

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра екології та технології рослинних полімерів**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ М.Д. Гомеля

« ____ » _____ 2025 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Екологічна безпека»
спеціальності 101 «Екологія»
на тему: «Удосконалення технологічної схеми підготовки води для
фармацевтичних цілей АТ "Фармак"»**

Виконала:

Студентка ІV курсу, групи ЛЕ-11 Мігор Вікторія Анатоліївна _____

Керівник:

Доцент, к.х.н.

Овсянкіна В. О _____

Консультант з розділу «охорона праці»:

Доцент, к.т.н.

Ковтун І. _____

М _____

Рецензент:

—

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

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Кафедра екології та технології рослинних полімерів

Інститут/факультет інженерно-хімічний

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 101 Екологія

Освітньо-професійна програма «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ М.Д. Гомеля

« ___ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

На дипломний проєкт студенту

Мігор Вікторії Анатоліївни

1. Тема проєкту Удосконалення технологічної схеми підготовки води для фармацевтичних цілей АТ "Фармак"

Керівник проєкту: доцент, д.т.н., Овсянкіна В.О.

Затверджені наказом по університету від

2. Термін подання студентом проєкту _____

3. Вихідні дані до проєкту: Витрата води – 690м³/добу; вміст завислих речовин – 66,3 мг/дм³; сухий залишок - 1378 мг/л, жорсткість - 7,9 мг-екв/л, сульфати – 98 мг/л, фосфати - 9,1 мг/л хлориди - 114,6мг/л , нітрати - 63,5мг/л, амоній - 0,1 мг/л, ХСК - 475,2, рН 7,58.

формату А1, поздовжній розріз цеху з розміщенням очисних споруд формату А1 6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Заходи з охорони праці на виробництві	Ковтун А.І., старший викладач, кандидат технічних наук		

7.Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Проходження переддипломної практики	14.04.25 – 18.05.25	
2	Обґрунтування технологічної схеми	19.05.25 – 22.05.25	
3	Проведення розрахунків	23.05.25 – 30.05.25	
4	Написання теоретичної частини	31.05.25 – 2.06.25	
5	Оформлення пояснювальної записки	3.06.25 – 6.06.25	
6	Виконання креслень	7.06.25 – 12.06.25	

Студентка _____

В.А.Мігор

Керівник проекту _____

В.О.Овсянкіна

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Форма т	Позначенн я	Найменуванн я	Кількість в	лісті	Примітк а
1	A4		Завдання на дипломний проект	1		
2	A4		Пояснювальн а записка	78		
3	A1		Технологічна схема	1		
4	A1					
5	A1		Рух води	1		

	ПІБ	Підпис	Дата	ДП ЛЕ-11		
Розробив	Мігор В.А.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівник	Овсянкін В. О.					
Консультант	Ковтун А.І.				КПІ ім.Ігоря Сікорського Каф.ЕтаТРП Гр. ЛЕ-12	
Н/контр.						
Зав.каф.	Гомеля М.Д.					

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: Удосконалення технологічної схеми
підготовки води для фармацевтичних цілей АТ
"Фармак"

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт: 68 стор., 16 табл., 12 рис., 9 джерел, 6 додатків. У даному дипломному проєкті здійснено розробку та техніко-економічне обґрунтування модернізованої технологічної схеми підготовки води для використання у виробництві лікарських засобів на фармацевтичному підприємстві АТ «Фармак». Особливу увагу приділено забезпеченню високих стандартів якості очищення відповідно до вимог фармакопей та внутрішніх норм GMP. У вступі висвітлено роль води як сировини критичної якості для фармацевтичної продукції та обґрунтовано необхідність удосконалення існуючих систем водоочищення на підприємстві. Надано характеристику забруднень, від яких необхідно очистити воду перед подачею у виробничі процеси. Перший розділ містить аналітичний огляд нормативно-технічної документації та гігієнічних вимог до очищеної води, описано фізико-хімічні та мікробіологічні параметри, яким вона має відповідати. Представлено вибір базових методів та обґрунтовано інтеграцію електродеіонізації як етапу підвищення ступеня очистки. У другому розділі детально проаналізовано етапи, які проходить вода в технологічній схемі: від приймальної камери до високоточної очистки зворотним осмосом і електродеіонізацією. Надано опис гідравлічних режимів, розраховано матеріальний баланс і визначено витрати води на промивання, регенерацію й санітарну обробку. У третьому розділі проведено вибір апаратів для кожного етапу очищення: механічних, катіонообмінних фільтрів, осмотичних мембран, установок електродеіонізації (IONPURE LX-НІ) та обладнання для ультрафіолетової стерилізації. Представлено докладні таблиці характеристик, розмірів, потужностей та умов експлуатації. У наступному розділі описано вимоги охорони праці на фармацевтичному підприємстві. Розглянуто хімічну, біологічну, фізичну безпеку, протипожежні заходи, захист від шуму та екологічні ризики. Подано приклади нормативної документації та типових варіантів усунення небезпек.

ВИСОКОЯКІСНА ВОДА , ЕЛЕКТРОДЕІОНІЗАЦІЯ, ФАРМАЦЕВТИЧНЕ ВИРОБНИЦТВО ЗВОРОТНІЙ ОСМОС ,ОХОРОНА ПРАЦІ

					НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» №ЛЕ-11		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Мігор В.А.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірив		Овсянкін В.О.			Н	4	
Реценз.					АНОТАЦІЯ		
Н. Контр.					ІХФ, ЛЕ-11		
Затвердила		Овсянкін В.О.					

ANNOTATION

Diploma Project: 68 pages, 16 tables, 12 figures, 9 sources, 6 appendices.

This diploma project presents the development and techno-economic justification of a modernized water treatment scheme for use in the manufacturing of pharmaceutical products at the pharmaceutical enterprise JSC "Farmak". Special attention is given to ensuring high standards of purification quality in accordance with pharmacopoeial requirements and internal GMP regulations. The introduction outlines the importance of water as a critical-quality raw material in pharmaceutical production and substantiates the need for improving the existing water treatment systems at the enterprise. The main categories of contaminants that need to be removed prior to use in technological processes are described. The first section contains an analytical review of regulatory and technical documentation, as well as hygienic requirements for purified water. It describes the physicochemical and microbiological parameters the water must meet. The rationale for selecting core treatment methods is provided, along with justification for integrating electrodeionization to increase purification efficiency. The second section analyzes in detail the technological steps that water undergoes, from the reception tank to high-precision purification through reverse osmosis and electrodeionization. Hydraulic regimes are described, the material balance is calculated, and water consumption for membrane flushing, resin regeneration, and sanitary treatment is determined. The fourth section contains architectural and planning solutions for the water treatment workshop, taking into account the placement of equipment within a 96×36 m facility. Layout drawings of equipment placement are presented, and the number and dimensions of doors, windows, and gates are defined in accordance with sanitary and construction norms.

high-purity water, electrodeionization, pharmaceutical production, reverse osmosis, occupational safety, technological scheme, purification, material balance.

					НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» №ЛЕ-11			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		<i>Мігор В.А.</i>			ANNOTATION	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірив		<i>Овсянкін В.О.</i>				І	4	
Реценз.						ІХФ, ЛЕ-11		
Н. Контр.								
Затверд.		<i>Овсянкін В.О.</i>						

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1.ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	11
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	17
2.1Характеристика вхідної води.....	17
2.2 Стандарти GMP.....	18
2.3.Вибір та обґрунтування технологічної схеми очищення стічних вод.....	19
2.4. Матеріальний баланс вихідні данні.....	25
2.5. Розрахунок матбалансу.....	26
2.6.Блок-схема розрахунку матеріального балансу.....	26
2.7 Теоретичні данні про фізичні та хімічні процеси в технологічній схемі...34	
2.7.1. Основні стадії очищення води.....	34
2.7.2. Механічна фільтрація.....	35
2.7.3. Іонний обмін	36
2.7.4.. Зворотній осмос.....	39
2.7.5. Електродеонізація.....	40
2.7.6. УФ-дезінфекція та теплообмінник.....	42
3. ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ ОЧИСНИХ СПОРУД.....	43
5 БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА.....	48
5.1. Теплотехнічне обґрунтування товщини зовнішньої стіни.....	48
5.2 Об'ємно-планувальне вирішення будівлі.....	55
5.3 Конструктивне вирішення будівлі	58
6. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	61
ВИСНОВОК.....	
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	78
ДОДАТКИ.....	79

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Якість води є одним із ключових чинників, що визначає безпечність, ефективність та стабільність фармацевтичної продукції. У виробництві лікарських засобів вода використовується не лише як сировина, а й як розчинник, мийний агент, теплоносій або середовище для стерилізації. Відповідно до вимог міжнародних стандартів (Європейська фармакопея, USP, ДСТУ EN ISO 22519:2020), вода для фармацевтичного застосування повинна відповідати жорстким критеріям якості за мікробіологічними, фізико-хімічними та органолептичними показниками. Забезпечення такої якості можливе лише за умови застосування багатоступеневої, надійної та ефективної технології водопідготовки.

Перед потраплянням у виробничий цикл вода має пройти глибоке очищення від широкого спектра забруднень. Основні типи забруднень, які необхідно видалити:

- Завислі речовини та колоїди –
- Органічні речовини
- Розчинені солі
- Мікроорганізми
- Пірвиноградні кислоти та ендотоксини.
- Розчинені гази
- Метали

У процесі виконання проекту будуть вирішені наступні завдання:

- Проведено огляд нормативних вимог до якості води у фармацевтичному виробництві;
- Досліджено принцип дії та ефективність сучасних методів водоочищення (EDI, UF, RO);
- Запропоновано вдосконалену схему водопідготовки;
- Проведено розрахунок матеріального балансу та оцінку технічних

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- параметрів обладнання;
- Розроблено план внутрішнього розташування апаратів цеху водоочищення;
- Проведено оцінку впливу проєктних рішень на охорону праці та навколишнє середовище;
- Розроблено економічне обґрунтування доцільності модернізації.

В результаті реалізації запропонованих рішень очікується підвищення якості очищеної води, зниження експлуатаційних витрат, підвищення надійності та стабільності технологічного процесу. Проєкт є актуальним з точки зору інтеграції інновацій в сучасну фармацевтичну інфраструктуру України та відповідає глобальним тенденціям сталого розвитку.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

На фармацевтичному підприємстві АТ «Фармак» вода використовується на всіх стадіях виробництва: від приготування розчинів до миття обладнання та тари. Для забезпечення високої якості очищеної води, підприємство вже використовує сучасну багатоступеневу систему водопідготовки, яка включає наступні основні технологічні установки:

- Механічні фільтри попереднього очищення – для видалення крупнодисперсних домішок, піску, мулу, іржі;
- Вугільні фільтри – для адсорбції органічних речовин, залишків хлору та покращення органолептичних властивостей;
- Установки зворотного осмосу (RO) – основний етап знесолення та видалення мікроорганізмів;
- Іонообмінні колони – для додаткового пом'якшення та деіонізації води;
- УФ-лампи – для знезараження та знищення залишкової мікрофлори перед подачею води до виробничих ліній.

Ця схема дозволяє отримувати очищену воду (Purified Water), що відповідає стандартам Європейської фармакопеї, проте має низку обмежень, серед яких:

- необхідність регулярної хімічної регенерації іонообмінних смол, що супроводжується використанням кислот і лугів;
- утворення великих обсягів стічних вод;
- неповна стабільність електропровідності води, особливо при тривалому навантаженні;
- ризик мікробіологічного зростання в демінералізаційних колонах у періоди простою.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Вода у фармацевтичному виробництві — це не просто допоміжна речовина. Це одна з основ сировини, середовище для очищення обладнання, розчинник у рецептурах, компонент ін'єкцій та мазей. На підприємстві АТ «Фармак» вода використовується у десятках технологічних процесів, тому її якість прямо впливає на якість лікарських препаратів.

У фармацевтичному виробництві застосовується вода очищена (Purified Water), вода для ін'єкцій (Water for Injection, WFI) та стерильна вода. Кожен тип має свої нормативи, визначені Європейською фармакопеею, і всі вони вимагають надзвичайно низького рівня мінералізації, відсутності мікроорганізмів, ендотоксинів, важких металів, хлору, аміаку, органічних залишків тощо.

Саме тому АТ «Фармак», як лідер фармацевтичної галузі України, впроваджує та постійно вдосконалює високотехнологічні схеми водопідготовки. В рамках модернізації, наприклад, було впроваджено електродеіонізацію після зворотного осмосу, що дозволяє:

- досягати стабільної електропровідності <1 мкСм/см;
- зменшити мікробіологічні ризики (через безреагентну безперервну роботу);
- забезпечити відповідність найвищим стандартам GMP (Good Manufacturing Practice) та Європейської фармакопеї.

