

Имя пользователя:
Баранюк Александр Володимирович

ID проверки:
1011548924

Дата проверки:
12.06.2022 09:36:57 EEST

Тип проверки:
Doc vs Internet + Library

Дата отчета:
12.06.2022 09:42:42 EEST

ID пользователя:
100007114

Название файла: TYa82-Kurnik-diploma-2022

Количество страниц: 31 Количество слов: 5340 Количество символов: 41093 Размер файла: 859.27 KB ID файла: 1011420949

3.8% Совпадения

Наибольшее совпадение: 1.4% с источником из Библиотеки (ID файла: 1000051958)

2.4% Источники из Интернета 120 Страница 33

3.18% Источники из Библиотеки 183 Страница 34

0% Цитат

Исключение цитат выключено

Исключение списка библиографических ссылок выключено

0% Исключений

Нет исключенных источников

Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы 14

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Теплоенергетичний факультет
Кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики

До захисту допущено:
Завідувач кафедри

Валерій ТУЗ

“ ” 2022 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою *Атомні електричні станції*

спеціальності *143 Атомна енергетика*

на тему: *Реакторна установка ВВЕР-440 з потужністю 470 МВт
зі збагаченням 58%*

Виконав (-ла): студент (-ка) *4* курсу, групи *ТЯ-82*

Курник Андрій Віталійович

(прізвище ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник

к.т.н., доц. Коньшин В.І.

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

Консультант:

з питань охорони праці *к.т.н., доц. Сергій Каштанов*

(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент

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

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

Студент

(підпис)

Київ - 2022 року

МЕМБРАННІ МЕТОДИ ОЧИСТКИ ДОДАТКОВОЇ ВОДИ НА АЕС

3.1 Актуальність роботи

Атомна енергетика є найбільш перспективним джерелом енергії в плані розвитку енергетики. Хоча й більшість європейських країн відмовляються від енергії мирного атому, посилаючись на забруднення навколишнього середовища, атомна енергетика є на порядок більш екологічною в порівнянні тих самих ТЕС. Навіть так звана «зелена енергетика» має великий вплив на забруднення навколишнього середовища, яке проявляється в основному під час будівництва, виготовлення апаратів та деталей того чи іншого джерела. Безсумнівно, наслідки аварії на ЧАЕС, катастрофа на Фукусімі не можуть бути забутими. Слід проаналізувати та отримати правильні висновки, для запобігання катастроф в подальшому майбутньому. Проте, відвернутись від енергії атому теж не вірно. Слід розвивати технологію, так як ядерна енергетика забезпечує лише 16-18% річного виробництва в світі. Лідером в списку використання атомної енергії є Франція, де виробництво електроенергії становить 74%.

На території України використовують один вид атомних електростанцій різної потужності: ВВЕР-440 МВт, ВВЕР-1000 МВт. За конструктивним виконанням вони є корпусними, за компонованням обладнання – петлеві, призначені для вироблення електричної енергії. Дані електростанції є двох контурними, тобто теплоносій першого контуру, який відбирає теплоту від реактора тим самим охолоджуючи АЗ, передає теплову енергію теплоносію другого контуру, який в ПГ перетворюється на робоче тіло – пар з певними заданими характеристиками. Ця пара через ГПК подається на турбоагрегат, в якому кінетична енергія потоку пари перетворюється в механічну, шляхом обертання ротора отримують кінетичну енергію потоку пари та перетворює її на механічну, шляхом сприйняття її лопатками ротора та передачі обертового моменту на сам ротор. Для економічності, використану пару не викидують в атмосферу. Її подають на конденсатор, де вона змінює свій агрегатний стан та стає рідиною, яку знову подадуть в ПГ для її перетворення в пар. Цикл замикають.

Для охолодження не лише конденсатору, а й всього обладнання в машинному залі, яке його потребує, використовують ЦС. Вода циркуляційної системи охолоджує всі необхідні апарати, включаючи важливий елемент другої контури – конденсатор. Охолодження ЦВ відбувається шляхом розпилення її в об'ємі градирень, де вона з прямим контактом протитічного потоку атмосферного повітря охолоджується. Під час цього охолодження відбуваються великі втрати води, які слід компенсувати. Компенсування відбувається шляхом внесення додаткової води. Взагалі, витрати ЦВ відбуваються не лише під час охолодження води в градирні. Слід враховувати й різноманітні протічки та втрати під час міжфазового переходу. Конденсатор є найбільш яскравим прикладом. Повертаючись до додаткової води, для прикладу, на РАЕС додаткову воду підготовлюють шляхом попередньої очистки: видалення грубодисперсних і коагульованих колоїдних домішок за допомогою прояснювача. В ньому відбуваються такі процеси, як коагуляція та вапнування. Ця попередньо оброблена вода спрямовується далі на установку глибокого її знесолення шляхом іонного обміну. Сутність іонного обміну полягає в здатності іонів змінювати в потрібному напрямку іонний склад домішок води. Слід підкреслити, що при цьому іони одного виду вибираються з розчину на іоніт, з іоніту в розчин переходять, так звані, обмінні іони. Для пом'якшення води застосовують Na-катіонування, під час чого з води вибираються лише катіони Ca^{2+} і Mg^{2+} в обмін на еквівалентну кількість Na^+ . Процес хімічного знесолення являє собою послідовне виконання двох технологічних процесів: H-катіонування та OH-аніонування. В процесі H-катіонування з води вилучаються всі катіони домішок в обмін на еквівалентну кількість катіонів H^+ . Під час процесу OH-аніонування з води вилучається аніони домішок, в обмін на еквівалентну кількість аніонів OH^- , які поєднуються з катіонами OH^- утворюють молекули води. Для знесолення та очистки води від кремнію, застосовують фільтри змішаної дії (ФЗД). Вони завантажені високоосновним аніонітом «АВ-17-8» та сильнокислотним катіонітом «КУ-2-8». Після їхньої регенерації розчином лугу і кислоти, відповідно, ретельно перемішуються шляхом подачі повітря в фільтр знизу вгору. При пропусканні через фільтр обробленої води зверху вниз відбувається досить глибоке знесолення

води, завдяки проходженню середовищем безлічі ступенів Н-катіонування і ОН-аніонування.

Глибоке знесолення води можна одержати, реалізувавши триступеневу схему глибокого знесолення води:



Рисунок 3.1 – Триступенева схема глибокого знесолення води

1. Ступінь: Н-катіонітовий фільтр, завантажений сильнокислотним катіоном. Тут з води витягується велика частина катіонів домішок в обмін на катіони H^+ . З фільтра виходить кисла вода. ОН-1 - ОН-аніонітовий фільтр, завантажений низькоосновним аніоном. Тут з води вибираються аніони сильних кислот (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) в обмін на еквівалентну кількість аніонів OH^- .
2. Ступінь: Н-катіонітовий фільтр. На цьому етапі видаляються майже всі катіони домішок в обмін на H^+ . Оскільки природна вода містить $Ca(HCO_3)_2$, в якій Ca^{2+} замінюються на катіоніти H^+ з утворенням вугільної кислоти, і оскільки середовище кисле, то вугільна кислота (H_2CO_3) знаходиться у вигляді розчиненого вуглекислого газу (CO_2) і води (H_2O). Для видалення CO_2 слугує декарбонізатор (Д). ОН-2 – аніонітовий фільтр, що завантажений високоосновним аніоном. Тут вода позбавляється майже всіх аніонітів слабких кислот, які раніше не вступили в реакцію – аніоніти сильних кислот (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) в обмін на аніоніти OH^- .
3. Ступінь: фільтр змішаної дії (ФЗД). Завантажується високоосновним аніоном і сильнокислотним аніоном. Після ФЗД вода стає глибокознесоленою.

