НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИЗАЦІЇ, ПРОМИСЛОВОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕКОЛОГІЇ
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РОСЛИННИХ ПОЛІМЕРІВ

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ В.В.Галиш
«___»_____2026 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології»
зі спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія»
на тему: Удосконалення технологічної схеми знесолення води на ВП «Хмельницька АЕС» АТ «НАЕК "Енергоатом"»

Виконала:
студентка IV курсу,
групи ЛЦ-з21
Гончарук Наталія Володимирівна _____

Керівник:
к.б.н., с.н.с. Вембер Валерія Володимирівна _____

Консультант з розділу Охорона праці:
ст.викладач кафедри ОППЦБ, к.т.н.,
Ковтун Андрій Іванович _____

Рецензент:
Професор кафедри ХПСМ
КПІ ім. Ігоря Сікорського, д.т.н., професор
Щербина Валерій Юрійовий _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2026 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИЗАЦІЇ, ПРОМИСЛОВОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕКОЛОГІЇ
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РОСЛИННИХ ПОЛІМЕРІВ

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність – 161 «Хімічні технології та інженерія»
Освітньо-професійна програма «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. Завідувач кафедри
_____В.В.Галиш
«___»_____20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Гончарук Наталії Володимирівні

1. Тема: Удосконалення технологічної схеми знесолення води на ВП «Хмельницька АЕС» АТ «НАЕК "Енергоатом"» _____
2. Керівник проєкту Вембер Валерія Володимирівна, к.б.н., с.н.с. затверджені наказом по університету від «19» травня 2026 р. № 1816-с

3. Термін подання студентом проєкту (роботи) 9 червня 2026 р.

4. Вихідні дані до проєкту (роботи):
Витрата води - 3000 м^3/добу, загальний солевміст - 288 мг/дм^3, кремнієва кислота 2,1 мг/дм ^{3}; прозорість – 82^o, загальна твердість води – 5,4 мг-екв/дм^3; загальна лужність води – 4,35 мг/дм^2; pH 7,8; завислі речовини – 38,2 мг/дм^2; сухий залишок – 328 мг/дм^2.

5. Зміст пояснювальної записки: вступ, техніко-економічне обгрунтування проєкту, технологічна частина, технологічні та гідравлічні розрахунки очисних споруд, будівельна частина, охорона праці та екологічна безпека, висновок, список використаної літератури та додатки.

6. Перелік графічного матеріалу: технологічна схема А1, план розміщення споруд на місцевості А1, блок-схема А1, таблиця показників якості води А1, план цеху на відмітці +0,000 А1, поздовжній розріз цеху 1-1 А1, охорона праці А1.
7. Консультант розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Заходи з охорони праці на виробництві	Ковтун А.І., к.т.н., старший викладач кафедри ОППЦБ		

8. Дата видачі завдання 19 травня 2026 р.

Календарний план

№ з/ п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Проходження виробничої практики	20.04 – 10.05	
2	Проходження переддипломної практики	11.05 – 17.05	
3	Розроблення технологічної схеми та наведення її обґрунтування	17.05 – 23.05	
4	Розрахунок матеріального балансу	23.05 – 24.05	
5	Проведення технологічних та гідравлічних розрахунків	25.05 – 26.05	
6	Оформлення пояснювальної записки	27.05 – 02.06	
7	Виконання креслень	02.06 – 06.06	
8	Підготовка презентації	06.06 – 08.06	

Студент Гончарук Н.В.

Керівник проєкту Вембер В.В.

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту

на тему:

Удосконалення технологічної схеми знесолення води на ВП «Хмельницька АЕС» АТ «НАЕК "Енергоатом"»

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	А4	ДП ЛЦ з2101.00.026 ПЗ	Пояснювальна записка	87	
2	А1	ДП ЛЦ з2101.01.026 ТС	Технологічна схема	1	
3	А1	ДП ЛЦ з2101.02.026 ПС	План розміщення споруд на місцевості	1	
4	А1	ДП ЛЦ з2101.03.026 БС	Блок-схема	1	
5	А1	ДП ЛЦ з2101.04.026ТП	Таблиця показників якості води	1	
6	А1	ДП ЛЦ з2101.05.026 ПЦ	План цеху на відмітці +0,000	1	
7	А1	ДП ЛЦ з2101.06.026 ПР	Поздовжній розріз цеху 1-1	1	
8	А1	ДП ЛЦ з2101.07.026 ОП	Охорона праці	1	

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка налічує 88 сторінок і містить 10 таблиць, 8 рисунків, список літератури та графічний матеріал.

Метою даного проєкту є вдосконалення технологічного процесу водопідготовки на Хмельницькій АЕС шляхом переходу від застарілих іонообмінних технологій до сучасних мембранних технологій зворотного осмосу з метою підвищення екологічної безпеки, економічної ефективності та стабільності якості підготовленої води.

Дипломний проєкт складається з пояснювальної записки та креслень. Пояснювальна записка складається з п’яти розділів: техніко-економічне обґрунтування проєкту, технологічна частина, технологічні та гідравлічні розрахунки очисних споруд, будівельний розділ, а також розділ з охорони праці та екологічної безпеки. Проведено порівняльний аналіз існуючих та запропонованих варіантів водоочищення, а також продемонстровано доцільність переходу на мембранні технології. У технологічному розділі обґрунтовано вибір технологічної схеми та наведено розрахунки матеріального балансу очисних споруд. У будівельному розділі визначено необхідні будівлі для розміщення обладнання, а в розділі з охорони праці викладено фактори негативного впливу, потенційні ризики для діяльності працівників та заходи щодо поліпшення умов праці.

У заключному розділі проекту наведено основні висновки щодо вдосконалення технологічної схеми.

ЗВОРОТНИЙ ОСМОС, МЕМБРАННІ МЕТОДИ, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, ВОДОПІДГОТОВКА, ЗНЕСОЛЕННЯ ВОДИ, РЕАГЕНТИ

ABSTRACT

The explanatory note is 88 pages long and includes 10 tables, 8 figures, a list of references, and graphic materials.

The objective of this project is to improve the water treatment process flow at the Khmelnitsky NPP by transitioning the water desalination process from outdated ion-exchange technologies to modern reverse osmosis membrane technology to enhance environmental safety, economic efficiency, and the stability of treated water quality.

The thesis project includes an explanatory note and drawings. The explanatory note consists of five sections: technical and economic justification of the project, the technological section, technological and hydraulic calculations for the treatment facilities, the construction section, and occupational safety and environmental safety. A comparative analysis of the existing and proposed water treatment options was conducted, and the feasibility of transitioning to membrane technologies was demonstrated. The technical section justifies the selection of the process flow diagram and includes material balance calculations for the treatment facilities. In the construction section, the necessary buildings for housing the equipment were selected, and the occupational safety section outlines factors of negative impact, potential risks to employee activities, and measures to improve working conditions.

The concluding section of the project presents the main conclusions regarding the improvement of the process flow diagram.

REVERSE OSMOSIS, MEMBRANE METHODS, PROCESS FLOW SCHEME, WATER TREATMENT, WATER DESALINATION, REAG

ЗМІСТ

ВСТУП……...11
1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ……...14
1.1 Аналіз джерела технічного водопостачання ВП ХАЕС та стан існуючої ВПУ……14
1.2. Обґрунтування доцільності модернізації існуючої ВПУ……..16
1.3. Інженерно-екологічні та економічні переваги баромембранних технологій……...17
1.4. Вибір місця спорудження водоочисних споруд……19
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА……...20
2.1. Характеристика вихідної води, вимоги до очищеної……20
2.2. Розробка та обґрунтування технологічної схеми водопідготовки……22
2.2.1. Вузол попередньої очистки (Реагентна коагуляція та освітлення)…….22
2.2.2. Стадія механічного фільтрування води……24
2.3. Знесолення води……....26
2.3.1. Баромембранний зворотний осмос……26
2.3.2. Фінішне іонообмінне дополірування на фільтрах змішаної дії (ФЗД)…...27
2.4. Технологічна схема……...…27
2.5. Розрахунок матеріального балансу……29
2.6. Класифікація та загальна характеристика баромембранних процесів…….34
2.7. Класифікація та характеристика синтетичних мембран……...36
2.8. Фізико - хімічні основи та термодинаміка зворотного осмосу……41
2.9. Апаратне оформлення та компоновка зворотноосмотичної установки……...45
3. ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ ОЧИСНИХ СПОРУД……48
3.1. Розрахунок площі складу та об’єму розчинних і витратних баків реагентів……48
3.1.1. Коагулянт…….....48
3.1.2. Вапно……..…49
3.1.3. Гідроксид натрію……..50

3.1.4. Антискалант……50
3.1.5. Сульфатна кислота……51
3.1.6. Біоцид……52
3.2. Розрахунок освітлювача……52
3.3. Розрахунок бака освітленої води……54
3.4. Розрахунок об'єму шламу……55
3.5. Розрахунок шламонакопичувача……56
3.6. Розрахунок фільтр-преса……56
3.7. Розрахунок бака промивних (шламових) вод……56
3.8. Розрахунок механічних фільтрів……57
3.9. Розрахунок картриджного фільтра……58
3.10. Розрахунок установки зворотного осмосу (Мембранний блок)……59
3.11. Розрахунок баків пермеату та концентрату……61
3.12. Розрахунок ФЗД……61
3.13. Розрахунок баку для скиду нейтральних вод……62
3.14. Розрахунок об'єму бака сирої води……62
4. БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА……64
4.1. Об'ємно-планувальне вирішення будівлі……64
4.2. Конструктивне вирішення будівлі……65
4.3. Розрахунок площі адміністративно-побутових приміщень……67
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА……71
5.1. Електробезпека……72
5.2. Робота з отруйними та небезпечними речовинами……73
5.3. Виробничий шум та вібрація……74
5.4. Виробниче освітлення……74
5.5. Механізми та рухомі частини обладнання……75
5.6. Пожежна безпека……76
ВИСНОВКИ……79
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ……80
ДОДАТКИ……83

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

АЕС	Атомна електрична станція
ВП ХАЕС	Відокремлений підрозділ Хмельницької атомної електричної станції
ВВЕР	Водо-водяний енергетичний реактор
АПК	Адміністративно-побутовий комплекс
ХЦ	Хімічний цех
ВХР	Водно-хімічний режим
ВПУ	Водопідготовча установка
ХВО	Хімічне водоочищення
ФЗД	Фільтр змішаної дії
ЗО	Зворотній осмос
АСУ ТП	Автоматизована система управління технологічними процесами
БОВ	Бак освітленої води
НВТ	Насос високого тиску
ШУ	Шламоущільнювач
БЗВ	Бак знесоленої води
pH	Водневий показник
МФ	Механічний фільтр

ВСТУП

Ефективне водоочищення на промислових об'єктах - це базовий інструмент мінімізації виробничих ризиків. Використання некондиційної води загрожує виходом із ладу дорогого устаткування, дестабілізацією процесів та аваріями. Необхідність негайної модернізації водопідготовчих систем диктується двома факторами: критичним застаріванням діючої інфраструктури та прогресуючим хімічним забрудненням довкілля (зокрема нафтопродуктами). Саме тому впровадження сучасних технологій водоочищення є стратегічно важливим заходом для будь-якого промислового підприємства.

В даний час вода широко використовується в різних галузях промисловості в якості теплоносія та робочого тіла, чому сприяє широке поширення води в природі та її особливі термодинамічні властивості, пов’язані з будовою молекул.

Водно-хімічний режим АЕС – це один з найголовніших факторів, що впливають на безпечну та економічну експлуатацію станції, тому актуальним питанням сучасної енергетики є впровадження новітніх методів очищення води. На даний час в промисловості все частіше почали застосовувати мембранні методи очищення води.

Розвиток технологій і ефективне використання всіх ресурсів, зокрема й водних, безпосередньо позначається на собівартості продукції. Це пояснює, чому провідні світові підприємства прагнуть обзавестися такими системами водопідготовки, які будуть позитивно впливати на вартість очищеної води, поряд з такими чинниками, як якість і кількість.Для будь-якого успішного сучасного виробництва обов’язковими аспектами є ефективні водопідготовка, водозабезпечення та водопостачання

У сучасному водопостачанні та водоочищенні одним із основних завдань є забезпечення високої якості води. Вона має відповідати не тільки санітарно-гігієнічним нормам, але й вимогам технологічної безпеки та довговічності інженерних систем. Твердість води, зумовлена переважно іонами кальцію і магнію, створює суттєві технічні, економічні та експлуатаційні проблеми. Утворення накипу на теплообмінних поверхнях призводить до скорочення строку придатності обладнання. Разом із тим, вплив жорсткої води не обмежується лише технічними аспектами. Існує ще й гідро геохімічна, екологічна та гігієнічна складова питання. Наприклад, дослідження показують, що не тільки відкладення солей кальцію-магнію, але й зміни в складі води можуть впливати на корозію, внутрішнє водопостачання та поведінку систем очищення.

Діяльність енергопідприємств передбачає потребу у великих об'ємах води. Це чи не найбільш водоємна галузь промисловості. Вода в основному (більше ніж 90%), витрачається на функціонування різних охолоджувальних ділянок. Її використовують для створення пари. Для різних типів котлів, якість підживлювальної води, що подається, по-різному впливає на якість води в котлі після упарювання, а також на кількість продувок, що в результаті обумовлює ймовірність відкладень на внутрішніх поверхнях труб солей, які провокують перевитрату газу. Якщо енергетична схема передбачає турбінні установки, вимоги до підживлювальної води ще вищі, тому відкладення додатково можуть з'являтися на лопатях турбін під час вироблення електроенергії. Тому ефективна водопідготовка в такому випадку запобігає або хоча б мінімізує перевитрату природного газу для створення необхідного енергоресурсу.

Основне водопідготовче завдання при водопідготовці на енергетичних підприємствах є часткове або глибоке знесолення води. Мета якого полягає у вилученні домішок, що провокують відкладення на теплообмінних поверхнях і корозію обладнання. Технологічно застосовують нейтралізацію, сорбцію, коагуляцію, флотацію і флокуляцію. Водні середовища відстоюють, зневоднюють і знезаражують. Також тут актуальна механічна і біохімічна очистка. Серед мінусів є неекологічність, енерговитратність та низька автоматизація. Мембранні технологічні рішення, основані на принципах нанофільтрації та зворотного осмосу, або комбіновані схеми, поєднані з традиційними варіантами. Правильний вибір технології - найважливіша передумова надійного функціонування енергоустановок, економії на експлуатаційних витратах і зниження згубного впливу на навколишнє середовище.

На даний час на ХАЕС використовується класична схема, що включає попередню очистку (вапнування та коагуляцію в освітлювачах), механічне фільтрування та двоступеневе іонообмінне знесолення. Ця схема дозволяє отримувати воду високої якості, але має низку суттєвих недоліків: утворення значної кількості шламу, висока витрата агресивних реагентів (кислот та лугів) і накопичення засолених стічних вод. При цьому на сьогодні технології іонного обміну в цьому питанні вважаються дещо застарілими. Аналіз показників води з водосховища свідчить про значний вміст органічних сполук та заліза, що потребує стабільної роботи вузла передобробки. Для підвищення екологічності та економічної ефективності доцільним є впровадження мембранних технологій, зокрема зворотного осмосу.

На теплоенергетичних об’єктах закономірно висуваються підвищені вимоги до безпеки, які залежать від якості підживлювальної та оборотної води. У зв’язку з цим вибір ефективного методу пом’якшення води набуває великого значення. Методи реагентного пом’якшення, іонно-обмінного очищення, мембранних технологій мають власні переваги та обмеження, що було проаналізовано в ряді наукових робіт. Водночас для практики водопровідного постачання часто важливими стають такі критерії, як: доступність реагентів, простота експлуатації, економічна доцільність та відповідність нормативам якості питної води.

1.ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

1.1 Аналіз джерела технічного водопостачання ВП ХАЕС та стан існуючої ВПУ

Функціонування потужних енергоблоків ВВЕР-1000 потребує інтенсивного відведення тепла від конденсаторів турбін, що реалізується через систему оборотного водопостачання з використанням водойми-охолоджувача. Проте, окрім питань теплового впливу на екосистему, критично важливим є питання мінімізації хімічного навантаження на довкілля, пов'язаного з діяльністю хімічного цеху АЕС. Традиційні схеми водопідготовки, що базуються на інтенсивному використанні кислот та лугів для регенерації іонітних фільтрів, призводять до утворення значних обсягів високомінералізованих стічних вод. Ці промивні води потребують складної системи нейтралізації перед скидом, що зумовлює актуальність переходу на сучасні мембранні технології, здатні суттєво зменшити реагентне навантаження та екологічний слід підприємства

Основні джерела та викиди хімічного забруднення АЕС:

У процесі експлуатації існуючої іонообмінної схеми водопідготовки використовуються значні обсяги хімічних реагентів:

1. Гідразин-гідрат, морфолін та аміак (NH_3) - використовуються для корекційної обробки води з метою запобігання корозії в контурах.
2. Кислоти та луги – використовуються для регенерації іонітних фільтрів водопідготовки.
3. Хлор та його сполуки – використовуються для очищення води від біологічного обростання у системах охолодження.

Викиди в атмосферу:

1. Оксиди азоту, сірчистий ангідрид, оксид вуглецю – це є продуктами роботи допоміжних котельнь або дизель-генераторів.
2. Аерозолі хімічних речовин із вентиляційних систем.

Особливістю гідрологічного режиму ХАЕС є функціонування замкненої системи оборотного водопостачання, що мінімізує безповоротні втрати води з природних джерел. Проте тривалий тепловий вплив призводить до евтрофікації водойми-охолоджувача, що стимулює інтенсивний розвиток синьо-зелених водоростей та змінює

кисневий режим у придонних шарах. Для стабілізації екосистеми на підприємстві застосовуються методи біомеліорації, зокрема зариблення водосховища видами риб-фітофагів (білий амур, товстолоб), які стримують надмірне заростання водойми. Інженерний контроль за рівнем випаровування з поверхні бризкальних басейнів дозволяє регулювати солевміст оборотної води, запобігаючи мінералізації та корозійному зносу теплообмінного обладнання.

Наразі хімічний цех (ХЦ) ВП «Хмельницька АЕС» забезпечує надійне функціонування ядерної інфраструктури, здійснюючи підготовку та виробництво таких типів технологічної води:

- Хімічно пом’якшену воду - для підживлення теплових мереж, оборотних контурів та допоміжних споруд станції;
- Хімічно знесолену воду надвисокої чистоти - для підживлення прямоточних парогенераторів ПГВ-1000 другого контуру енергоблоків із реакторами ВВЕР-1000.

Даним дипломним проєктом передбачено удосконалення знесолюючої установки підготовки додаткової води для підживлення енергетичної системи АЕС. Існуюча установка водопідготовки (ВПУ) була запроєктована у 80-х роках минулого сторіччя та базується на застосуванні традиційної, виключно реагентної схеми очистки.

Існуюча установка знесолення складається з такого основного послідовного технологічного обладнання:

- Н-катіонітових фільтрів першого ступеня;
- ОН-аніонітових фільтрів першого ступеня;
- Декарбонізаторів для видалення вільного вуглекислого газу;
- Н-катіонітових фільтрів другого ступеня;
- ОН-аніонітових фільтрів другого ступеня;
- Фільтрів змішаної дії як фінішної стадії очищення.

До складу знесолюючої установки також входить допоміжне обладнання:

- баки частково знесоленої води,
- насоси подачі частково знесоленої води на другий ступінь іонообмінної демінералізації, а також громіздке реагентного господарство для приймання, зберігання та подачі реагентів для регенерації фільтрів.

1.2 Обґрунтування доцільності модернізації існуючої ВПУ

В залежності від вимог, що пред'являються до якості підготовленої, в існуючій схемі використовуються послідовні дво- і триступінчасті схеми іонітування. В якості фінішної стадії очищення використовуються фільтри змішаної дії (ФЗД), заповнені сумішшю катіоніту і аніоніту.

Для відновлення робочої ємності іонообмінних фільтрів проводиться регенерація іонітів, для чого використовуються великі кількості реагентів: сірчаної кислоти і лугу, витрата яких залежить від складу початкової води. В результаті регенерації фільтрів утворюються великі кількості високомінералізованих стоків з солевмістом 10–70 г/дм³, які після нейтралізації направляються на скидання.