Таким чином, якісне очищення води — не просто технічна вимога, а запорука безпеки пацієнтів, ефективності препаратів і репутації підприємств

					Пояснювальна записка	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтеграція ультрафільтраційного (UF) блоку

- Ультрафільтрація встановлена після RO-системи для видалення залишкових мікроорганізмів, пірогенів та колоїдних частинок.
 - UF-мембрани забезпечують ще вищу мікробіологічну чистоту та захищають EDI-блок від органічного забруднення.
1. Удосконаливши технологічну схему можна побачити наступні позитивні наслідки:
Електродеіонізація дозволяє досягти електропровідності <1 мкСм/см стабільно, без пульсацій, що особливо важливо при виробництві стерильних форм (ін'єкцій, крапель, очних розчинів).
 2. Безперервна робота без реагентів
EDI працює без застосування кислот і лугів, знижуючи ризики хімічного забруднення, зменшуючи потребу в утилізації небезпечних речовин і спрощуючи обслуговування.
 3. Зниження експлуатаційних витрат
Відсутність витрат на реагенти, простіший догляд і менші втрати на стоки дозволяють суттєво економити.
 4. Підвищення надійності та відповідності GMP
Модернізована система дає стабільний результат, мінімізує мікробіологічні ризики, зменшує втручання персоналу та автоматизується для контролю параметрів у реальному часі.

Для забезпечення високої якості води, яка використовується у виробництві лікарських засобів на АТ «Фармак», застосовується багатоступенева схема очищення води з використанням сучасного обладнання. Вода проходить кілька послідовних етапів, кожен з яких спрямований на видалення певного типу забруднень, щоб на виході отримати очищену воду, яка відповідає вимогам Європейської фармакопеї.

На першому етапі відбувається попереднє очищення. Вода проходить через

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механічні фільтри, які затримують пісок, мул, іржу та інші нерозчинні домішки розміром до 50 мікрон. Після цього вона подається на катіонні фільтри, які працюють на основі іонообмінних смол. Вони замінюють іони кальцію та магнію на іони натрію, тим самим пом'якшуючи воду і зменшуючи навантаження на наступні мембранні установки.

Далі вода надходить до вугільного фільтра, де видаляються залишки активного хлору, органічні речовини та хлорорганічні сполуки, що можуть пошкодити мембрани зворотного осмосу. На цьому етапі також покращуються органолептичні властивості води — запах, смак і колір.

Основне знесолення здійснюється за допомогою установки зворотного осмосу. Це ключовий етап, на якому з води видаляється до 98–99 % розчинених солей, важких металів, органіки, а також більшість бактерій і вірусів.

Однак після цього вода ще не досягає показників, необхідних для фармацевтичного виробництва, тому в межах проекту модернізації до схеми очищення було додано установку електродеіонізації (EDI).

Електродеіонізація — це сучасна технологія, яка поєднує іонний обмін, мембранне розділення та дію електричного струму. Її основна перевага — це відсутність потреби в регенерації смол хімічними реагентами. Установка EDI дозволяє безперервно видаляти залишкові іони після зворотного осмосу, забезпечуючи стабільну електропровідність очищеної води на рівні <1 мкСм/см.

Це підвищує якість води, знижує обсяг стічних вод, мінімізує мікробіологічний ризик і забезпечує повну відповідність вимогам стандарту GMP.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На завершальних етапах вода проходить через ультрафіолетову лампу з довжиною хвилі 254 нм для остаточної дезінфекції. Після УФ-обробки вона надходить у теплообмінник, де підтримується оптимальна температура в діапазоні 18–22 °С. Це необхідно для запобігання росту мікроорганізмів у трубопроводах і підтримання стабільності якості води у системі циркуляції.

Таким чином, завдяки впровадженню електродеіонізації вдалося досягти вищої якості очищення, зменшити вплив людського фактору, оптимізувати експлуатаційні витрати та підвищити надійність усієї системи водопідготовки. Модернізована схема дозволяє повністю відповідати вимогам фармакопейних стандартів і забезпечує стабільне та безпечне водопостачання для виробництва лікарських засобів.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2: Порівняння технологічної схеми водопідготовки до і після модернізації

№	Етап або компонент	До модернізації (Було)	Після модернізації (Стало)
1	Попереднє очищення	Механічний фільтр, вугільний фільтр	Без змін (залишено як ефективний базовий блок)
2	Основне знесолення	Зворотний осмос (RO)	RO залишено, але замінено мембрани на енергозберігаючі
3	Глибоке знесолення	Іонообмінники з хімічною регенерацією	Електродеіонізація (EDI) – без реагентів, безперервна робота
4	Мікробіологічне очищення	УФ-лампа	Додано ультрафільтрацію (UF) + залишено УФ-лампу як резерв
5	Видалення органіки	Вугільний фільтр	Без змін
6	Якість очищеної води	Електропровідність 5–10 мкСм/см; нестабільна	Електропровідність <1 мкСм/см, стабільна
7	Обсяг стічних вод	Великий через часту хімічну регенерацію	Зменшення стоків на 60–80%
8	Експлуатаційні витрати	Високі – витрати на реагенти, утилізацію, ручне обслуговування	Низькі – без реагентів, автоматизований контроль
9	Мікробіологічний ризик	Високий – можливе розмноження бактерій у смолах іонообмінників	Низький – EDI не накопичує мікробіоту, UF додатково стерилізує
10	Відповідність GMP	Часткова (ризик колювання якості води)	Повна відповідність GMP, Європейській Фармакопеї, стандарту Purified Water

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Таблиця 2.1 характеристика вхідної води

Показник	Середнє значення
Загальна жорсткість	6,2 ммоль/дм ³
Лужність	3,9мг екв
Сухий залишок	348 мг/л
Окислюваність (ХСК, перманганатна)	6 мг/л
Нітрати	2,55 мг/л NO ₃
Мікробне число	10 ² – 10 ⁴ КУО/мл
Бікарбонати (НСО) (БГКП)	427 мг/дм ³ Виявляються часто
Каламутність	5
рН	6,5-8,5
Запах	1 бал
Температура	5–25°C

Це приблизні показники води до очищення, яку підприємство забирає з міського водопостачання або відкритого джерела. Вона надходить далі на етапи попереднього та тонкого очищення, щоб відповідати стандартам

Таблиця 2.2 показує данні характеристики води уже після очищення що потрапляє на подальше виготовлення ліків, які також відповідають стандарту **GMP**

Табл. 2.2

Назва показника	Вимоги НД	Одиниці вимірювання
Запах при 20°C	не більше 2	Бали
Запах при 0°C	не більше 2	Бали
Забарвленість	Не більше 20	градуси
Водневий показник рН	6,5-8,5	Одиниця рН
Загальна жорсткість	Не більше 7,0	ммоль/дм3
Залізо загальне	Не більше 0,2	мг/дм3
Марганець	Не більше 0,05	мг/дм3
Нітрати	Не більше 50	мг/дм3
Сульфати	Не більше 250	мг/дм3
Сухий залишок	Не більше 1000	мг/дм3
Хлориди	Не більше 250	мг/дм3
Перманганатна окиснюваність(ХСК)	Не більше 5	мг/дм3
Хлор залишковий вільний	Не більше 0,5	мг/дм3
Загальне мікробне число	Не більше 100	КУО/см3
Число бактерій групи кишкових палиок	Не більше 3	КУО/см3

2.1. Вибір та обґрунтування технологічної схеми підготовки та очищення води

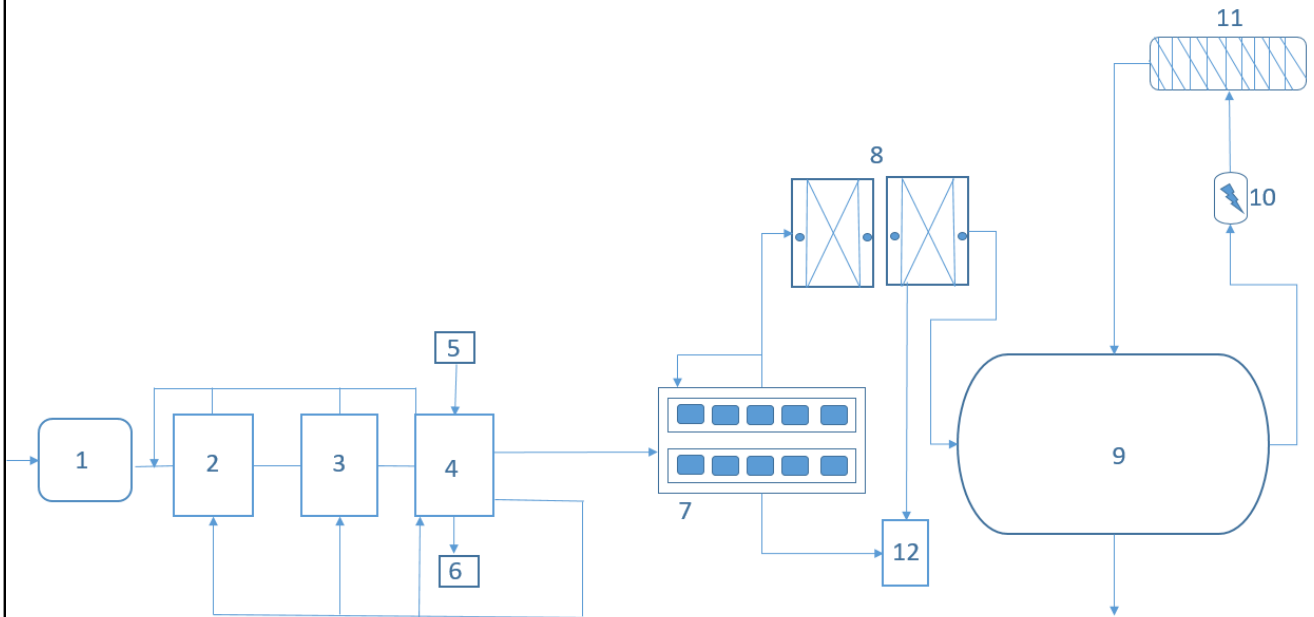


Рисунок 2.1 Модернізована технологічна схема очистки води

(1-приймальна камера, 2,3-механічні фільтри,4-катіонообмінний фільтр
5-витратний бак регенераційного розчину, 6-резервуар відпрацьованого
регенераційного розчину, 7-мембрани зворотного осмосу, 8-батареї
електродеіонізації 9-ємність для очищеної води, 10-льтрафіолетова лампа
11-теплообмінник,12-скид у внутрішню каналізацію)

Вибір технологічної схеми підготовки води для фармацевтичного виробництва має першочергове значення, оскільки саме якість води визначає безпеку, ефективність і стабільність лікарських засобів. У сучасних умовах жорстких вимог GMP, міжнародних фармакопей та регуляторних органів, підприємства зобов'язані впроваджувати лише ті схеми, які забезпечують отримання води необхідної якості з високою надійністю, стабільністю параметрів та мінімальними ризиками мікробіологічного або хімічного забруднення. При виборі технологічної схеми слід враховувати не лише якісні характеристики вихідної води, а й

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можливість масштабування, зручність експлуатації, надійність та економічну ефективність.

На підприємстві АТ «Фармак» для виробничих потреб використовується очищена вода, яка повинна відповідати вимогам Європейської фармакопеї — зокрема, мати низьку електропровідність, відсутність залишкових солей, важких металів, мікроорганізмів і ендотоксинів. Тому обрана схема передбачає багатоступеневу очистку, що включає різні фізико-хімічні методи, поєднані у логічну послідовність для досягнення максимальної ефективності.

Отже, модернізована система включає такі методи очищення:

1. Механічна фільтрація
2. Іонний обмін
3. Адсорбція
4. Зворотний осмос
5. Електродеіонізація
6. УФ-дезінфекція
7. Температурна стабілізація
8. Автоматизована циркуляція

Початковим етапом технологічного процесу очищення є надходження вихідної води до приймальної камери. Цей вузол виконує важливу функцію — забезпечення безперервного, рівномірного та контрольованого поступлення води з джерела водозабору (наприклад, з мережі міського водопостачання або свердловини) до подальших очисних блоків. У приймальній камері вода затримується на короткий період часу для стабілізації потоку, що дозволяє попередньо оцінити її фізичні характеристики — наявність крупних домішок, каламутність, колір, запах.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Візуальний контроль і первинне знання якості дозволяють технологам оперативно реагувати у разі аномалій або змін у вхідних параметрах.

У самій камері можуть бути встановлені ґратчасті сита або попередні бар'єри для вилучення найбільших механічних включень — таких як листя, шматки іржі, пісок, залишки трубопровідної окалини, полімерні частинки тощо. Ці забруднення становлять загрозу для тонших систем фільтрації, оскільки можуть спричинити гідравлічні порушення, засмічення або навіть пошкодження фільтруючих мембран та насосного обладнання. Саме тому на цьому етапі важливо усунути все, що має розміри більші за 100 мікронів.