Існує й інший метод очищення додаткової води, а саме: мембранний. На принципі мембранного методу побудовані такі методи очистки води як: мікрофільтрація, ультрафільтрація, зворотний осмос, електродіаліз та електродеіонізація.

Основні переваги мембранного методу: безперервність роботи, екологічність, відсутність реагентного господарства, повна автоматизація процесу.

По рухомій силі процесу розподілу домішок і води, мембранні процеси розподіляють: баромембранні (зворотній осмос, нанофільтрація, ультрафільтрація, мікрофільтрація) та електромембранні (електродіаліз, електродеіонізація).

3.2 Баромембранні процеси

Суть баромембранного процесу полягає у використанні тиску для створення рухомої сили, що змушує воду проходити через мембрану, яка вловлює домішки. Такі мембрани мають назву напівпроникні. Залежно від виду баромембранного процесу, розмір пор в мембранах змінюється, а й отже характером домішок, що вловлюються. Методи очистки води показані в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Методи очистки води

Метод очистки води	Робочий тиск, МПа	Розмір пор, рейтинг фільтрації, мкм	Види забруднень	Молекулярна маса забруднень
Мікрофільтрація	0,01-0,2	0,1-1	Бактерії, колоїди, суспензії	>500 000
Ультрафільтрація	0,2-1,0	0,002-0,1	Віруси, молекули великих з'єднань	10 000-500 000
Нанофільтрація	0,5-8,0	0,002-0,001	Багатозарядні іони	300-10 000
Зворотній осмос, прямий осмос	0,5- 8,0	<0,0001	Іони	<300

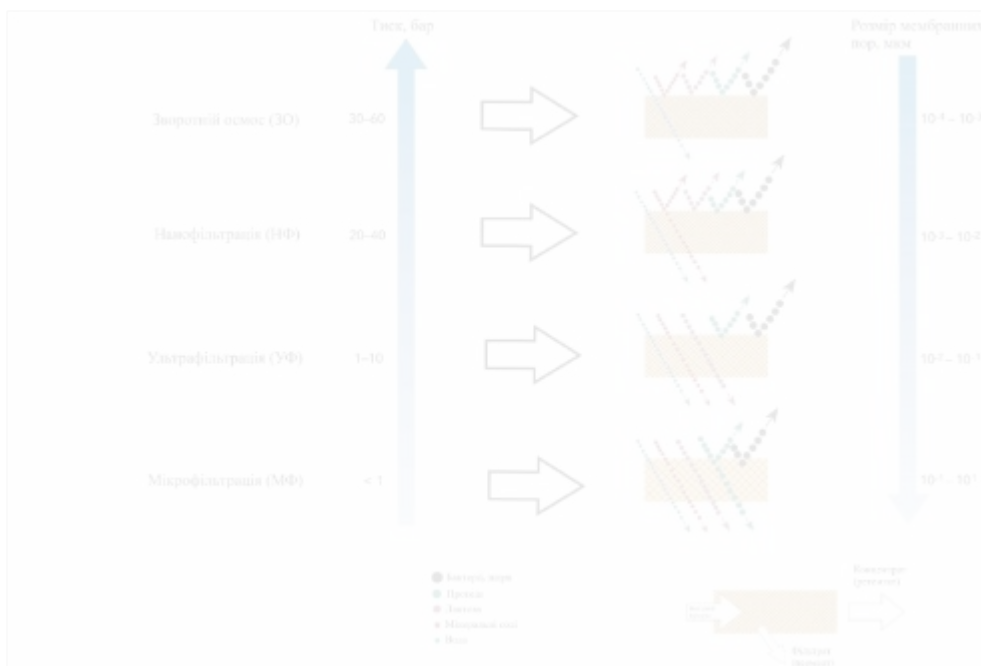


Рисунок 3.2 - Принцип мембранної фільтрації

3.2.1 Метод зворотного осмосу

Метод зворотнього осмосу дозволяє очищувати воду від органічних та неорганічних домішок.

Осмоз – процес самовільного переходу молекули води крізь напівпроникну мембрану, яка розділяє чистий розчинник та розчин електролітів.

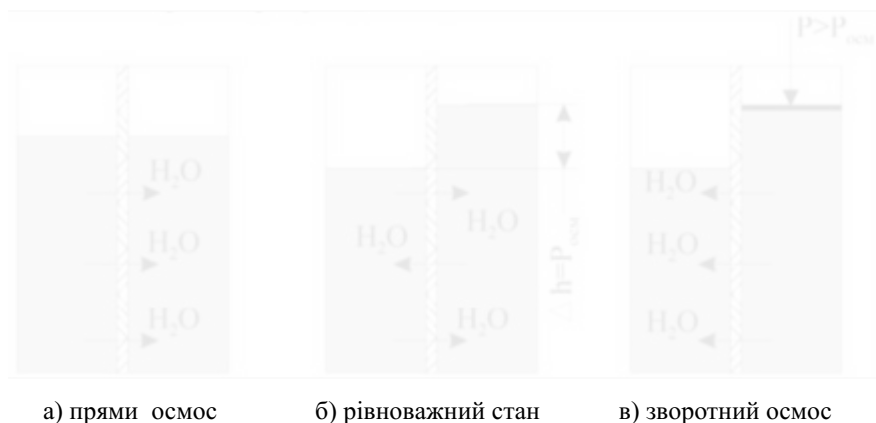


Рисунок 3.3 - Принципова схема осмотичного процесу обробки води

Принцип дії зворотного осмосу полягає у властивості напівпроникної мембрани пропускати тільки молекули води та залишати (затримувати шідратовані іони та молекули) домішки.

Якщо розділити воду та розчин в посудині такою мембраною, вода надходитиме в об'єм до розчину, що призведе до виникнення гідравлічного напору, який викликаний різним рівнем води в об'ємах. Гідравлічний напір дозволяє утворювати рівноважний стан, при якому вода протікатиме в двох напрямках, тим самим вирівнюватиме кількість молекул води в двох розділених об'ємах. Гідростатичний тиск, при якому відбуватиметься цей процес, називається осмотичним тиском. При створенні додаткового тиску зі сторони розчину відбувається перехід молекул води через мембрану з розчину в камеру з чистим розчинником. Кількість чистої води збільшується. Також збільшується концентрація домішок в розчині.

Осмотичний тиск розчинів, які за своїм складом нагадують природні води, при невеликому ступені мінералізації залишається досить значним. Найчастіше робочий тиск установок зворотного осмосу підтримується в інтервалі 5-8МПа, що призводить до зростання ціни апарату зворотного осмосу.

