

E – нормована освітлюваність, E = 500 лм;

S – площа приміщення, S = 500 м^2;

z – поправочний коефіцієнт світильника, z = 1,1;

k – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості при експлуатації, k = 1,3;

n – кількість світильників, n = 80;

u – коефіцієнт використання, що залежить від типу світильника, показника (індекса) приміщення, відбиття і т.д., u = 0,6;

m – число люмінесцентних ламп у світильнику, m = 2.

Таким чином, необхідний світловий потік однієї лампи:

$$F = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{n \cdot u \cdot m} = \frac{500 \cdot 500 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}1}{80 \cdot 0{,}6 \cdot 2} = 3724 \text{ лм.}$$

Вибір стандартної лампи та визначення її потужності проводиться згідно ГОСТ 6825-74 [40].

Відповідно до розрахованого світлового потоку (F = 3724 лм), необхідного для забезпечення заданої освітленості, обираємо тип лампи ЛД потужністю 65 Вт і визначимо електричну потужність всієї освітлювальної системи:

$$W = P \cdot n \cdot m\,,$$

де W – потужність освітлювальної системи, Вт;

P – Потужність однієї лампи, P = 65 Вт.

$$W = P \cdot n \cdot m = 65 \cdot 80 \cdot 2 = 10400 \text{ Вт.}$$

Контроль освітленості здійснюється люксметром Ю – 116 не менше 1 разу на рік, а також після ремонту приміщень.

9.1.3 Захист від виробничого шуму та вібрацій

У цеху водопідготовки основними джерелами шуму є мішалки, освітлювачі та насоси. Джерелом шуму також є електроприводи обладнання. Згідно ДСН 3.3.6.037-99 допустимий рівень звуку у виробничих приміщеннях – 80 дБА [41].

До джерел, що викликають вібрацію в цеху відносять габаритне устаткування і його вузли, які обертаються з великою швидкістю.

Для боротьби із шумом передбачаються наступні заходи:

– відведені спеціальні звукоізолюючі кабіни;

– внутрішні поверхні облицьовані матеріалами, які поглинають шум;

– створюються малошумні механічні передачі;

– розроблено способи зниження шуму в підшипникових вузлах, вентиляторах.

Відповідно до ДСН 3.3.6.039-99 допустимий рівень вібрації в приміщенні – не більше 3,1 дБ [42]. Для захисту від вібрації у цеху мінімалізовано контакт працівників із віброоб'єктами шляхом використання дистанційного керування, автоматичного контролю та сигналізації, а також застосування захисного огородження. Для зменшення вібрації використовується віброізоляція, шляхом застосування пружинних і гумових прокладок, спеціальних підкладок під устаткування.

9.1.4 Електробезпека

Проектом передбачено здійснювати живлення електроустаткування від трьофазної чотирьохпровідної електричної мережі змінного струму промислової частоти напругою 380/220 В із глухозаземленою нейтраллю.

Можливими причинами ураження людей електричним струмом є:

– дотик до відкритих струмоведучих частин;

– дотик до струмопровідних неструмоведучих елементів, які опинилися під напругою в результаті порушення ізоляції;

– ураження кроковою напругою, яка виникла в результаті замикання струму на землю;

– ураження через електродугу.

У відділенні, яке проектується, із метою збереження здоров'я персоналу всі струмоведучі частини устаткування, до яких можливий дотик персоналу, ізольовані. Опір ізоляції електропроводів вище 0,5 МОм.

Відповідно до ГОСТ 12.1.038 - 82 допустимі рівні напруги дотику ($U_д$) і струму, що проходить через тіло людини ($I_л$) дорівнює:

– при нормальному режимі роботи електроустаткування: $U_д$ = 2 В, а $I_л$ = 0,3 мА;

– при аварійному – відповідно 36 В і 6 мА.

Припустимі значення струму й напруги:

– при нормальному режимі роботи:

$I_л$ = 0,3 мА і $U_{пр}$ = 2 В, при часі дії до 10 хв/добу;

– у аварійному режимі роботи:

$I_л$ = 6 мА і $U_{пр}$ = 36 В, при контакті більше 1 с.

Однофазний дотик зустрічається набагато частіше, ніж двофазний. Такий дотик менш небезпечний, оскільки до тіла людини прикладається лінійна напруга.