Після приймальної камери вода направляється на наступний етап очищення — проходження через механічні фільтри, які виконують дуже важливу роль у видаленні залишкових зважених частинок і нерозчинних домішок. Ці фільтри служать своєрідним захистом для всього подальшого технологічного обладнання, зокрема для мембран зворотного осмосу, чутливих до механічних забруднень.

Механічні фільтри являють собою корпуси з фільтруючими елементами — це можуть бути сітки, картриджі або фільтрувальні матеріали різної зернистості та конструкції, розроблені так, щоб затримувати тверді частинки певного розміру. Під час проходження через них вода позбавляється від піску, мулу, іржі, мулоподібних утворень і інших твердих часток, що залишилися після первинної обробки. Зазвичай розмір частинок, що затримуються, становить від 5 до 50 мікронів, залежно від типу фільтра та його призначення.

Процес фільтрації у механічних фільтрах відбувається за принципом механічного осадження та фільтрації, коли забруднення не можуть пройти через пористу структуру фільтруючого матеріалу. Вода рухається під тиском, що забезпечує необхідну продуктивність, а система регулярно піддається промиванню або заміні фільтрувальних елементів, щоб підтримувати високу ефективність.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цей етап дозволяє значно знизити концентрацію зважених речовин, що захищає насосне обладнання від зносу та передчасних поломок, а також покращує роботу наступних ступенів очистки, таких як пом'якшення, вугільна фільтрація та зворотний осмос. Механічні фільтри також сприяють зниженню колоїдних домішок, що впливають на прозорість і хімічну стабільність води.

Після механічного очищення вода надходить на етап пом'якшення, де основну роль відіграють катіонообмінні фільтри. Ці фільтри призначені для видалення з води іонів жорсткості — кальцію, магнію та інших багатовалентних катіонів, які можуть спричиняти утворення накипу на обладнанні та погіршувати якість кінцевої продукції. Процес очищення в катіонообмінних фільтрах базується на заміні цих іонів на іони натрію, що не утворюють осадів і є безпечними для подальших технологічних етапів.

Принцип роботи полягає у проходженні води через шар спеціальної іонообмінної смоли, яка містить активні катіонні групи. При контакті з жорсткими іонами ці групи зв'язують кальцій і магній, одночасно віддаючи у воду іони натрію. Таким чином відбувається пом'якшення води та зниження жорсткості до необхідного рівня.

Для підтримки працездатності фільтрів необхідна періодична регенерація іонообмінної смоли, під час якої вона очищується від накопичених катіонів. Цей процес здійснюється за допомогою регенераційного розчину — зазвичай розчину хлориду натрію (соляного розчину), який змиває забруднення та відновлює властивості смоли. В системі передбачено спеціальний резервуар для зберігання регенераційного розчину, а також витратний бак, з якого розчин подається у фільтр у потрібній кількості та концентрації.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Автоматизована система контролю регенерації забезпечує своєчасне і ефективно відновлення фільтра, оптимізуючи витрати реагенту та запобігаючи перериванню технологічного процесу. Після завершення циклу регенерації фільтр промивається чистою водою для видалення залишків солі і забезпечення необхідної якості води для наступного етапу очистки.

Після стадії пом'якшення вода потрапляє на один із ключових етапів очищення — зворотний осмос, який забезпечує глибоке знесолення та видалення практично всіх розчинених солей, органічних сполук, бактерій і колоїдних частинок. Зворотний осмос працює за принципом пропускання води через напівпроникну мембрану під високим тиском, що дозволяє затримувати більшість розчинених у воді домішок і пропускати лише чисті молекули води.

Установка зворотного осмосу складається з модулів мембран, насосів високого тиску, систем контролю та автоматизації. Цей метод дозволяє досягти дуже низької електропровідності води, що є необхідним для фармацевтичних потреб, а також знизити ризик мікробіологічного забруднення.

Для забезпечення стабільної роботи мембранних модулів та продовження їх терміну служби, система оснащена програмою періодичного промивання.

Промивка зворотного осмосу виконується декількома способами: звичайне промивання чистою водою, що видаляє механічні забруднення, і хімічне промивання, яке усуває накопичені органічні і неорганічні відкладення, такі як біоплівки, кальцієві та соляні нашарування.

Після стадії зворотного осмосу вода проходить додатковий етап очищення — електродеіонізацію, що є сучасною і високоефективною технологією для отримання води ультрависокої чистоти, необхідної для фармацевтичного виробництва. Електродеіонізація (EDI) поєднує в собі принципи іонного обміну та електродіалізу, що дозволяє безперервно видаляти залишкові іони без використання хімічних реагентів.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В процесі EDI очищена за допомогою зворотного осмосу вода пропускається через модулі, які містять іонообмінні смоли, розташовані між іонно-селективними мембранами. При подачі електричного струму іони забруднень рухаються через мембрани в бік електродів, де вони концентруються і виводяться у спеціальний відвідний потік. Водночас відбувається безперервне відновлення іонообмінної смоли завдяки електричному полю, що виключає необхідність використання хімічних розчинів для регенерації.

Застосування електродеіонізації значно підвищує якість очищеної води, забезпечуючи дуже низький рівень загальної кількості розчинених речовин (TDS), а також мінімізує ризики мікробіологічного забруднення, що критично важливо для фармацевтичних цілей. Крім того, відсутність хімічних реагентів у процесі робить технологію екологічно чистою та економічно вигідною в довгостроковій перспективі.

Інтеграція електродеіонізації у технологічну схему модернізації водопідготовки на підприємстві "Фармак" дозволяє не лише підвищити ефективність очистки, а й забезпечити стабільність і надійність постачання високоякісної води, що є ключовою складовою для виробництва безпечних та якісних лікарських препаратів.

Встановлення модуля електродеіонізації (EDI)

- Замість класичних іонообмінників, які потребують регенерації, введено безреагентну електродеіонізацію.
- Електродеіонізація поєднує електричне поле, іонселективні мембрани та слабкі смоли для безперервного видалення іонів з води.

Саме тому в межах модернізації до технологічної схеми було інтегровано установку електродеіонізації (EDI).

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На фінальних етапах вода піддається ультрафіолетовій обробці, що забезпечує знезараження та усунення залишкової мікрофлори, після чого проходить через теплообмінник, де підтримується оптимальна температура зберігання а саме 18-22 °С. Це важливо для запобігання росту мікроорганізмів у системі циркуляції, збереження стабільності якості води та відповідності гігієнічним нормативам.

Загалом ця технологічна схема була обрана тому що вона є збалансованою, науково обґрунтованою та відповідає найвищим вимогам до виробництва лікарських засобів. Вона забезпечує безперебійну подачу очищеної води, що відповідає європейським фармакопейним стандартам, мінімізуючи при цьому екологічні та економічні ризики.

2.2. Матеріальний баланс

2.2.1. Вихідні дані для розрахунку матеріального балансу

Витрата води – 680м³/добу; вміст завислих речовин – 66,3 мг/дм³; сухий залишок - 1378 мг/л, жорсткість - 7,9 мг-екв/л, сульфати – 98 мг/л, фосфати - 9,1 мг/л хлориди - 114,6мг/л , нітрати - 63,5мг/л, амоній - 0,1 мг/л, ХСК - 475,2, рН 7,58.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2. Розрахунок матеріального балансу

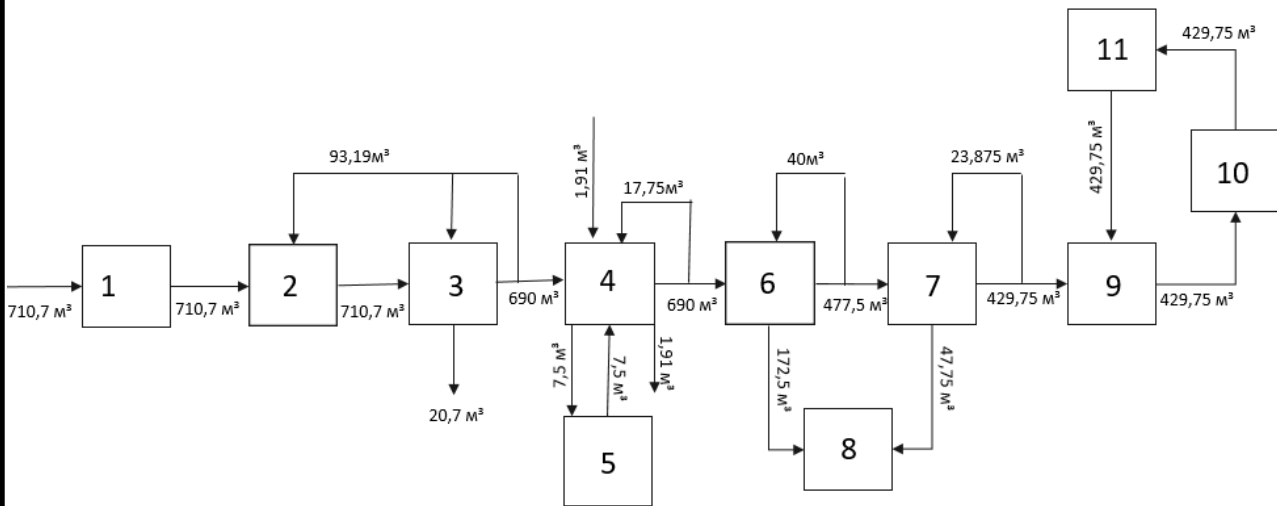


Рисунок 2-Блок схема матеріального балансу (1-приймальна камера 2,3- механічні фільтри 4-катионообмінний фільтр 5-витратний бак регенераційного розчину 6-установка зворотного осмосу 7- установка електродеонізації 8-скид в каналізацію 9-резервуар очищеної води 10- ультрафіолетова лампа 11-теплообмінник)

Загальна розрахункова продуктивність водоочисної станції з урахуванням витрат води на власні потреби:

Для розрахунку загальної продуктивності враховується коефіцієнт α , який відображає витрати води на технологічні потреби самої станції. Згідно з нормативом БНіП 2.04.02-84:

- При повторному використанні промивної води з фільтрів α становить 1,03–1,04;
- Якщо така вода не використовується повторно, значення α коливається в межах 1,10–1,14.

При заданій корисній продуктивності $Q_{кор} = 690 \text{ м}^3/\text{добу}$, загальна продуктивність визначається як:

$$Q_{заг} = 1,03 \times 690 = 710,7 \text{ м}^3/\text{добу}$$

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб обчислити кількість води для промивання пісочних фільтрів, слід розрахувати загальну площу фільтрування:

$$F = \frac{Q}{T \cdot v_n - n \cdot 3,6 \cdot \omega \cdot t_1 - n \cdot t_2 \cdot v_n},$$

Загальна витрата води становить $Q_{\text{заг}} = 710,7 \text{ м}^3/\text{добу}$.

Робочий час очисної станції протягом доби позначено як $T = 24 \text{ години}$.

Параметр v_n визначає стандартну швидкість фільтрації під час нормального функціонування обладнання і вимірюється в $\text{м}/\text{год}$.