На теперішній час, використовують низьконапірні зворотньоосмотичні пристрої, призначення яких знесолювати солонуваті води при тиску робочого

процесу 0,5-1,5 МПа. Експлуатація при низьких параметрах тиску дозволила зменшити собівартість апарату та значно спростила його конструкцію.

Властивості мембрани в значній мірі визначають ефективність процесу зворотного осмосу. Через це до мембран висувають ряд вимог, яким вони повинні відповідати:

- мати високу роздільну (селективну) здатність;
- мати незмінну характеристику під час її використання;
- мати достатню для використання механічну міцність;
- мати низьку собівартість.

Селективність, тобто роздільна здатність так як і питома проникність мембрани залежить напряму від ряду параметрів, таких як: склад і структура мембрани, концентрація домішок води, температури, тиску, гідродинамічного навантаження на мембрану.

На практиці використовують різні типи мембран, вибір яких залежать від вимог, які висувають до мембрани, їх класифікують за:

- за формою. Це пласкі, трубчасті із зовнішнім діаметром від 0,5 до 25 мм або порожнисті із зовнішнім діаметром 0,08-0,2мм і внутрішнім діаметром 0,04-0,1;
- за структурою. Непористі (дифузійні), пористі-ізотропні, анізотропні, ізотропні, ущільнюючі, жорсткоструктурні, комбіновані;
- за технікою виготовлення. Сухе чи мокре формування, термічне желатинування;
- за матеріалами. Скло, кераміка, металева фольга, полімери, ацетати целюлози, поліаміди, полівініли і тому подібне.

Загалом, метод зворотного осмосу дозволяє очищувати воду від органічних і неорганічних забруднень та комплексно вирішувати проблему водопостачання, водоочистки та утилізації цінних відходів.

3.2.2 Нанофільтрація

Мембрана нанофільтрації, як і всі мембрани, має багатшарову структуру. Нижній шар представляє собою сітку-сепаратор. Далі накладається шар поліетиленової підкладки, після неї волокно з поліестеру і в кінці мембрана та напівпроникна мембрана. Між собою шари закріплюються по контуру.

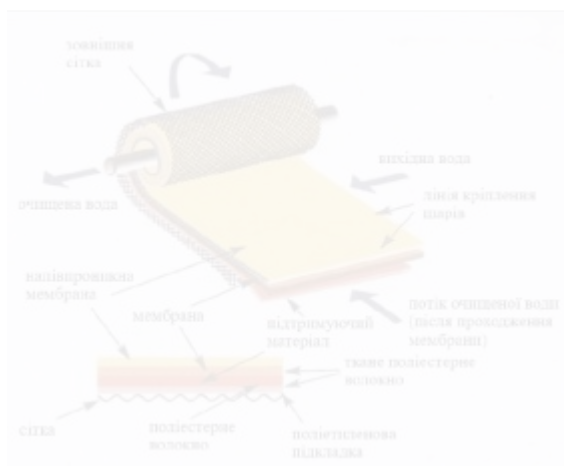


Рисунок 3.4 – Структура зворотньоосмотичної мембрани

Дані мембрани мають доволі низький розмір пор, що дозволяє утримувати багатовалентні іони та органічні речовини. Дана властивість дозволяє використовувати нанофільтрацію як перспективний метод для зниження барвності, окислення, жорсткості води. Такий метод нанофільтрації може використовуватись як самостійний метод підготовки води для підживлення теплоносія.

Серед переваг даного методу фільтрації є те, що нанофільтраційні пристрої доволі слабо схильні до забруднень осадам малорозчинних солей, а це означає, що пристрій не вимагає постійних хімічних промивок. Ця перевага сильно відокремлює нанофільтраційний метод від методу зворотного осмосу, що дозволяє їй стати більш перспективною в пом'якшенні природних вод.

3.2.3 Ультрафільтрація та мікрофільтрація

Принцип ультрафільтрації полягає в пропусканні води через мембрану, як і всі баромембранні технології. Особливістю даного методу полягає в тому, що при його використанні процес фільтрації не вимагає високих показників тиску, та є меншими, ніж показники тиску нанофільтрації та методу зворотного осмосу. Ультрафільтраційна мембрана затримує колоїдні частинки, бактерії, віруси та високомолекулярні органічні з'єднання, проте в порівнянні з нанофільтрацією та зворотнім осмосом, цей метод пропускає молекули всіх розчинених солей. При додаванні перед ультрафільтрацією флокулянта дозволить збільшити важкі для фільтрації невеликі органічні молекули, такі як таніни, гумінові молекули, фульвокислоти, які додають воді жовтого відтінку. При зв'язку з флокулянтами, ці молекули легко затримуються ультрафільтраційною мембраною.

Під час використання фільтрації, мембранні пори заповнюються відкладенням концентрованого шлаку. Це вимагає очищення, шляхом промивки зворотнім потоком очищеної води, що вимагає більший тиск, ніж робочий.

При використанні мікрофільтрації застосовують капілярні мембрани, розмір пор яких становить 0,1-1 мкм. Дані мембрани дозволяють затримувати бактерії, частково колоїдні речовини.

Дані технології, а саме: мікро- та ультрафільтрація є чудовим рішенням та гарною альтернативою застарілим технологіям прояснюючих фільтрів.

В системах з трубчатими волокнами можливо використовувати два принципи фільтрації: «з середини - на зовні» та «ззовні – в середину». У випадку принципу «ззовні – в середину», вода подається ззовні волокон, під тиском продавлюється всередину. Під час цього процесу колоїдні частинки залишаються ззовні, а очищена вона залишається всередині волокон. При використанні принципу «з середини - на зовні», процес є оберненим - очищена вода залишається ззовні, частинки - залишається всередині волокон. В якості мембранних матеріалів використовують полівініліденфторид, полісульфони, поліпропілен, поліетилен, ацетатцелюлоза, поліефірсульфони та поліакрилонітрил. Популярність має полівініліденфторид та поліакрилонітрил.

Фільтрація може відбуватись при різних режимах: тупиковий, тангенціальний. Тупиковий режим представляє собою процес під час його вся вода, яка подається в модулі, проходить через мембрану. Тангенціальний режим схожий по принципу як у рулонних модулів.

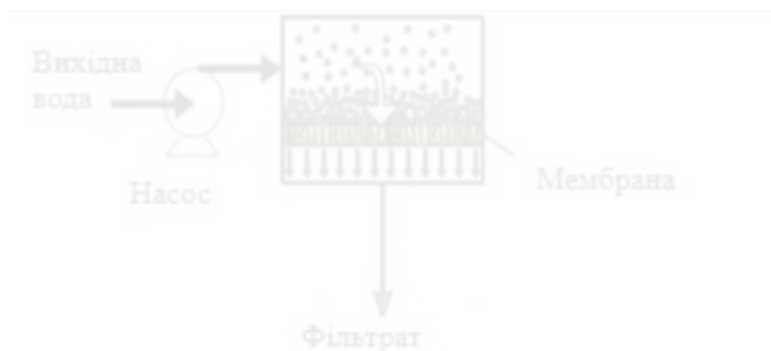


Рисунок 3.5 – Принципова схема тупикового режиму фільтрації



Рисунок 3.6 – Принципова схема тангенціального режиму фільтрації

Наполовину волокняні мембрани періодично промиваються для запобігання міцного забруднення осадам. Частота цих промивок залежить від питомої продуктивності та від якості початкової води. Принципова схема промивок мембран зображена на рисунку В.7. Для додаткової очистки в ряді систем під час промивки подають хімічні реагенти та повітря, наприклад кислоти, луги та гіпохлорид натрію.