Струм, що проходить через людину в цьому випадку, складе:

$$I_л = \frac{U_ф \cdot 10^3}{R_л + R_0}, \text{ мА},$$

де $U_ф$ = 220 В – фазна напруга, В;

$R_л$ = 3000 Ом – опір тіла людини, Ом;

R_0 = 4 Ом – опір нейтралі заземлення, Ом.

$$I_л = \frac{220 \cdot 10^3}{3000 + 4} = 73{,}23 \text{ мА},$$

При цьому напруга дотику складе:

$$U_{дот} = I_л \cdot R_л = 73{,}23 \cdot 3 = 219{,}7 \text{ В}.$$

Отже, розраховані значення $I_л$ і $U_д$ значно перевищують наведені вище нормативні значення. Це свідчить про те, що при порушенні вимог ПУЕ в цеху небезпечно для здоров’я і життя людини. Тому необхідно вжити заходів, щодо забезпечення електробезпеки.

Передбачаються такі захисні заходи:

– занулення електроустаткування;

– недоступність струмоведучих частин;

– установка електроустаткування відповідно до умов навколишнього середовища, закриті пилонепроникні електродвигуни та світильники;
– захисне відключення електроустаткування.

Передбачене використання захисного одягу та пристроїв: діелектричні рукавички, інструменти з ізолюючими рукоятками, покажчики напруги, діелектричні калоші, що ізолюють підставки, тимчасові огородження, захисні окуляри, подвійна ізоляція, застосування малих напруг. Блокування в системах пуску і зупинки обладнання. Передбачений систематичний контроль ізоляції. Схема автоматизації передбачає блокування і можливість автоматичного, аварійного відключення устаткування, а також звукову та світлову сигналізацію.

9.1.5 Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання

Безпека виробничих процесів визначається відповідно до ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ і забезпечується:
– безпекою виробничого обладнання;
– вибором більш безпечного технологічного процесу;
– усуненням безпосереднього контакту працюючих із вихідними матеріалами, заготовками, напівфабрикатами, готовою продукцією та відходами виробництва, що надають шкідливу дію;
– вибором виробничого майданчика і виробничих приміщень;
– застосуванням засобів захисту працюючих;
– професійним відбором, інструктуванням, навчанням і перевіркою знань з охорони праці.

Нормативним документом «ГОСТ 12.2.003-74 ССБТ. Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки» встановлено, що безпека забезпечується:
– вибором більш безпечного обладнання;
– застосуванням в конструкції засобів захисту, механізації, автоматизації та дистанційного керування.

Тиск у технологічних трубопроводах та апаратах складає 0,6 МПа. Тиск в мембранному модулі зворотноосмотичної установки складає 1,6 МПа. При порушеннях нормальних режимів роботи технологічної лінії можуть виникнути негативні наслідки, такі як прорив трубопроводів, розгерметизація апаратів, які не розраховані на великий тиск. Продуктивність технологічної схеми по знесоленій воді становить 240 $м^3$/год. Це свідчить про те, що при прориві трубопроводів можливе затоплення відділу, що може призвести до короткого замикання та пожежі. Для уникнення цієї небезпеки в підлозі передбачено встановлення решітки з відводом води до каналізації.

Також небезпечним фактором є перелив рідини з баків, що містять розчини для хімічної очистки мембранних модулів. Розчини мають агресивне середовище, що може призвести до хімічних опіків працівників відділу. Для уникнення цього фактору на баках встановлене автоматичне контролювання рівня рідини та сигналізацію в разі підйому рівня вище допустимого.

9.2 Пожежна безпека

Причинами пожежі в цеху можуть бути:

– перенавантаження електрообладнання;
– теплова дія;
– механічне пошкодження електромережі;
– прямий удар блискавки в будівлю.

Протипожежними заходами є:

– встановлення плавких запобіжників;
– використання стрижньових блискавковідводів для захисту від прямих ударів блискавки.

Будівля корпусу хімічного цеху, де знаходиться відділення знесолення, збудована з негорючого матеріалу другого ступеня вогнестійкості. У якості сигналізації встановлені датчики типу ПОСТ 1 та телефонний зв'язок.