Показник ω відображає інтенсивність процесу промивання фільтра і виражається в $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$.

t_1 — це тривалість одного циклу промивки, подається в годинах.

n — кількість промивань одного фільтра за добу при стандартному режимі роботи установки (зазвичай 2–3 цикли).

t_2 — це час, протягом якого фільтр знаходиться в режимі простою через промивку; у випадку водяної промивки цей показник дорівнює приблизно **0,33 год**.

$$F = \frac{710,7}{24 \cdot 8 - 2 \cdot 3,6 \cdot 16 \cdot 0,1 - 2 \cdot 0,33 \cdot 8} = 4,05 \text{ м}^2$$

Кількість фільтрів:

$$N = \frac{\sqrt{F}}{2} = \frac{\sqrt{4,05}}{2} \approx 1$$

Значення N приймаємо за 4, оскільки значення кількості фільтрів з урахуванням відключення на промивку не може бути менше 4-х. Площа

одного фільтра $\frac{4,05}{4} = 1,01 \text{ м}^2$

"

Витрати води на промивання одного фільтра:					Арк.
ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$Q_{\text{пром}} = \omega \cdot F_1$$

де F - площа одного фільтру ($F = 1,01 \text{ м}^2$).

$$q_{\text{пром}} = 16 \cdot 1,01 = 16,16 \text{ дм}^3/\text{с}.$$

Якщо врахувати, що для одного фільтру $t = 0,1 \text{ год.} = 6 \text{ хв} = 360 \text{ сек}$, а $n = 2$, тоді на добу на промивання одного фільтру витрачається:

$$q'_{\text{пром}} = q_{\text{пром}} \cdot t_1 \cdot n$$
$$q'_{\text{пром}} = 16,16 \cdot 360 \cdot 2 = 11635,2 \text{ дм}^3 = 11,6352 \text{ м}^3.$$

Для 4 фільтрів кількість води на промивання складає на добу:

$$q''_{\text{пром}} = q'_{\text{пром}} \cdot 4 = 11,6352 \cdot 4 = 46,54 \text{ м}^3.$$

Розрахунок фільтр із подрібненого керамзиту

$$Q_{\text{заг}} = 1,03 \cdot 690 = 710,7 \text{ м}^3/\text{добу} \text{ м}^3/\text{добу}$$

$$F = \frac{710,7}{24 \cdot 6 - 2 \cdot 3,6 \cdot 12 \cdot 0,1 - 2 \cdot 0,33 \cdot 6} = 5,4 \text{ м}^2$$

Кількість фільтрів:

$$N = \frac{\sqrt{F}}{2} = \frac{\sqrt{5,4}}{2} \approx 1$$

Значення N приймаємо за 4, оскільки значення кількості фільтрів з урахуванням відключення на промивку не може бути менше 4-х. Площа одного фільтра - $\frac{5,4}{4} = 1,35 \text{ м}^2$

Витрати води на промивання одного фільтру:

$$Q_{\text{пром}} = \omega \cdot F_1$$

		де F - площа одного фільтру ($F = 1,51 \text{ м}^2$).			Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА

$$q_{\text{пром}} = 12 \cdot 1,35 = 16,2 \text{ дм}^3/\text{с}.$$

Якщо врахувати, що для одного фільтру $t = 0,1 \text{ год.} = 6 \text{ хв} = 360 \text{ сек}$, а $n = 2$, тоді на добу на промивання одного фільтру витрачається:

$$q'_{\text{пром}} = q_{\text{пром}} \cdot t_1 \cdot n$$

$$q'_{\text{пром}} = 16,2 \cdot 360 \cdot 2 = 11664 \text{ дм}^3 = 11,664 \text{ м}^3.$$

Для 4 фільтрів кількість води на промивання складає на добу:

$$q''_{\text{пром}} = q'_{\text{пром}} \cdot 4 = 11,664 \cdot 4 = 46,65 \text{ м}^3.$$

Розрахунок катіонообмінного фільтру

Робоча ємність іоніту (г-екв/м^3) визначається за формулою:

$$E_{\text{р}} = \alpha * E_{\text{п}} - K q_{\text{п}} C_{\text{п}} = 0,85 * 1850 - 0,5 * 5 * 0,1 = 1572,25$$

Де α — коефіцієнт, що характеризує ступінь ефективності процесу регенерації іонообмінної смоли (діапазон значень: **0,6–0,91**);

$E_{\text{п}}$ — загальна динамічна ємність іоніту, яка вимірюється в **г-екв/м³**;

K — коефіцієнт, що враховує ступінь вилучення іонів із води, яка використовується для промивання (для катіонітних смол **$K = 0,5$**);

$q_{\text{п}}$ — питомий об'єм води, що витрачається на промивання одиниці об'єму іонообмінного матеріалу, одиниця вимірювання — **м³/м³** (типове значення: **3–5 м³/м³**);

$C_{\text{п}}$ — вміст іонів у промивній воді, що визначається в **г-екв/м³**.

Об'єм іоніту у фільтрах (м^3) розраховується за формулою:

$$W = \frac{Q * (C_{\text{поч}} - C_{\text{пр}})}{n * E_{\text{р}}} = \frac{690 * (8,2 - 0,1)}{1 * 1572,25} = 3,55 \text{ м}^3$$

Де Q — об'єм води, який знесолюють протягом доби, м ³ ; $C_{\text{поч}}$ — початкова концентрація даного типу іонів у воді, г-екв/л; $C_{\text{пр}}$ — кінцева концентрація					Арк.
ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

хвилин. Під час цієї процедури витрата води складає приблизно **qв = 50 м³/год.**

$$q_{\text{пр.ос}} = \frac{T_o * q_v * 3}{60}$$

$$q_{\text{пр.ос}} = \frac{24 * 50 * 5}{60} = 100 \frac{\text{м}^3}{\text{добу}}$$

Розрахунок апарату зворотного осмосу

Після проходження води через установку зворотного осмосу частина її перетворюється на концентрат — розчин з підвищеним вмістом домішок, які були відсіяні мембраною. Об'єм цього концентрату визначається на основі коефіцієнта корисної дії (ККД) установки.

Якщо ефективність процесу становить **75%**, тобто 75% поданої води перетворюється на очищену, тоді **25%** залишку — це об'єм концентрату. Обчислення проводиться за формулою:

$$Q_{\text{зв.ос}} = Q_{\text{заг}} * 0,25$$

де $Q_{\text{заг}}$. – кількість води, що подається на зворотній осмос м³

$$Q_{\text{зв.ос}} = 172 * 0,25 = 43 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Вода проходить через стадію зворотного осмосу протягом 2–3 годин. Мембрани установки, як правило, промиваються приблизно раз на дві години, при цьому тривалість промивки складає близько 5 хвилин. Під час цієї операції витрата води становить **qв = 20 м³/год.**

На основі цих даних можна розрахувати об'єм води, що використовується для промивання апарату зворотного осмосу, застосувавши відповідну формулу.

$$q_{\text{пр.ос}} = \frac{T_o * q_v * 3}{60}$$

$$q_{\text{пр.ос}} = \frac{24 * 20 * 5}{60} = 40 \frac{\text{м}^3}{\text{добу}}$$

Розрахунок установки електродеонізації

Порахуємо Q води що йде на електродеонізацію

$$Q_{ед} = Q_{вх.ос} - Q_{пром} - Q_{скид} = 690 - 40 - 172,5 = 477,5 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Відомі такі данні про споруду:

Коефіцієнт відновлення модуля $R=90\%=0,90$

Частка що йде в промивку для підтримки батарей

електродеонізації $P=5\%=0,05$

Знайдемо об'єм концентрату що скидається в каналізацію

$$V_{конц} = V_{вхд} * (1 - R) = 477,5 * 0,10 = 47,75 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Об'єм води що іде на промивку:

$$V_{пром} = V_{вхд} * P = 477,5 * 0,05 = 23,875 \text{ м}^3/\text{добу}$$

З відомих значень можемо порахувати об'єм очищеної води що іде в резервуар:

$$Q_{очищ.води} = 477,5 - 47,75 - 23,875 = 405,875 \text{ м}^3$$

Результати матеріального балансу наведені а таблиці:

Назва потока	Значення
	м ³ /добу
1	2

1. Подача води на очиску

710,7

ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА
ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата
Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

Арк.
Арк.

1	2
II. Подача води на механічні фільтри	710,7
III. Подача води на промивку механічних фільтрів	93,19
IV. Подача води на іонообмінний фільтр	690
V. Подача води на промивку іонообмінного фільтра	17,75
VI. Об'єм 10-% хлориду натрію, що витрачається на регенерацію іонообмінної смоли	7,5
VII. Витрата води на спущення іоніту	1,91
VIII. Подача води на зворотній осмос низького тиску	690
IX. Відведення концентрату зворотнього осмосу	172,5
X. Витрата води на промивку зворотнього осмосу низького тиску	40
XI. Подача води на електродеонізацію	477,5
XII. Відведення концентрату електродеонізації	47,75
XIII. Витрата на промивку батареї електродеонізації	23,875
XIV. Подача води в резервуар чистої води	425,875
XV. Подача води на ультрафіолетову лампу	405,875
XVI. Подача води на теплообмінник	405,875
XVII. Подача води на фармацевтичне виробництво	405,875

2.7. Теоретичні дані про фізичні, хімічні та біологічні процеси в технологічній схемі

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

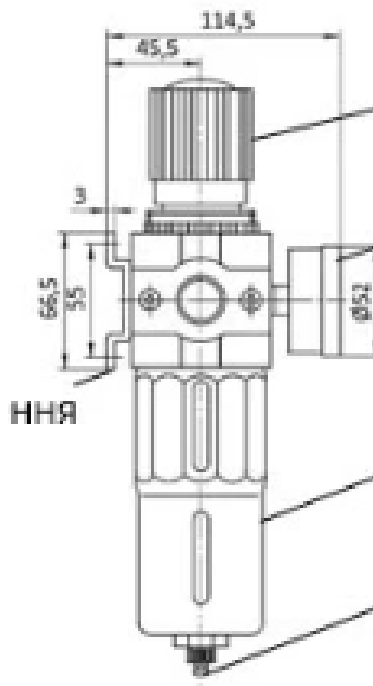
Таблиця 3.6 – Основні стадії очищення води

Етап	Призначення	Тип процесу
Механічна фільтрація	Видалення зважених часток	Фізичний
Іонний обмін	Зниження жорсткості, видалення катіонів	Хімічний
Адсорбція	Видалення органічних речовин, хлору	Фізико-хімічний
Зворотний осмос	Усування розчинених солей та мікробів	Мембранна технологія
Електродеіонізація	Глибоке знесолення без реагентів	Електрохімічний
УФ-дезінфекція	Знищення мікроорганізмів	Біофізичний
Температурна стабілізація	Підтримка 18–22°C	Фізичний
Автоматизована циркуляція	Запобігання застою води	Технологічний

На початковому етапі очищення здійснюється механічна фільтрація, яка є ключовим бар'єром для видалення зважених часток, піску, мулу, окалини, іржі та інших грубодисперсних забруднень. Вода подається на фільтрувальні колони, заповнені шарами кварцового піску різної фракції, а також антрациту. Механізм дії заснований на затриманні часток більших за розмір пір фільтрувального середовища, при цьому діє не тільки фізичне просіювання, а й ефекти адгезії та гідродинамічної інерції, які посилюють ефективність очищення. Цей етап забезпечує зниження мутності та підготовку води до наступних стадій — адже

						Арк.
					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

грубі частки можуть забивати більш делікатні установки, як-от осмотичні мембрани чи іонообмінники.



Механічний фільтр

Основні види механічних фільтрів:

1. Сітчасті фільтри (грубої очистки)
 - Використовують металеву або полімерну сітку.
 - Ефективно затримують частинки розміром > 50 мкм.
 - Застосовуються на вхідному етапі для захисту обладнання.
2. Картриджні фільтри (дрібної очистки)
 - Оснащені змінними поліпропіленовими або тканинними елементами.
 - Видаляють частинки розміром до 1–10 мкм.
 - Підходять для попередньої підготовки перед мембранною фільтрацією.
3. Фільтри із засипкою (напірні фільтри з кварцовим піском, антрацитом, цеолітом тощо)
 - Мають шар зернистого матеріалу, який ефективно затримує механічні домішки.
 - Здатні працювати в безперервному режимі з періодичною зворотною промивкою.
 - Найчастіше використовуються у промисловості, зокрема у фармацевтичних підприємствах.
4. Барабанні та дискові фільтри
 - Використовуються у високопродуктивних системах очищення.
 - Висока продуктивність, можливість автоматичного очищення.
 - Частіше зустрічаються у водоканалах або на великих об'єктах

		ВОДОП	ДГОТОВКИ.			Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

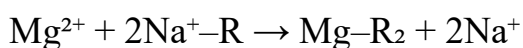
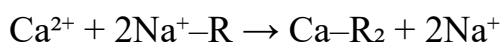
5. Автоматичні самопромивні фільтри

- Сучасні пристрої з системою автоматичної очистки без розбору.
- Мінімізують людське втручання та втрати води.
- Вартість значно вища, але підходять для безперервного виробництва.

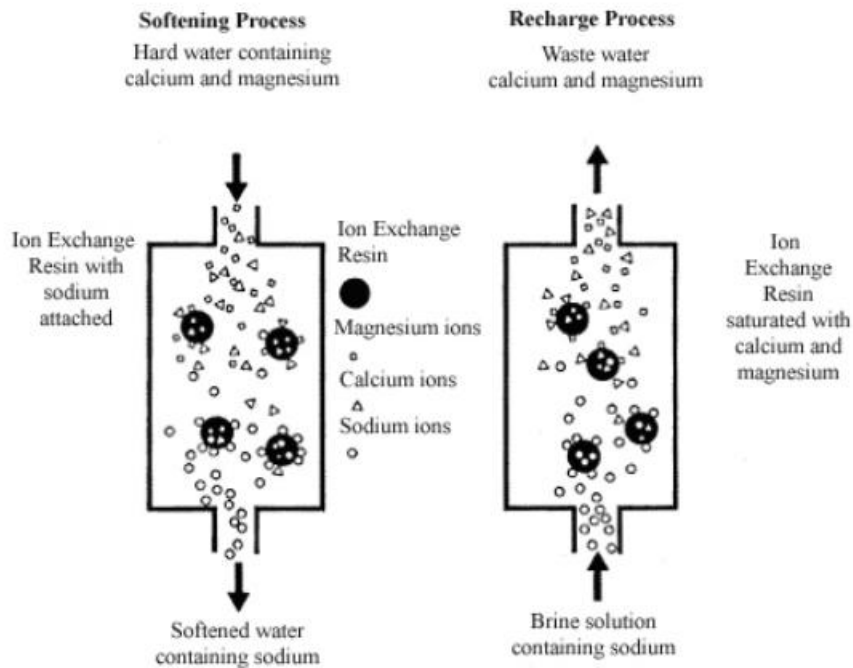
З урахуванням фармацевтичного профілю, високих вимог до якості води та великих обсягів споживання, оптимальним рішенням буде комбінована система механічної фільтрації, що включає:

- Напірні фільтри з кварцовим піском для грубого очищення з автоматичною зворотною промивкою.
- Картриджні фільтри (5 мкм) як друга сходинка — для тоншої фільтрації перед зворотним осмосом.