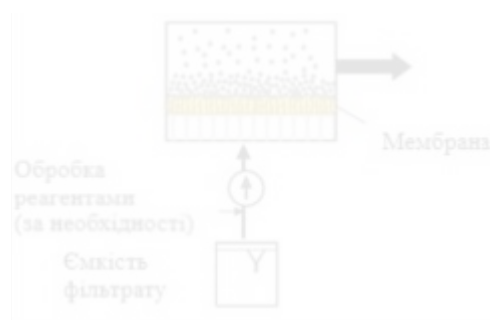


Рисунок 3.7 – Принципова схеми промивки мембран

На сьогодні розроблена технологія тупикової ультрафільтрації яка використовує капілярні мембрани. Головні переваги такої технології: висока гідравлічна проникність та механічна міцність, які дозволяють застосувати їх перед використанням установок зворотного осмосу або ж іонного обміну, які працюють за протічними технологіями. Даний апарат, який виконує попередню підготовку води потребує значно менших витрат на експлуатацію обладнання, його монтаж, відводу шлама, що утворюється, не потребує безперервного дозування хімічних реагентів, та легко піддається автоматизації. Аналіз якості очищення води по зваженим речовинам, кремнекислоті та органічним домішкам покаже високий результат.

Для атомних електричних станцій мембранні технології можуть знайти використання в схемах очистки всіх видів конденсатів, стічних вод і тому подібне.

На рівні з капілярними мембранними модулями для мікрофільтрації та ультрафільтрації можуть використовуватись й рулонні мембранні модулі. Конструкційно рулонні мембранні модулі представляють собою плоскі мембрани

які у вигляді пакетів обгорнуті навколо трубок відводу пермеату та утворюють

щільні канали. Найчастіше в таких модулях використовують полісульфонні мембрани, які виконані із склопластику, розміщені в напірних корпусах. Початкова вода під тиском 0,15-0,7 МПа поступає в напірний канал рулонного модуля, який утворюється сіткою-сепаратором, з двох сторін обмежений сусідніми плоскими мембранами. Для запобігання осадового утворення на мембрані, в каналі підтримується висока швидкість та турбулентний режим течії. Пермеат, що пройшов через мембрану, по спіралі між мембранами одного пакету протікає по шару дренажного матеріалу і попадає в трубку для відводу пермеату, по якій він покидає модуль.

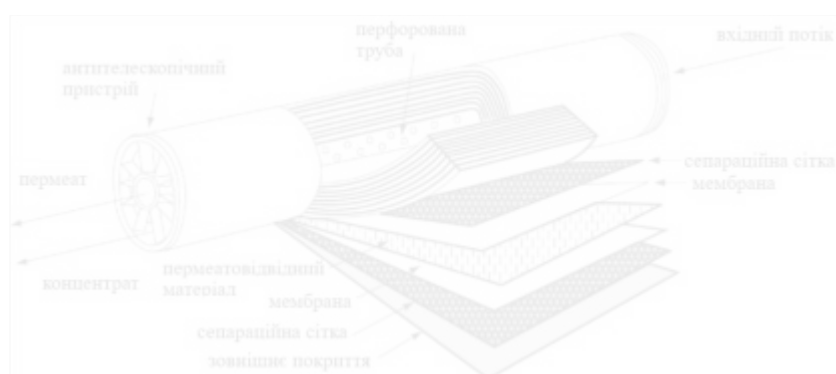


Рисунок 3.8 – Конструкція мембранного пакету

Особливою рисою рулонних модулів є неможливість промити модуль зворотнім потоком через їхню конструкцію. Цьому запобігають наявність клейових швів, високий опір дренажного матеріалу. Для промивки апаратів, що використовують рулонні модулі, проводять процедуру безрозбірного хімічного МИТТЯ.

3.3 Мембранні апарати і установки

При реалізації мембранних методів визначальними моментами є розробка та виготовлення напівпроникних мембран, які відповідають наступним вимогам:

- висока роздільна здатність (селективність);

- хімічна стійкість до дії компонентів роздільної системи;
- незмінність характеристик в процесі експлуатації;
- запас міцності, який відповідає вимогам монтажу, транспортування та зберігання мембран;
- низька вартість.

Ацетилцелюлозні мембрани характеризуються високою питомою продуктивністю. Мембрани підрозділяються на трубчасті, листові (спірально згорнуті) та виконані у вигляді порожніх волокон.

Мембрани, що виконані з поліаміду, мають нижчу питому продуктивність. Вони виконані у вигляді рулонних елементів, що дозволяє створити максимальну площу поверхні на одиницю об'єму, яка більша близько в 15 разів у порівнянні з елементами в плоских конструкціях. До того ж поліамідні мембрани дуже стабільні по відношенню до хімічного та біологічного впливу. Дана властивість забезпечує більший термін використання, ніж у ацетилцелюлозних мембранах.

Сучасні зворотньоосматичні мембрани є композитними – виконані з декількох шарів. Товщина шару, що визначає селективність мембрани, не перевищує 1 мкм. Загальна товщина – 10-150 мкм.

З практичної точки зору найбільш важливими показниками процесу є: коефіцієнт затримання розчиненої речовини (селективність) та продуктивність (об'ємний потік) через мембрану.

Коефіцієнт затримання розчиненої речовини розраховується як:

$$R = 1 - c''/c' \text{ або } R = (1 - c''/c') \cdot 100\%$$

Продуктивність:

$$J_v = \Delta q / S \Delta t$$

де: c'' і c' – концентрація розчиненої речовини в початковому розчині і у фільтрі відповідно;

S – площа мембрани;

Δt – час проходження;

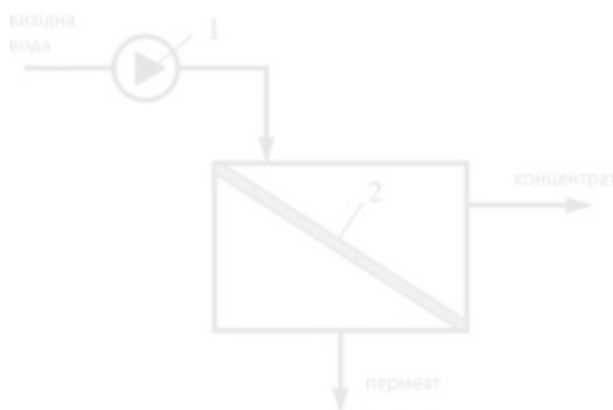
Δq – об'єм фільтрату, який пройшов через мембрану площею S за проміжок часу Δt .

Два цих параметри неоднозначно характеризують напівпроникні властивості мембран, через те, що в значній мірі залежать від умов процесу, тобто від тиску, температури, гідродинамічного впливу і тому подібне.