З метою дотримання правил пожежної безпеки у проекті передбачено розділення апаратів протипожежними перегородками на відсіки, протипоже-

жний водопровід, ємності з піском і пожежні щити. Передбачається захист ізоляції від теплового впливу. У цеху для пригнічення пожежі передбачено сухий пісок, азбестові ковдри, порошкові вогнегасники, які є найбільш універсальними по області застосування й по робочому діапазоні температур. У приміщенні є два евакуаційні виходи на випадок виникнення пожежі. Усі електроустановки захищені автоматичними пристроями від струмів короткого замикання.

Показники пожежо- та вибухонебезпечності речовин та матеріалів наведені в таблиці 9.4.

Таблиця 9.4 – Показники пожежо- та вибухонебезпечності речовин та матеріалів

Реагенти, що використовують у виробництві	Агрегатний стан речовини за н.у.	Показники пожежо- та вибухонебезпеки			Вогнегасні засоби	Категорія приміщення за ОНТП 24 - 86	Клас приміщення (зони) і зовнішніх установок за ПУЕ	Категорія об'єкту і тип зони за устроєм блискавкозахисту згідно СН 305 -77
		Горючість	Температура спалахування,°С	Температура самоспалахування,°С				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Машинне масло (насос)	Р	Горить	180	380	Порошок ПСБ і СН-2	Д	П – IIа	IIIа
Гума (ізоляція)	Тв	Горить	220	400	ОХП – 10			

10 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА

Технологічний процес знесолення води для отримання технологічної пари на ТЕЦ, як і будь-який виробничий процес, супроводжується утворенням відходів. Метою даного розділу є визначити та класифікувати відходи, розрахувати їх кількість та навести можливі варіанти екологізації виробництва.

10.1 Аналіз джерел та розрахунок кількості відходів

Характеристика сировини та продукції наведені в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1 – Характеристика сировини та продукції виробництва

Характеристика твердих відходів, газових викидів і рідких стоків виробництва води для отримання пари наведена в таблиці 10.2.

Таблиця 10.2 – Характеристика твердих відходів, газових викидів та рідких стоків виробництва

Розчин після регенерації катіонітів збирається в спеціальному баку, де розводиться водою до вмісту хлоридів не більше 240 мг/дм^3 і скидається в каналізацію.

Розчин після хімічної промивки мембран, який містить цитратну кислоту, триполіфосфат натрію і трилон Б нейтралізується до pH 8 сульфатною кислотою, розводиться водою до вмісту сульфатів у воді не більше 300 мг/дм^3 і скидається в каналізацію.

Вода після промивки механічних та натрій-катіонітових фільтрів поступає у цикл перед освітлювачем.

Концентрат після першої ступені зворотного осмосу направляється в каналізацію.

10.2 Можливі варіанти екологізації виробництва

Для ефективного вирішення проблеми утилізації відходів виробництва потрібно здійснити їх паспортизацію, оцінити токсичність і вивчити наслідки їх впливу на екосистему.

Перед тим, як спрямувати утворений осад на ліквідацію або утилізацію, його піддають попередньому обробленню для отримання шламу, властивості якого забезпечують можливість його утилізації або ліквідації з найменшими затратами енергії та забрудненням довкілля.

Початковою стадією технологічного циклу оброблення осаду є його ущільнення.

Стабілізація осадів використовується для руйнування біологічно розкладеної частини органічної речовини, що запобігає гниттю осадів при тривалому зберіганні на відкритому повітрі.

Утворений шлам пройшовши шламоущільнювач в освітлювачі має 98-99 % вологи, отже спочатку треба його зневоднити, це проводиться за допомогою прес-фільтрів механічним шляхом, а також його піддають термічній обробці (сушінню), після чого шлам має вологи вже 75-80 %. Потім шлам відправляється на регенерацію. Регенерація проводиться 20-40 % сульфатною кислотою. Після чого одержують відпрацьований коагулянт $Fe_2(SO_4)_3$, який направляють в цикл. Це один варіант, що можна зробити зі шламом, інший варіант полягає у випалюванні осаду після його зневоднення, що є економічно вигідним, оскільки не витрачаються кошти на регенерацію.

Також шлам, який залишився, може бути використаний [43]:

– для підвищення родючості ґрунтів, що сприятиме підвищенню продуктивності агроекосистем, рішенню геоекологічних задач, а також проблеми пошуку нових альтернативних джерел сировини при виробництві добрив замість існуючих більш ресурсоенергоємних;

– у керамічних виробництвах, у якості наповнювачів асфальтових сумішей і бетону;

– для застосування у будівельній індустрії.