Враховуючи існуючий екологічний норматив на засоленість стічних вод (не більше 1 г/дм³), скидання регенераційних стоків, що в десятки разів перевищують норму, вимагає або багаторазового розведення вихідною водою (що веде до збільшення їх кількості та зростання загального водоспоживання АЕС), або призводить до сплати значних екологічних штрафів, розміри яких становлять до 10% собівартості демінералізованої води.

Для передпідготовки перед іонообмінними фільтрами застосовують вапнування та коагуляцію в освітлювачах з наступною фільтрацією на механічних засипних фільтрах. В результаті утворюється величезна кількість твердих відходів - вапняного шламу, який не підлягає утилізації і направляється на шламовідвали. Враховуючи тривалі строки експлуатації Хмельницької АЕС, проєктна місткість існуючих шламовідвалів уже практично вичерпана.

Традиційні іонообмінні методи демінералізації води характеризуються такими деструктивними особливостями:

- Багатоступенева технологічна схема, яка вимагає великої кількості основного та допоміжного обладнання для якого потрібні величезні виробничі площі хімічного цеху;
- Застосування великої кількості агресивних реагентів (сірчаної кислоти, лугів, вапна, сірчанокислого заліза). Це обумовлює великі експлуатаційні витрати та вимагає наявності відповідної інфраструктури - залізничних колій безпосередньо до ВПУ та складів прекурсорів;

- Утворення великої кількості високомінералізованих стоків і шламів, утилізація яких ускладнена;
- Складність повної автоматизації циклічних процесів, необхідність постійного лабораторного контролю та корегування параметрів.

Переважна більшість установок демінералізації води, що експлуатуються в атомній та тепловій енергетиці України, були введені в експлуатацію в 60-80-х роках минулого сторіччя. Вони морально застаріли і вимагають реконструкції технологічного обладнання і систем автоматичного управління. У деяких випадках реконструкцію проводять шляхом переведення фільтрів на протитечійну технологію регенерації, що лише частково вирішує проблему, тому при модернізації сучасної енергетики використовуються прогресивні і екологічно безпечні баромембранні методи.

1.3 Інженерно-екологічні та економічні переваги баромембранних технологій

Суть баромембранних методів полягає в селективному пропусканні оброблюваної води під тиском через напівпроникні мембрани, що здатні затримувати домішки різного дисперсного стану та молекулярної маси. Комбіновану технологію визнано однією з найбільш прогресивних та екологічно безпечних схем глибокої демінералізації води у світовій енергетичній. Ця технологія поєднує попереднє очищення вихідного джерела, зворотноосмотичне знесолення та фінішне іонообмінне дополірування на ФЗД.

Під час розробки даного проєкту модернізації ВПУ ВП ХАЕС розглядалася альтернативна концепція впровадження баромембранної стадії ультрафільтрації для фінішного видалення з оброблюваної води бактерій, зважених речовин та високомолекулярних колоїдів перед подачею на мембрани зворотного осмосу. Зважаючи на наявність на промисловому майданчику хімічного цеху станції діючого, капітального та технічно справного комплексу попереднього очищення (спільних для енергоблоків №1 та №2 коагуляційних освітлювачів типу ВТИ та механічних зернистих фільтрів), повне впровадження вузла ультрафільтрації призвело б до невиправданого зростання капітальних витрат.

У зв'язку з цим, для умов Хмельницької АЕС прийнято інженерне рішення щодо збереження та інтенсифікації класичного реагентного передочищення з інтеграцією

сучасного високоефективного баромембранного комплексу зворотного осмосу на базі рулонних елементів *FilmTec*.

Перехід від застарілих багатоступеневих іонообмінних схем Н-ОН-іонування до пропонованого комбінованого мембранного комплексу зумовлений переліком таких суттєвих інженерно-екологічних та техніко-економічних переваг:

- Висока економічна ефективність. Застосування установки зворотного осмосу як першого (основного) ступеня демінералізації дозволяє на 90–95% знизити питоме споживання товарних хімічних реагентів - розчинів сірчаної кислоти H_2SO_4 та гідроксиду натрію NaOH, які витрачаються на регулярну регенерацію іонітів. Різке скорочення експлуатаційних витрат на закупівлю, транспортування та зберігання агресивних реагентів повністю перекриває та компенсує капітальні витрати на електроенергію, що споживається насосним обладнанням високого тиску.
- Мінімальне використання реагентів дозволяє суттєво зменшити об'єми утворення високомінералізованих рідких відходів хімічного цеху, солевміст яких сягає 10-70 г/дм³. У даному проєкті передбачено технологічне рішення щодо збору та повернення частини концентрату зворотноосмотичної установки у бак освітленої води, що забезпечує безстічність вузла розділення та ліквідує ризик сплати екологічних штрафів за понаднормативний скид солей у довкілля.
- Виняткова надійність і стабільність якості пермеату. На відміну від класичних іонообмінних фільтрів, робоча ємність яких циклічно вичерпується, баромембранні процеси протікають у безперервному режимі. Особливості сучасних напівпроникних поліамідних мембран забезпечують затримання 98-99% розчинених мінеральних солей. Це гарантує отримання частково знесоленої води (пермеату) зі стабільно низькою електропровідністю (20 мкСм/см) незалежно від сезонних коливань складу Нетішинського водосховища чи р. Горинь.
- Компактність та раціональне використання площ хімічного цеху. Модульне виконання зворотноосмотичних установок на єдиних сталевих тримальних рамах дозволяє у 2-4 рази скоротити виробничі площі, необхідні для розміщення обладнання. Це створює умови для проведення поетапної модернізації ВПУ.

- Високий рівень автоматизації. Мембранні комплекси легко піддаються повній автоматизації та інтеграції в існуючу загальностанційну систему АСУ ТП хімічного цеху. Локальні програмовані логічні контролери забезпечують безперервний моніторинг основних параметрів (робочий тиск, витрата потоків, питома електропровідність), що мінімізує вплив «людського фактора» та спрощує обслуговування обладнання.

У проєкті збережено використання перевірених часом фільтрів змішаної дії (ФЗД), для фінішної демінералізації води до ультрачистого стану (електропровідність 0,1 мкСм/см), що відповідає суворим вимогам водно-хімічного режиму другого контуру АЕС. Оскільки на ФЗД після зворотного осмосу надходитиме вода, яка вже знесолена, тому навантаження на іоніти знижується в десятки разів. Тривалість робочого фільтроциклу ФЗД збільшується, тому регенерації стають рідшими і витрата реагентів на фінішній стадії буде мінімальна.

1.4 Вибір місця спорудження водоочисних споруд

Реконструкція установки знесолення додаткової води проводиться в межах існуючих виробничих площ та будівельних конструкцій діючого хімічного цеху ВП «Хмельницька АЕС».

Мембранні установки зворотного осмосу мають компактне виконання та монтуються на єдиних сталевих тримальних рамах (основах). Це дозволяє провести поетапний демонтаж застарілих великогабаритних фільтрів першого та другого ступенів іонітування та розмістити нове високоефективне баромембранне обладнання на тих самих майданчиках цеху. Таке рішення виключає необхідність капітального будівництва нових окремих споруд, мінімізує інвестиційні витрати підприємства та дозволяє повною мірою використовувати наявну інфраструктуру баків-збірників, дренажних систем та магістральних технологічних трубопроводів ВПУ.

2.ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

На очищення в хімічний цех (ХЦ) подається вода з циркуляційної системи станції (водосховища-охолоджувача). На проєктовану знесолюючу установку хімічного цеху подається вода, що пройшла спільні для технологічних потреб енергоблоків №1 та №2 стадії попереднього очищення - реагентну коагуляцію (із введенням коагулянту та флокулянту) в освітлювачах, а також механічне освітлення на швидких зернистих фільтрах.

У разі виникнення дефіциту води у технічній системі або під час проведення ремонтних робіт, як надійне резервне джерело водопостачання ВПУ використовується вихідна річкова вода з р. Горинь, яка подається на очисні споруди хімічного цеху через станцію другого підйому підживлення водосховища.

2.1. Характеристика вихідної води, вимоги до очищеної

Склад сирої води, яка є основним джерелом для підживлення контурів АЕС, наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Фізико-хімічні показники якості вихідної води

Показник	Значення	Од. виміру
Твердість загальна	5,4	мг-екв/ $дм^3$
Лужність загальна	4,35	мг-екв/ $дм^3$
Кремнієва кислота	2,1	мг / $дм^3$
Сухий залишок	328	мг/ $дм^3$
Загальний солевміст	288	мг/ $дм^3$
Окиснювальність перманганатна	5,4	мг/ $дм^3$
Кольоровість	20-30	
Залізо загальне	0,22	мг/ $дм^3$
Хлориди	16	мг/ $дм^3$
Сульфати	30	мг/ $дм^3$

Завислі речовини	38,2	мг/ дм^3
Прозорість не менше 30%	83	
Кальцій	78,16	мг/ дм^3
Мідь	0,04	мг/ дм^3
Натрій	16,4	мг/ дм^3
Магній	18,24	мг/ дм^3
pH	7,8	

Регламентні вимоги до якості частково знесоленої води після баромембранних установок та глибоко знесоленої води після фінішного дополірування наведено в таблицях 2.2 та 2.3 відповідно.

Таблиця 2.2 - Регламентні вимоги до якості частково знесоленої води

Показник	Значення	Од. виміру
Електропровідність	≤ 20	мкСм/см
Окисли заліза	≤ 20	мкг/ дм^3
Загальна жорсткість	≤ 10	мкг-екв/ дм^3
Кремнекислота загальна	≤ 500	мкг/ дм^3
Хлориди	≤ 20	мг/ дм^3
Окисність перманганатна	≤ 0,5	мг O_2/ дм^3
Кислотність	2	мг-екв/ дм^3
pH	5,5-6,5	
Натрій	не регламентується	мкг-екв/ дм^3

Таблиця 2.3 - Регламентні вимоги до якості знесоленої води

Показник	Значення	Од. виміру
Електропровідність	≤ 0,1	мкСм/см
Загальна жорсткість	≤ 0,2	мкг-екв/ дм^3
Кремнекислота загальна	≤ 20	мкг/ дм^3
pH	6,5-7,5	

Вміст іонів натрію	≤ 5	мкг-екв/ дм^3

2.2. Розробка та обґрунтування технологічної схеми водопідготовки

2.2.1. Вузол попередньої очистки (Реагентна коагуляція та освітлення)

Освітлення води на ХАЕС - це початковий критично важливий процес у водопідготовці. Система призначена для проведення першого етапу очищення вихідної води методом реагентного осадження домішок.

Для забезпечення ефективного проходження першого етапу фізико-хімічного очищення вихідної води на ВПУ ХАЕС застосовується вертикальний освітлювач зі зваженим шаром осаду (типу ВТИ). Робота даного апарата базується на унікальному поєднанні конструктивних параметрів та специфічних гідродинамічних умов процесу.

Освітлювач являє собою вертикальну циліндроконічну сталеву ємність, захищену зсередини стійким антикорозійним покриттям. Нижня конічна частина апарата виконує функцію зони змішування та первинної реакції, куди під тиском подається вихідна сира вода та дозуються робочі розчини хімічних реагентів. Нижня зона конструктивно поєднана з шламоущільнювачем, який служить для безперервного збирання, концентрування та видалення надлишкового шламу через систему продувки.

Освітлювач призначений для:

- утворення контактного шламу та підтримання його у завислому стані (шламового фільтра), що служить для поглиблення процесу очищення води;
- отримання освітленої води;
- осадження та видалення осаду, що утворюється під час обробки води.

Вихідна вода перед подачею в апарат підігрівається до стабільної температури в діапазоні 30-40°С. Критично важливим є підтримання константної температури для забезпечення стабільної кінетики хімічних реакцій та запобігання виникненню внутрішніх теплових конвекційних потоків, здатних порушити стабільність меж робочих контурів. Коливання температури всього на 1-2°С викликають внутрішні течії, які руйнують контактний шар і призводять до масового виносу шламу.

Процес очищення реалізується за наступним алгоритмом: вихідна вода подається у повітровідділювач, де звільняється від пухирців повітря, пройшовши крізь сопловий пристрій під тиском надходить у змішувач води та реагентів. У вихідний потік за

допомогою дозувальних насосів з реагентного господарства подаються робочі розчини вапняного молока та коагулянту. Коагулянт також вводиться у трубопровід сирої води. У процесі перемішування в змішувачі реагенти взаємодіють з домішками води і починається виділення продуктів взаємодії, у вигляді пластівців. Потім потік води разом із продуктами взаємодії, піднімається нагору, проходить через зону заспокоєння освітлювача, де відбувається гасіння обертового руху та надходить у циліндричну частину освітлювача.

На рівні шламоприймальних вікон встановлюється верхня межа виваженого шару шламу. Надлишок шламу, що безперервно утворюється в освітлювачі, надходить через шламоприймальні вікна в шламоущільнювач. Разом із шламом до ШУ надходить вода (до 20 % навантаження освітлювача). Ущільнений шлам видаляється з ШУ з безперервним продуванням, а освітлена вода з ШУ через відсічку направляється в розподільчий пристрій

Основний потік (до 80 % навантаження освітлювача) оброблюваної води, пройшовши завислий шар шламу, минаючи ШУ і верхню заспокійливу решітку, призначену для рівномірного розподілу води по поперечному перерізу освітлювача, збирається в кільцевому жолобі і направляється в розподільчий пристрій. З розподільчого пристрою вода надходить у БОВ. Частина грубодисперсних домішок, що надходять разом з водою, а також крупні кристали осаду, що утворився, осаджуються в нижній частині змішувача, що виконує роль брудника. Продування брудника освітлювача від осаду проводиться періодично.

Коагуляція застосовується для дестабілізації та укрупнення завислих і колоїдно-дисперсних частинок під дією мікрохімічних сил. Природні колоїди, що зумовлюють каламутність і високу колірність (70°) вихідної води Хмельниччини, мають стійкий однойменний негативний електричний заряд, що змушує їх відштовхуватися один від одного і перебувати у зваженому стані нескінченно довго.

Введення реагентів забезпечує протікання процесу вапнування з коагуляцією, які застосовують для зниження лужності, твердості вихідної води, сухого залишку, для видалення завислих речовин, сполук кремнію, заліза, зменшення колірності. В результаті інтенсивного гідролізу коагулянту в лужному середовищі формуються пластівці нерозчинних гідроксидів металів, які мають розвинену питому поверхню і сорбують на собі дестабілізовані домішки.

Для інтенсифікації коагуляції в процесі вапнування та для зв'язування іонів жорсткості протікають наступні реакції з перетворенням розчинних гідрокарбонатів у нерозчинний осад:

$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O$

$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2\downarrow + 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O$

При вапнуванні видаляється вільна вуглекислота і утворюється важкорозчинні сполуки кальцій карбонату, що випадають в осад. Це знижує корозійну агресивність води на перших етапах.

$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O$

В якості коагулянту використовується залізний купорос, що повинен забезпечувати глибоке видалення органічних забруднень, з'єднань заліза та нереакційноздатних з'єднань кремнію.

При дозуванні залізовмісного коагулянту ($FeSO_4$) у лужному середовищі освітлювача утворюється гідроксид заліза(II), який швидко окиснюється розчиненим у воді киснем, переходячи у важку форму гідроксид заліза(III), що випадає в осад і сорбує колоїди:

$FeSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow Fe(OH)_2\downarrow + CaSO_4$

$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3\downarrow$

Остаточно прояснена вода звільнена від основного об'єму завислих речовин і каламутності з БОВ направляється на наступну стадію очищення - механічні зернисті фільтри**.**

2.2.2 Стадія механічного фільтрування води

Оброблена в освітлювачі вода, навіть при нормальній роботі освітлювача, містить певну кількість механічних домішок, що знаходяться у формі завислих частинок, дрібних пластівців, залишків процесу коагуляції та вапнування.

Механічні фільтри призначені для фільтрування води після освітлювачівдля видалення завислих грубодисперсних частинок шламу, які не встигли осісти в освітлювачі. Процес базується на явищі контактної коагуляції - прилипанні мікрочастинок до поверхні фільтрувального матеріалу (кварцового піску або антрациту) під дією молекулярних сил адгезії.

Оскільки основна маса каламутності затримується в освітлювачі, на механічні фільтри вода надходить уже з мінімальним вмістом суспензії. У цьому випадку затримання йде не на поверхні засипки, а по всій товщині фільтруючого шару. Це дозволяє максимально ефективно використовувати брудоємність зернистої засипки та досягати високого ступеня прояснення потоку. Порушення дозування коагулянтів на попередній стадії або різкі стрибки швидкості фільтрації призводять до переважання сил електростатичного відштовхування над силами адгезії, що зумовлює «проскок» забруднень крізь механічний фільтр.

У результаті великого навантаження на фільтр він досить швидко забруднюється. При досягненні критичного перепаду тиску між входом та виходом не більше як 1 кгс/см^2 та при умові перевищення одного з нормованих показників якості фільтрата робочий цикл МФ закінчується. Фільтр виводиться на технологічний цикл відновлення - зворотну водно-повітряну промивку, що повністю розпушує завантаження та вимиває затриманий бруд у дренажний колектор. Для систематизації контролю показники якості води на етапах передобробки наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Орієнтовні показники якості води на етапах попереднього очищення на ВПУ ХАЕС

Показник якості	Вихідна вода (водосховище)	Після коагуляції та вапнування	Після механічних зернистих фільтрах
Твердість загальна,мг-екв/дм^3	5,4	1,5 -1,9	1,5 -1,9
Мутність, мг/дм³	5,0 - 30,0	<2,0 - 5,0	<0,5 - 1,0
Завислі речовини, мг/дм³	382,0	<2,0	Відсутні
Залізо загальне (Fe), мг/дм³	22,0	<0,2	<0,1
Алюміній (Al^{3+}), мг/дм³	<0,05	<0,2	<0,1
Перманганатна окиснюваність, мг O_2/дм³	6,5	Зниження на 30-50%	Стабілізація
Водневий показник, од. pH	8,0	9,5 -10,5	9,5 -10,5
Колірність, градуси	70	<10 - 15	<5

2.3 Знесолення води

На останньому етапі здійснюється повне хімічне та баромембранне очищення води з метою підготовки бездоганного підживлювального теплоносія.

2.3.1 Баромембранний зворотний осмос

Пом'якшена вода, пройшовши захисний картриджний фільтр тонкого очищення (5 мкм), за допомогою насоса високого тиску подається на модулі установки зворотного осмосу. Робочий тиск процесу перевищує природний осмотичний тиск розчинених солей, завдяки чому молекули води буквально продавлюються крізь напівпроникну високоселективну поліамідну мембрану FilmTec.

Процеси мембранного розділення включають в себе декілька послідовних стадій: переніс компоненту вихідного потоку до мембрани; втілення цих компонентів у мембрану; транспорт їх через мембрану з наступним відведенням продуктів розділення з протилежного її боку**.**

Мембрана вільно пропускає молекули води, але затримує 98-99% гідратованих неорганічних іонів, колоїдів, мікроорганізмів та високомолекулярної органіки. На виході потік розділяється на дві частини:

1. Пермеат (частково знесолена вода): складає до 75-80% від загального об'єму. Питома електрична провідність пермеату становить ≤ 20 мкСм/см. Потік збирається в баку пермеату. Його pH дещо знижується (5,5-6,5) через вільне проникнення молекул розчиненого газу CO_2 крізь пори мембрани.

2. Концентрат (сольовий скид): містить затримані солі. З метою забезпечення безстічності технології та економії водних ресурсів, концентрат збирається в буферній ємності і насосом рециркуляції частково (80 %) повертається на початок схеми в освітлювач на подальшу переробку, утворюючи замкнений цикл.

Застосування зворотного осмосу як першого ступеня демінералізації дозволяє видалити основну масу солевмісту вихідної води ХАЕС без використання агресивних хімічних реагентів, що знижує сольове навантаження на фінішні іонітні фільтри і подовжує їх робочий фільтроцикл у 15–20 разів.

2.3.2 Фінішне іонообмінне дополірування на фільтрах змішаної дії (ФЗД)

Для досягнення нормативів ультрачистої води другого контуру АЕС, пермеат з бака насосом подається на фільтри змішаної дії (ФЗД). Завантаження ФЗД ретельно складається з сильнокислотного Н-катіоніту та сильноосновного ОН-аніоніту в еквівалентному співвідношенні.