Основний загальний недолік мембран є їхня низька продуктивність. Через низьку продуктивність слід збільшити габарити установки, для забезпечення компактності пристрою довелось розробити спеціальні конструкції роздільних елементів із щільним розташуванням мембран.

Елемент – одинична конструкція з додаткових матеріалів, комплектуючих деталей, мембрани, яка необхідна для проведення роздільного зворотньоосматичного процесу.

Модуль представляє собою збірку з одного або декількох елементів, яка має штуцери для підводу початкової води та відводу для концентрату та пермеату.



1–насос; 2-мембрана зворотнього осмосу.

Рисунок 3.9 – Принципова схема мембранного модуля

Компактно розташована в певному геометричному порядку система модулів являє собою мембранний апарат, що забезпечує задану продуктивність, модулі якого об'єднані єдиною гідравлічною системою.

Пристрій, що призначений для створення барометричних процесів, повинен мати велику поверхню мембран в одиниці об'єму пристрою. Також слід віднести простоту збірки та монтажу для легкої періодичної заміни мембран. При русі по секціям і елементам пристрою рідина повинна рівномірно розподілятися над поверхнею мембрани і мати достатньо високу швидкість течії для зменшення впливу концентраційної поляризації. Перепад тиску повинен бути невеликим. Необхідне виконання всіх вимог, які пов'язані з роботою апарату при збільшених тисках: забезпечення механічного запасу міцності, герметичності і т.д.

На практиці, створення апарату, який в повному обсязі зміг би задовольнити всі вимоги, майже неможливе. Через це для кожного конкретного процесу розділення слід вибирати конструкцію, яка забезпечить найбільш вигідні умови проведення саме цього процесу. Апарати розділяють по способу розташування мембран на чотири основних типи:

- «фільтр-прес» із плоскокамерними фільтруючими елементами;
- з трубчатими фільтруючими елементами;
- з рулонними або спіральними фільтруючими елементами;
- з мембранами у вигляді порожніх волокон.

Плоскокамерний фільтруючий елемент складається з двох пласких мембран між якими відстань сягає близько 1,5-5,0 мм. Між пласкими мембранами знаходиться сітчатий або пористий дренажний матеріал. Щільність розташування мембран – це поверхня, яка припадає на одиницю об'єму апарату. Її значення є невисокою і сягає близько 60-300 м²/м³. Через малу щільність розташування мембран апарати такого типу мають малу продуктивність та використовуються там, де нема потреби у високій демінералізації.

Трубчатий пристрій представляє собою збірку з пористих трубок діаметром 5- 20 мм. Внутрішню або зовнішню поверхню трубки покривають матеріалом, який слугує мембраною. Щільність такої упаковки в даному типі апаратів є також невеликою: 60-200 м²/м³.

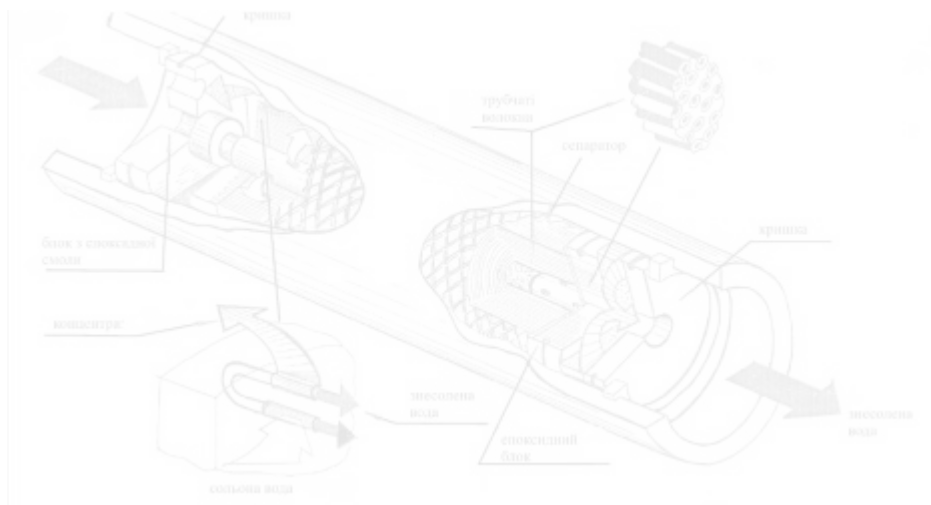


Рисунок 3.10 – Схема трубчатого устройства

Рулонный або спіральний фільтруючий елемент має вигляд пакету, три кромки якого герметичні, а четверта кріпиться до перфорованої трубки для відводу очищеної води – пермеату (фільтрату). Навколо трубки накручуються пакети разом із сітками. Вода, що обробляється рухається в поступальному напрямку по міжмембранним каналам, в той же час пермеат направляється у відповідну трубку. Щільність упаковки є досить великою, близько $300-800 \text{ м}^2/\text{м}^3$, проте через складність у виготовленні такий тип розташування мембран використовують на середніх та великих підприємствах.

Волоконний мембранний елемент представляє собою порожнє волокно. Пристрій має вигляд циліндру, який заповнений пучком пористих волокон, зовнішній діаметр який сягає близько $80-100 \text{ мкм}$, товщина стінки – $15-30 \text{ мкм}$. Зовнішня поверхня волокон омивається водою, що обробляється, а по внутрішньому каналу виводиться пермеат. Даний тип апаратів широко використовується в опріснювальних установках через вагомую перевагу: велика щільність упаковки - $20000 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Установки вміщують в собі велику кількість уніфікованих фільтруючих елементів або модулів, які між собою з'єднуються в батареї по певні схемі. Це дозволяє легко нарощувати їх до любої продуктивності.

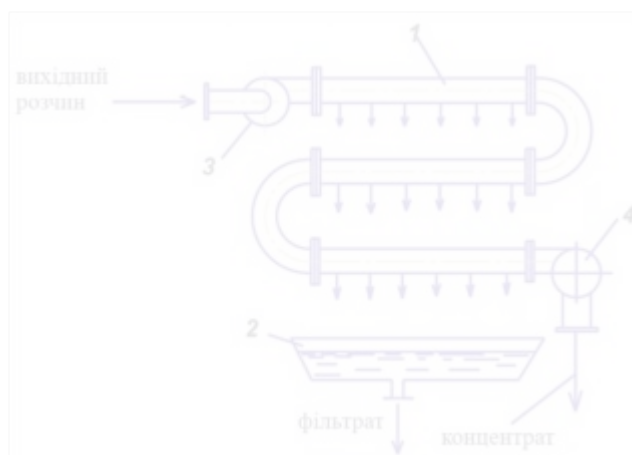
Найпростіший варіант являє собою паралельну збірку. В даному випадку всі модулі знаходяться в однакових умовах, тобто при однаковому тиску та коефіцієнті виходу фільтрату. Два манометри розміщують на вході та на виході установки. Вони забезпечують можливість безперервного виміру та регулювання перепадів тиску в системі. Два витратоміри використовують для вимірювання витрат води, що оброблюється і концентрату, який характеризує коефіцієнт виходу фільтрату, що регулюється двома клапанами. Така система придатна для багатьох установок з низькою продуктивністю.