Відновлення робочих властивостей антрациту здійснюється промиванням зворотним потоком води. Відпрацьований антрацит необхідно зберігати в спеціальних ємностях і піддавати складному процесу утилізації. Альтернативою цього може стати регенерація, яка має ряд суттєвих переваг, серед яких економія коштів, оскільки регенерація коштує на 70-75 % дешевше, ніж утилізація, а також виконання вимог екологічної організації щодо обмеження використання природних ресурсів.

Регенерацію антрациту можна проводити парою. Спосіб регенерації антрациту включає нагрівання вугілля до 660-700 °С із швидкістю підйому температури 30-60 °С/хв, обробку водяною парою при массовому співвідношенні пари та вугілля (2-4) : 1 і охолодження вугілля в атмосфері, що не містить кисню. Спосіб дозволяє повністю відновити адсорбційні властивості антрациту, що забезпечує його багаторазове використання.

10.3 Екологічний моніторинг

Екологічний моніторинг виробництва являє собою систему нагляду, аналізу, зберігання інформації про стан навколишнього середовища, прогнозування її змін і розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо покращення екологічного стану на підприємстві та навколо нього та для прийняття ефективних управлінських рішень [44].

Основні аспекти проведення екологічного моніторингу наведені в таблиці 10.3.

Таблиця 10.3 – Перелік місць, частоти відбору проб і методик їх аналізу

Найменування стадії	Місце відбору проби	Параметр, що контролюється	Частота контролю	Методика та засоби вимірювання
Регенераційні води після натрій-катіонітового фільтра	Бак	Масова концентрація хлору, г/дм^3	Після кожної регенерації	Титриметричний метод
Концентрат після першої ступені зворотного осмосу	Штуцер виходу концентрату першої ступені з модуля зворотного осмосу	pH Солевміст, г/дм^3	1 раз у зміну	Прилад SX-650 «Екоюніт»
Шлам	Шламоущільнювач	Вологість Загальний вміст феруму Вміст карбонатів Вміст SiO_2	1 раз у зміну	Фотометричний метод Титриметричний метод Гравіметричний метод

10.4 Розрахунок екологічних платежів

У даному розділі розрахована величина плати за скидання стічних вод у міську каналізацію міста Києва.

Величина плати за скид стічних вод у міську каналізацію ($П_с$) розраховується водоканалом згідно з державною Інструкцією за формулою [45]:

$$П_с = Т \cdot V_{дог} + 5 \cdot Т \cdot V_{пдог} + V_{пз} \cdot К_к \cdot Н_п, \qquad (10.1)$$

де Т – тариф, установлений за надання послуг водовідведення Підприємствам, віднесеним до відповідної категорії абонентів, грн./м^3;

$V_{дог}$ – обсяг скинутих Підприємством стічних вод у межах, обумовлених договором або лімітом, м^3;

$V_{пдог}$ – обсяг скинутих Підприємством стічних вод понад обсяги, обумовлені договором або лімітом, м^3;

$V_{пз}$ – обсяг скинутих Підприємством стічних вод з понаднормативними забрудненнями, м^3;

$К_к$ – коефіцієнт кратності, який враховує рівень небезпеки скинутих забруднень для технологічних процесів очищення стічних вод та екологічного стану водойми;

$Н_п$ – встановлений норматив плати за скид понаднормативних забруднень у міську каналізацію, грн./м^3.

При виявлені водоканалом під час контролю якості стічних вод, що скидаються Підприємством, перевищення фактичної концентрації одного виду забруднення ($С_ф$) над установленою договором або місцевими Правилами приймання допустимою концентрацією (ДК) коефіцієнт кратності для розрахунку плати за скид понаднормативних забруднень визначається за формулою [45]:

$$К_к = (С_ф – ДК) / ДК; \quad (10.2)$$

$$К_к = (20\ 000 – 300) / 300 = 49.$$

Оскільки за правилами коефіцієнт кратності не може перевищувати 5, то беремо максимальне значення перевищення фактичної концентрації одного виду забруднення, яке дорівнює 5.