Проходячи крізь таке гетерогенне завантаження, вода зазнає безлічі послідовних мікроіонообмінних актів. Катіони натрію, що проскочили крізь мембрану, миттєво поглинаються катіонітом, а аніони хлоридів, сульфатів та кремнекислоти - аніонітом:

$$[Kat]\text{-}H + Na^+ \rightarrow [Kat]\text{-}Na + H^+$$

$$[An]\text{-}OH + Cl^- \rightarrow [An]\text{-}Cl + OH^-$$

Утворені іони H^+ та OH^- миттєво нейтралізуються з утворенням молекул надчистої води (H_2O), що зсуває рівновагу реакцій обміну в бік 100% завершення. ФЗД забезпечує глибоке фінішне знекремнення (вміст $SiO_2 \leq 20$ мкг/дм³), повне вилучення натрію (≤ 5 мкг/дм³) та зниження питомої електричної провідності до рекордних $\leq 0{,}1$ мкСм/см. Разом з тим, ФЗД виступає надійним технологічним бар'єром, захищаючи баки запасу від будь-яких аварійних проскоків солей з попередніх ступенів.

Глибоко демінералізована вода накопичується в баках знесоленої води (БЗВ). Звідти живильними насосами вона спрямовується в контури енергоблоків ВВЕР-1000, попередньо проходячи дозовану стабілізаційну обробку розчинами аміаку, морфоліну або гідразину для зв'язування мікрослідів кисню та корекції pH до слабколужних значень ($9 \pm 0{,}2$), що гарантує безкорозійний та надійний режим експлуатації Хмельницької АЕС.

2.4 Технологічна схема

В даній технологічній схемі застосовуються наступні стадії її очистки: реагентне пом’якшення на освітлювачах із завислим шаром осаду, фільтрація на механічних фільтрах, освітлення на установці ультрафільтрації, знесолення шляхом зворотного осмосу та повне знесолення на фільтрах змішаної дії.

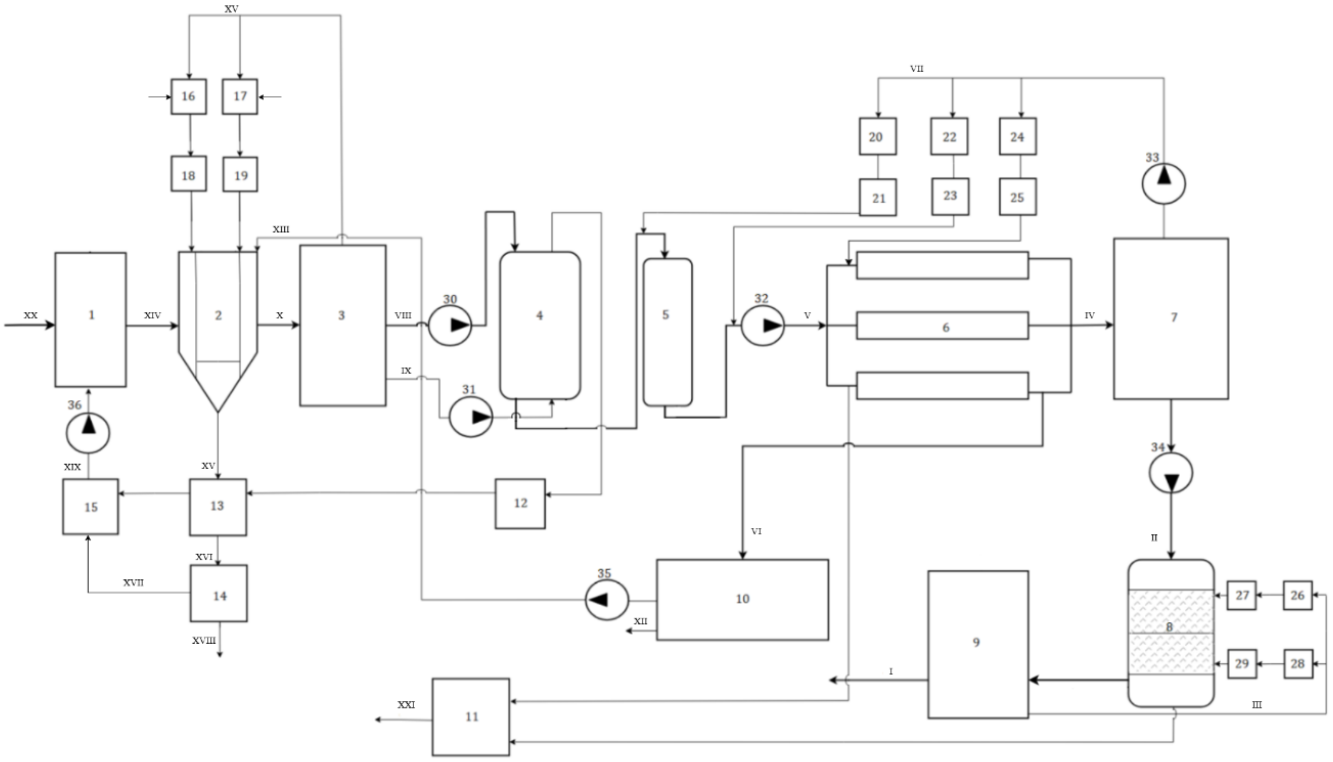

Рисунок 2.1 - Принципова схема водопідготовки

1 – приймальна камера; 2 - освітлювач зі зваженим шаром осаду; 3 - бак освітленої води; 4 - фільтр попереднього очищення (механічний); 5 - картриджний фільтр тонкого очищення (патронний); 6 - мембранні апарати зворотного осмосу; 7 - бак частково знесоленої води (пермеату); 8 - фільтр змішаної дії (ФЗД); 9 - бак глибоко знесоленої води; 10 - бак збору концентрату зворотного осмосу; 11 - резервуар усереднювач; 12 - бак відмивних вод механічних фільтрів; 13 – шламонакопичувач; 14 - фільтр-прес; 15 - бак шламових вод; 16 - розчинний бак вапна; 17 - розчинний бак коагулянту; 18 - витратний бак вапна, 19 - витратний бак коагулянту; 20 - розчинний бак антискаланту; 21 - витратний бак антискаланту; 22 - розчинний бак біоциду; 23 - витратний бак біоциду; 24 - бак приготування розчинів для хімічної промивки мембран; 25 - витратний бак розчинів хімічної промивки; 26 - розчинний бак лугу NaOH для регенерації ФЗД; 27 - витратний бак лугу NaOH для регенерації ФЗД; 28 - розчинний бак H_2SO_4 для регенерації ФЗД; 29 - витратний бак H_2SO_4 для регенерації ФЗД; 30 - насос подачі води на механічні фільтри; 31 - насос промивної води механічних фільтрів; 32 - насос високого тиску установки зворотного осмосу; 33 - насос низького тиску для гідравлічної промивки мембран пермеатом; 34 - насос подачі пермеату на фільтр

змішаної дії; 35 - насос подачі концентрату на подальшу переробку; 36 -насос повернення шламових вод.

2.5 Розрахунок матеріального балансу

Для визначення параметрів роботи модернізованої ВПУ та обґрунтування вибору обладнання проведено розрахунок матеріального балансу. Вихідною величиною є корисна продуктивність установки по глибоко знесоленій воді, необхідна для підживлення контурів ХАЕС.

Вихідні дані:

Потреби станції (Q_I) : 125 м^3/год;

Використання води на власні потреби ФЗД – 3%;

1. Розрахунок блоку глибокого знесолення:

Визначимо скільки пермеату потрібно подати на ФЗД, враховуючи на власні потреби фільтра (регенерації)

Продуктивність станції водопідготовки з урахуванням водоспоживання на її власні потреби становить:

$$Q_{II} = \alpha \cdot Q_I = 1{,}03 \cdot 125 \text{ м}^3/\text{год} = 128{,}75 \text{ м}^3/\text{год}$$

де α - коефіцієнт, що враховує витрати води на власні потреби очисної станції. Згідно зі БНіП 2.04.02-84 α = 1,03 - 1,04 за повторного використання промивних вод від фільтрів;

Витрати води на регенерацію (Q_{III}) :

$$Q_{III} = Q_{II} - Q_I = 128{,}75 - 125 = 3{,}75 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$Q_{III} = Q_{XXI}$$

2. Розрахуємо бак пермеату:

   Вода після зворотного осмосу надходить у бак пермеату, звідки насосом подається на ФЗД. Приймаємо, що в баку враховано мінімальний запас (1% від технологічних потреб)

$$Q_{IV} = Q_{II} \cdot 1{,}01 \text{(з невеликим запасом на динаміку)}$$

$$Q_{IV} = 128{,}75 \cdot 0{,}99 = 127{,}61 \text{ м}^3/\text{год}$$

3. Розрахуємо загальну продуктивність зворотного осмосу:

   У промислових системах використовують коефіцієнт перетворення, він становить 75-80%

$$Q_V = \frac{Q_{IV}}{0,75} = \frac{127,61}{0,75} = 170,14 \text{ м}^3/\text{год}$$

   Звідси розрахуємо концентрат:

$$Q_{VI} = Q_V - Q_{IV} = 170,14 – 127,61$$

$$Q_{VI} = 41,39 \text{ м}^3/\text{год}$$

   60% концентрату йде на утилізацію, це становить – $Q_{XII} \approx 24,21$ м^3/год, а решта (40%) повертається назад у систему на подальшу переробку: $Q_{XIII} \approx 17,18$ м^3/год.

4. Враховуючи, що промивка мембрани відбувається дуже рідко (раз на 3-5 місяців) , то воду на потреби промивки в розрахунки не вносимо.

   Хімічна підготовка води здійснюється шляхом дозування реагентів у робочий потік: біоциду та антискаланту. Сумарну витрату робочих розчинів приймемо ($Q_{VII} = 0,37$ м³/год)

   Так, як ми дозуємо ці реагенти в загальний потік на зворотній осмос, вирахуємо скільки води йде з механічного фільтра:

   $Q_{VIII} = Q_V - Q_{VII} = 170,14 – 0,37 = 169,77$ м³/год

5. Розрахуємо кількість води на промивку механічного фільтру. Виходячи з розрахункового циклу промивки 1 раз на добу (тривалістю 30 хвилин) середня витрата на промивку визначається як об’єм води, необхідний для розширення шару завантаження на 30-40%, і становить $Q_{IX} = 3,53$ м³/год

   Розрахуємо загальний потік, що надійшов на механічний фільтр:

   $Q_X = Q_{VIII} + Q_{IX} = 169,77 + 3,53 = 173,55$ м³/год

6. Для приготування розчинів вапна та коагулянту необхідно

   Розрахуємо витрату води, що проходить через освітлювач:

   Розрахунок дозування реагентів базується на робочому потоці в освітлювачі, який становить 173,55 м³/год

   Доза коагулянту (0,10 м³/год) при 10% розчині (100 г/л):

$$D_к = \frac{0,10 \cdot 100 \cdot 1000}{173,55} \approx 57,6 \text{ мг/л}$$

   Порахуємо кількість води на розведення:

$Q_к = \frac{D_к \cdot Q_x}{C_{конц} \cdot 1000} = \frac{57,6 \cdot 173,55}{100 \cdot 1000} \approx 0,10$ м³/год

Доза вапна (0,15 м³/год) при 5% розчині (50 г/л):

$D_в = \frac{0,15 \cdot 50 \cdot 1000}{173,55} \approx 43,2$ мг/л

$Q_в = \frac{D_в \cdot Q_x}{C_{конц} \cdot 1000} = \frac{43,2 \cdot 173,55}{100 \cdot 1000} \approx 0,15$ м³/год

Порахуємо загальну воду для розведення реагентів:

$Q_{XI} = Q_к + Q_в = 0,10 + 0,15 = 0,25$ м³/год

7. Розрахуємо вхід води в освітлювач, враховуючи коефіцієнт втрат 8%:

$Q_{XIV} = Q_X \cdot 0,92 = 173,55 \cdot 0,92 = 159,65$ м³/год

Розрахуємо суму всіх потоків, що входить в освітлювач:

$Q_{вхід} = Q_{XIV} + Q_{XI} + Q_{XIII} = 159,65 + 0,25 + 17,18 = 177,08$ м³/год

Розрахуємо шлам:

$Q_{XV} = Q_{вхід} - Q_X = 177,08 – 173,55 = 3,53$ м³/год

У шламонакопичувач надходить вода після промивання механічного фільтра та шлам з освітлювача:

$Q_{шлам} = Q_{XV} + Q_{IX} = 3,53 + 3,53 = 7,06$ м³/год

Дослідним шляхом та на основі нормативів для даного типу осаду прийнято, що 85% об'єму промивних вод становить вільна вода, яка виділяється при гравітаційному згущенні, а 15% — це ущільнений осад, тоді:

Об'єм освітленої води (85%) :

$Q_{осв\ вод} = Q_{шлам} \cdot 0,85 = 7,06 \cdot 0,85 = 6$ м³/год

Об'єм ущільненого осаду (15%) :

$Q_{XVI} = Q_{шлам} \cdot 0,15 = 7,06 \cdot 0,15 = 1,06$ м³/год

Приймаємо вологість кеку 67%, то порахуємо залишок води, який йде на бак шламових вод:

$Q_{XVII} = Q_{XVI} \cdot 0,67 = 1,06 \cdot 0,67 = 0,71$ м³/год

Звідси ми можемо вирахувати кек:

$Q_{XVIII} = Q_{XVI} - Q_{XVII} = 1,06 – 0,71 = 0,35$ м³/год

Тепер можемо дізнатись скільки повертається води з баку шламових вод на подальшу очистку:

$Q_{XIX} = Q_{осв\ вод} + Q_{XVII} = 6 + 0,71 = 6,71$ м³/год

8. Розрахуємо потребу сирої води:

$Q_{XX} = Q_{XIV} - Q_{XIX} = 159,65 – 6,71 = 152,94$ м³/год

9. Зведення матеріального балансу технологічної схеми

Матеріальний баланс станції водопідготовки розрахований на основі заданої продуктивності, параметрів роботи основного обладнання та фізико-хімічних властивостей шламів. Розрахунок ґрунтується на законі збереження маси: сума всіх потоків, що входять у вузол, дорівнює сумі потоків, що виходять з нього:

$$\sum Q_{\text{вхід}} = \sum Q_{\text{вихід}}$$

Таблиця 2.5 - Зведений баланс надходження та витрат води по системі

Параметри	Витрата (м³/год)
ВХІД СИСТЕМИ	
Потік сирої води (Вузол 1)	152,94
Потік реагентів (Вузол 2)	0,25
Сумарний вхід	153,19
ВИХІД СИСТЕМИ	
Очищена вода (споживачу)	125
Вивезення осаду (кек з вузла 14)	0,71
Втрати (продувки, випаровування, технологічні поглинання)	27,48
Сумарний вихід	153,19

Згідно з проведеним матеріальним балансом, при споживанні 152,94 м³/год вихідної сирої води, станція забезпечує подачу споживачу 125 м³/год очищеної води, що відповідає проєктній потужності. Різниця в об'ємах витрачається на забезпечення технологічного процесу: зневоднення осаду та підтримання гідравлічного режиму фільтрувальних споруд. Завдяки системі оборотного водопостачання (повернення фільтрату та освітленої води) сумарні безповоротні втрати води зведені до мінімуму, а баланс системи є закритим.

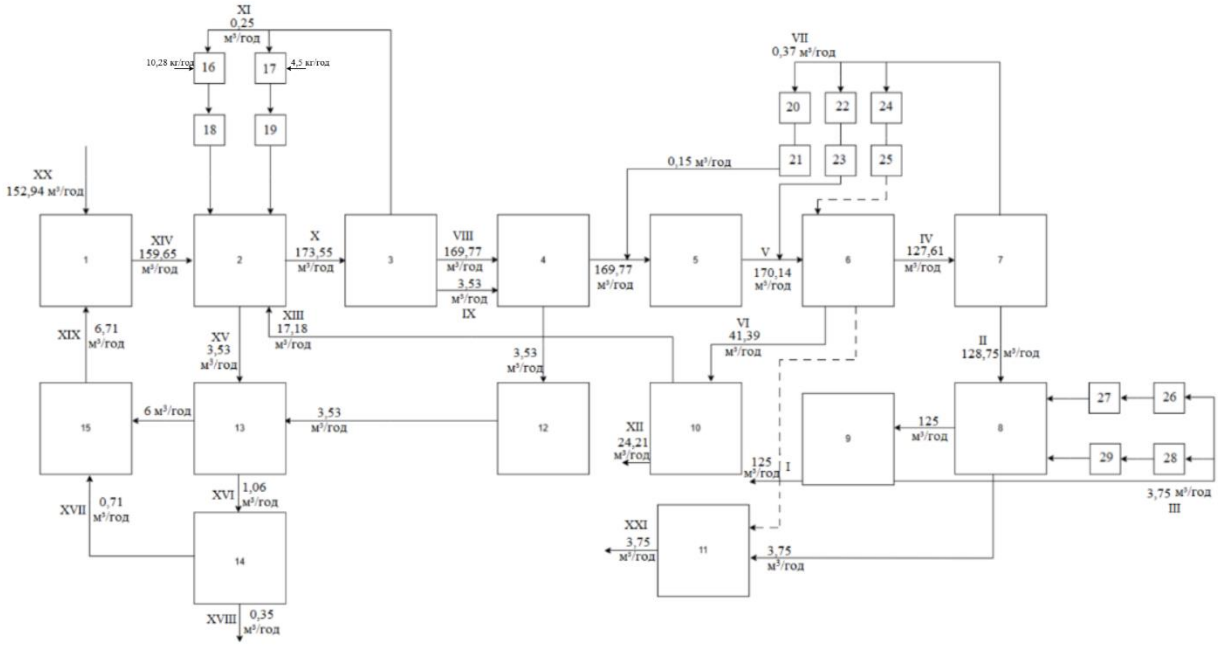

Рисунок 2.2 - Блок-схема матеріального балансу

Таблиця 2.6 - Потоки

Потік	Найменування	Позначення	Витрата (м³/год)
I	Вихід знесоленої води	Q_I	125
II	Надходження на ФЗД	Q_{II}	128,75
III	Витрата на регенерацію ФЗД	Q_{III}	3,75
IV	Пермеат	Q_{IV}	127,61
V	Вхід на установку зворотного осмосу	Q_V	170,14
VI	Концентрат	Q_{VI}	41,39
VII	Вода на потреби зворотного осмосу	Q_{VII}	0,37
VIII	Вихід води після механічного очищення	Q_{VIII}	169,77
IX	Вода на промивку механічного фільтру	Q_{IX}	3,53
X	Вихід після освітлювача	Q_X	173,55

XI	Витрата води на реагенти для освітлення	Q_{XI}	0,25
XII	Скид концентрату на утилізацію	Q_{XII}	24,21
XIII	Концентрат на подальшу переробку	Q_{XIII}	17,18
XIV	Надходження води на освітлювач	Q_{XIV}	159,65
XV	Надходження на шламонакопичувач	Q_{XV}	3,53
XVI	Вхід на фільтр-прес	Q_{XVI}	1,06
XVII	Відстояна вода після фільтр-пресу	Q_{XVII}	0,71
XVIII	Вологий кек	Q_{XVIII}	0,35
XIX	Повернення шламових вод на подальшу переробку	Q_{XIX}	6,71
XX	Вхід сирої води у систему	Q_{XX}	152,94
XXI	Скид нейтралізованих вод на утилізацію	Q_{XXI}	3,75

2.6 Класифікація та загальна характеристика баромембранних процесів

Для концентрування чи очищення розбавлених водних розчинів широко використовуються мембранні процеси, що протікають під дією перепаду тиску (баромембранні процеси). Розмір частинки чи молекули, а також фізико-хімічні властивості розчиненої речовини визначають структуру мембрани: розмір пор та їх розподілення за радіусом, які є необхідними для ефективного розділення конкретної суміші.

Різні мембранні процеси класифікують за розміром розділюваних частинок розчиненої речовини і за внутрішньою топологією використовуваних мембран. До таких процесів належать мікрофільтрація, ультрафільтрація, нанофільтрація та зворотний осмос. Схема класифікації цих процесів за розміром видалених домішок наведена на рисунку 2.3. Наведені методи застосовуються для селективного вилучення речовин, розмір яких менше 1 мкм.