1 – бак вихідної води; 2 – насос; 3 – мембранный елемент; 4 – бак чистої води

Рисунок 3.11 - Схема паралельного розміщення модулів

Використовують й інші схеми установок. Послідовне розміщення модулів дозволяє збільшити коефіцієнт виходу фільтрату. Його суть полягає в тому, що розчин концентрату в першій ступені слугує початковою водою для другої ступені. Так як тиск на виході з першої ступені незначно відрізняється від тиску на впуску в другу ступінь (втрати напору складають 0,2-0,3 МПа), проміжний насос не потребується. Дані системи зазвичай мають назву «ступінчатий концентратор». Вони здатні без помітного збільшення коефіцієнта поляризації забезпечувати коефіцієнт виходу фільтрату близько 70-90%, в залежності від кількості ступенів (для двох або триступеневої установки).



1 – мембранный элемент; 2 – водозборная емкость; 3 – насос; 4 – дроссель

Рисунок 3.12 – Схема последовательного размещения модулей

У випадках виробництва ультрачистої води, може використовуватись двохступенева обробка води з використанням насосу. Очищена вода після першої ступені подається насосом на другу ступінь, де вона повторно знесолюється, тим самим досягає більш глибокого ступеня демінералізації.

Економічність спорудження оптимізується також за рахунок включення апаратів послідовно, за рахунок рециркуляції і пермеату, і концентрату - змішування того чи іншого потоку з початковою водою.

3.4 Забруднення мембран при експлуатації

При роботі мембранних установок відбувається плавне зниження їхньої продуктивності, яке пояснюється забрудненням мембран відкладенням солей і мікрочастинками, які утворились на поверхні. Це особливо помітно при порушенні розрахункового режиму експлуатації мембранної установки або ж системи попередньої очистки. Щільний осад на поверхні мембрани створює бар'єр, який перешкоджає підводу оброблюваної води до напівпроникної мембрани. Це напряму впливає на продуктивність мембрани. Так як товщина пограничного шару

збільшується на товщину осаду при забрудненні поверхні мембрани, в апараті інтенсивно розвивається концентраційна поляризація. Бактерії можуть відновлювати сульфати, які присутні в оброблюваній воді, до сірководню, викликаючи при підкисленні води перехід H_2S в фільтрат та погіршення його органолептичних властивостей. Продукти життя мікроорганізмів також можуть викликати появу непріємного присмаку та запаху фільтрату через часткове проникнення через мембрану. Особливо помітно це при періодичному функціонуванню зворотньоосматичних установок.

Сучасні мембрани як зворотньоосматичні так і ультрафільтраційні, найчастіше, мають багат шарову структуру на основі напівсифону. Такий селективний композит має, як правило, від'ємний поверхневий заряд. Це пояснює чому органічні молекули ефективно адсорбуються на поверхні мембран. Тому основна проблема експлуатації мембранних пристроїв пов'язана із відкладеннями малорозчинних солей, зважених, колоїдних та органічних з'єднань на поверхні мембран.

Хоча вода й очищається від органічних, біологічних та колоїдних забруднень, за рахунок ефективності мембранних процесів очистки, серйозні побоювання викликають саме наявність цих забруднень у воді та їхній вплив, які погіршують працездатність мембран.

Пом'якшення або дозування антискалantu – один із методів запобігання солей на мембрані.

Антискалantu представляє собою хімічну речовину, основою якої є органічні зв'язки, зазвичай це фосфонати та дисперсанти. Ці зв'язки мають здатність підтримувати концентровані солі в розчині при низьких концентраціях та забезпечувати ефективний злив з поверхні мембрани, іншими словами - забезпечують чистоту пор та самих мембран.

Конструктивне виконання мембранних елементів також вносить свій внесок у їх забруднення. Останнім часом почали використовувати пристрої з капілярними (пористоволоконними) та трубчатими мембранами. Їхня особливість полягає у відсутності в потребі хімічних реагентів для промивки та попередньої очистки ВОДИ.

Дана конструкція мембран забезпечує найбільш ефективну промивку та менш схильна до забруднень.

Необхідність ретельної попередньої очистки призводить до високих витрат. Ці витрати виражаються недосконалістю існуючих мембран а не процесом мембранного переносу, як могло здатись на перший погляд.

Основні переваги мембранних процесів:

- висока якість води, яка не залежить від сезонних коливань якості води з джерела;
- за рахунок розвинутої поверхні фільтрування, технологічні апарати досягли компактності;
- низька витрата води та електричної енергії на власні потреби.

Зменшити кількість реагентів на 90%, таких як: луги, кислоти, кухонна сіль, дозволяє використання методу зворотного осмосу при підготовці живильної води енергетичних котлів. І одночасно з цим дозволяє позбавитись від стічних вод, які можуть вміщувати в собі ці реагенти.

Сучасні мембрани зворотного осмосу здатні затримувати також органічні речовини, силікати. Дана особливість особливо актуальна для збільшення надійності експлуатації потужних енергетичних котлів.

3.5 Електромембранні процеси

Різниця потенціалів – основний принцип, на якому базується процеси електродіалізу та електродеіонізації. За допомогою цього відбувається видалення з води, що оброблюється, солей та інших іонізованих речовин. Основна відмінність від баромембранних процесів, суть яких полягає в проходженні через мембрану молекул води та перешкодженню перетіканню домішків, в електромембранних процесах мембрана навпаки – є непроникною для молекул води.

3.5.1 Електродіаліз

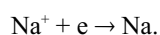
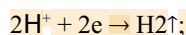
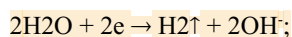
Процес видалення із розчину іонів розчинених речовин в полі постійного струму, шляхом вибіркового переносу їх через мембрани, які є селективними до цих іонів називають електродіаліз.

При надто малих значень концентрації іонів солі, менших від 0,5 г/л, провідність розчину падає, до того ж зменшується ефективність використання електроенергії. При великих значень концентрації, більших від 10 г/л, процес стає не вигідним через істотний зріст енергетичних витрат – витрачена електрична енергія пропорційна кількості видалених іонів. Тому область використання електродіалізу є обмеженою і рівною близько 0,5-10 г/л. Незважаючи на це, електродіаліз використовується в схемах очистки стічних вод та для опріснювання морських вод.

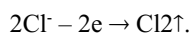
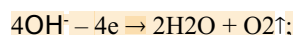
Звичайний апарат для електродіалізу здатен опріснити воду до декількох десятків мг/л та отримати концентрат із вмістом солей до 35г/л.

При направленні постійного електричного струму на розчин, виникає направлений рух іонів H^+ , OH^- та іонів розчинених солей. Катіони рухаються до катоду, аніони рухаються до аноду - у відповідності до знаку заряду.

Під час цього процесу відбувається відновлення катіонів та молекул води:



На аноді відбуваються реакції окислення аніонів:



Відділення катодного і анодного простору спеціальними розділними мембранами дозволяє понизити значення солемісту води, в порівнянні до вихідної

води. В якості роздільних мембран використовують іноселективні мембрани. Вони розділяються на катіонопроникні та аніонопроникні, які мають здатність пропускати лише катіони і аніони, відповідно. Аналізуючи вище сказане, можна висловитись, що електродіаліз представляє собою іонний обмін, проте, в даному випадку, в якості шару використовують мембрану а не шар іоніту, рухомою силою є електричний струм.