Отже, можна порахувати плату за скид стічних вод за формулою (10.1):

$$П_с = 3{,}56 \cdot 15\ 000 + 5 \cdot 3{,}56 \cdot 5\ 000 + 1\ 000 \cdot 5 \cdot 25 = 267\ 400 \text{ грн.}$$

Тепер перерахуємо на 1 м^3 скинутих вод:

$$П_с (\text{на } 1 \text{ м}^3) = 267\ 400 / 20\ 000 = 13{,}37 \text{ грн.}$$

У даному розділі розраховано плату за скид стічних вод у міську каналізацію у разі відсутності будь-яких переробок відходів. У цілому екологічний стан виробництва відповідає нормі.

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті розроблено технологічну схему знесолення води у виробництві технологічної пари для потреб міської теплоелектроцентралі та обґрунтовано вибір методу очищення. Наведено характеристику вихідної сировини та продукції. Розраховано основне та допоміжне технологічне обладнання у відповідності до заданої продуктивності.

Основним апаратом технологічної схеми виступає установка зворотного осмосу. Для забезпечення продуктивності живильної води обсягом 240 $м^3$/год необхідно на кожну ступінь очищення 4 установки зворотного осмосу з 35 мембранами кожна, таким чином всього 8 установок Nerex BWRO3085-S і 280 мембран.

Представлено схему автоматичного контролю та регулювання наступних параметрів: витрати реагентів і води, рівень рідини в баках, перепад тисків у фільтрах, тиск, pH та електропровідність в установках зворотного осмосу.

У результаті виконання економіко-організаційного розрахунку було визначено основні цехові витрати, витрати на обслуговування обладнання, собівартість продукції, яка становить 4,85 грн/$м^3$ води, обраховано основні техніко-економічні показники.

На основі аналізу шкідливих і небезпечних факторів у розділі охорони праці розглянуто безпечні умови проведення виробничого процесу.

У розділі екологічної безпеки виробництва наведено аналіз і джерела виникнення відходів, надано можливі варіанти їх очищення. Розраховано екологічні платежі у випадку аварійного скиду стоків у міську каналізацію, які складають 13,37 грн./$м^3$.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Запольский, А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: Підручник [Текст] / А.К. Запольський. – К.: Вища школа, 2005. – 671 с. ISBN 966-642-234-4.
2. Бондалетова Л. И., Бондалетов В. Г. Процессы переработки сырья и рациональное использование природных ресурсов: Учебное пособие. [Текст] – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 160 с.
3. Знесолення води [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://garantus.at.ua/index/znesolennja_vodi/0-85.
4. Іонний обмін та іонообмінна хроматографія [Текст] / В. О. Мінаєва. – Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2013. – 128 с.
5. Сравнение методов обессоливания воды [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://www.mediana-filter.com.ua/water_obessolivanie.html.
6. Порівняльна характеристика методів знесолення [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://wwtec.ru/index.php?id=503.
7. Зворотний осмос [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: https://uk.wikipedia.org/wiki/Зворотний_осмос.
8. ОБЕССОЛИВАНИЕ ВОДЫ [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://wwtec.ru/index.php?id=30.
9. Огляд мембранних технологій очистки води у водопостачанні та водопідготовці [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: file:///C:/Users/%D0%A2%D0%B0%D0%BD%D1%8F/Downloads/5594-9036-1-SM.pdf.
10. Інструкція проектування [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://www.tvd.vn.ua/upload/file/Information/%20проектування.pdf
11. Пантелеев, А.А. Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке [Текст] / А.А. Пантелеев, Б.Е. Рябчиков, О.В. Хоружий,

С.Л. Громов, А.Р. Сидоров. – М.: ДеЛи Плюс, 2012. – 429 с. ISBN 978-5-905170-14-0.

12. ГОСТ 6981-94 Купорос железный технический. Технические условия [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://vsegost.com/Catalog/93/9337.shtml.
13. ГОСТ 9179-77 Известь строительная. Технические условия [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://www.internet-law.ru/gosts/gost/33528/
14. Антрацит [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://ua-referat.com/Гігієна_води.
15. ГОСТ 20298-74. Смолы ионообменные. Катиониты. Технические условия (с Изменениями N 1-5) [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://docs.cntd.ru/document/gost-20298-74.
16. Сіль таблетована [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://ukr-poster.at.ua/board/lvivska_oblast/bezkoshtovni_ogoloshennja_lviv_bezkoshtovni_ogoloshennja/sil_tabletovana/2-1-0-21683.
17. ГОСТ Р 51574-2000 Соль поваренная пищевая. Техническая условия [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://vsegost.com/Catalog/54/5401.shtml.
18. ГОСТ 908-79. Кислота лимонная пищевая. Технические условия [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://docs.cntd.ru/document/gost-908-79.
19. ГОСТ 13493-86 Натрия триполифосфат. Технические условия [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://vsegost.com/Catalog/12/12212.shtml.
20. ГОСТ 10652-73. Реактивы. Соль динатриевая этилендиамин-N,N,N',N'-тетрауксусной кислоты, 2-водная (трилон Б). Технические условия [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://docs.cntd.ru/document/gost-10652-73.