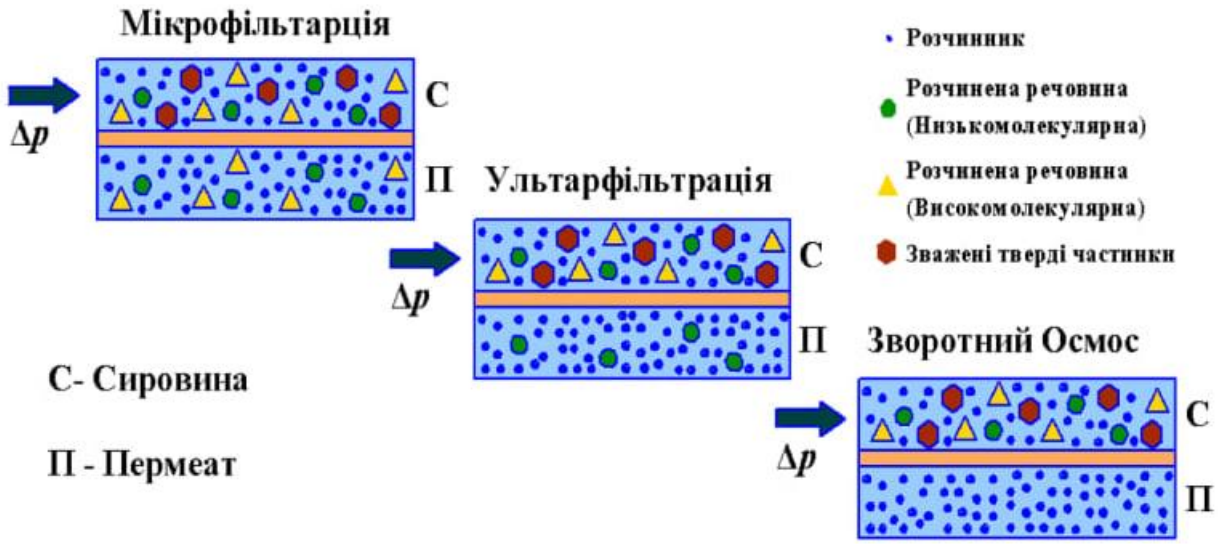

Рисунок 2.3 – Класифікація та межі розділення баромембранних процесів

Ефективність впровадження мембранних технологій на ВПУ ХАЕС базується на правильному виборі методу розділення залежно від дисперсного стану та розміру домішок вихідної води. Відповідно до рисунка 2.3, баромембранні процеси чітко диференціюються за типом забруднень, що затримуються напівпроникним робочим шаром, та величиною необхідного робочого тиску.

Мікрофільтрація працює за тиску менше 2,0 бар. Цей процес застосовується для грубого розділення фаз. На цій стадії мембрани з поліаміду, поліпропілену чи кераміки забезпечують затримання дрібних суспензій, крупних колоїдів, бактерій, водоростей та цист найпростіших. Крізь пори мікрофільтраційної мембрани вільно проходять віруси, високомолекулярні та низькомолекулярні органічні сполуки, а сольовий склад води абсолютно не змінюється.

Ультрафільтрація потребує тиску від 1,5 до 7,0 бар. Технологія забезпечує надійне видалення з води завислих та колоїдних речовин, макромолекул, всіх бактерій та

великих вірусів, що робить її ефективним бар'єром перед подальшою мембранною обробкою. Сучасні ультрафільтраційні мембрани виготовляють із хімічно стійких полімерів - полівініліденфториду (PVDF) або поліефірсульфону. На вміст розчинених у воді солей цей етап не впливає, тому хімічний склад води залишається незмінним.

Нанофільтрація здійснюється під тиском від 3,5 до 20,0 бар. Ця технологія доволі схожа на зворотний осмос, проте дозволяє більш селективно видаляти полівалентні (переважно двозарядні) іони, такі як кальцій, магній та сульфати, забезпечуючи помірну селективність за солями на рівні 20–85%. Перевагою нанофільтрації на основі тонкоплівкових композитів є висока енергоефективність - питомі витрати електроенергії зазвичай на 20–25% менші, ніж для зворотноосмотичних мембран. Завдяки цьому вона змінює хімічний склад води лише частково і використовується там, де глибоке знесолення не є обов'язковим.

Зворотний осмос вимагає значного робочого тиску в діапазоні від 12,0 до 70,0 бар (а в деяких промислових системах до 100 бар) для подолання високого осмотичного тиску розчину. Зворотноосмотичні мембрани з тонкоплівкових ароматичних поліамідів є практично безпористими дифузійними матрицями. Технологія забезпечує найвищий ступінь селективності (95–99,5% за всіма іонами), радикально змінюючи хімічний склад води та створюючи абсолютний бактеріологічний бар'єр. Зворотний осмос знаходить все більше застосування в великій енергетиці завдяки здатності повністю видаляти розчинені неорганічні електроліти.

Для умов Хмельницької АЕС єдиним прийнятним методом першого ступеня демінералізації є зворотний осмос. Це зумовлено тим, що нанофільтраційні мембрани пропускають значну частину однозарядних іонів, тоді як зворотний осмос забезпечує практично повне вилучення корозійно-активних іонів натрію (Na^+) та хлору (Cl^-). Це мінімізує сольове навантаження на іонообмінні смоли фінішної очистки та запобігає корозійному пошкодженню дороговартісного обладнання першого та другого контурів АЕС.

2.7 Класифікація та характеристика синтетичних мембран

При виборі мембран слід виходити з того, що вона повинна володіти максимальною удільною виробністю при селективності, яка забезпечить виконання

вимог до якості пермеату (відповідність санітарним нормам або нормам на технічну воду, допустимим втратам розчинених речовин та ін.). Мембрана повинна володіти високою хімічної стійкістю по відношенню до розчину, який розділяється.

Мембранні технології (від грецького «перегородка») базуються на використанні тонких розділювальних перегородок, яким властива напівпроникність, тобто здатність селективно пропускати одні компоненти розчинів або сумішей і надійно затримувати інші.

Серед мембранних апаратів найбільш розповсюджені апарати:

1. з рулонними (спіралеподібними) фільтруючими елементами;
2. з плоско камерними фільтруючими елементами (типу „фільтрпрес”);
3. з трубчастими фільтруючими елементами;
4. з мембранами у вигляді порожнистих волокон.

В установках великої потужності доцільно використовувати апарати першого або четвертого типу, як найбільш компактні (через високу удільну поверхню мембран). Серед них найбільш перспективні апарати, кожен модуль яких складається з декількох сумісно навитих рулонних фільтруючих елементів (РФЕ). Така конструкція дозволяє зменшити гідравлічний опір дренажу потоку пермеату завдяки тому, що шлях, який проходить пермеат в дренажі, зворотно пропорційний кількості навитих РФЕ.

У промисловій технології водоочищення та знесолення синтетичні мембрани класифікують за п’ятьма основними ознаками:

1. За функціональними ознаками та природою рушійної сили процесу:

   – концентраційні (діалізні) процеси - рушійною силою є градієнт концентрації компонентів по обидва боки мембрани (дифузійне перенесення);

   – електрохімічні (електродіалізні) процеси - перенесення іонів здійснюється під дією градієнта електричного потенціалу, створюваного зовнішнім постійним електричним струмом;

   – баромембранні процеси - протікають під дією градієнта гідродинамічного робочого тиску. До цієї групи належать мікрофільтрація, ультрафільтрація, нанофільтрація та зворотний осмос;

– термомембранні та випаровувальні процеси - рушійною силою виступає градієнт парціального тиску пари розчинника, зумовлений різницею температур або вакуумуванням (мембранна дистиляція).

1. За природою матеріалу, з якого виготовлена мембрана:

– Полімерні мембрани. Це найпоширеніший клас матриць. Вони поділяються на природні або модифіковані (целюлозні, ацетилцелюлозні) та синтетичні (поліамідні, полісульфонові, полівінілхлоридні, фторопластові).

– Неполімерні (неорганічні) мембрани. Застосовуються переважно для складних умов експлуатації і поділяються на керамічні, металеві, графітові та скляні.

Для обґрунтування вибору матеріалу селективного шару в умовах водопідготовки ХАЕС проведено зіставлення фізико-хімічних та економічних показників матриць, загальну характеристику яких наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Порівняльна характеристика полімерних та керамічних мембран за основними експлуатаційними параметрами

Параметр порівняння	**Полімерні мембрани**	**Керамічні мембрани**
Капітальні витрати (ціна)	Низька / помірна(оптимально для великих об'ємів ВПУ АЕС)	Дуже висока (обмежене промислове застосування)
Термін експлуатації (служби)	1,5 – 3 роки (із плановою заміною рулонів)	10 – 20 років
Хімічна стійкість до вільного хлору	Низька (схильні до деструкції)	Висока
Очищення та відновлення матриці	Висока ефективність за рахунок періодичних хімічних мийок розчинами NaOH та HCl на CIP-станції	Максимальна стійкість до агресивних кислот та термічного випалювання
Допустимі робочі умови	Температура води до 40–45 °C, стабільний гідродинамічний тиск	Екстремальні температури, агресивні pH та високий тиск

2. За топологією пористої структури та внутрішньою архітектурою матриці:

   – Пористі мембрани - мають фіксовані геометричні пори. Розділення відбувається за класичним ситовим механізмом. Вони характерні для стадії попередньої ультрафільтрації вихідної води ХАЕС з метою видалення колоїдів, високомолекулярної органіки та завислей.

   – Непористі або щільні дифузійні мембрани - не мають постійних фіксованих пор, а вільний міжмолекулярний простір виникає динамічно через теплові коливання полімерних ланцюгів. Розділення базується на дифузійно-сольватаційному механізмі (модель розчинення-дифузії). Саме цей тип матриці забезпечує високоселективний зворотний осмос.

   – Рідкі мембрани - рухомі рідкі фази у вигляді вільних плівок або імпрегновані в пористу підкладку, що працюють за принципом вибіркової екстракції речовин комплексами-переносниками.

3. За геометричною конфігурацією та просторовою формою розділювальних елементів:

   – плівкові мембрани - характеризуються товщиною робочого полотна в межах 100–150 мкм і зазвичай інтегруються у рулонні мембранні модулі;

   – пластинчасті елементи - мають значно більшу товщину (2–3 мм), що забезпечує підвищену механічну міцність у плоскорамних апаратах;

   – трубчасті елементи - виготовляються у вигляді циліндричних каналів із внутрішнім діаметром від 5 до 25 мм для очищення висококонцентрованих потоків;

   – порожнисті волокна - являють собою тонкі капіляри з внутрішнім діаметром 20–100 мкм при товщині стінки всього 10–50 мкм, які забезпечують максимальну питому площу фільтрації на одиницю об'єму апарата.

4. За способом одержання та фізико-хімічним (агрегатним) станом:

   – сухі полімерні мембрани - стабільні твердофазні матриці, які не змінюють своїх геометричних розмірів під час контакту з розчинником;

   – мокрі (набряклі) полімерні мембрани - системи, які набувають цільових селективних властивостей лише після набухання в робочому середовищі;

– трекові мембрани - ультратонкі полімерні плівки, пори в яких отримують шляхом бомбардування матеріалу пучками важких іонів на прискорювачах із подальшим фізико-хімічним витравлюванням строго циліндричних каналів;

– рідкі мембрани - рухомі фази, що функціонують у вигляді вільної рідкої плівки або імпрегновані у пори твердого носія-супорта;

– динамічні мембрани - тимчасові селективні шари, які безперервно формуються безпосередньо під час технологічного процесу на поверхні пористої підкладки за рахунок сорбції колоїдних або високомолекулярних компонентів, що містяться у фільтрованій воді.

Окремим класом є мембрани з жорсткою неорганічною структурою (керамічні, металокерамічні, скляні), для отримання яких застосовують промислові методи спікання порошкоподібних металів або оксидів під дією високих температур, а також золь-гель метод осадження ультратонких колоїдних систем на макропористі основи.

Принцип дії будь-якого мембранного модуля базується на розділенні вихідного потоку на два основні компоненти:

- Пермеат (фільтрат) - очищена вода, що пройшла крізь селективний напівпроникний шар мембрани.
- Концентрат (ретант) - потік, насичений затриманими мінеральними, колоїдними та органічними домішками.

Принцип дії типового баромембранного модуля представлений на рисунку 2.4.

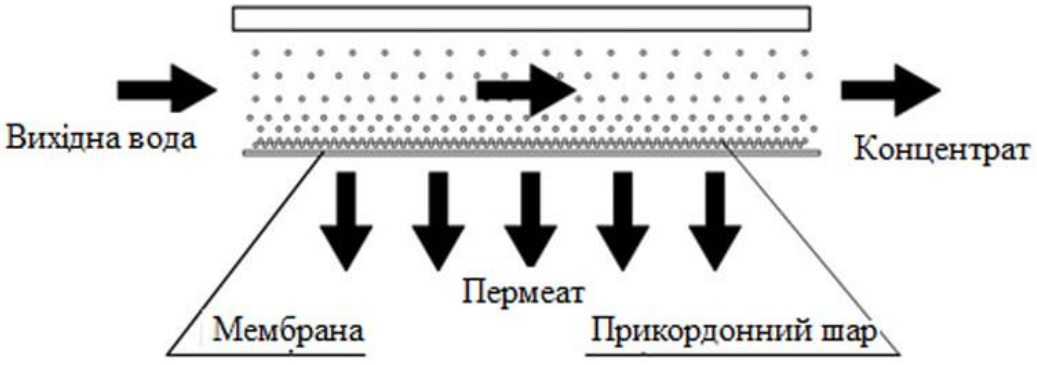

Рисунок 2.4 – Схематичне зображення принципу роботи мембранного модуля

У будь-якому з баромембранних процесів розчин обов'язково контактує з напівпроникною матрицею з одного її боку. Внаслідок селективності фільтрат (пермеат) збагачується на один із компонентів (як правило, розчинником - водою) і практично не містить домішок, тоді як над мембраною утворюється концентрат (ретант).

Найважливішими функціональними кінетичними характеристиками синтетичних мембран є коефіцієнт затримування (селективність, R_c) розчиненої речовини:

$$R_c = 1 - \frac{Cф}{C0} \text{ або } R_c = (1 - \frac{Cф}{C0}) \cdot 100\%,$$

та питома продуктивність (об'ємний потік) крізь мембрану (J_0):

$$J_0 = \frac{\Delta q}{S\Delta\tau},$$

де C_0 і $C_ф$- відповідно концентрації розчиненої речовини в початковому розчині і в фільтраті; Δq - об'єм фільтрату, що пройшов крізь мембрану площею S за інтервал часу $\Delta\tau$

Оскільки ці характеристики значною мірою залежать від зовнішніх умов проведення процесу розділення (тиску, температури, гідродинамічних умов), для стандартизованої оцінки властивостей мембран використовують ще два показники:

- Коефіцієнт фільтрування (lp), що дорівнює об'ємному потоку, нормованому за градієнтом тиску ΔP:

$$Lp = \frac{J0}{\Delta P} = \frac{\Delta q}{S\Delta\tau\,\Delta P}$$

- Коефіцієнт відбиття мембрани (коефіцієнт Ставермена)

$$\sigma = (\frac{\Delta P}{\Delta\pi})_{jv}$$

Він дорівнює нулю для повністю проникної до даної речовини перегородки та одиниці - для ідеально напівпроникної мембрани (де $\Delta\pi$ - різниця осмотичних тисків розчину з обох боків мембранного полотна). На цей показник справляє значний вплив анізотропність внутрішньої будови мембрани (градієнт діаметра пор у перерізі). Для проєктованих щільних зворотноосмотичних мембран FilmTec коефіцієнт відбиття $\sigma \to 1$, що підтверджує високу ефективність процесу демінералізації води для контуру Хмельницької АЕС.

2.8 Фізико - хімічні основи та термодинаміка зворотного осмосу

З підвищенням температури розчину, що розділяється, селективність мембран змінюється мало, а удільна виробність збільшується в першому наближенні зворотно пропорційно в'язкості пермеату (в тому діапазоні температур, де мембрана не руйнується від термічного впливу). Однак з підвищенням температур збільшується швидкість гідролізу полімерних мембран та скорочується термін їх служби. Враховуючи це, а також те, що використання теплообмінників ускладнює та дорожчає процес, зворотний осмос доцільно проводити при температурі навколишнього середовища (зазвичай 20 25 оС). В тих випадках, коли технологічний розчин, який розділяли, вже має підвищену температуру, економічно оправдана робота і при температурах більше 25 оС. Зі збільшенням перепаду робочого тиску через мембрану збільшується удільна виробність мембран.

Однак при високих тисках полімерна мембрана зазнає ущільнення, яке при визначеному тиску, яке залежить від структури мембрани, може нейтралізувати ефект, пов'язаний з підвищенням рухомої сили. При високих тисках в цих умовах забруднюючим речовинам легше втілитися в пори мембрани, а на поверхні мембрани утворюється більш щільний осад затриманих мікрочасток. Практика застосування зворотного осмосу показує, що в умовах тривалої експлуатації оптимальний перепад тиску для полімерних плоских мембран складає 5-6 МПа, а для мембран у вигляді порожнистих волокон - 2-3 МПа.

Спосіб зворотного осмосу полягає у фільтруванні розчинів під тиском крізь напівпроникні мембрани, які пропускають розчинник (воду) і повністю або частково затримують молекули або іони розчинених речовин. Цей спосіб ґрунтується на явищі осмосу - спонтанного проникнення розчинника (води) крізь напівпроникну перегородку в розчин (рис. 2.5, а). Гідростатичний тиск, за якого встановлюється динамічна рівновага в системі, називається осмотичним тиском (рис. 2.5, б). Якщо з боку розчину прикласти зовнішній тиск (Р), який перевищує осмотичний, то розчинник буде переноситися у зворотному напрямку — зі збагаченого розчину в чистий тракт (рис. 2.5, в).

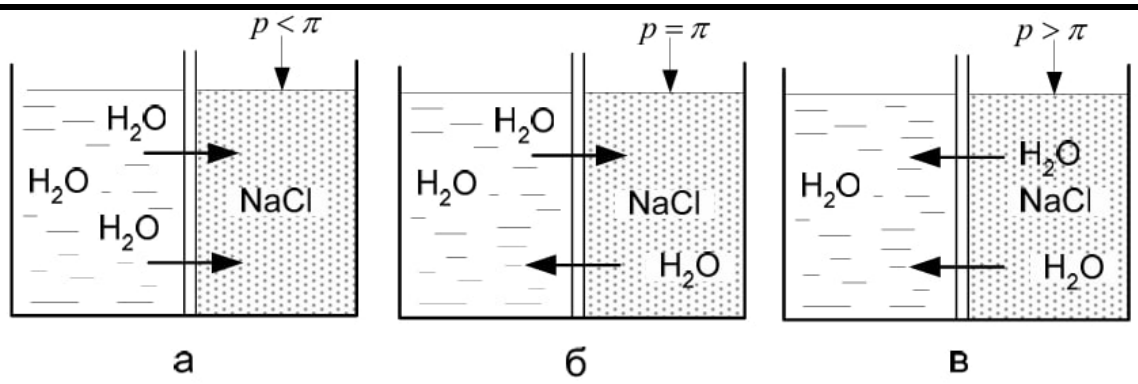

Рисунок 2.5 – Схема виникнення термодинамічних станів явища зворотного осмосу

(а) — прямий осмос; (б) — осмотична рівновага; (в) — зворотний осмос

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

$$\Delta p = p - \pi_1$$

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

π_1 - осмотичний тиск розчину.

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

$$\Delta P = P - (\pi_1 - \pi_2) = P - \Delta\pi,$$

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

Для обчислення осмотичного тиску розчину в першому наближенні можна скористатись рівнянням стану ідеального газу (рівняння Вант-Гоффа):

$$\pi = cRT,$$

де i = 1+a' – коефіцієнт Вант-Гоффа;

a' - ступінь дисоціації розчиненої речовини.

Для сильних електролітів, які повністю дисоціюють на іони, осмотичний тиск розчину визначають за формулою:

$$\pi = v\Phi RTc,$$

де v - число іонів, що утворюються внаслідок дисоціації однієї молекули електроліту; Ф - фактичний осмотичний коефіцієнт, що визначається як:

$i = v\ \Phi$

Осмотичний тиск реальних розчинів може досягати десятків мегапаскалів. Робочий тиск у зворотно-осмотичному процесі повинен бути значно більшим, ніж прямого осмосу, оскільки потужність процесу визначається різницею між робочим і осмотичним тисками. Так, для опріснення морської води, що містить 3,5 % солей і має осмотичний тиск 2,45 МПа, робочий тиск у зворотно-осмотичних апаратах слід підтримувати на рівні 7,0 ÷ 8,0 МПа.