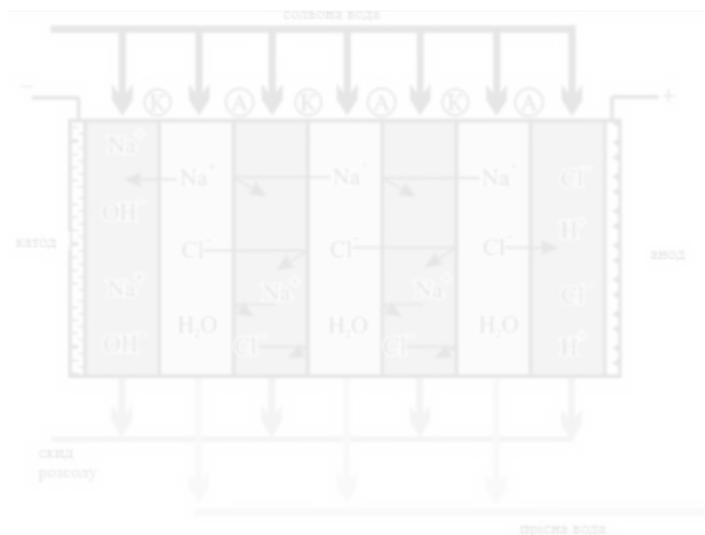


Рисунок 3.13 – Принципова схема процесу електродіалізного опріснювання

Відділений простір, утворений з однієї сторони аніонообмінною, а з іншої катіонообмінною мембранами, розділений рамками із діелектрика. При направленому русі іонів до відповідним електродам катіони, які зустрічають на своєму шляху катіонопроникну мембрану К, легко проходять через неї. В цей же час, для аніонів ці мембрани є практично непроникними. Таким же чином відбувається процес руху аніонів через аніонопроникну мембрану А. Вона є перешкодою для переміщення катіонів. Протягом якогось чітко невизначеного часу камери починають чергуватись наступним чином, а саме: вода – концентрат. Кількість концентрації та природи солей в початковій воді та фільтраті,

характеристики мембран мають великий вплив на кількість електроенергії, яка затрачається на опріснювання води.

Теоретична витрата електричної енергії, яка затрачається на опріснювання 1 м³ води обраховується за законом Фарадея:

$$Q_e^{\text{теор}} = 96491 (C_{\text{поч}} - C_{\text{обр}}), \text{ Кл}$$

або

$$Q_e^{\text{теор}} = 26,8 (C_{\text{поч}} - C_{\text{обр}}), \text{ А/год},$$

де 96491 та 26,8 – витрата електрики в (Кл) або (А/ч) відповідно, на переніс 1 г-екв солей;

$C_{\text{поч}}$, $C_{\text{обр}}$ – концентрація солей в початковій та обробленій води відповідно, г-екв/м³.

Проте, реальна витрата буде дещо вищою, в силу переносу іонів Н⁺ і ОН⁻, недостатньою селективністю мембран та поляризаційних явищ.

Мембрани є найбільш дорогими, складними та відповідальними елементами електродіалізних установок. Основні вимоги, яким повинні відповідати мембрани:

- мати високі показники селективності;
- мати малу проникність для молекул води;
- мати хороші показники електричної провідності;
- мати високий запас міцності;
- мати високу хімічну стійкість.

Класифікація електродіалізних мембран відбувається по:

- по знаку заряду матриці;
- по знаку заряду іоніта;
- по початковій речовині:
 - катіонітні;
 - аніонітні;
- по структурі та методу виготовленню:
 - гетерогенні;
 - гомогенні;

- просочувальні.

Гетерогенні мембрани представляють собою тонкодисперсний іоніт, який рівномірно розміщують в плівці інертного сполучного матеріалу.

Існує декілька способів використання таких мембран:

- сполучна речовина в порошкоподібній формі разом з тонкодисперсним іонітом змішуються та спресовуються в листи при певній температурі та тиску;
- порошкоподібний іоніт розчиняють в розчиннику і дану суміш наносять на нейлонову сітку.

Хороший обмін іонів забезпечується вмістом іоніту в мембрані >65%/

Гомогенні мембрани повністю складаються з іонітного матеріалу. Вони мають хороші електромагнітні властивості, проте механічна міцність менша, ніж у гетерогенних.

Просочувальні мембрани отримують шляхом просочування пористих листових матеріалів речовинами, які здатні проявляти іонообмінні властивості.

В наш час для опріснювання води використовують багатокамерні плоскокамерні апарати. Ці апарати являють собою мембранний пакет, що затиснули між пластинами. Той же час, ці пластини проявляють себе в ролі анода та катода. Вода, що опріснюється, паралельними потоками проходить через парні камери. Опріснена вода виводиться з іншої сторони камер. Розсіл вилучених солей циркулює через непарні камери. На аноді та катоді відбувається розрядка аніонів та гідроксил іонів, водневих іонів, відповідно, з утворенням кислотного аноліта і лужного катіоліта.

Електродіалізні установки потребують ретельного попереднього очищення води, яка використовується. Тому при експлуатації ЕДУ слід враховувати:

- зважені частки мають властивість осідати в камерах та викликати глибшу поляризацію мембран. Тому початкова вода не повинна бути очищена від них. Для їх видалення в установці використовують фільтри тонкої очистки;
- збільшення опору на установці пояснюється накопиченням шламу з часток твердої фази типу CaCO_3 , Mg(OH)_2 . Для запобігання

накопичення шламу, в залежності від якості початкової води, використовують різні підходи: періодична заміна полярності електродів в апараті, підкислювання води.

- в силу електрокоагуляції колоїдних частин можливий процес утворення твердої фази. Цей осад колоїдних частин видаляються шляхом регулювання швидкості в установці.

Отже, для створення надійної обстановки, що впливає на ефективність роботи ЕДУ, воду під час попередньої її очистки піддають коагуляції, підкисленню, освітлюванні на фільтрах тонкої очистки.

3.5.2 Електродеіонізація

Метод електродеіонізації (ЕДІ), принцип якого полягає в комбінації шарів іонообмінних та іоноселективних мембран в полі постійного електричного струму. Даний метод використовують під час остаточного знесолення води, за умови, що початкова вода представлена у вигляді пермеату зворотнього осмосу або ж подібна по якості вода, яка має низький солевміст. В даній воді присутнє велике значення електричного опору. Для проведення заключного знесолення знадобилась би значна витрата електроенергії. Тому для зменшення електричного опору міжмембранних каналів, які утворені аніоно- та катіонообмінними мембранами, їхній об'єм заповнюють змішаним шаром катіоніту та аніоніту. Схожий принцип використовують в фільтрах змішаної дії ФЗД.