Після грубого очищення вода надходить до іонного обміну — процесу, в якому відбувається селективне вилучення розчинених мінералів, зокрема іонів кальцію, магнію (що спричиняють жорсткість), заліза, марганцю, амонію. Основою служать катіонообмінні смоли, зазвичай на основі полімерного матриксу з функціональними групами $-\text{SO}_3\text{H}$. Вони обмінюють іони жорсткості на іони натрію або водню за реакціями типу:



					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Процес пом'якшення води

Цей процес є оборотним, і смоли періодично регенеруються розчином хлориду натрію або кислоти. Для здійснення цього, система має витратні баки регенераційного розчину і спеціальні резервуари для його подачі та дренажу. Це дозволяє зберігати продуктивність іонообмінників протягом тривалого часу.

Види катіонообмінних фільтрів

1. Натрієві катіонообмінні фільтри

- Працюють у натрієвому циклі: кальцій і магній замінюються на Na^+ .
- Перевага — низька агресивність до обладнання, придатні для технічної води.
- Не забезпечують повного демінералізування, тому використовуються в попередній стадії.

2. Водневі катіонообмінні фільтри

- Обмін відбувається на H^+ -йони, що забезпечує високу ступінь демінералізації.
- Часто комбінуються з аніонообмінниками.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Застосовуються в системах виробництва води для ін'єкцій та очищеної води згідно GMP.
3. Сильнокислотні катіоніти (типу гелевих або макропористих)
- Використовуються у вигляді кульок зі стирол-дивінілбензольних полімерів.
 - Стійкі до гідравлічного стиску, мають високу ємність та ресурс.
4. Слабокислотні катіоніти
- Працюють ефективно при меншій мінералізації води.
 - Переважно використовуються в м'яких умовах або у специфічних схемах.

Як відбувається регенерація катіонообмінних фільтрів

З часом іонообмінна смола насичується іонами жорсткості, втрачаючи здатність до очищення. Для відновлення її властивостей проводять регенерацію, яка включає такі етапи:

1. Промивка водою — видалення механічних домішок та повітря.
2. Подавання регенераційного розчину:
 - У натрієвих фільтрах: 10% розчин NaCl (кухонна сіль).
 - У водневих: 5–10% розчин HCl або H₂SO₄ (кислоти).
3. Витримка на іонообміннику — для проходження реакції.
4. Промивка очищеною водою — до повного видалення залишків розчину.
5. Відновлення нормального режиму роботи.

У промислових системах, як на «Фармак», процес автоматизується та відбувається через:

- Витратний бак регенераційного розчину
- Резервуар зберігання
- Насоси-дозатори

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Типові проблеми при експлуатації катіонообмінних фільтрів

1. Зниження ефективності обміну
Причини: вичерпання ресурсу смоли, неправильна регенерація, забруднення.
2. Залипання або ущільнення смоли
Виникає при тривалих простоїх без промивок або при недостатньому зворотному промиванні.
3. Засолення системи
Надлишкова доза NaCl або залишки кислоти можуть потрапити в наступні ступені.
4. Забруднення мікроорганізмами
При тривалому застої води в системі, особливо за температур понад 25 °С.
5. Механічне зношення або втрати смоли
Через гідродари або поганий стан сіток фільтрувального дна.

Потім очищена вода подається на блок зворотного осмосу — ключового етапу тонкої фільтрації. При високому тиску (до 60 атм) вода проходить крізь напівпроникні поліамідні або ацетатцелюлозні мембрани, які пропускають лише молекули води, але затримують іони, солі, мікроорганізми та віруси. Відбувається зменшення мінералізації води до рівнів 5–10 мкСм/см, що відповідає вимогам до очищеної води згідно Європейської Фармакопеї. Промивка мембран проводиться регулярно, з метою видалення сольових відкладень та біоплівки. Це виконується автоматично, короткочасними зворотними потоками очищеної або хлорованої води. Вода, яка проходить через мембрану, називається пермеатом, і вона має знижений вміст домішок. Решта, що не проходить через мембрану, утворює концентрат, який відводиться для подальшої утилізації або повторної обробки. Продуктивність мембран залежить від їх матеріалу, товщини, площі, а також від параметрів роботи, таких як тиск і температура води.

Існують різні типи систем зворотного осмосу, серед яких основними є системи низького, середнього та високого тиску. Високотискові системи використовують тиск у діапазоні від 10 до 80 атмосфер, що дозволяє більш ефективно очищувати воду з високою концентрацією домішок.

					Пояснювальна записка	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Низькотискові системи застосовуються переважно для води з невеликим забрудненням і використовують тиск до 10 атмосфер. Середньотискові системи займають проміжне положення і підходять для води середньої жорсткості. Крім того, існують мембранні установки з різними конфігураціями — плоскими мембранами, трубчастими та спіральними, кожна з яких має свої переваги в певних умовах експлуатації.

Важливим аспектом роботи зворотного осмосу є регулярне промивання мембран, яке запобігає їх забрудненню і продовжує термін служби. Промивка може бути як механічною, з використанням чистої води під тиском, так і хімічною, коли застосовуються спеціальні розчини для видалення накопичених забруднень. З правильним доглядом мембрани забезпечують стабільну якість очищення і високу продуктивність системи.

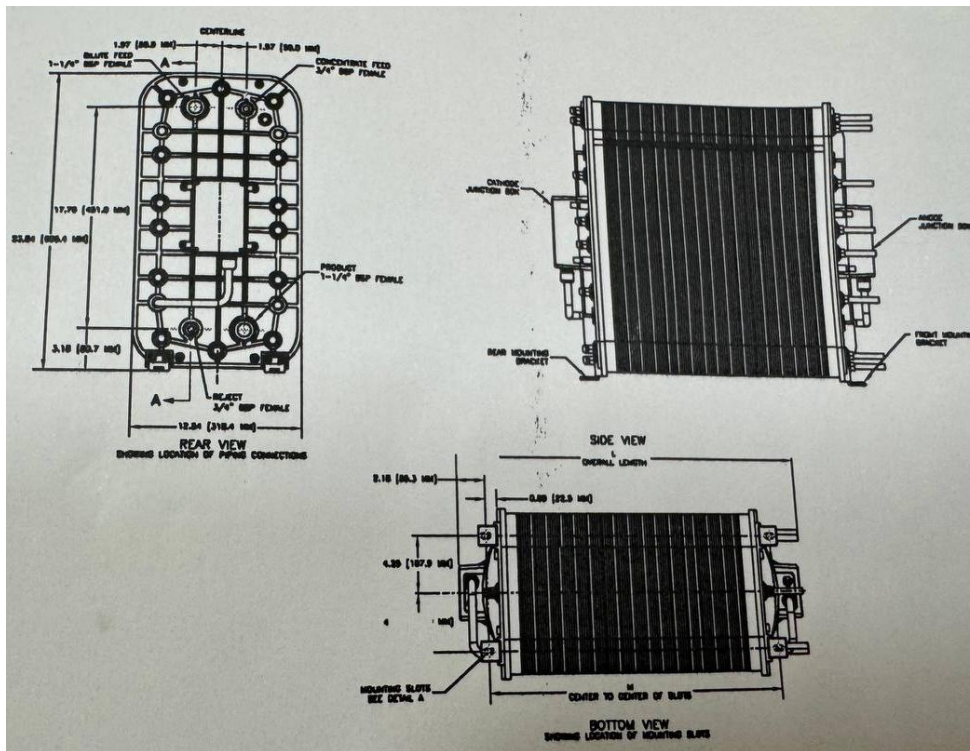
Одним із головних удосконалень у проєкті стала електродеіонізація — інноваційна технологія, яка поєднує іонний обмін з дією постійного електричного струму. У спеціальних модулях вода проходить через суміш катіонітів та аніонітів, поміщених між іонообмінними мембранами. Під впливом електричного поля іони домішок мігрують до відповідних електродів і виводяться через концентратні канали.

Відмінністю цього процесу є його безперервність — смоли не потребують хімічної регенерації, оскільки очищуються одночасно з процесом.

Рівень провідності води після ЕДІ сягає $<0,2$ мкСм/см, що відповідає вимогам до води для ін'єкцій після подальшої стерилізації.

Електродеіонізаційний модуль Ionpure LX-НІ у технології водоочистки

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



У представленій технологічній схемі для виробництва води фармацевтичної якості передбачено застосування модуля електродеіонізації Ionpure® серії LX-NI, що забезпечує глибоке очищення води без використання хімічних реагентів. Ці модулі використовують поєднання іонного обміну, електрофорезу та мембранної технології для безперервного видалення залишкових іонів з попередньо демінералізованої води (зворотним осмосом).

Модуль LX-NI належить до класу гарячо-дезінфікуємих (Hot Water Sanitizable) установок, що особливо важливо в фармацевтичній галузі, де потрібне постійне дотримання санітарних вимог без використання хімічних речовин. Гаряча санітарна обробка забезпечується при температурі 185°F (85 °C ±5 °C).

Модуль здатен до безперервної роботи при температурі до 60 °C (140°F), що дозволяє застосовувати його у високотемпературних середовищах — зокрема, для фармацевтичних, біотехнологічних та парогенераторних процесів. При цьому не потребується періодичної регенерації іоніту, що значно спрощує експлуатацію та знижує витрати.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА				

Серед ключових характеристик:

- Робочий тиск — до 2,0 бар (30 psi)
- Багаторазова гаряча дезінфекція (понад 150 циклів) без втрати ефективності
- Подвійне ущільнення O-Ring для забезпечення герметичності
- Не потребує подачі розсолу чи спеціального регенераційного розчину
- Всі матеріали контакту з водою відповідають вимогам FDA
- Циркуляція концентрату та впорскування розсолу не потрібні

Принцип роботи полягає в тому, що вода, що надійшла після осмосу, подається через систему каналів, розділених іонообмінними мембранами. Залишкові іони у воді мігрують під впливом електричного поля через мембрани до електродів, де накопичуються у спеціальних каналах для відведення. Одночасно частина іонів сорбується іонообмінною смолою, яка також регенерується в процесі — завдяки дії електричного струму.

Типи електрореіонізаційних систем:

- CEDI (Continuous Electrodeionization) – безперервна система, як у твоїй схемі
- EDI з хімічною регенерацією – морально застарілі моделі, не використовуються на фармацевтичних підприємствах

Переваги застосування LX-НІ:

- Повністю автоматизована та безперервна робота
- Відсутність потреби у хімічних регенераторах
- Сумісність з очищенням гарячою водою
- Високий ступінь демінералізації – електропровідність < 0,1 мкСм/см

Перед подачею у виробничу лінію, вода піддається ультрафіолетовій дезінфекції. УФ-лампи з довжиною хвилі 254 нм спричиняють руйнування ДНК і РНК мікроорганізмів, перешкоджаючи їх розмноженню. Цей етап — критичний з точки зору мікробіологічної безпеки, оскільки фармацевтична продукція має бути вільною від будь-якої біологічної контамінації.

При правильному розрахунку інтенсивності опромінення (доза ~40 мДж/см²) ефективно знищується понад 99,9% бактерій, включаючи *Pseudomonas aeruginosa* — типового забруднювача води.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення стабільності фізико-хімічних властивостей води, особливо у фазі розливу чи реакцій синтезу, застосовується температурна стабілізація.

Система теплообміну підтримує температуру води у межах 18–22 °С, що мінімізує утворення біоплівки, уповільнює мікробне зростання та гарантує відповідність умовам виробничих протоколів.

Нарешті, автоматизована циркуляція забезпечує безперервний рух води у замкнутому контурі. Це виключає застій, зменшує ризик бактеріального росту в трубопроводах і підтримує однакову якість води у будь-який момент часу.

Система працює під контролем SCADA або подібного ПЛК-рішення, що дозволяє моніторити параметри якості води в режимі реального часу.

Узагальнюючи, можна зазначити, що дана технологічна схема не лише повністю відповідає сучасним вимогам GMP, але й створює багаторівневий захист від усіх можливих домішок — від механічних до іонних і біологічних.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ ОЧИСНИХ СПОРУД

На початковому етапі вода надходить у приймальну камеру, де відбувається її попереднє накопичення. Тривалість перебування води в цьому резервуарі складає **30 хвилин**.