Необхідність підтримування високих робочих тисків, які можуть сягати 10–25 МПа для очищення концентрованих розчинів, є основним обмеженням широкого використання процесу зворотного осмосу. Проте метод характеризується низькими питомими затратами енергії, які становлять близько 13,32 МДж/м^3 для морської води (для порівняння: термічна дистиляція потребує витрати 230,4 МДж електроенергії на 1 м^3, а метод виморожування - 28,44 МДж.

Істотною перевагою методу зворотного осмосу є те, що розділення розчинів відбувається без фазових перетворень, і вся підведена енергія витрачається виключно на створення тиску над розчином та його продавлювання крізь мембрану:

$$A = Ac + Апр.$$

Робота на стискування Ас рідини, що практично не стискується, є малою і нею можна знехтувати. Робота на продавлювання (Апр) рідини дорівнює:

$$Апр = \Delta PV,$$

де ΔР - перепад тиску на мембрані; V- об'єм рідини, що продавлюється крізь мембрану.

Робота продавлювання (Апр) 1м^3 води за робочого тиску 5,0 МПа становить близько 4,9 МДж (1,36 кВт-год). Для порівняння, робота випаровування 1 м^3 води (за питомої теплоти пароутворення 2260 кДж/кг) становить 2270 МДж (630 кВт·год). Робота продавлювання значною мірою залежить від товщини і структури селективного шару мембрани. Сучасні асиметричні композиційні мембрани мають ультратонкі (до 0,1 мкм) селективні шари, що дають змогу істотно знизити робочі тиски до 1,5-2,5 МПа при збереженні високої продуктивності на рівні (50-100 дм^3 · м^2/год), порівняно з класичними мембранами, які працюють за тисків 5-10 МПа.

Наведений розрахунок теоретичних затрат енергії підтверджує їх незначну величину, що наближається до мінімальної термодинамічної роботи вилучення солей, (яка для солоності 3,5 % солей становить 2,67 МДж/м^3). У промислових

зворотноосмотичних установках реальні затрати енергії з урахуванням ККД насосів становлять лише 7,2-9,0 МДж/м^3 (2 - 2,5 кВт · год/м^3). Важливою інженерною перевагою методу є також простота конструкції установок, що складаються з двох основних елементів: компактних мембранних модулів і високонапірного насосного обладнання.

Проте використання процесу зворотного осмосу супроводжується такими технологічними обмеженнями:

1. Явище концентраційної поляризації - істотне збільшення концентрації розчиненої речовини в тонкому примембранному шарі порівняно з її концентрацією в об'ємі розчину, що призводить до падіння рушійної сили та зростання ризику осадоутворення.
2. Необхідність попереднього багатостадійного очищення розчинів від забруднень механічними, завислими, колоїдними часточками, мікроорганізмами та солями жорсткості (Ca^{2+}, Mg^{2+}) і залізом для запобігання забиванню (фоулінгу) пор малорозчинними сполуками.
3. Хімічна вибірковість матеріалів**:** оскільки універсальних мембран не існує, для розділення різних за складом водних систем необхідно індивідуально підбирати хімічний склад та топологію пор селективного шару.

2.9 Апаратне оформлення та компоновка зворотноосмотичної установки

Для практичної реалізації розробленої технології глибокого знесолення передбачено використання блочно-модульної зворотноосмотичної установки промислової серії на базі високоселективних елементів. Усі основні функціональні вузли, гідравлічна обв'язка, запірно-регулююча арматура та елементи контрольно-вимірювальних приладів і автоматики (КВПіА) змонтовані на єдиній тримальній металевій рамі, що забезпечує компактність обладнання та зручність його обслуговування.

Загальна тривимірна схема компоновки та архітектура зв'язків елементів промислової установки зворотного осмосу представлена на рисунку 2.6

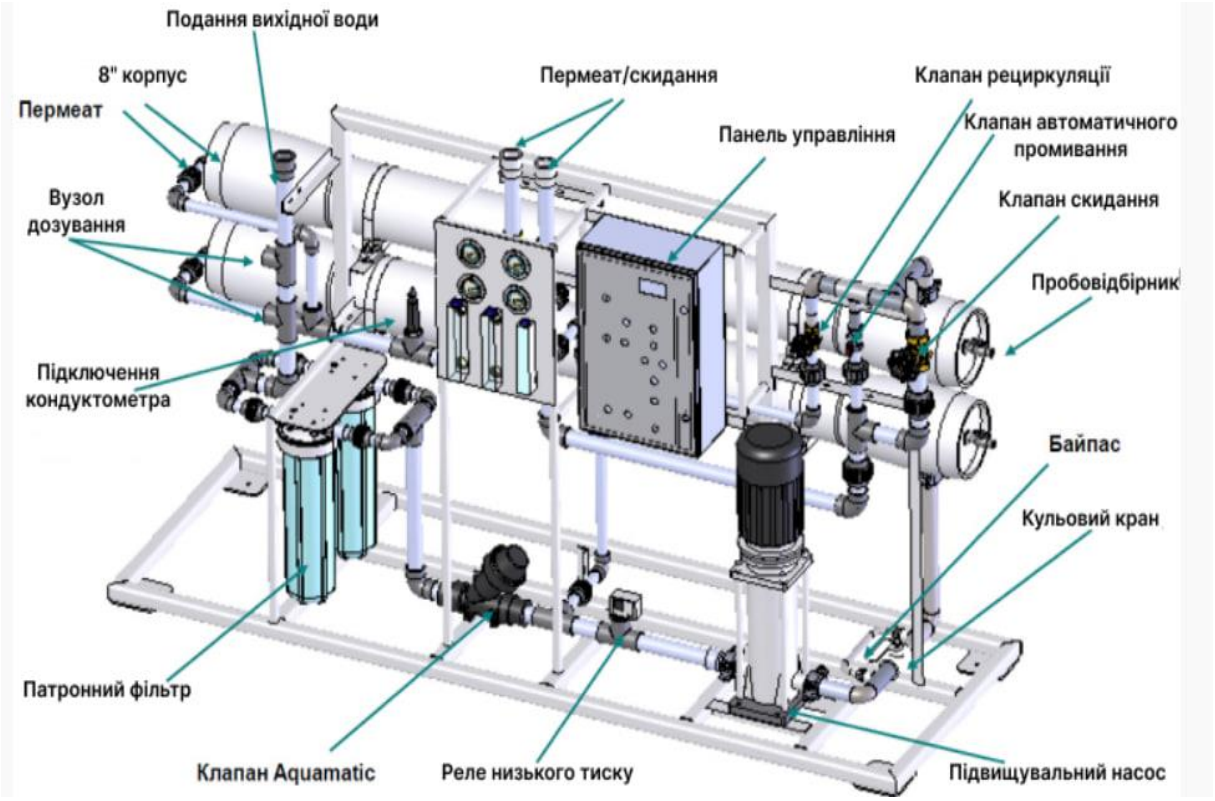

Рисунок 2.6 – Трьохвимірна конструкційна схема та елементи гідравлічної обв'язки промислової установки зворотного осмосу

Згідно з наданим просторовим тривимірним кресленням промислової зворотноосмотичної установки, її конструкція має чітку блочно-модульну архітектуру, де всі елементи закріплені на єдиній тримальній металевій рамі. Основою технологічного блока є каскад високонапірних корпусів (судин під тиском), виконаних із корозійностійкого склопластику, всередині яких послідовно розміщено рулонні мембранні елементи FilmTec. Корпуси гідравлічно з'єднані між собою колекторами вихідної води, пермеату та концентрату. Трубопроводи низького тиску виготовлені з термопластичних матеріалів (ПВХ/ПП), тоді як контур високого тиску та напірні колектори виконані з високолегованої нержавіючої сталі марки AISI 316L для запобігання вимиванню іонів заліза у знесолену воду.

У передній частині рами інтегровано вузол мікрофільтраційного тонкого очищення (мультипатронний бар’єрний фільтр), призначений для фінішного затримання зважених часток розміром понад 5 мкм перед подачею води на мембрани. Подача вихідного потоку під необхідним робочим тиском (понад 1,2 МПа)

забезпечується вертикальним багатоступінчастим відцентровим насосом високого тиску, який оснащений частотним регулятором для оптимізації енерговитрат та плавного пуску системи.

Для забезпечення безперебійного контролю параметрів та автоматизації процесу установка повністю укомплектована первинними датчиками КВПіА. На лицьовій панелі або безпосередньо на трубопроводах змонтовані цифрові датчики тиску (на вході в систему, до і після картриджного фільтра, а також у лінії концентрату), електромагнітні витратоміри (ротаметри) на лініях пермеату та скидного концентрату, а також автоматичні кондуктометри для безперервного вимірювання питомої електропровідності вихідної та знесоленої води. Управління запірно-регулюючою арматурою (електромагнітними та пневматичними клапанами) та координація роботи насосного обладнання здійснюється локальним програмованим логічним контролером (ПЛК), інтегрованим у центральну шафу автоматики установки, що дозволяє передавати всі робочі параметри на щит управління хімічного цеху АЕС.

3. ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ ОЧИСНИХ СПОРУД

3.1 Розрахунок площі складу та об'єму розчинних і витратних баків реагентів.

3.1.1 Коагулянт

Площа складу для зберігання коагулянту:

$$F = \frac{Q \cdot Д_к \cdot T \cdot \alpha}{1000 \cdot P \cdot \rho \cdot h}$$

$$Д_к = 4 \cdot \sqrt{25} = 20 \text{ г/ дм}^3$$

$$M_{30} = \frac{Q \cdot Д_к \cdot T}{1000} = \frac{3670{,}56 \cdot 20 \cdot 30}{1000} = 2202{,}34 \text{ кг} \approx 2{,}2 \text{ т}$$

$$F = \frac{M_{30} \cdot \alpha}{P \cdot \rho \cdot h} = \frac{2{,}2 \cdot 1{,}5}{0{,}9 \cdot 0{,}9 \cdot 1{,}5} = 2{,}72 \text{ м}^2$$

Q - витрата води, яка подається на станцію водопідготовки, м^3/добу; $Д_Р$ - доза реагенту, г/м^3; T - термін зберігання реагенту, діб; α - збільшення площі складу за рахунок проходів; P - вміст основного компоненту, %; ρ - густина реагенту, т/м^3; h - висота шару реагенту, м.

Q = 152,94 м³/год = 3670,56 м³/добу - витрата води, яка подається на ВПУ (з нашого матеріального балансу);

$Д_к$ = 20 г/м³ (або 20 мг/л) - прийнята доза коагулянту ;

T = 30 діб - термін зберігання (нормативний запас);

α = 1,5 - коефіцієнт збільшення площі складу (враховує проходи для обслуговування);

P = 0,9 - вміст основного компоненту в товарному продукті (наприклад, 90% для сухого сульфату алюмінію)

ρ = 0,9 т/м³ - насипна щільність коагулянту;

Прийнята висота ємностей h варіюється в межах 0,7-1,6 м залежно від робочого об'єму та типорозмірів стандартного обладнання, що використовується для дозування реагентів. Розрахунок площі основи проведено для кожної ємності окремо згідно з їх геометричними параметрами.

h = 1,5 м - висота завантаження.

Кількість розчинних баків: $n = 2$

Розрахуємо об'єм баків:

$$V_{\text{бака}} = \frac{\text{М}_{\text{доб}} \cdot \text{Т}_{\text{зап}} \cdot k_{\text{зап}}}{n \cdot \text{С}_{\text{розч}} \cdot \rho_{\text{розч}}}$$

$\text{М}_{\text{доб}}$ - добова витрата реагенту в кг (розрахували раніше).

$\text{Т}_{\text{зап}}$ - термін роботи на одному баку (зазвичай 1–2 доби).

$\text{К}_{\text{зап}}$ - коефіцієнт запасу (зазвичай 1,2).

$\text{С}_{\text{розч}}$ - концентрація робочого розчину (у частках, наприклад, 0,1 або 10%).

$\rho_{\text{розч}}$ - густина робочого розчину (т/м³).

$\text{М}_{\text{доб}}$ = 73 кг/добу.

Припустимо, ми готуємо 10% робочий розчин (С = 0,1), густина якого приблизно ρ = 1 т/м^3. Приймаємо час роботи на одному баку $\text{Т}_{\text{зап}}$ = 1 доба.

$$V_{\text{бака}} = \frac{73 \cdot 1 \cdot 1{,}2}{2 \cdot 0{,}1 \cdot 1000} = \frac{87{,}6}{200} \approx 0{,}438 \text{ м}^3$$

Приймаємо 2 баки по 0,5 м^3

Розрахунок площі, що займають баки реагентів:

Площа під одним баком (S_1) розраховується:

$$S_1 = \frac{V_{\text{бака}}}{\text{Н}_{\text{бака}}} = \frac{0{,}5}{1{,}5} = 0{,}33 \text{ м}^2$$

Загальна площа під два баки з урахуванням коефіцієнта розміщення (β = 2, враховує проходи навколо ємностей для обслуговування) розраховується за формулою:

$$S_{\text{заг}} = n \cdot \frac{V_{\text{бака}}}{h_{\text{бака}}} \cdot \square$$

$$S_{\text{заг}} = 2 \cdot 0{,}5 \cdot 2 = 2 \text{ м}^2$$

3.1.2 Вапно

$\text{Д}_{\text{в}}$ = 50 г/м³,

α = 1,5,

P = 0,95,

ρ = 0,6 т/м³,

h = 1,5 м,

$М_{доб}$ = 183,53 кг/добу,

$С_{розч}$ = 5% = 0,05

$$М_{30} = \frac{Q \cdot Д_в \cdot Т}{1000} = \frac{3670{,}56 \cdot 50 \cdot 30}{1000} = 5{,}51 \text{ т}$$

$$F = \frac{М_{30} \cdot \alpha}{P \cdot \rho \cdot h} = \frac{5{,}51 \cdot 1{,}5}{0{,}95 \cdot 0{,}6 \cdot 1{,}5} = \frac{8{,}265}{0{,}855} = 9{,}67 \text{ м}^2$$

$$V_{бака} = \frac{М_{доб} \cdot Т_{зап} \cdot k_{зап}}{n \cdot С_{розч} \cdot \rho_{розч}} = \frac{183{,}53 \cdot 1 \cdot 1{,}2}{2 \cdot 0{,}05 \cdot 1000} = \frac{220{,}24}{100} = 2{,}2 \text{ м}^3$$

Приймаємо 2 баки по 2,5 м³.

$$S_1 = \frac{V_{бака}}{Н_{бака}} = \frac{2{,}2}{1{,}5} = 3{,}3 \text{ м}^2$$

$$S_{заг} = 2{,}5 \cdot 3{,}3 \cdot 2 = 16{,}5 \text{ м}^2$$

3.1.3 Гідроксид натрію

$Д_г$ = 10 г/м³,

α = 1,5,

P = 0,45,

ρ = 1,4 т/м³,

h = 1,5 м,

$М_{доб}$ = 36,71 кг/доб,

C = 10% = 0,1

$$М_{30} = \frac{Q \cdot Д_г \cdot Т}{1000} = \frac{3670{,}56 \cdot 10 \cdot 30}{1000} = 1{,}1 \text{ т}$$

$$F = \frac{М_{30} \cdot \alpha}{P \cdot \rho \cdot h} = \frac{1{,}1 \cdot 1{,}5}{0{,}45 \cdot 1{,}4 \cdot 1{,}5} = \frac{1{,}65}{0{,}945} = 1{,}75 \text{ м}^2$$

$$V_{бака} = \frac{М_{доб} \cdot Т_{зап} \cdot k_{зап}}{n \cdot С_{розч} \cdot \rho_{розч}} = \frac{36{,}71 \cdot 1 \cdot 1{,}2}{2 \cdot 0{,}1 \cdot 1100} = \frac{44{,}05}{220} = 0{,}2 \text{ м}^3$$

Приймаємо 2 баки по 0,25 м³.

$$S_1 = \frac{V_{бака}}{Н_{бака}} = \frac{0{,}25}{1{,}5} = 0{,}167 \text{ м}^2$$

$$S_{заг} = 2 \cdot 0{,}167 \cdot 2 = 0{,}668 \text{ м}^2$$

3.1.4 Антискалант

$Д_а$ = 3 г/м³,

α = 1,5,

P = 1

ρ = 1,4 т/м³,

h = 1,5 м,

$М_{доб}$ = 11,01 кг/доб,

C = 100% =1

$$М_{30} = \frac{3670,56 \cdot 3 \cdot 30}{1000} = 330,3 \text{ кг}$$

$$V_{бака} = \frac{М_{доб} \cdot Т_{зап} \cdot k_{зап}}{n \cdot С_{розч} \cdot \rho_{розч}} = \frac{11,01 \cdot 2 \cdot 1,2}{2 \cdot 1 \cdot 1100} = \frac{26,42}{2200} = 0,012 \text{ м}^3$$

Приймаємо 2 ємності по 0,05 м³ (стандартна мала тара).

Оскільки антискалант постачається у каністрах на піддонах, площа складу визначається виходячи з габаритів піддона (стандарт 1,2 м х 0,8 м = 0,96 м²). З урахуванням необхідності проходів приймаємо площу 2 м²

Оскільки це каністри або малі ємності, площу приймаємо за габаритами піддона або спеціальної підставки.

$S_{заг}$ = 2 м² (з урахуванням місця для дозувального насоса).

3.1.5 Сульфатна кислота

$Д_р$ = 30 г/м³,

α = 1,5,

P = 0,93,

ρ = 1,8 т/м³,

h = 1,5 м,

$М_{доб}$ = 110,12 кг/доб,

C = 10%.

$$М_{30} = \frac{Q \cdot Д_р \cdot Т}{1000} = \frac{3670,56 \cdot 30 \cdot 30}{1000} = 3,3 \text{ т}$$

$$F = \frac{M_{30} \cdot \alpha}{P \cdot \rho \cdot h} = \frac{3,3 \cdot 1,5}{0,93 \cdot 1,8 \cdot 1,5} = \frac{4,95}{2,511} = 1,97 \text{ м}^2$$

$$V_{бака} = \frac{М_{доб} \cdot Т_{зап} \cdot k_{зап}}{n \cdot С_{розч} \cdot \rho_{розч}} = \frac{110,12 \cdot 1 \cdot 1,2}{2 \cdot 0,1 \cdot 1000} = 0,66 \text{ м}^3$$

Приймаємо 2 баки по 0,75 м^3.

$$S_1 = \frac{V_{\text{бака}}}{\text{Н}_{\text{бака}}} = \frac{0{,}66}{1{,}5} = 0{,}44 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{заг}} = 2 \cdot 0{,}44 \cdot 2 = 1{,}76 \text{ м}^2$$

3.1.6. Біоцид

$Д_р$ = 5 г/м³,

α = 1,5,

P = 0,5,

ρ = 1,1 т/м³,

h = 1,5 м,

$М_{доб}$ = 18,35 кг/доб,

C = 10%.

$$\text{М}_{30} = \frac{Q \cdot Д_р \cdot \text{T}}{1000} = \frac{3670{,}56 \cdot 5 \cdot 30}{1000} = 0{,}55 \text{ т}$$

$$\text{F} = \frac{M_{30} \cdot \alpha}{\text{P} \cdot \rho \cdot \text{h}} = \frac{0{,}55 \cdot 1{,}5}{0{,}5 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}5} = \frac{0{,}825}{0{,}825} = 1 \text{ м}^2$$

$$V_{\text{бака}} = \frac{\text{М}_{\text{доб}} \cdot \text{T}_{\text{зап}} \cdot k_{\text{зап}}}{\text{n} \cdot \text{C}_{\text{розч}} \cdot \rho_{\text{розч}}} = \frac{18{,}35 \cdot 1 \cdot 1{,}2}{2 \cdot 0{,}1 \cdot 1000} = 0{,}11 \text{ м}^3$$

Приймаємо 2 баки по 0,15 м^3.

$$S_1 = \frac{V_{\text{бака}}}{\text{Н}_{\text{бака}}} = \frac{0{,}15}{1{,}5} = 0{,}1 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{заг}} = 2 \cdot 0{,}1 \cdot 2 = 0{,}4 \text{ м}^2$$

Сумарна площа, зайнята безпосередньо обладнанням та запасами реагентів, становить 20,85 м²

Для розрахунку остаточної площі приміщення приймаємо коефіцієнт використання площі $k_{вик}$ = 1,4:

$$S_{прим} = S_{заг} \cdot k_{вик} = 20{,}85 \cdot 1{,}4 \approx 29{,}18 \text{ м}^2.$$

Для розміщення реагентного господарства проєктом передбачено приміщення площею 30 м².