21. ГОСТ 2184-77. Кислота серная техническая [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://www.himtrade.ru/g_2184-77.htm.
22. Інструкція з експлуатації обладнання водопідготовчої установки ВПУ на Дарницькій ТЕЦ. – 2013.
23. Мембранні процеси очищення стічних вод [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://studme.com.ua/10501222/ekologiya/membrannye_protsessy_ochistki_stochnyh_vod.htm.
24. Обладнання технологічних процесів фармацевтичних та біотехнологічних виробництв : навч. посібник для студ. вищ. навч. заклад. / М. В. Стасевич, А. О. Милянич, І. О. Гузьова ; за ред. В. П. Новікова. –Вінниця: Нова Книга, 2012. – 408 с. ISBN978-966-382-441-3.
25. Основи зворотноосмотичної обробки води [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://ua-referat.com/ Основи_обратноосмотіческой_обробки_води.
26. Основные характеристики обратного осмоса [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://www.medfilter.ru/kh02.html.
27. Мембранные процессы [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://lektsii.com/2-65270.html.
28. Влияние различных факторов на процесс мембранного разделения [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://helpiks.org/4-91354.html.
29. Загрязнение и отмывка мембран [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://www.mediana-filter.ru/osmos_clear.html.
30. Інструкція з експлуатації установки зворотного осмосу на ТЕЦ-5. – 2015.
31. Дытнерский, Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет [Текст] / Ю.И Дытнерский. – М.: Химия, 1986. – 272 с.
32. Концевой, А.Л. Алгоритмізація і програмування розрахунків процесу водопідготовки. Навчальний посібник: На правах рукопису / А.Л. Концевой, Н.М. Толстопалова. – К.: 2003. – 44 с.

33. Кожинов, В.Ф. Очистка питьевой и технической воды. Примеры и расчеты: Учеб. пособие для вузов. 4-е изд., репринтное [Текст] / В.Ф.Кожинов. – М.: ООО «БАСТЕТ», 2008. – 304с. ISBN 978-5-903178-09-4.
34. Учебные пособия. Основы проектирования производств, использующих мембранное разделение [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://www.membrane.msk.ru/books.
35. Промышленные фильтры для воды / Каталог / Обратный Осмос [Електронний ресурс] – Режим дост. до журн.: http://nerex.ua/index/katalog/obratnyij_osmos.html.
36. РВС-700 м3, резервуар вертикальний стальний циліндричний [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://r-stroitel.ru/catalog/rvs/rvs-700/
37. Ионитные фильтры прямоточные первой ступени [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://techenergochim.com.ua/ru/vodopodgotovitelnoe_oborudovanie-promyshlennye_filtry-ifp.html.
38. Автоматизація процесу [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.:http://ahv.kpi.ua/wp-content/uploads/Вишневский_АВТОМАТИЗАЦІЯ-ПРОЦЕСУ.pdf.
39. Жидецький В. Ц. Практикум з охорони праці [Текст] – Л.: Афіша, 2000. – 392 с.
40. ГОСТ 6825-74. Лампи люмінесцентні ртутні низького тиску.
41. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
42. ДСН 3.3.6.039.99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.
43. Ресурсоенергозберігаюча технологія переробки шламу – відходу передочищення води на ТЕЦ [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://eco.com.ua/content/tekhnologiya-pererobki-shlamu.

44. Вредные вещества в промышленности: справочник для химиков, инженеров и врачей: в 3 т. / Под ред. Н. В. Лазарева и Э. Н. Левиной. – Л.: Химия, - 1976. - Т. 1. Неорганические вещества. – 590 с.
45. Наказ України Про затвердження Інструкції про встановлення та стягнення плати за скид промислових та інших стічних вод у системи каналізації населених пунктів [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0402-02.