Для визначення необхідного об'єму резервуара застосовується відповідна формула:

$$W_p = Q \frac{t}{24}$$

Де Q - об'єм води, t – час перебування води в резервуарі, години

$$W_p = 710,7 \frac{0,5}{24} = 14,8 \text{ м}^3$$

Висота резервуара становить 3м, тоді за формулою розраховуємо площу резервуару:

$$F_p = \frac{W_p}{h}$$

W_p – об'єм резервуару, h – висота

$$F_p = \frac{14,8}{3} = 4,9 \text{ м}^2$$

Діаметр Резервуару

$$D = 2 * \sqrt{\frac{F_p}{\pi}}$$

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{4,9}{3,14}}$$

$$D=2,50 \text{ м}$$

Fr – площа резервуару, π – число пі
Катіонообмінний фільтр

Таблиця 4.1 Характеристики катіонообмінного фільтру КУ-2-8

Марка фільтру	Розмір гранул іоніту, мм	Вміст, %		Насипна густина товарного іоніту, т/м ³	Питомий об'єм набряклого іоніту, м ³ /т
		Робочої фракції	вологи		
1	2	3	4	5	6
КУ-2-8	0,315-1,25	93	40-60	0,72-0,8	2,9

Площу катіонітових фільтрів, м² визначають за формулою:

$$F = \frac{W}{H_k} = \frac{4,09}{2} = 2,045 \text{ м}^2$$

Де W – об'єм іоніту у фільтрах, м³; H_к – висота шару катіоніту, м Діаметр фільтра, м, розраховується за формулою:

$$D = 2 * \sqrt{\frac{F}{\pi}} = 2 * \sqrt{\frac{2,045}{3,14}} = 1,61 \text{ м}$$

Де F – площа катіонітового фільтру, м². Обрано фільтр ФІПа -ІІ- 1,0-0,6

ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА

Арк.

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

Зворотній осмос

Для задовільнення потреб виробництва було обрано систему EcoSoft MO-24

Таблиця 4.2. Характеристики EcoSoft MO-24

Продуктивність	м3/год	24
Енергоспоживання		400 В, 50 Гц
Потужність насосу	кВт	30
Тиск на вході	атм	2-4
Робочий тиск	атм	10-14
Споживання води в робочому режимі	м3/год	32-39
Споживання води у режимі промивання	м3/год	50-60
Висота	мм	2300
Ширина	мм	5700
Глибина	мм	1600

Електродеіонізація

Для забезпечення підвищеної якості очищення води після стадії зворотного осмосу було впроваджено модулі IONPURE LX-НІ (виробник — Evoqua), які дозволяють здійснювати безперервну електродеіонізацію з можливістю гарячої санітарної обробки.

Гідравлічна потужність водяного потоку, що подається в установку, розраховується за формулою:

$$N = \frac{Q * P}{n}$$

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де:

- N — гідравлічна потужність, Вт
- Q — об'ємна витрата води, м³/с
- P — тиск на вході, Па
- η — коефіцієнт корисної дії насоса (в середньому для промислових насосів береться 0,7–0,8)

Розрахунок:

- Для витрати $Q=5,5$ м³/год=0,001528 м³/с
Тиск $P=3,5$ бар= $3,5 \cdot 10^5$

$$N = \frac{0,001528 \cdot 3,5 \cdot 10^5}{0,75} \approx 712 \text{ Вт}$$

Я взяла трохи менший запас у таблиці — ~535 Вт — це з урахуванням оптимізованої продуктивності в технічних умовах конкретного апарату

2. Розрахунок середньої лінійної швидкості потоку в каналі мембрани

$$v = \frac{Q}{A}$$

де v — швидкість потоку, м/с Q — об'ємна витрата води, м³/с A — площа поперечного перерізу каналу, м² умовна площа одного потоку в каналі мембранного модуля — $A=7 \cdot 10^{-3}$ м²

$$v = \frac{0,001528}{0,007} = 0,22 \text{ мм/с}$$

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.3

Параметр	Одиниця	Значення
Санітаризація гарячою водою	°C	85 ±
Максимальна температура експлуатації	bar	60
Робочий тиск	м³/год	до 2.0 (≈ 30 psi)
Продуктивність (модуль LXM24HI-3)	м³/год	2.8
Гідравлічна потужність водяного потоку	Вт	712
Коефіцієнт відновлення та видалення (SiO ₂)	%	90–95
Маса (експлуатаційна/транспортна)	кг	91 / 113
Провідність продуктної води	мкСм/см	< 0.1

--

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА

Таблиця – Завдання для виконання креслень плану та розрізів промислової будівлі

Кількість поверхів	Кількість прогонів	Прогін, м	Крок колон, м	Висота поверху, м	Вантажопідйомність крану, т	Відмітка голівки кранового рельсу, м	Довжина будівлі, м
1	3	12	12	12,6	10	9,65	96

Теплотехнічне обґрунтування товщини зовнішньої стіни

Для визначення необхідного термічного опору зовнішньої стінової конструкції обчислюється величина R за формулою:

$$R_0 = (T_B - T_3) / (T_n \cdot L_B)$$

T_B — температура повітря всередині виробничого приміщення, приймається в межах **16–18 °С** згідно з нормативами для промислових споруд;

T_3 — розрахункова температура зовнішнього повітря в зимовий період, виражена в Кельвінах. З огляду на конструкцію огорожувальних елементів (панельні стіни), враховується середня теплова інерційність, тому температура T_3 визначається як середнє значення між мінімальною температурою найхолоднішої доби та п'ятиденного періоду;

T_n — стандартний температурний градієнт між повітрям у приміщенні та внутрішньою поверхнею огороження, К;

L_B — коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни, який становить **8,722 Вт/(м²·К)**.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результат обчислення R_0 виражається у $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ і надалі використовується для визначення необхідної товщини стінового матеріалу відповідно до його теплопровідності.

$$R_0 = \frac{291 - 250,5}{8 \cdot 8,722} = 0,58 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Після обчислення базового опору теплопередачі R_0 , його множать на коефіцієнт запасу, який згідно з нормативами приймається рівним **1,3**.

$$R_1 = R_0 \cdot K = 0,58 \cdot 1,3 = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Визначаємо товщину стіни для одношарових конструкцій:

$$T = M(R_0 - 1/L_B + 1/L_3)$$

M -коефіцієнт теплопровідності матеріалу стіни;

L_3 - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні стіни, $L_3=23,26 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$$T = 0,24 \left(0,75 - \frac{1}{8,722} + \frac{1}{23,26} \right) = 0,16(\text{м}) = 200\text{мм}$$

Далі перевіряємо правильність прийнятої масивності стіни:

$$D = R_1 \cdot S_1 + R_2 \cdot S_2 + \dots + R_n \cdot S_n$$

$$R_1 = \frac{T}{M} = \frac{0,2}{0,24} = 0,83$$

$$D = 0,83 \cdot 6,2 = 5,15 - \text{середня масивність}$$

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Площа адміністративно-побутових приміщень для чоловіків

	Приміщення та обладнання	Чисельність осіб залучених до трудової діяльності	Технічний норматив на одиницю обладнання		Потрібно	
			Людей	М2	Одиниць обладнання	М2
Побутові приміщення для чоловіків						

1	Гардеробні приміщення: Для збереження вуличного та домашнього одягу, шафи;	19	1	1	19	19
	Для збереження робочого одягу, шафи.	19	1	1	19	19
2	Душові приміщення, душові сітки	8	3	5	3	15
Приміщення та обладнання	Розрахункова кількість працюючих	Норми на одиницю обладнання		Потрібно		
		Людей	М2	Одиниць обладнання	М2	
Побутові приміщення для жінок						

					Пояснювальна записка	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	Гардеробні приміщення: Для збереження вуличного та домашнього одягу, шафи;	6	1	1	6	6
	Для збереження робочого одягу, шафи.	6	1	1	6	6
2	Душові приміщення, душові сітки	3	3	5	1	5

3	Вмивальні приміщення, вмивальники	3	20	1,5	1	1,5
---	-----------------------------------	---	----	-----	---	-----

4	Вбиральні, унітази	3	15	4	1	4
Всього						81

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Адміністративні приміщення						
1	Кабінет начальника цеху					12
2	Кімната майстрів					12
Всього						24
Всього						105

Приміщення та обладнання	Розрахункова кількість працюючих	Норми на одиницю обладнання		Потрібно	
		Людей	М2	Одиниць обладнання	М2
Побутові приміщення для жінок					

1	Гардеробні приміщення: Для збереження вуличного та домашнього одягу, шафи;	6	1	1	6	6
	Для збереження робочого одягу, шафи.	6	1	1	6	6
2	Душові приміщення, душові сітки	3	3	5	1	5

3	Вмивальні приміщення, вмивальники	3	20	1,5	1	1,5
---	-----------------------------------	---	----	-----	---	-----

4	Вбиральні, унітази	3	15	4	1	4
Всього						81

						Арк.
ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Адміністративні приміщення						
1	Кабінет начальника цеху					12
2	Кімната майстрів					12
Всього						24
Всього						105

Об'ємно-планувальні характеристики будівлі

Запроектовано промислову одноповерхову споруду з такими просторовими параметрами: три прогони по 12 м кожен; крок колон також складає 12 м із сіткою 12×6 м. Загальна висота будівлі досягає 12,6 м, а її протяжність становить 96 м. Крайні колони розміщені без відступів від повздовжніх осей. У конструкцію інтегровано три мостові крани вантажопідйомністю 10 т, які пересуваються по рейках. Кранові рейки встановлені на головних балках, а верхня відмітка рейкової головки — 9,65 м.

Конструктивно будівля має каркасну систему, в якій плитам покриття слугують опорою ферми. Для забезпечення поперечної жорсткості у торцевих стінах встановлено фахверкові колони з інтервалом 6 м. Зовнішні огороження виконані з великогабаритних панелей із арболіту. Для

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищення стійкості конструкції передбачено деформаційний шов, при цьому колони мають прив'язку на 500 мм.

Загальна площа адміністративно-побутових приміщень становить 180,34 м², з яких: чоловіче гардеробне приміщення 27,37 м² та жіноче гардеробні приміщення 24,7 м² з двома окремими шафами для зберігання вуличного та робочого одягу на кожного працівника. Жіноче душове приміщення 12,74 м² та чоловіче душове приміщення 13,23 м² і вбиральні розташовані окремо. Згідно з нормами чоловіча і жіноча вбиральня мусить мати по одному туалету, площа яких становить по 4 м². В душових приміщеннях повинно бути 3 душові кабінки для чоловіків та 1 для жінок. Вмивальні приміщення для чоловіків та жінок однакові та займають площу 8 м². Кабінет начальника цеху займає 39,5 м², а кімната майстрів — 38,8 м².

Загальна площа адміністративно-побутової зони дорівнює 180,34 м², у тому числі: чоловіча гардеробна — 27,37 м², жіноча гардеробна - 26,91 м². Крім того, передбачено душові приміщення, санвузли, кімнати для персоналу та побутові зони відповідно до нормативних вимог. Усі приміщення розміщені компактно та функціонально, що забезпечує зручність використання і дотримання санітарно-гігієнічних умов. Планування адміністративно-побутового блоку інтегроване в основну будівлю, що дозволяє мінімізувати комунікаційні витрати та оптимізувати внутрішню логістику підприємства. Внутрішнє зонування виконано з урахуванням розділення потоків працівників, що сприяє ефективній організації трудового процесу та підвищенню безпеки.

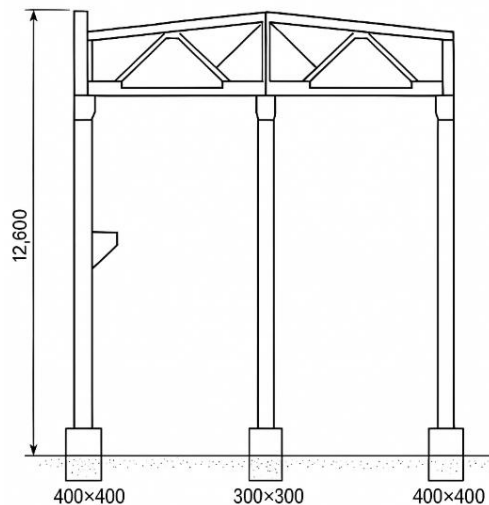
Для забезпечення конструктивної надійності промислової споруди передбачено встановлення опорних колон із залізобетону перерізом 400×400 мм. Ці елементи розміщуються по краях будівлі й мають по одній консолі. У центральній частині встановлюються аналогічні за висотою колони з двома консолями, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструктивне вирішення будівлі

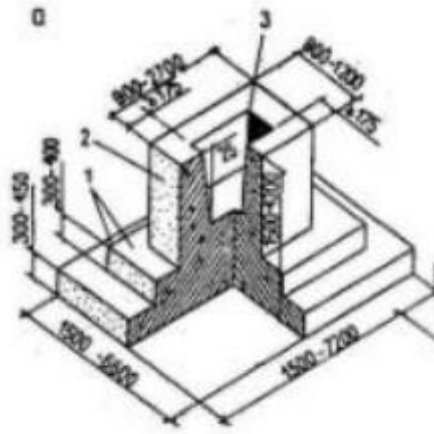
Окрім основного каркасу, для посилення жорсткості споруди, особливо з огляду на її значну ширину, передбачено встановлення фахверкових колон перерізом 300×300 мм. Таке просторове рішення дозволяє підвищити стійкість конструкції та ефективно витримувати дію зовнішніх і внутрішніх сил.