3.2. Розрахунок освітлювача

Розрахунок ведеться на основі загальної продуктивності станції $Q_{год}$ = 152,94 м^3/год (розраховано як 3670,56 м^3 /добу /24)

Визначення площі освітлювача ($F_{осв}$)

Площа визначається за формулою:

$$F_{осв} = \frac{Q_1}{U_{осв} \cdot 3,6}$$

$U_{осв}$ = 1,5 мм/с = 5,4 м/год – швидкість висвітлення води в зоні зваженого осаду (приймається за довідником для показників води).

Робоча продуктивність на один освітлювач:

$$Q_1 = 152,94 / 2 = 76,47 \text{ м}^3 / \text{год};$$

$$F_{осв} = \frac{76,47}{5,4} = 14,16 \text{ м}^2$$

Визначення діаметра одного освітлювача:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{осв}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 14,16}{3,14}} = 4,25 \text{ м}$$

Приймаємо до встановлення стандартний освітлювач діаметром D = 4,25 м.

Згідно з вимогами надійності систем водопідготовки, проєктом передбачено встановлення двох паралельних освітлювачів. Це дозволяє забезпечити безперебійну подачу очищеної води споживачам під час планових ремонтів, промивок або чищення одного з апаратів. Розрахунок площі кожного освітлювача проведено виходячи з 50% продуктивності станції, що забезпечує оптимальний гідравлічний режим роботи зваженого шару осаду.

Розрахунок площі приміщення освітлювачів

При розрахунку площі приміщення ми враховуємо не лише площу самих освітлювачів, але й зони їх обслуговування (проходи, майданчики для доступу до арматури та систем відведення осаду).

Розрахунок площі, зайнятої освітлювачами:

$$S_{обл} = 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4}\right) = 2 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 4,25^2}{4}\right) = 2 \cdot 14,18 = 28,3 \text{ м}^2$$

Розрахунок загальної площі приміщення

Загальна площа визначається з урахуванням коефіцієнта використання площі ($k_{вик}$), який для освітлювальних цехів зазвичай приймається в межах 2,5–3,0 (враховуючи складність конструкції освітлювачів, наявність кільцевих збірних лотків, системи трубопроводів подачі води, відведення осаду та доступу до драбин):

$$S_{прим} = S_{обл} \cdot k_{вик} = 28,3 \cdot 2,5 = 70,75 \text{ м}^2$$

Згідно з габаритними розмірами двох освітлювачів (D = 4,25 м) та вимогами щодо безпечного обслуговування, площа приміщення освітлювачів становить 70 -75 м². Дана площа забезпечує розміщення двох паралельних апаратів, а також необхідних технологічних майданчиків, проходів для персоналу (шириною не менше 1,5 м) та вузлів керування запірною арматурою.

3.3. Розрахунок бака освітленої води

Об'єм бака складається з двох частин: регулюючої (для компенсації нерівномірності) та аварійно-протипожежної (якщо проєкт передбачає). У даному випадку розрахуємо основний технологічний об'єм:

$$V_{БОВ} = Q_{год} \cdot t_{рег} \cdot k_{н}$$

$Q_{год}$ = 152,94 м^3/год - продуктивність станції;

$t_{рег}$ = 0,5 год - час регулювання (приймаємо 30 хвилин роботи на випадок короткочасної зупинки освітлювачів);

$k_{н}$ = 1,2 - коефіцієнт нерівномірності (запас на коливання рівня).

$$V_{БОВ} = 152,94 \cdot 0,5 \cdot 1,2 = 91,76 \text{ м}^3$$

Оскільки розрахунковий об'єм становить близько 91,96 м³, згідно з номенклатурою ємнісного обладнання, доцільно прийняти два баки 100 м³ або один резервуар на 40-50 м³.

Розрахунок площі приміщення для бака освітленої води

При розрахунку приймаємо, що бак має циліндричну форму. Для об’єму V = 50 м^3 та висоти H = 3,5 м (стандарт для такого об'єму), визначаємо діаметр.

Розрахунок діаметра та площі основи бака:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot H}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 50}{3{,}14 \cdot 3{,}5}} \approx \sqrt{18{,}19} \approx 4{,}26 \text{ м}$$

Площа основи бака ($S_{бака}$):

$$S_{бака} = \frac{\pi \cdot 4{,}26^2}{4} \approx 14{,}29 \text{ м}^3$$

Розрахунок загальної площі приміщення ($S_{прим}$)

Для забезпечення доступу до бака (ревізійні люки, датчики рівня, трубопровідна обв'язка) навколо бака має бути прохід шириною не менше 1,0-1,2 м.

Використовуємо коефіцієнт розміщення k = 2,5 (враховуючи необхідність розміщення вузла насосів подачі води з бака в цьому ж приміщенні)

$$S_{прим} = S_{бака} \cdot k = 14{,}29 \cdot 2{,}5 \approx 36 \text{ м}^2$$

Для розміщення бака освітленої води загальним об'ємом 40 м³ проєктом передбачено приміщення площею 30 м². Це дозволяє розмістити безпосередньо резервуар, насосну групу для подачі води на наступні стадії очищення, а також забезпечує необхідні експлуатаційні проходи для обслуговування контрольно-вимірювальних приладів та запірної арматури згідно з нормами промислової безпеки.

3.4 Розрахунок об’єму шламу

Приймем що кількість завислих речовин, які випадають в осад, становить – 100 мг/л.

Добова кількість води: 3670,56 м^3 /добу

Маса сухого осаду ($M_{сух}$) : 3670,56 · 0,1 кг/м^3 = 367,06 кг/добу = 0,37 т/добу

Об’єм волого осаду (вологість 98%) :

$$V_{осад} = \frac{M_{сух}}{\rho \cdot (1-W)} = \frac{0{,}37}{1 \cdot (1-0{,}98)} \approx 18{,}35 \text{ м}^3/\text{добу}$$

3.5 Розрахунок шламонакопичувача

Шламонакопичувач (усереднювач) розраховується на 3-денний запас для накопичення достатнього об’єму для роботи фільтр-преса.

Об’єм накопичувача:

$V_{нак} = V_{осад} \cdot 3$ доби $= 18,35 \cdot 3 = 55,05$ м^3

Площа при висоті 3 метра:

$$S = \frac{55,05}{3} = 18,35 \text{ м}^3$$

3.6 Розрахунок фільтр-преса

Фільтр-прес вибирається за продуктивністю по сухому залишку.

Цикл роботи : 1 цикл за 4 години (6 циклів за добу).

Маса осаду за цикл : 367,06 кг / 6 = 61,18 кг

Потрібна площа фільтрування ($F_ф$):

$$F_ф = \frac{M_{цикл}}{q \cdot T}$$

Де q ≈ 5 кг/м^2 (питома продуктивність), T = 4 год.

$$F_ф = \frac{61,18}{5 \cdot 4} \approx 3,06 \text{ м}^2$$

Приймаємо стандартний камерний фільтр-прес з площею фільтрування 4 м^2 .

3.7 Розрахунок бака промивних (шламових) вод

Розрахунок базується на об'ємі води, що витрачається на одну промивку одного освітлювача або фільтра.

Визначення об'єму промивної води

Приймемо, що для промивки одного освітлювача витрачається 5% від його продуктивності за одну годину:

$$V_{пром} = Q_{осв} \cdot 0,05$$

Де $Q_{осв}$ = 76,47 м$^{3/}$год (продуктивність одного освітлювача):

$$V_{пром} = 76,47 \cdot 0,05 = 3,82 \text{ м}^3$$

Враховуючи, що промивка може проводитися для двох освітлювачів поспіль або з врахуванням промивки фільтрів:

$$V_{заг} = 2 \cdot V_{пром} \cdot k_{зап} = 2 \cdot 3{,}82 \cdot 1{,}5 = 11{,}46 \text{ м}^3$$

Вибір об'єму бака

Приймаємо стандартну ємність бака промивних вод - 12 м³. Це дозволяє накопичити залповий скид та плавно подати його на систему зневоднення (фільтр-прес).

Розрахунок площі приміщення для бака промивних вод

Для бака об'ємом 6 м³:

Діаметр при висоті 2 м,

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 11{,}46}{3{,}14 \cdot 2}} \approx 2{,}5 \text{ м.}$$

Площа основи: $S_{бака} = 5$ м^2.

Площа приміщення (з урахуванням проходів k = 3):

$$S_{прим} = 5 \cdot 3 = 15 \text{ м}^2$$

Об'єм бака (6 м³) обрано з урахуванням одноразового скиду промивної води, що забезпечує рівномірне навантаження на систему зневоднення та запобігає гідравлічним ударам у мережі відведення шламу.

3.8. Розрахунок механічних фільтрів

Кількість фільтрів:

Приймаємо 3 фільтри (2 робочих + 1 резервний/на промивку).

Робоча продуктивність одного фільтра:

$Q_ф = 152{,}94 / 2 = 76{,}47$ м^3 / год.

Розрахунок площі фільтрування

Приймаємо швидкість фільтрування $U_ф = 10$ м/год (типове значення для очищення води від завислих речовин).

$$F_ф = \frac{Q_ф}{U_ф} = \frac{76{,}47}{10} = 7{,}65 \text{ м}^2$$

Вибір типорозміру

Площа одного фільтра 3,83 м^2 відповідає діаметру:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_ф}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,83}{3,14}} \approx 2,2 \text{ м.}$$

Приймаємо до встановлення 3 стандартні напірні фільтри діаметром 2,2 м.

Розрахунок площі приміщення для фільтрів:

При розрахунку враховуємо площу самих фільтрів, проміжки між ними (для доступу до арматури) та зону завантаження матеріалу.

Коефіцієнт обслуговування (k = 4)

$$S_{сум} = 11,49 \text{ м}^2$$

$$S_{заг} = k \cdot S_{сум} = 4 \cdot 11,49 \approx 46 \text{ м}^2$$

3.9 Розрахунок картриджного фільтра

Картриджний фільтр (поліруючий фільтр) підбирається виходячи з продуктивності по потоку, що подається на мембрани ($Q_{вх\ RO}$).

Необхідна продуктивності (Q_f)

$$Q_f = Q_{вх\ RO} = 152,94 \text{ м}^3/\text{год}$$

Розрахунок кількості картриджів (n)

Для вибору кількості картриджів використовуємо номінальну продуктивність одного картриджа ($q_{карт}$), яка зазвичай становить 2-5 м³/год для стандартного картриджа (типорозмір 20" або 40" Big Blue).

$$n = \frac{Q_f}{q_{карт} \cdot k}$$

де k = 0,8 — коефіцієнт використання (запас на забруднення).

Приймемо $q_{карт}$ = 4 м^3/год:

$$n = \frac{152,94}{4 \cdot 0,8} \approx 48 \text{ штук}$$

Визначення площі приміщення для фільтра

Для картриджних фільтрів площа приміщення складається з площі самого корпусу та необхідної зони обслуговування (для заміни картриджів).

$$S_ф = S_{корпусу} + S_{обслуг}$$

Для 20-ти картриджів використовується багатопатронний корпус (типу "multi-cartridge filter housing"). Площа основи такого корпусу ≈ 2 м^2.

Зона обслуговування: ≈ 6 м^2.

$$S_ф = 2 + 6 = 8 \text{ м}^2$$

3.10 Розрахунок установки зворотного осмосу (Мембранний блок)

Нам потрібно визначити кількість мембранних елементів, необхідних для отримання 127,61м³/добу пермеату.

Продуктивність по пермеату : 127,61 м³/год.

Тип мембран: для промислових систем такого масштабу зазвичай використовують рулонні композитні мембрани (наприклад, типу *FilmTec BW30* або аналоги).

Площа поверхні: Один стандартний мембранний елемент (8 дюймів) має площу близько 37-40 м² і продуктивність близько 30-35 м^3/добу (1,2–1,5 м^3/год).

Розрахуємо кількість мембранних модулів (N):

$$N = \frac{127,61}{1,2} = 106,3$$

Приймаємо 108 мембран.

Для зручності обслуговування їх збирають у "корпуси" (по 6 елементів у кожному). Отже, потрібно близько 18 корпусів.

Згідно з розрахунковою продуктивністю, обрано систему зворотного осмосу, що складається з 18 паралельно підключених корпусів мембранних елементів. Це забезпечує стабільну роботу при номінальній продуктивності 127,61 м^3/год пермеату та дозволяє проводити регламентну промивку окремих блоків без зупинки всієї системи.

Розрахуємо якість пермеату

Використовуємо формулу, яка показує, скільки солей пройде крізь мембрану:

$$C_p = C_f \cdot (1 - R)$$

C_f = 288 мг/дм^3 (солевміст вихідної води);

R = 0,995 (селективність мембрани 99,5%);

1 - R = 0,005 (коефіцієнт проскоку солей).

$$C_p = 288 \cdot 0{,}005 = 1{,}44 \text{ мг/дм}^3$$

Отриманий показник 1,44 мг/дм^3 значно нижчий за гранично допустимі норми для живлення котлів високого тиску, що підтверджує високу ефективність обраної технологічної схеми зворотного осмосу.

Розрахунок насоса високого тиску:

Витрата ($Q_{НВТ}$) : 170,14 м^3/год

Напір (H) : для робочого тиску 10-15 бар (100-150 м водяного стовпа)

H = 120 м

ККД (η) : 0,75.

Розрахунок потужності (N) :

$$N = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{3600 \cdot \eta} = \frac{170{,}14 \cdot 120 \cdot 1000 \cdot 9{,}8}{3600 \cdot 0{,}75} \approx 74{,}1 \text{ кВт}$$

Для подачі води на мембранні модулі обрано відцентровий багатоступеневий насос високого тиску з потужністю двигуна 90 кВт (враховуючи запас). Насос оснащено частотно-регульованим приводом (ЧРП) для підтримки стабільного тиску в системі при зміні якості вхідної води, що дозволяє оптимізувати енерговитрати на 15-20%

Розрахунок площі (Метод компонування)

Для промислових установок ЗО прийнято брати норматив: від 2 до 3 м² на 1 м³/год продуктивності (враховуючи проходи для обслуговування).

Наша продуктивність (потік V): 170,14 м³/год.

Розрахунок: 170,14 · 2,5 м^2/год ≈ 425 м^2.

3.11 Розрахунок баків пермеату та концентрату

Зазвичай бак розраховується на 2–4 години роботи при максимальній продуктивності (згідно з нормами для ВПУ).

Продуктивність по пермеату 127,61 м^3/год.

Бак пермеату ($V_{перм}$):

Приймаємо запас на 3 години роботи

$$V_{перм} = 127{,}61\ м^3/год \cdot 3\ год = 382{,}83\ м^3$$

Продуктивність по концентрату: 41,39 $м^3$/год.

Оскільки це потік скиду, бак робиться меншим (як буфер перед скидом або утилізацією), на 2 години роботи:

$$V_{конц} = 41{,}39\ м^3/год \cdot 2\ год = 82{,}78\ м^3$$

Приймаємо стандартний бак об'ємом 90 м³.

Розрахуємо площу під баки:

Бак пермеату (90 м³):

Висота бака (H): 4 м.

Діаметр (D): $\sqrt{4 \cdot V/(\pi \cdot H)} = \sqrt{4 \cdot 90/(3{,}14 \cdot 4)}$ =5,35 м.

Площа основи ($S_{осн}$): 22,5 $м^2$.

З урахуванням зони обслуговування (коеф. 1,5): $S_{заг\ перм} = 22{,}5 \cdot 1{,}5 = 33{,}75\ м^2$.

Бак концентрату (35 м³):

Висота бака (H): 4 м.

Діаметр (D): $\sqrt{4 \cdot 35/(3{,}14 \cdot 4)} = 3{,}33$ м.

Площа основи ($S_{осн}$): 8,75 $м^2$.

З урахуванням зони обслуговування (коеф. 1,5): $S_{заг\ конц} = 8{,}75 \cdot 1{,}5 = 13{,}125\ м^2$.

3.12 Розрахунок ФЗД

Для розрахунку ми беремо продуктивність по вихідній воді 152,94 $м^3$/год.

Швидкість фільтрування (U) для фільтрів приймається 8 - 12 м/год (візьмемо 10 м/год).

Розрахункова площа фільтрації (S_f):

$S_f = \frac{Q_I}{U} = \frac{152{,}94}{10} = 15{,}3\ м^2$

Якщо ми ставимо, наприклад, 3 паралельні фільтри:

$$S_{одн} = 15{,}3 / 3 = 5{,}1\ м^2 \Rightarrow D = \sqrt{4 \cdot 5{,}1/3{,}14} \approx 2{,}55\ м$$

Площа приміщення під ФЗД:

З урахуванням зони обслуговування (коефіцієнт 3 для напірних фільтрів):

$$S_{прим\ ФЗД} = S_f \cdot 3 \approx 45{,}9\ м^2$$

3.13 Розрахунок баку для скиду нейтральних вод

Об'єм бака ($V_{нейтр}$): Приймаємо запас на 4 години роботи (для накопичення порцій скиду):

$$V_{нейтр} = Q_{скид} \cdot 4 = 41{,}39 \cdot 4 \approx 165{,}56\ м^3$$

Приймаємо 170 $м^3$.

Займана площа:

При висоті 4 м, діаметр ≈ 7,36 м, площа основи ≈ 42,5 $м^2$.

З урахуванням зони обслуговування (K=1,5):

$42{,}5 \cdot 1{,}5 = 63{,}75\ м^2$.

3.14 Розрахунок об'єму бака сирої води

Згідно з нормами для ВПУ, бак сирої води повинен забезпечувати роботу станції протягом 1,5 – 2 годин у разі зупинки подачі води з мережі.

Продуктивність по входу: 152,94 $м^3$/год.

Розрахунковий час резерву: 2 години.

Об'єм бака:

$$V_{сирої} = 152{,}94\ м^3/год \cdot 2\ год = 305{,}88\ м^3$$

Приймаємо - 310 $м^3$.

Розрахуємо площу під бак (висота 5 м):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 310}{3{,}14 \cdot 5}} \approx 8{,}89\ м$$

Площа основи: ≈ 62,1 $м^2$.

З урахуванням зони обслуговування (K=1,5):

$62{,}1 \cdot 1{,}5 \approx 93{,}15\ м^2$.

Таблиця 3.1 Зведена специфікація обладнання та площа приміщень ВПУ

Найменування вузла/обладнання	Розрахунковий об'єм/площа	Прийнятий об'єм/кількість	Площа приміщення (м²)
Реагентне господарство (сумарно)	—	—	30
Освітлювачі	14,16 м³	2 шт.	75
Бак освітленої води	91,76 м³	2 шт. по 50 м³	30
Фільтри механічні	15,3 м²	3 шт. (D=2,2 м)	46
Фільтри знезалізнення (ФЗД)	15,3 м²	3 шт. (D=2,55 м)	45,9
Картриджні фільтри	152,94 м³/год	Багатопатронний корпус	8
Установка зворотного осмосу	170,14 м³/год	18 корпусів (108 мембран)	425
Бак пермеату	382,83 м³	383 м³	95,82
Бак концентрату	82,78 м³	90 м³	33,75
Бак скиду нейтральних вод	165,56 м³	170 м³	63,75
Бак сирої води	305,88 м³	310 м³	93,15

4.БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА

4.1. Об'ємно-планувальне вирішення будівлі

Об'ємно-планувальне рішення будівлі хімічного цеху водопідготовчої установки (ВПУ) ВП «Хмельницька АЕС» розроблено відповідно до вимог чинних будівельних норм (зокрема ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди промислових підприємств») та адаптовано під вимоги модернізованої технологічної схеми глибокого знесолення води на основі баромембранних методів.

Основна частина цеху включає комплекс очисних споруд. Технологічне обладнання розміщене за схемою, що відповідає напрямку руху стічних вод. До складу входять: розчинний бак вапна; витратний бак вапна; розчинний бак коагулянту; витратний бак флокулянту; просвітлювач із завислим шаром осаду; резервуар вапняної освітленої води; механічний фільтр; картриджний фільтр; ЗО-установка; бак дозування антискаланту; бак дозування біоциду; CIP-промивка; ФЗД; витратний бак розчину кислоти; витратний бак розчину лугу; резервуар знесоленої води; відстійник накопичувача промивних вод; резервуар кисло-лужних стоків; шламонакопичувач; фільтр прес; Між усіма елементами залишено прохід для безперешкодного пересування персоналу.