Схематичне зображення вказаного конструктивного рішення представлено на рисунку де чітко зазначені габарити та висотні позначки опорних елементів (загальна висота – $12,600$ м).

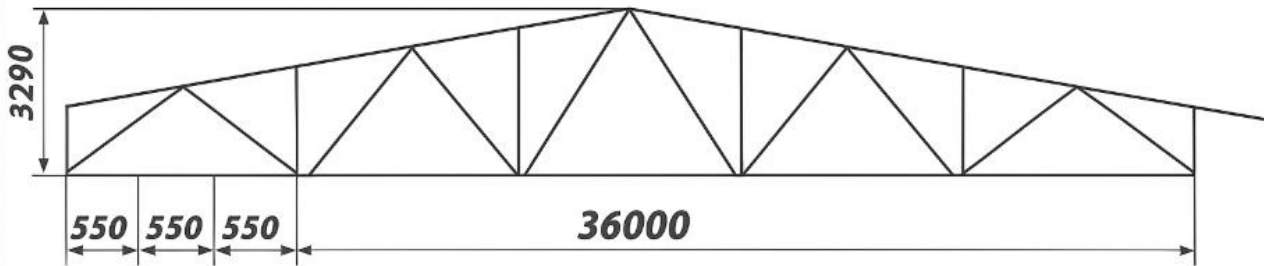


Фундамент представлений у вигляді монолітного стовпового залізобетонного фундаменту стаканного типу (рис.4.3), який встановлюється під усіма колонами (основними та колонами фахверку).

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



На верхню частину несучих колон монтується металева трикутна кроквяна ферма, яка виконує функцію опори для плит покриття у конструкціях без теплоізоляції



В основі покриття лежать залізобетонні плити

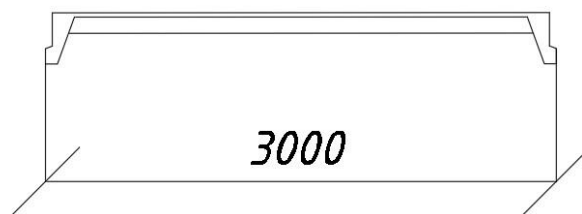


Рисунок 4.5 — Бетонні плити покриття

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На поперечному перерізі зображено три мостові крани, які спираються на підкранові балки.

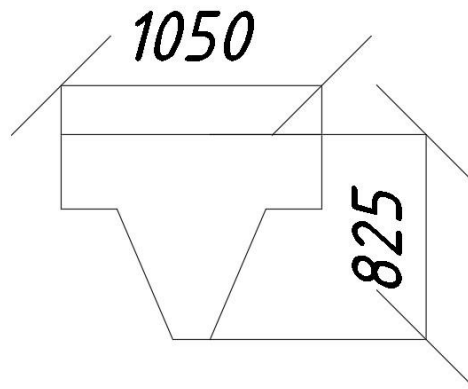


Рисунок 4.6 – Підкранова балка

6. ОХОРОНА ПРАЦІ

1. Вступ

Охорона праці — це один із найважливіших компонентів ефективної діяльності будь-якого підприємства, зокрема фармацевтичного. Її мета — не лише забезпечити фізичну безпеку працівників, а й гарантувати здорові умови праці, психологічний комфорт, належну санітарно-гігієнічну обстановку та контроль над потенційно небезпечними виробничими факторами. У фармацевтичній галузі, де щоденно мають справу з хімічними, біологічними та фізичними ризиками, ці питання набувають особливої актуальності.

Фармацевтичне виробництво — складна, високотехнологічна сфера, де кожна помилка або недотримання норм може мати серйозні наслідки: від травмування працівника до загрози здоров'ю кінцевого споживача. Саме тому охорона праці тут є не просто регламентованою вимогою,

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а стратегічною необхідністю. Особливості виробничого процесу, використання токсичних речовин, стерильне середовище, наявність вибухонебезпечних матеріалів та потреба в роботі з високоточним обладнанням вимагають системного та багаторівневого підходу до питань безпеки.

Крім того, охорона праці — це не лише відповідальність роботодавця, але й свідоме ставлення самих працівників до власного здоров'я. Правильно організовані інструктажі, тренінги, мотивація до дотримання техніки безпеки, постійний контроль і аналіз виробничих ситуацій сприяють створенню на підприємстві безпечного середовища. Фізичне навантаження, робота в умовах шуму, необхідність дотримання стерильності, робота з біологічно активними речовинами або психотропними сполуками створюють додаткові ризики, які мають бути враховані при організації виробництва.

Цей розділ спрямований на всебічне вивчення та аналіз основних аспектів охорони праці на фармацевтичному заводі. У ньому будуть розглянуті правила безпеки, види професійних ризиків, засоби індивідуального захисту, санітарно-гігієнічні норми, системи контролю та запобігання нещасним випадкам. Особливу увагу буде приділено пожежній безпеці, хімічним та біологічним загрозам, а також організаційним заходам щодо підвищення культури безпеки праці. Включення таблиць та прикладів дозволить більш наочно відобразити сучасний підхід до забезпечення охорони праці в умовах фармацевтичного виробництва.

2. Хімічна безпека

Фармацевтичне виробництво неможливе без використання широкого спектру хімічних речовин, включаючи кислоти, луги, розчинники, реагенти, активні фармацевтичні інгредієнти (АФІ), допоміжні речовини тощо. Всі ці компоненти є потенційно небезпечними для здоров'я людини в разі порушення правил їх

зберігання, транспортування або використання.					Арк.
ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

2.1 Джерела хімічної небезпеки

Найбільш поширені типи хімічної небезпеки на фармацевтичному заводі включають:

- **Токсичні речовини:** Наприклад, хлорид метилену (CH_2Cl_2), ацетон (CH_3COCH_3), формальдегід (HCHO), які можуть викликати подразнення дихальних шляхів, головний біль, запаморочення.
- **Корозійні речовини:** Сірчана кислота (H_2SO_4), натрій гідроксид (NaOH) – можуть викликати опіки шкіри й очей.
- **Вибухонебезпечні суміші:** Наприклад, пари етанолу або ефіру можуть утворювати вибухонебезпечні концентрації в повітрі.
- **Алергени та сенсibilізатори:** Деякі АФІ викликають алергічні реакції навіть при низьких концентраціях (наприклад, пеніциліни).

2.2 Приклади небезпечних ситуацій

- **Випаровування розчинників:** При поганій вентиляції пари ізопропанолу можуть накопичуватися і призвести до отруєння працівників або займання.
- **Розлиття кислот:** Неналежне транспортування сірчаної кислоти без ЗІЗ може спричинити хімічні опіки.
- **Контамінація продукції:** Потрапляння залишків токсичних речовин у готовий препарат через недотримання процедур очищення обладнання.

2.3 Основні заходи хімічної безпеки

- Використання **витяжної вентиляції** над усіма джерелами виділення парів.
- Застосування **ЗІЗ** (рукавички з нітрилу, респіратори з фільтрами типу A2B2E2, захисні окуляри).
- Наявність **інструкцій з надання першої допомоги** у разі хімічного ураження.
- Проведення **регулярних навчань** персоналу.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1. Приклади небезпечних хімічних речовин у фармацевтичному виробництві

Назва речовини	Хімічна формула	Тип небезпеки	Симптоми/наслідки	ЗІЗ
Ацетон	CH_3COCH_3	Легкозаймистий, токсичний	Запаморочення, головний біль	Респіратор, рукавички
Сірчана кислота	H_2SO_4	Корозійна	Опіки шкіри, дихальних шляхів	Фартух, окуляри, рукавички
Хлорид метилену	CH_2Cl_2	Токсичний	Нудота, ураження печінки	Витяжка, респіратор
Етанол	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	Вибухонебезпечний	Отруєння парами при вдиханні	Вентиляція, ЗІЗ

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Стандарти та регулювання

З метою контролю хімічної безпеки на підприємствах обов'язковим є:

- Дотримання вимог ДСТУ ISO 45001:2019.
- Наявність паспортів безпеки речовин (MSDS).
- Ведення журналів обліку хімічних речовин.

3. Біологічна безпека

Біологічна безпека на фармацевтичному заводі — це система організаційних, технічних, профілактичних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на запобігання впливу біологічних агентів на персонал, продукцію та навколишнє середовище. Вона особливо актуальна для підприємств, що займаються виробництвом вакцин, пробіотиків, інсуліну, біотехнологічних препаратів, а також для лабораторій контролю якості.

3.1 Біологічні загрози у фармацевтичному виробництві

На фармацевтичному заводі працівники можуть контактувати з:

- живими мікроорганізмами (бактеріями, вірусами, грибками),
- біологічними клітинами (включаючи генно-модифіковані організми – ГМО),
- продуктами їхньої життєдіяльності (токсини, біоаерозолі),
- тканинними культурами та патогенними агентами.

Такі речовини можуть викликати інфекції, алергічні реакції, сенсibiliзацію, хронічні захворювання органів дихання або шкіри.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Класифікація біологічних агентів за ступенем небезпеки

Клас ризику	Приклади агентів	Рівень небезпеки	Необхідний рівень захисту (BSL)
I (мінімальний)	Пробіотики, нешкідливі бактерії	Не спричиняю ть хвороб у людини	BSL-1
II (помірний)	E. coli, Staphylococcus aureus	Може спричинити хвороби	BSL-2
III (високий)	Вірус гепатиту В, Mycobacterium tuberculosis	Серйозні хвороби, можливість аерозольно го зараження	BSL-3
IV (максимальний)	Вірус Ебола, Марбург	Висока смертність, немає лікування	BSL-4

3.3 Типові приклади біологічних небезпек

- **Контакт із культурами бактерій:** у процесі виробництва вакцин або біоактивних препаратів можливе зараження через мікропошкодження шкіри або вдихання аерозолів.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- **Інгаляція біоаерозолів:** наприклад, при відкритті флаконів з культуральними рідинами або при роботі в центрифугах.
- **Перехресна контамінація:** небезпека забруднення інших партій продукції під час роботи з патогенами в одній зоні.
- **Аварії:** розлив біоматеріалу, порушення герметичності інкубаторів або біореакторів.

3.4 Заходи біологічної безпеки

Технічні

- Використання **біологічних шаф класу II або III.**
- Створення **ізолюваних зон з контрольованим доступом.**
- Системи **фільтрації повітря HEPA, ламінарні потоки.**
- Автоклави та стерилізатори для знезараження матеріалів.

Організаційні

- **Зонування виробничих приміщень за рівнем біозагрози.**
- **Чітке регламентування маршрутів руху персоналу та матеріалів.**
- **Забезпечення належної утилізації біологічних відходів.**
- **Наявність протоколів дій у разі аварійних ситуацій.**

Індивідуальні

- **Носіння спеціального захисного одягу (комбінезонів, масок, окулярів).**
- **Забезпечення вакцинації персоналу (наприклад, проти гепатиту В).**
- **Щоденне спостереження за станом здоров'я працівників.**
- **Проведення періодичних навчань із біобезпеки.**

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нормативні документи:

- ДСП 9.9.5-080-2001 – Санітарні правила щодо мікробіологічних і біотехнологічних виробництв.
- ДСТУ ISO 15189:2015 – Вимоги до якості і компетентності в лабораторіях.
- Наказ МОЗ №351 від 28.05.2002 – Щодо дотримання біобезпеки.
- Наказ МОЗ №882 від 29.12.2006 – Про затвердження заходів з біозахисту.
- Вимоги GLP (Good Laboratory Practice) – належна лабораторна практика для поводження з біологічними агентами.

4. Фізична безпека

Фізична безпека охоплює сукупність заходів, що спрямовані на захист працівників від механічних, термічних, електричних та інших фізичних ризиків, які можуть виникати під час виконання виробничих завдань на фармацевтичному заводі. На відміну від хімічної або біологічної небезпеки, яка часто не помітна з першого погляду, фізичні фактори зазвичай пов'язані з безпосереднім впливом обладнання, машин, інструментів або небезпечних середовищ.

4.1 Основні джерела фізичних ризиків

1. **Обладнання з рухомими частинами:** міксери, таблетпреси, шнекові транспортери.
2. **Високі температури:** сушильні камери, автоклави, термореактори.
3. **Низькі температури:** камери зберігання вакцин, рідкий азот.
4. **Електричне обладнання:** виробничі лінії, електрощити.
5. **Вібрації та шум:** великі центрифуги, компресори.
6. **Механічні травми:** падіння вантажу, ковзання, удар об обладнання.
7. **Пожежо- та вибухонебезпека:** при роботі з легкозаймистими речовинами

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Типові приклади ризиків

- **Падіння при переміщенні по слизькій підлозі** в зоні миття обладнання.
- **Опіки рук працівника**, який відкрив автоклав без попереднього охолодження.
- **Пошкодження пальців** при необережному обслуговуванні таблетпресу без блокування механізму.
- **Ураження струмом** через контакт із пошкодженим кабелем в умовах підвищеної вологості.

4.3 Таблиця 2. Приклади фізичних небезпек і заходів протидії

Джерело ризику	Можливі наслідки	Заходи безпеки
Рухомі частини машин	Затискання, переломи	Захисні екрани, блокування запуску під час ремонту
Гаряче обладнання	Опіки	Температурні індикатори, термостійкі рукавички
Електричні прилади	Ураження струмом	Заземлення, регулярна перевірка ізоляції
Холодильні камери	Обмороження, переохолодження	Ліміт часу перебування, утеплений спецодяг
Вібрації	М'язові порушення, втому	Амортизуючі опори, обмеження тривалості роботи

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Джерело
ризиків**

Можливі наслідки

Заходи безпеки

Шум

Зниження слуху

Беруші,
шумопоглинаючі
панелі

Погане
освітлення

Падіння, травми

Якісне освітлення,
додаткові лампи на
робочих місцях

4.4 Організаційні заходи забезпечення фізичної безпеки

- **Регулярне технічне обслуговування обладнання з фіксацією у відповідних журналах.**
- **Система допуску до роботи лише після проходження інструктажів.**
- **Підтримка порядку на робочому місці (5S-система) для уникнення непередбачуваних ситуацій.**
- **Встановлення чітких маршрутів руху персоналу і вантажів (маркування підлоги, покажчики).**
- **Сигнальні системи на небезпечних ділянках (звукова і світлова індикація).**
- **Забезпечення засобами захисту: каски, антистатичне взуття, окуляри, ремені безпеки при роботі на висоті.**

4.5 Навчання та культура безпеки

Кожен працівник фармзаводу повинен проходити:

- Початковий інструктаж з охорони праці.
- Повторний інструктаж (щонайменше раз на півроку).
- Спеціальні тренінги при роботі з новим обладнанням.

								Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА			

- Практичні заняття з моделювання надзвичайних ситуацій.

Підвищення рівня культури безпеки — це не лише знання норм, а й свідоме ставлення до власної та колективної відповідальності.

Нормативні документи:

- **ДСТУ EN 61010-1:2015** – Вимоги безпеки до електрообладнання для лабораторного використання.
- **Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98).**
- **ГОСТ 12.1.002-84** – Електробезпека. Загальні вимоги.
- **ДСП 458-86** – Норми допустимого рівня електромагнітного випромінювання.
- **НПАОП 0.00-1.28-10** – Правила охорони праці під час експлуатації електроустановок.

5. Пожежна безпека

Пожежна безпека є одним із ключових аспектів охорони праці на фармацевтичному заводі. Враховуючи, що на виробництві використовуються різноманітні легкозаймісті хімічні речовини, органічні розчинники, а також технологічні процеси, пов'язані з високими температурами, ризик виникнення пожеж є реальним і потенційно катастрофічним.

Пожежа на фармацевтичному підприємстві не лише загрожує життю і здоров'ю працівників, але й може призвести до знищення виробничих потужностей, втрати дорогого обладнання, контамінації продукції, забруднення навколишнього середовища та серйозних економічних збитків.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1 Джерела пожежонебезпеки

У фармацевтичному виробництві пожежі можуть виникати внаслідок:

- **Зберігання і використання легкозаймистих та вибухонебезпечних речовин** — наприклад, етанолу, ацетону, ефіру, толуолу.
- **Несправності електричного обладнання** — коротке замикання, перегрів проводки, іскріння.
- **Статичного електричного заряду** — утворення іскор під час роботи з сипучими речовинами або наливання рідин.
- **Недотримання температурного режиму** — перегрів реакторів, термостатів, сушарок.
- **Людського фактора** — куріння у заборонених місцях, використання несправних приладів, порушення інструкцій.

5.2 Основні принципи забезпечення пожежної безпеки

З метою запобігання пожежам на фармзаводі повинні впроваджуватися такі принципи:

1. **Принцип попередження** — запобігання умовам, які можуть призвести до займання: контроль над джерелами відкритого полум'я, високих температур, іскор, а також мінімізація обсягів зберігання займистих речовин.
2. **Принцип локалізації** — проєктування виробничих зон із протипожежними бар'єрами, розміщення пожежонебезпечних матеріалів у спеціальних приміщеннях (з іскробезпечним обладнанням, вентиляцією, термодатчиками).
3. **Принцип виявлення та реагування** — оснащення всіх приміщень системами раннього виявлення пожежі (датчики диму, тепла, вогню), тривожними кнопками та автоматичними сигналізаціями.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. **Принцип готовності до гасіння** — наявність вогнегасників, спринклерних систем, порошкових установок, пожежних щитів, систем водопостачання, інструкцій для швидкого реагування.
5. **Принцип навчання та підготовки персоналу** — постійне підвищення рівня знань працівників щодо пожежної безпеки: інструктажі, тренінги, евакуаційні навчання.

5.3 Протипожежне обладнання

Усі фармацевтичні підприємства повинні бути оснащені такими засобами:

- автоматичними системами пожежогасіння (вологі, сухі, пінні, газові);
- системами димовидалення та надлишкового тиску в евакуаційних шляхах;
- переносними вогнегасниками різного типу (вуглекислотні, порошкові, водяні);
- датчиками задимлення, температури, іскри;
- протипожежними дверима та евакуаційними знаками;
- централізованою системою оповіщення та зв'язку.

5.4 Евакуація

На кожному заводі повинна бути:

- **детально розроблена схема евакуації** з усіх приміщень;
- **резервні виходи**, що не блокуються і не замикаються зсередини;
- **тренінги для працівників**, включно з евакуаційними "сценаріями" — наприклад, що робити у разі пожежі в лабораторії, чи як діяти при загорянні на складі сировини;
- **лічильники присутніх працівників**, щоб можна було проконтролювати, чи всі залишили небезпечну зону.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПISKA	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нормативні документи:

- **Правила пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2004).**
- **Кодекс цивільного захисту України (ЗУ №5403-VI).**
- **ДСТУ EN 13501-1:2016** – Класифікація будівельних матеріалів за реакцією на вогонь.
- **ДБН В.1.1-7:2016** – Пожежна безпека об'єктів.
- **Інструкція з пожежної безпеки на підприємстві** – розробляється локально.

6. Захист від шуму

Шум — це один із поширених, але часто недооцінених факторів виробничого середовища, що має серйозний вплив на здоров'я працівників. У фармацевтичному виробництві, де використовуються потужні механізми, пресове та змішувальне обладнання, компресори, системи вентиляції, шумове навантаження може перевищувати допустимі санітарні норми.

6.1 Джерела шуму на фармацевтичному заводі

Шум виникає внаслідок роботи:

- таблетпресів, грануляторів, фільтрувальних установок;
- високошвидкісних змішувачів, центрифуг;
- насосів, компресорів, охолоджувальних систем;
- пакувальних ліній;
- вентиляційних та фільтраційних установок;
- засобів транспортування (конвеєри, ліфти).

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

~~Нерідко шум досягає рівня 85-95 дБ і більше, що може спричинити втрату слуху при тривалому впливі.~~

6.2 Наслідки впливу шуму на працівників

1. **Фізіологічні:** втрата слуху (особливо високочастотного), дзвін у вухах, підвищення тиску, головний біль, порушення сну.
2. **Психологічні:** дратівливість, втома, зниження концентрації уваги, стрес.
3. **Професійні:** зниження точності виконання завдань, підвищення ризику аварій через нечуйність сигналів або попереджень.

Постійний вплив шуму вище 80 дБ потребує організаційних і технічних заходів.

6.3 Нормативи шуму

В Україні та Європі встановлені гранично допустимі рівні шуму на робочому місці:

- **80 дБ** — гранично допустимий рівень шуму при тривалій роботі.
 - **85 дБ і більше** — вимагає застосування індивідуального захисту слуху.
 - **100 дБ і вище** — дозволена лише короткочасна робота з використанням ЗІЗ.
-

6.4 Технічні та організаційні заходи захисту

Технічні:

- встановлення **звукоізоляційних кожухів** на шумних машинах;
- використання **глушників** на вентиляційних каналах і компресорах;
- монтаж **віброізоляційних платформ** для обладнання;
- проектування цехів з урахуванням **акустичного зонування**;

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- **віддалене управління** або автоматизація обладнання для мінімізації присутності працівників поруч.

Організаційні:

- **обмеження часу перебування** у шумних зонах (графіки зміни);
- впровадження **ротації працівників** між шумними та тихими ділянками;
- **щорічні аудіометричні перевірки** слуху персоналу;
- **звукові моніторингові системи** на об'єкті для постійного контролю рівня шуму;
- **попереджувальні таблички** у зонах підвищеного шуму.

Індивідуальні:

- **використання берушів або навушників** з активним поглинанням шуму;
- застосування **шоломів із шумоізоляцією**;

. Нормативні документи:

- **ДСН 3.3.6.037-99** – Державні санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях.
- **ГОСТ 12.1.003-83** – Шум. Загальні вимоги безпеки.
- **ДСТУ ISO 9612:2017** – Визначення впливу шуму на робочих місцях.
- **ДСП 3.3.6.039-99** – Санітарні норми та вимоги щодо вібрації.
- **Використання ЗІЗ (навушники, амортизуючі основи, шумоізоляція устаткування)** – відповідно до ISO 4869.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Фармацевтична енциклопедія – Зворотній осмос – <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/1586/zvorotnij-osmos>
3. J.S. Vrouwenvelder, J.W.N.M. Kappelhof, S.G.J. Heijman, J.C. Schippers and D. Van der Kooij, Tools for fouling diagnosis of NF and RO mem-branes and assessment of the fouling potential of feed water, *Desalination*, 157 (2003) 361–365
4. Шевчук В.А., Скиба М.І. *Основи проектування систем очищення води.* — Львів: Видавництво ЛНУ, 2018. — 275 с.
5. **ДСТУ ISO 3696:2003** Вода для лабораторного аналізу. Вимоги до якості.
6. **IONPURE LX-III.** Product Manual. — Evoqua Water Technologies, 2022.
7. Піскунов А.Ф., Белов С.А. *Мембранні технології у водопідготовці.* — Харків: ХНУ, 2020. — 198 с.
8. **Фармакопея Європейська**, 10.0 видання. — Страсбург: EDQM, 2019.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У ході виконання дипломного проєкту було здійснено повноцінне техніко-технологічне обґрунтування модернізації системи водоочищення для потреб фармацевтичного підприємства АТ «Фармак». Проаналізовано сучасні вимоги до якості води для лікарських засобів відповідно до європейських фармакопейних стандартів, а також розглянуто недоліки традиційних технологій водопідготовки в умовах зростання вимог до екологічності та стабільності якості очищеної води.

У результаті детального аналізу було розроблено та запропоновано вдосконалену технологічну схему, яка включає ключові етапи: механічну фільтрацію, катіонообмін, зворотний осмос, ультрафіолетову дезінфекцію та — як основне нововведення — електродеіонізацію, яка забезпечує підвищений ступінь очистки без використання хімічних реагентів для регенерації. Завдяки цьому вдалося забезпечити стабільну якість високоочищеної води з мінімальними коливаннями провідності та вмісту залишкових іонів.

Проведені гідравлічні та технологічні розрахунки підтвердили ефективність і доцільність обраного обладнання, зокрема системи зворотного осмосу EcoSoft MO-24 та модуля електродеіонізації IONPURE LX-HI. Було визначено витрати води на робочі та регенераційні процеси, що дозволило оцінити економічну доцільність модернізації з урахуванням витрат енергоресурсів і зменшення обсягів стічних вод.

Архітектурно-планувальні рішення забезпечили ефективне розміщення обладнання у приміщенні площею 96×36 м з урахуванням зручності експлуатації, обслуговування та відповідності санітарно-будівельним нормам. У роботі також приділено увагу питанням охорони праці та екологічної безпеки, що є обов'язковими для підприємств фармацевтичної галузі.

Таким чином, виконаний проєкт демонструє комплексний підхід до проєктування системи очищення води, поєднуючи сучасні технології, відповідність нормативам та практичну ефективність у промислових умовах. Запропонована схема може бути впроваджена на підприємстві як енергоефективне, екологічно безпечне та технологічно виправдане рішення з підготовки води фармакопейної якості.

					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