Будівля цеху в плані є прямокутною, одноповерховою, з загальною площею 1152 м^2. Довжина будівлі становить 48 м, ширина - 24 м. Висота виробничого залу від рівня підлоги до низу тримальних конструкцій покриття (кроквяних ферм) становить 8,4 м. Така висота є оптимальною та зумовлена висотними габаритами вертикальних апаратів - фільтрів змішаної дії (ФЗД), висотою рамних конструкцій двостадійного зворотного осмосу, а також габаритами технологічних баків-накопичувачів пермеату та освітленої води.

Прийнято уніфіковану інженерну сітку колон із кроком 6 м у поздовжньому напрямку та одним прольотом шириною 24 м у поперечному напрямку (сітка 24 х 6 м). Вільний від внутрішніх колон простір залу (24 м) дозволяє безперешкодно розмістити великогабаритні блочно-модульні зворотноосмотичні установки, забезпечити зручний під'їзд спецтехніки для заміни мембранних елементів та витримати нормативні проходи для обслуговування обладнання.

Внутрішній виробничий простір будівлі чітко розділений на функціональні зони для забезпечення безпеки персоналу та дотримання санітарно-гігієнічних норм:

1. Головний зал ВПУ - відкритий технологічний простір, де розміщено блоки попереднього механічного очищення та пом'якшення, захисні картриджні фільтри, рамні модулі зворотного осмосу, фільтри змішаної дії (ФЗД), а також насосні групи (насоси подачі та високонапірні насосні агрегати).
2. Ізольована зона реагентного господарства та станції CIP - закрите приміщення, обладнане піддонами та дренажними трапами, де здійснюється зберігання, приготування та автоматичне дозування антискаланту, а також концентрованих розчинів сульфатної кислоти й лугу для хімічної промивки мембран та регенерації смол ФЗД.
3. Звукоізольована кімната для персоналу - герметичне засклене приміщення (щит керування дільниці знесолення), де розташовані шафи автоматики, мікропроцесорні системи керування та робочі місця операторів ВПУ.
4. Експрес-лабораторія - для оперативного контролю хімічних показників якості води (вимірювання електропровідності, жорсткості, вмісту кремнієкислоти).

Відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», з головного залу цеху передбачено два розосереджені евакуаційні виходи безпосередньо назовні промислового майданчика ХАЕС. Шляхи евакуації та проходи між мембранними стійками і ФЗД повністю вільні від обладнання, а евакуаційні двері обладнані засувками типу «антипаніка» і відкриваються строго у напрямку виходу з будівлі.

4.2. Конструктивне вирішення будівлі

За конструктивною схемою будівля хімічного цеху ВПУ є повнокаркасною однопролітною із залізобетонним каркасом, що розрахований на тривалу експлуатацію в умовах підвищеної вологості робочого середовища та специфічних статичних і динамічних навантажень відділення знесолення.

Фундаменти

Під залізобетонні колони каркаса проєктуються збірні залізобетонні фундаменти стаканного типу. Особливістю конструктивного інженерного рішення є те, що

фундаменти під важке динамічне обладнання - вертикальні багатоступінчасті підвищувальні насоси та насоси високого тиску (НВТ) установки зворотного осмосу - виконуються монолітними залізобетонними. Вони повністю відокремлюються від загальних фундаментів будівлі та монолітної плити підлоги через віброізоляційні прокладки і зазори, заповнені еластичним матеріалом, що запобігає передачі низькочастотних вібрацій на тримальні конструкції споруди.

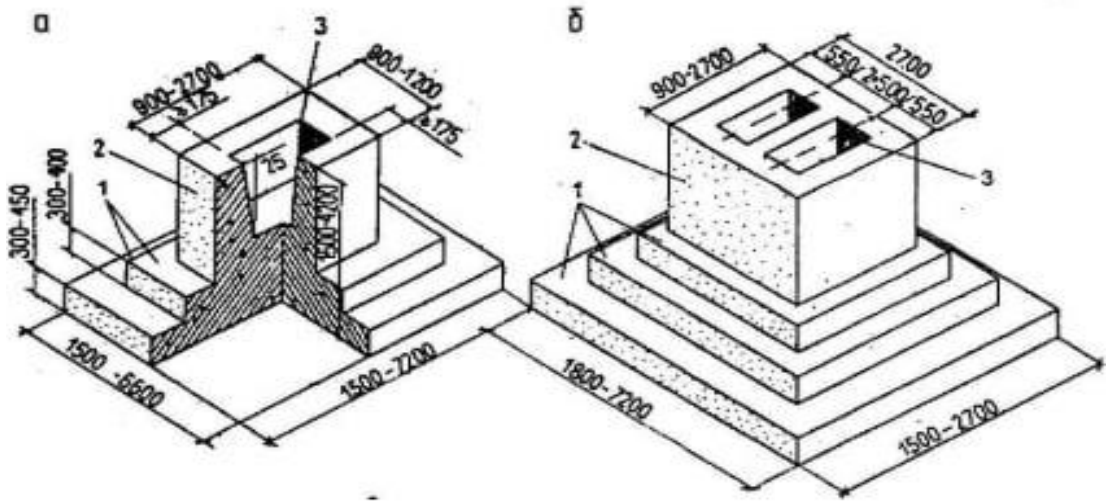

Рисунок 4.1 - Монолітні залізобетонні фундаменти «стаканного» типу:
а – під одну колону; б – під спарені колони;

Колони та ригелі

Застосовано збірні залізобетонні колони прямокутного перерізу 400 х 400 мм (висотою 8,4 м). Основними тримальними елементами покриття є збірні залізобетонні кроквяні балки (або сегментні ферми) прольотом 24 м, які спираються на оголовки колон. Крок колон у поздовжньому напрямку становить 6 м.

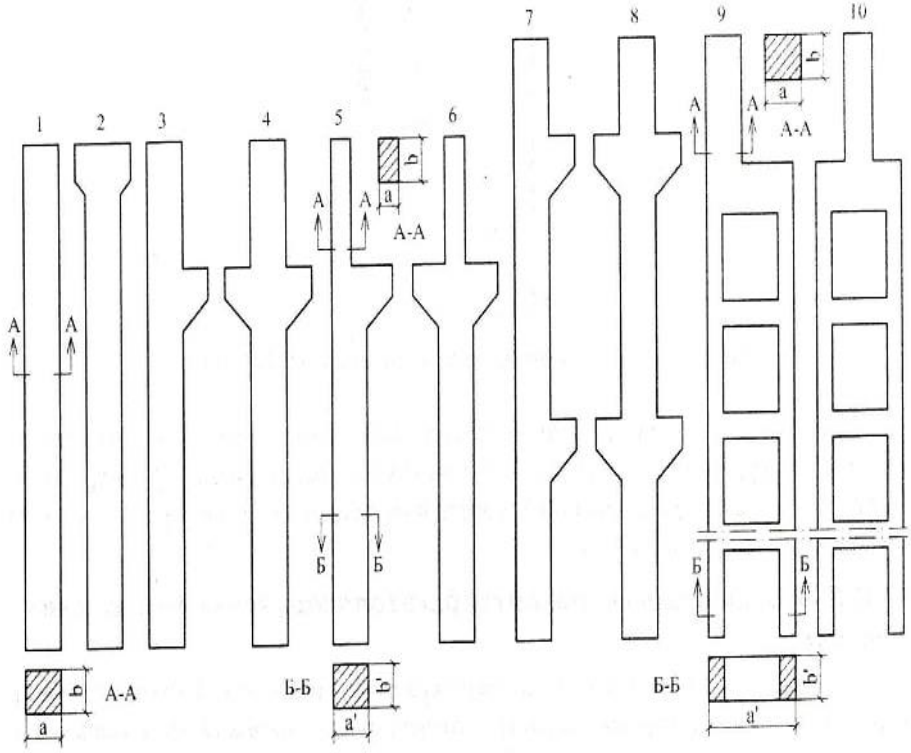

Рисунок 4.2 – Залізобетонні колони крайніх та середніх рядів

Стіни та покриття

Зовнішні огороджувальні стіни виконані з навісних тришарових промислових сендвіч-панелей із мінераловатним утеплювачем на основі базальтового волокна, що забезпечує належний теплозахист і відноситься до класу негорючих матеріалів (НГ). Покриття - збірні залізобетонні ребристі плити розміром 3 х 6 м, по яких укладено шар пароізоляції, ефективний плитний утеплювач та багатошаровий гідроізоляційний килим.

Антикорозійний захист та конструкція підлоги

Оскільки в технологічному процесі використовуються хімічно агресивні реагенти (концентрована сульфатна кислота H_2SO_4 та гідроксид натрію NaOH для регенерації ФЗД і CIP-промивок мембран), всі залізобетонні конструкції, колони та балки покриваються спеціальними хімстійкими епоксидними емалями згідно з ДСТУ Б В.2.6-145:2010. Підлога в залі ВПУ проєктується з нахилом 1,5% у бік дренажних каналів, зливних лотків і трапів та покривається кислотолугостійкою керамічною плиткою на хімічно стійкій мастиці (або безшовним епоксидним компаундом).

4.3. Розрахунок площі адміністративно-побутових приміщень

Розрахунок площі побутових приміщень виконується відповідно до вимог ДБН В.2.2-28:2010 (Розділ «Адміністративні та побутові приміщення») на основі штатного спискового складу персоналу дільниці знесолення та санітарної характеристики виробничих процесів.

Виробничі процеси в хімічному цеху ВПУ (контакт із водою, обслуговування реагентного господарства, робота з кислотами та лугами) відносяться до групи санітарної характеристики IIIб (процеси, що викликають забруднення речовинами III та IV класів небезпеки, а також вимагають обов'язкового захисту шкіри, використання ЗІЗ та спецодягу). Для цієї групи нормами передбачено обов'язкове облаштування гардеробних роздільного зберігання домашнього (вуличного) і робочого спецодягу, а також душових кімнат пропускного типу.

Враховуючи безперервну роботу високонапірного насосного обладнання та компресорів у виробничій зоні цеху, що генерують підвищений рівень акустичного навантаження (шуму), з метою захисту персоналу та дотримання санітарно-гігієнічних вимог, адміністративно-побутовий комплекс (АПК) винесено в окремий ізольований блок поза межами безпосереднього виробничого залу ВПУ.

Будівельні конструкції приміщень АПК:

- Стіни: виконані з індустріальних стінових панелей на основі газобетонних плит товщиною 200 мм, що мають високі теплоізоляційні та звукопоглинальні властивості.
- Перекриття (стеля): накладні залізобетонні плити покриття товщиною 220 мм, що забезпечують просторову жорсткість та надійність.
- Висота приміщень: чиста висота від рівня підлоги до стелі становить 3,6 м.
- Конструкція підлоги (знизу вгору): ущільнений дрібний пісок (основа) → гравій, утрамбований у пісок (100 мм) → гідроізоляція бітумною мастикою (10 мм) бетонна підготовка (90 мм) → дерев'яна дошка (25 мм) із термоізоляційною плівкою «Пінофол» → фінішне покриття із зносостійкого комерційного ламінату.

Вихідні дані для розрахунку:

- Списковий склад персоналу дільниці: $N_{сп}$ = 12 осіб.

- Чисельність персоналу в найбільшій оперативній зміні ВПУ:

  $N_{зм}$ = 4особи (2 чоловіків, 2 жінок).

Розрахунок площ за нормативними показниками:

1. Гардеробні

   Норма площі на одну закриту подвійну шафу роздільного зберігання одягу становить 0,1 * 2 = 0,2 м^2. Оскільки шафи передбачаються для всього спискового складу персоналу, розрахунок площі виконується за формулою:

   $S_{гард} = N_{сп} * 0,2 * k = 12 * 0,2 *1,3 = 3,12$ м^2

   (де k = 1,3 - нормативний коефіцієнт, що враховує проходи між рядами шаф). З міркувань ергономіки та розділення потоків приймаємо площу чоловічого та жіночого гардеробів із допоміжними проходами по 4 м^2 (разом 8 м^2).
2. Душові кімнати

   Для санітарної групи IIIб норма становить 1 душова сітка на 3 особи у найбільшій зміні. Для 2 чоловіків та 2 жінок у зміні необхідно облаштувати по 1 душовій сітці у кожному блоці. Нормативна площа однієї кабіни з переддушовою становить 2,1 м^2:

   $S_{душ} = 2 * 2,1 = 4,2$ м^2

   Приймаємо дві душові кімнати (чоловічу та жіночу) з округленням до загальної площі 5 м^2.
3. Вбиральні (туалети)

   Норма становить 1 унітаз на 15 осіб у зміні. Необхідно передбачити 1 чоловічий та 1 жіночий унітаз. Нормативна площа кабіни з тамбором-умивальником становить 2,7 м^2:

   $S = 2 * 2,7 = 5,4$ м^2

   Приймаємо загальну площу вбиральнь із тамбурами 6 м^2.
4. Кімната відпочинку та приймання їжі

При чисельності оперативної зміни до 10 осіб, згідно з нормами, передбачається кімната площею не менше 12 м^2. Приймаємо 12 м ^{2}.

5. Кабінет начальника зміни (цеху)

Нормативна площа на одне робоче місце інженерно-технічного персоналу становить 6 м^2. Приймаємо 6 м^2.

Результати розрахунків та прийняті архітектурні площі адміністративно-побутового блоку (АПБ) зведені в таблицю 4.1.

Таблиця4.1 – Площа адміністративно-побутових приміщень дільниці

№ з/п	Найменування приміщення	Нормативний показник	Розрахункова площа, м^2	Прийнята площа, м^2
1	Гардеробні (чоловіча та жіноча)	0,2 м^2 на шафу + проходи	3,12	8
2	Душові з переддушовими кабінами	1 душова сітка на 3 особи	4,2	5
3	Вбиральні з тамбором-умивальником	1 унітаз на зміну	5,4	6
4	Кімната відпочинку та приймання їжі	Мінімум для зміни до 10 осіб	12	12
5	Кабінет начальника зміни	1 обладнане робоче місце	6	6
	РАЗОМ площа приміщень АПБ:	—	30,72	37

Загальна прийнята площа адміністративно-побутового блоку становить 37 м^2, що повністю задовольняє діючі санітарно-побутові норми для персоналу хімічного цеху ХАЕС і дозволяє компактно інтегрувати (вбудувати) цей блок у загальні габарити проєктованої будівлі водопідготовчої установки.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Метою розділу є розробка інженерно-технічних та організаційних рішень для створення безпечних умов праці персоналу системи водопідготовки. Об'єктом проєктування є головний зал хімічного цеху водопідготовчої установки (ВПУ) площею 1152 м². На основі аналізу шкідливих чинників розроблено заходи безпеки для дільниці глибокого знесолення додаткової води парогенераторів другого контуру, що безпосередньо інтегрується у тему дипломного проєкту: «Удосконалення системи водопідготовки хімічного цеху Хмельницької АЕС».

Об’єктом дослідження у даному дипломному проєкті є дільниця глибокого знесолення хімічного цеху ВП «Хмельницька АЕС», на якій передбачено модернізацію технологічного процесу та впровадження баромембранних технологій. Заходи безпеки та охорони праці розробляються з урахуванням специфіки модернізованого цеху, де замість застарілих окремих стадій реагентного іонного обміну експлуатується інтегрована установка двостадійного зворотного осмосу та фільтри змішаної дії (ФЗД).

Основним технологічним обладнанням, що підлягає контролю з погляду безпеки, є: вузли попереднього грубого та механічного очищення, фільтри пом'якшення, фільтри тонкої картриджної очистки, мембранні модулі зворотного осмосу, фільтри змішаної дії (ФЗД), насоси подачі вихідної води та високонапірні насоси установки зворотного осмосу, а також реагентне господарство і блоки дозування.

Головний зал хімічного цеху ВПУ за категорією вибухопожежної небезпеки відноситься до категорії Д (за ДСТУ Б В.1.1-36:2016), оскільки процеси пов'язані з обробкою мокрих речовин у холодному стані. Окремі дільниці реагентного господарства відносяться до категорії Г.

Клас зони за ПУЕ: Вибухонебезпечні зони відсутні. За умовами середовища приміщення є сирим, із наявністю струмопровідної підлоги та великої кількості металоконструкцій, що підвищує небезпеку ураження струмом.

Під час експлуатації та обслуговування обладнання на персонал діє комплекс небезпечних і шкідливих виробничих факторів (згідно з ДСТУ EN ISO 12100:2016):

1. Недостатнє освітлення робочої зони.
2. Незахищені рухомі частини (вали насосів, мішалки).
3. Виробничий шум та вібрація від насосних агрегатів.

4. Ризик ураження електричним струмом.
5. Хімічна небезпека при роботі з кислотами та лугами.
6. Загальна пожежна небезпека.

5.1 Електробезпека

Обладнання хімічного цеху ВПУ (насоси високого тиску системи мікрофільтрації, дозуючі насоси-пропорціонатори, приводна арматура) споживає електричний струм, значення напруги та сили якого значно перевищують гранично допустимі безпечні рівні (U = 36 В, I = 6 мА). Ураження електричним струмом за таких умов може призвести до важких електротравм, фібриляції або смертельних наслідків.

Згідно з чинними нормами ДСТУ Гігієнічна класифікація праці, за умов навколишнього середовища (постійна вологість, наявність струмопровідного пилу та підлоги, велика кількість металоконструкцій) приміщення головного залу ВПУ відноситься до класу приміщень з підвищеною небезпекою.

Для забезпечення надійного захисту персоналу від ураження струмом при проєктуванні електромереж реалізовано комплекс засобів відповідно до вимог ПУЕ та НПАОП 40.1-1.21-98:

- Все електроустаткування, двигуни та пускова апаратура мають належний ступінь захисту оболонки (не нижче IP54 або IP55) для запобігання потраплянню вологи та бризок хімічних розчинів.

- Всі металеві неструмоведучі частини обладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, підключені до магістралі заземлення.

- Впроваджено пристрої захисного вимкнення (ПЗВ) та дифреле, які автоматично знеструмлюють пошкоджену ділянку мережі у разі виникнення струму витоку на корпус за час, що не перевищує 0,2 с.

- Для запобігання тривалим аварійним режимам, перевантаженням та струмам короткого замикання, які руйнують ізоляцію, лінії живлення захищені автоматичними вимикачами.

- Живлення кіл керування та місцевого освітлення здійснюється через розділові знижувальні трансформатори. Стан ізоляції мережі безперервно контролюється приладами автоматичної сигналізації.

- На дільницях встановлюються чіткі знаки безпеки згідно з ДСТУ EN ISO 7010:2019, а також вивішуються тимчасові або постійні попереджувальні плакати («Стій! Напруга», «Не вмикати! Працюють люди»). Персонал забезпечується діелектричним інструментом та засобами індивідуального захисту (рукавички, килимки, взуття).

5.2 Робота з отруйними та небезпечними речовинами

Технологія хімічного знесолення води на базі іонообмінних технологій (послідовне Н-катіонування та ОН-аніонування) нерозривно пов'язана з використанням, зберіганням та транспортуванням значних об'ємів концентрованих агресивних хімічних реагентів. Основними небезпечними речовинами в цеху є:

- Концентрована сірчана кислота (H_2SO_4) - використовується для приготування розчинів періодичної кислотної промивки мембран від залізистих та карбонатних відкладень на станції CIP, а також для відновлення обмінної ємності катіоніту, що міститься у фільтрах змішаної дії (ФЗД), шляхом подачі розчину у нижню частину апарату.
- Їдкий натр (натрію гідроксид, NaOH) - використовується у вигляді концентрованого розчину для лужних промивок мембранних елементів на станції CIP, автоматичного коригування pH пермеату, а також для регенерації аніоніту у верхньому шарі ФЗД після процедури гідрокласифікаційного розділення смол.

Попадання концентрованих розчинів цих речовин на шкіру, в очі або на слизові оболонки викликає глибокі хімічні опіки, важку деструкцію тканин (коагуляційний опік від кислоти та коліквaційний від лугу) і може призвести до повної втрати зору чи інвалідності персоналу. Туман сірчаної кислоти, або пари соляної кислоти можуть викликати гострі ураження дихальних шляхів.

Заходи безпеки при роботі з реагентами:

1. Автоматизація: Процеси приймання, зберігання та дозування реагентів повністю закриті; керування здійснюється дистанційно з центрального щита ВПУ.
2. Захист комунікацій (НПАОП 0.00-1.80-18): Трубопроводи кислот і лугів виконані з хімстійких матеріалів (пластик, фторопласт), а фланці закриті захисними кожухами від розбризкування.

3. Облаштування складів (НПАОП 40.1-1.20-21): Ємності з реагентами розміщені в ізольованих приміщеннях із хімстійким покриттям та захисним бетонним обвалуванням.
4. Нейтралізація: У зоні фільтрів встановлені аварійні душі й фонтанчики для очей. У цеху забезпечено постійний запас нейтралізуючих розчинів (соди та борної кислоти).
5. ЗІЗ: Роботи з реагентами виконуються виключно в кислотолугостійкому спецодязі, гумових чоботах, захисних окулярах і прогумованих рукавицях.

5.3 Виробничий шум та вібрація

Основними джерелами шуму та низькочастотної вібрації є відцентрові насоси, компресори декарбонізаторів, повітродувки та парові ежектори випарних установок.

Допустимі рівні звукового тиску на робочих місцях та методи віброізоляції обладнання (встановлення на амортизатори, застосування гнучких вставок на патрубках) регламентуються ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» та ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».

З метою зниження шумового та віброакустичного навантаження на обслуговуючий персонал у проєкті передбачено комплекс архітектурно-планувальних та технічних рішень. Найбільш гучне обладнання (насосні агрегати високого тиску та компресори) виноситься в окремі ізольовані приміщення або закривається спеціальними звукопоглинальними кожухами. Для захисту машиністів та апаратників ВПУ під час обходів дільниць створюється звукоізольована операторська кімната (кабіна спостереження), де рівень звуку не перевищує нормативні 50–60 дБА. За неможливості технічного зниження шуму в самому джерелі, персонал, що виконує короткострокові регламентні або ремонтні роботи поблизу діючих насосів і декарбонізаторів, в обов'язковому порядку забезпечується засобами індивідуального захисту органів слуху - протишумними навушниками або вкладишами (берушами) згідно з ДСТУ EN 352-1:2018.

5.4. Виробниче освітлення

Недостатня освітленість робочих місць, пульсація світлового потоку або сліпуча дія світильників призводять до зорового перевтомлення та підвищують імовірність травматизму під час обслуговування арматури й зняття показників приладів.

Розрахунок мінімального рівня штучного та суміщеного освітлення для технологічних залів хімічних цехів (не менше 150 лк) здійснюється відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». Застосування світильників у вологозахищеному та вибухозахищеному виконанні регламентується вимогами безпеки за ДСТУ EN 60598-1:2017 «Світильники. Загальні вимоги та випробування».

Для забезпечення безперебійної та безпечної роботи персоналу в залі водопідготовчої установки передбачено поєднання природного (через бічні віконні прорізи) та штучного освітлення, яке реалізується за допомогою сучасних енергоефективних світлодіодних (LED) світильників. Штучне освітлення підрозділяється на робоче, аварійне (евакуаційне) та ремонтне.

Аварійне освітлення проєктується для безпечного виходу персоналу з приміщення або продовження критично важливих технологічних операцій у разі раптового знеструмлення цеху; воно підключається до незалежного джерела живлення (акумуляторних батарей або дизель-генератора). Для безпечного обслуговування внутрішніх об'ємів фільтрів та баків під час ремонтів передбачено мережу низьковольтного ремонтного освітлення з напругою не більше 12 В.

Усі світильники, що встановлюються в зонах знесолення та реагентного господарства, мають підвищений ступінь захисту оболонки (не нижче IP65) для запобігання руйнуванню внутрішніх елементів під дією високої вологості або випадкових бризок хімічних розчинів, а їхнє розташування виключає утворення затінених зон та пряму сліпучу дію на очі операторів.

5.5 Механізми та рухомі частини обладнання

Небезпеку для персоналу в залі ВПУ становлять відкриті обертові елементи: вали відцентрових насосів, сполучні муфти, приводні вали мішалок баків-розчинників та виконавчі механізми автоматичних засувок. Основні ризики пов'язані з можливістю

захоплення одягу або нанесення важких механічних травм кінцівок під час контролю чи обслуговування устаткування.

Відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 12100:2016, усі рухомі деталі обов'язково оснащуються надійними захисними загородженнями (суцільними металевими кожухами або сітками), які унеможливлюють випадковий доступ до небезпечної зони під час роботи механізму. Демонтаж захисних кожухів муфт вимагає застосування спеціального інструменту, що запобігає їх самовільному зняттю.

Для мінімізації ризиків травматизму впроваджено такі рішення:

1. Технологічні блокування: Системи автоматики унеможливлюють запуск двигуна насоса або мішалки у разі знятого захисного кожуха.
2. Сигнальне забарвлення: На елементи загороджень наноситься попереджувальне жовте забарвлення та знаки безпеки згідно з ДСТУ EN ISO 7010:2019.
3. Організаційний контроль: Будь-яке обслуговування (змащування, ремонт) виконується тільки після повної зупинки механізму, знеструмлення силового ланцюга та вивішування заборонного плаката: «Не вмикати! Працюють люди».

5.6 Пожежна безпека

Визначення категорій приміщень і впровадження протипожежних заходів є критично важливими для захисту персоналу та обладнання хімічного цеху. Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016, головний зал водопідготовчої установки (ВПУ), де розташовані насоси та фільтри, віднесено до категорії Д (обробка мокрих речовин у холодному стані). Дільниці акумуляторних батарей та декарбонізаторів через ризик накопичення водню вимагають підвищеного захисту.

Основними причинами займання в цеху можуть бути порушення ізоляції, короткі замикання, вплив вологи й хімікатів на електромережі, іскрення, статична електрика, порушення правил вогневих робіт або прямий удар блискавки.

Для запобігання пожежам у проєкті реалізовано такі технічні рішення:

1. Ізоляція та захист: Електропроводка має хімвологостійку ізоляцію; струмоведучі частини закриті герметичними кожухами.
2. Зниження тертя: Усі рухомі та обертові деталі насосів своєчасно змащуються для уникнення іскрення й перегріву.

3. Блискавкозахист: Будівля обладнана блискавковідводом. Захист від занесення високих потенціалів по металевих трубопроводах виконано шляхом їх приєднання на вході до контуру заземлення.
4. Захист від статичної електрики (ДСТУ EN 61340-5-1:2017): Передбачено заземлення металевих корпусів апаратів, антиелектростатичне покриття підлоги та встановлення попереджувальних знаків.

Для ліквідації загорянь у цеху передбачено первинні засоби пожежогасіння згідно з НАПБ А.01.001-2014: внутрішній протипожежний водопровід, пожежні щити з піском, вуглекислотні вогнегасники (ВВ-5) для електроустановок та порошкові (ВП-6) для загальних ліній.

Таблиця 6.1 - Аналіз небезпечних факторів та заходи з їх мінімізації на об’єктах ВПУ

№	Небезпечний фактор	Джерело / Причина	Можливий ризик	Заходи щодо мінімізації (рішення)
1	Електричний струм	Обладнання під напругою, вологість, струмопровідна підлога	Електротравми, фібриляція серця, летальний кінець	Обладнання закритого типу, захисне заземлення, автоматичні вимикачі, діелектричні ЗІЗ, розділові трансформатори, знаки безпеки
2	Хімічна небезпека	Робота з концентрованими лугами та кислотами	Хімічні опіки, ураження дихальних шляхів, втрата зору	Автоматизація дозування, хімстійкі матеріали трубопроводів, ізольовані склади, захисні кожухи на фланцях, наявність нейтралізаторів, кислотолугостійкі ЗІЗ
3	Шум та вібрація	Насоси, компресори, повітродувки	Втомлюваність, погіршення здоров'я персоналу	Винос обладнання в ізольовані приміщення, використання навушників/беруш, звукоізольована операторська, віброізоляція (амортизатори)
4	Механізми (рухомі частини)	Вали насосів, муфти, мішалки	Механічні травми, затягування одягу	Захисні загородження (кожухи), знаки безпеки, заборона обслуговування

				під час роботи обладнання, автоматичні блокування
5	Недостатнє освітлення	Робочі зони, арматура	Зорова перевтома, травматизм	Аварійне освітлення від незалежних джерел, комбіноване освітлення (природне + LED), низьковольтне освітлення (12 В), вологозахищені світильники
6	Пожежна небезпека	Короткі замикання, іскріння	Пожежа, пошкодження обладнання	Антистатичне покриття підлоги, хімстійка ізоляція, блискавкозахист, первинні засоби пожежогасіння (ВВ-5, ВП-5, пісок)

ВИСНОВКИ:

У дипломному проєкті вирішено актуальне завдання удосконалення системи водопідготовки ВП «Хмельницька АЕС». Впровадження сучасної технологічної схеми знесолення води дозволило значно підвищити ефективність роботи хімічного цеху та забезпечити вимоги до якості підживлювальної води.

Проведено перехід від застарілої багатоступеневої іонообмінної технології (H-OH-іонітування) до сучасної технології знесолення мембранними методами. Така конфігурація забезпечує стабільне отримання пермеату з електропровідністю ≤ 20 мкСм/см та кінцевої води ультрависокої чистоти (0,1 мкСм/см).

Впровадження зворотного осмосу дозволило скоротити на 90–95% споживання агресивних хімічних реагентів (сірчаної кислоти та лугу), що мінімізує утворення високомінералізованих стічних вод. Реалізовано принцип безстічності шляхом часткового повернення концентрату в цикл водопідготовки, що запобігає ризику екологічних штрафів. А також було досягнуто зменшення виробничих площ приміщення у 2-4 рази завдяки компактності модульної зворотноосмотичної установки, що дозволяє розмістити сучасне обладнання в межах існуючих виробничих площ без будівництва нових споруд.

Мембранні системи мають численні переваги: вони гарантують стабільну якість води незалежно від коливань навантаження, займають менше місця, ніж традиційні установки, і дають змогу повторно використовувати очищену воду.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що запропоновані рішення є науково обґрунтованими, технічно реальними та економічно ефективними. Модернізація системи водопідготовки за розробленою схемою дозволить суттєво підвищити надійність виробництва електроенергії Хмельницької АЕС та забезпечити відповідність підприємства сучасним екологічним стандартам сталого розвитку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологія очищення природних вод та водопідготовка: підручник / М. Д. Гомеля, Т. В. Крисенко, О. В. Шаблій, В. В. Твердохліб. - Київ: Кондор, 2022. - 412 с.
2. Водопідготовка в ядерній та тепловій енергетиці: навч. посіб. / Б. С. Рогов, Ю. М. Кострикін, М. О. Самойлов. - Харків : НТУ «ХПІ», 2018. - 320 с.
3. Випарні установки та паротурбінні комплекси промислових підприємств: підручник / В. М. Ковалевський, О. С. Мірошниченко, Д. В. Лавров. – Одеса: ОНПУ, 2019. – 284 с.
4. ГКД 34.20.507-2003. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила: затверджено Міністерством палива та енергетики України. – Офіц. вид. - Київ: ГРІФРЕ, 2003. - 624 с. (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
5. Проєктування та експлуатація термічних випарних комплексів хімічних цехів ТЕС і АЕС: монографія / І. В. Петренко, О. М. Кузнецов. – Львів: Львівська політехніка, 2021. – 216 с.
6. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: Державні санітарні норми та правила / Міністерство охорони здоров'я України. - Офіц. вид. - Київ: МОЗ України, 2010. - 46 с.
7. Ашихмін В. М. Проєктування іонообмінних установок для знесолення води промислових підприємств: навч. посіб. / В. М. Ашихмін. - Київ: Вища школа, 2017. - 198 с.
8. Сенявін М. М. Іонообмінні методи в технології очищення та демінералізації вод: монографія / М. М. Сенявін. - Львів : Світ, 2020. - 244 с.
9. Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології в енергетиці: підручник / О. П. Іваненко, В. С. Прохоров. - Київ: Політехніка, 2023.
10. Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч.2: Методи очищення стічних вод / [Петрук В. Г., Северин Л. І., Васильківський І. В., Безвозюк І. І.] - Вінниця: ВНТУ, 2014. - 254 с
11. Гомеля М.Д. Екологічна безпека: Навч.посібник/М.Д. Гомеля, Т.О. Шаблій, О.В. Глушко, В.С. Камаєв. - К.: ТОВ «Інфодрук», 2009. – 246 с.

12. Гомеля М.Д. Очисні споруди. Основи проєктування: Навч. Посіб./М. Д. Гомеля, Т.В. Крисенко, І.М. Дейкун. - К.: НТУУ «КПІ», 2007. - 176 с. ISBN 978 – 966 – 622 – 263 – 6
13. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. - Вища школа. Киев, 1986 - 352 с. 4. Алексеев Л.С., Гладков В.А. Улучшение качества мягких вод. - М., Стройиздат, 1994 г.
14. Аюкаев Р.И., Мельцер В.З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. - Л., 1985.
15. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. - К.: Мінрегіон України, 2016.
16. ДСТУ EN ISO 12100:2016 Безпечність машин. Загальні принципи проєктування. Оцінення ризиків та зменшення ризиків (EN ISO 12100:2010, IDT). - К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
17. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Чинне вид. - К.: Міненерговугілля України, 2017. - 760 с.
18. НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. - К.: Держнаглядохронпраці, 1998.
19. ДСТУ EN ISO 7010:2019 Графічні символи. Кольори та знаки безпеки. Зареєстровані знаки безпеки (EN ISO 7010:2012; A1:2014; A2:2014; A3:2014; A4:2014; A5:2015; A6:2016; A7:2017, IDT; ISO 7010:2011; Amd 1:2012; Amd 2:2012; Amd 3:2012; Amd 4:2013; Amd 5:2014; Amd 6:2014; Amd 7:2016, IDT). — К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
20. НПАОП 40.1-1.20-21 Правила охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій і теплових мереж. - К.: Міненерго України, 2021.
21. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - К.: МОЗ України, 1999.
22. ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. - К.: МОЗ України, 1999.

23. ДСТУ EN 352-1:2018 Засоби захисту органів слуху. Загальні вимоги. Частина 1. Протишумні навушники (EN 352-1:2002, IDT). - К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
24. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. - К.: Мінрегіон України, 2018.
25. ДСТУ EN 60598-1:2017 Світильники. Частина 1. Загальні вимоги та випробування (EN 60598-1:2015, IDT; ISO 60598-1:2014, MOD). - К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017.
26. ДСТУ EN 61340-5-1:2017 Електростатика. Частина 5-1. Захист електронних пристроїв від електростатичних явищ. Загальні вимоги (EN 61340-5-1:2016, IDT; IEC 61340-5-1:2016, IDT). - К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017.
27. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні. - К.: МВС України, 2014.

ДОДАТОК А

ЕКСПЛІКАЦІЯ ДО ПЛАНУ РОЗМІЩЕННЯ СПОРУД НА МІСЦЕВОСТІ ХАЕС

Позиція	**Найменування**
1	Енергоблок №1
2	Енергоблок №2
3	Головний корпус хімічного цеху
4	Бакове господарство хімічного цеху
5	Водосховище
6	Берегово-насосна станція
7	Пуско-резервна котельня
8	Масло-мазутне дизельне господарство
9	Адміністративно-побутовий комплекс

ДОДАТОК Б

СПЕЦИФІКАЦІЯ ДО ТЕХНОГІЧНОЇ СХЕМИ

№	Найменування
1	Приймальна камера
2	Освітлювач зі зваженим шаром осаду
3	Бак освітленої води
4	Фільтр попереднього очищення
5	Картриджний фільтр тонкого очищення
6	Мембранні апарати зворотного осмосу
7	Бак частково знесоленої води (пермеату)
8	Фільтр змішаної дії (ФЗД)
9	Бак глибоко знесоленої води
10	Бак збору концентрату зворотного осмосу
11	Резервуар усереднювач
12	Бак відмивних вод механічних фільтрів
13	Шламонкопичувач
14	Фільтр-прес
15	Бак шламових вод
16	Розчинний бак вапна
17	Розчинний бак коагулянту
18	Витратний бак вапна
19	Витратний бак коагулянту
20	Розчинний бак антискаланту
21	Витратний бак антискаланту
22	Розчинний бак біоциду
23	Витратний бак біоциду
24	Бак приготування розчинів для хімічної промивки мембран
25	Витратний бак розчинів хімічної промивки
26	Розчинний бак лугу NaOH для регенерації ФЗД
27	Витратний бак лугу NaOH для регенерації ФЗД
28	Розчинний бак H_2SO_4 для регенерації ФЗД
29	Витратний бак H_2SO_4 для регенерації ФЗД
30	Насос подачі води на механічні фільтри
31	Насос промивної води механічних фільтрів
32	Насос високого тиску установки зворотного осмосу
33	Насос низького тиску для гідравлічної промивки мембран пермеатом
34	Насос подачі пермеату на фільтр змішаної дії
35	Насос подачі концентрату на подальшу переробку
36	Насос повернення шламових вод

ДОДАТОК В

СПЕЦИФІКАЦІЯ ДО ПЛАНУ РОЗМІЩЕННЯ ОЧИСНИХ СПОРУД В ЦЕХУ

№	Найменування	Кількість
1	Приймальна камера	1
2	Освітлювач зі зваженим шаром осаду	2
3	Бак освітленої води	1
4	Фільтр попереднього очищення (механічний)	2
5	Картриджний фільтр тонкого очищення (патронний)	2
6	Мембранні апарати зворотного осмосу	4
7	Бак частково знесоленої води	1
8	Фільтр змішаної дії	2
9	Бак глибоко знесоленої води	1
10	Бак збору концентрату зворотного осмосу	1
11	Резервуар усереднювач	1
12	Бак відмивних вод механічних фільтрів	1
13	Шламонкопичувач	1
14	Фільтр-прес	1
15	Бак шламових вод	1
16	Розчинний бак вапна	1
17	Розчинний бак коагулянту	1
18	Витратний бак вапна	1
19	Витратний бак коагулянту	1
20	Розчинний бак антискаланту	1
21	Витратний бак антискаланту	1
22	Розчинний бак біоциду	1
23	Витратний бак біоциду	1
24	Бак приготування розчинів для хімічної промивки мембран	1
25	Витратний бак розчинів хімічної промивки	1
26	Розчинний бак лугу NaOH для регенерації ФЗД	1
27	Витратний бак лугу NaOH для регенерації ФЗД	1
28	Розчинний бак H_2SO_4 для регенерації ФЗД	1

29	Витратний бак H_2SO_4 для регенерації ФЗД	1
30	Насос подачі води на механічні фільтри	2
31	Насос промивної води механічних фільтрів	1
32	Насос високого тиску установки зворотного осмосу	3
33	Насос низького тиску для гідравлічної промивки мембран пермеатом	2
34	Насос подачі пермеату на фільтр змішаної дії	2
35	Насос подачі концентрату на подальшу переробку	2
36	Насос повернення шламових вод	2

ДОДАТОК Г

СПЕЦИФІКАЦІЯ ДО ПОЗДОВЖНЬОГО РОЗРІЗУ ЦЕХУ

Позиція	**Найменування**
2	Освітлювач зі зваженим шаром осаду
3	Бак освітленої води
5	Картриджний фільтр тонкого очищення
6	Мембранні апарати зворотного осмосу
7	Бак частково знесоленої води
13	Шламонкопичувач
30	Насос подачі води на механічні фільтри
32	Насос високого тиску установки зворотного осмосу

ДОДАТОК Д

СПЕЦИФІКАЦІЯ ДО ПОТОКІВ МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ

№	Найменування потоку
I	Вихід знесоленої води
II	Надходження на ФЗД
III	Витрата на регенерацію ФЗД
IV	Пермеат
V	Вхід на установку зворотного осмосу
VI	Концентрат
VII	Вода на потреби зворотного осмосу
VIII	Вихід води після механічного очищення
IX	Вода на промивку механічного фільтру
X	Вихід після освітлювача
XI	Витрата води на реагенти для освітлення
XII	Скид концентрату на утилізацію
XIII	Концентрат на подальшу переробку
XIV	Надходження води на освітлювач
XV	Надходження на шламонакопичувач
XVI	Вхід на фільтр-прес
XVII	Відстояна вода після фільтр-пресу
XVIII	Вологий кек
XIX	Повернення шламових вод на подальшу переробку
XX	Вхід сирої води у систему
XXI	Скид нейтралізованих вод на утилізацію