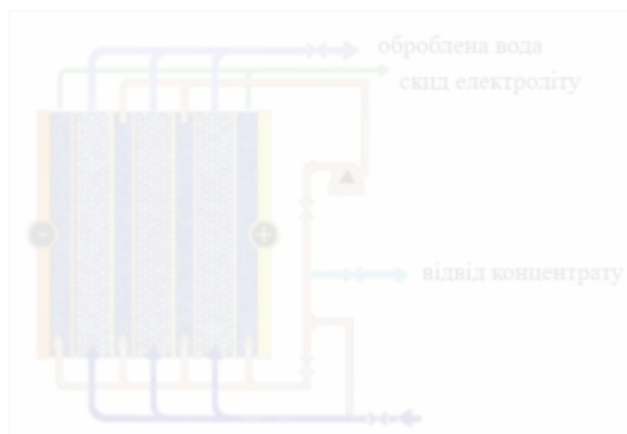


Рисунок 3.14 – Схема установки электродеионизатора

Завдяки високому значенні провідності смоли, значно знижується електричний опір, а й отже знижується і витрата електроенергії, що призводить до глибокого знесолення води. Зменшення електричного опору потоку води, що оброблюється, інтенсифікує переміщенням іонів та сприяє видаленню навіть слабоіонізуючих домішок, наприклад кремнієва кислота CO_2 .

Перехід іонів з початкової води в концентрат під час процесу ЕДІ складається з двох етапів. Перший етап представляє собою перенос іонів до зерен суміші іонообмінних смол через присутність дифузії. Під час другого етапу іони проходять по іонообмінній смолі і потім через відповідні іоноселективні мембрани за рахунок постійного струму. Слід підкреслити ще одну важливість функціонального значення смоли, яка полягає в тому, що вона сприяє розкладу молекул води на OH^- та H^+ в полі постійного струму. Це значно збільшує кількість розкладання молекул води. Іони, які утворились в процесі розпаду, а саме: OH^- та H^+ , беруть активну участь в ході постійної регенерації (відновлення) обмінних властивостей катіоніту та аніоніту. Це дозволяє зробити процес електродеіонізації безперервним та безагрегатним. Для отримання ультрачистої, глибоко знесоленої води використовують ЕДІ. Вода на виході з процесу може мати питомий електричний опір значенням до 16 МОм·см.

Необхідна кількість води, яка безперервно виводиться з контуру дозволяє запобігти нарощування концентрації іонів в контурі циркуляції до межі розчинності. Об'єм стоків є невеликим та вміщує в собі тільки ті домішки, які потрапили в ЕДІ з початковою водою, проте у великій концентрації.

3.6 Висновок

Під час процесів Na-катіонування, H-катіонування, аніонування природної води, використовують Na-катіоніт, H-катіоніт, аніоніт OH^- . Після використання даних катіонітів та аніонітів, вони стають виснаженими та вимагають регенерації, яка потребує додаткових реагентів. При цьому, деякі процеси регенерації є не простими. Після регенерації H-катіонітів, присутнє обов'язкове відмивання шару катіоніта знесолоною водою від продуктів регенерації. Після регенерації OH^- аніонітів, шар іоніту відмивається від продуктів регенерації знесолоною водою. ФЗД, які використовують для знесолення і знекремніювання води, також вимагають регенерації. Регенерація відбувається розчином лугу і кислоти, ретельно перемішуються шляхом подачі повітря в фільтр знизу уверх. Щоб здійснити регенерацію ФЗД необхідно зробити розділення іонів шляхом розпушуючого промивання (подачі води знизу уверх).

В той же час, мембрани не мають такої складної експлуатації. Для очищення води вони не потребують реагентів, а одже і їхньої регенерації відповідно, що значно спрощує процес підготовки води. При цьому, в залежності від конструктивних особливостей апарату, розміру пор самої мембрани, можна тонко регулювати ступінь очистки води.

Незважаючи на всі переваги, мембранний метод очистки води має й свої недоліки. Основним недоліком є те, що мембрани мають низьку продуктивність, що змушує збільшувати габарити установки. Проте, ця проблема вирішується шляхом створення спеціальних конструкцій роздільних елементів, які мають щільне розташування мембран. Також під час експлуатації мембрани мають властивість забруднюватись, через що відбувається плавне зниження їхньої продуктивності. Цього можна уникнути за допомогою промивки мембран та процесу дозування

антискаланту дозволить забезпечити ефективний злив з поверхні мембран. При цьому, властивість забруднення характерна не всім методам очистки. Наприклад, нанофільтраційні пристрої слабо схильні до забруднень. Ультрафільтраційні апарати, які мають відносно малий робочий тиск, потребують промивки очищеною водою з більшим тиском, ніж робочий. Капілярні та трубчаті мембрани мають найбільш ефективну промивку та менш схильні до забруднень через своє конструктивне виконання.

Значення систем спецводоочисток має великий вплив на безпеку та надійність роботи атомної станції. На даний час, мембранні технології очистки води є найбільш перспективні в розвитку очисних споруд АЕС. Даний метод починають все частіше використовувати в енергетиці, де її область застосування постійно збільшується.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Чиж В.А. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС / Чиж В.А., Карниций Н.Б., Нерезько А.В. ; Допущено Министерством образования Республики Беларусь в качестве учебного пособия для студентов. – К. : Минск «Вышэйшая школа».; УДК 621.3(075.8), ББК 31.3я73, Ч-59. – 88с.
2. Кишневський В.П. Гібридні технології кондиціонування води в енергетиці / В.П. Кишневський ; Видання: 2-ге вид., виправ. і доп., 2021. – 273с.
3. ПОСОБИЕ ДЛЯ ОБУЧАЕМОГО. Система обессоливания добавочной воды (0UA); УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫЙ ЦЕНТР ХМЕЛЬНИЦКОЙ АЭС.

2	TK51-BikovEB-diploma-2019	ID файла: 1000051036	Учебное заведение: National Technical University of	3 Источник	1.33%
3	TYa52-OdynetsVV-diploma-2019	ID файла: 1000051209	Учебное заведение: National Technical University of Ukra...		1.31%
4	TYa-Matkovsky-diploma-2019	ID файла: 1000032436	Учебное заведение: National Technical University	29 Источник	1.29%
5	TYa81-KovalenkoOV-diploma-2022	ID файла: 1011420005	Учебное заведение: National Technical Univer	24 Источник	1.24%
6	Колібабчук Н.О. ТС-51	ID файла: 1000026025	Учебное заведение: National Technical University of Uk	3 Источник	1.07%
7	ДИПЛОМ ОСТАННЯ ВЕРСІЯ!	ID файла: 1000038341	Учебное заведение: National Technical University of Ukra...		0.97%
17	BochokVO_TI01mn_magistr_2022	ID файла: 1011340965	Учебное заведение: National Technical Universi	2 Источник	0.3%
23	Чеберак А.В.	ID файла: 1000092785	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv	2 Источник	0.22%
24	Kryzhanovska	ID файла: 1003850756	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytech...		0.21%
27	Студенческая работа	ID файла: 1000134689	Учебное заведение: National University of Life and Envi	5 Источник	0.19%
29	Диплом_СиманЗ	ID файла: 5699176	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytec...		0.19%
30	Основи процесів осадження і розчинення металів	ID файла: 1010362642	Учебное заведение: N	22 Источник	0.19%
31	Студенческая работа	ID файла: 1008411641	Учебное заведение: Lutsk National Technical University	2 Источник	0.19%
33	Студенческая работа	ID файла: 5880253	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University		0.17%
36	ПІДЕНКО_бакалавр	ID файла: 1009592759	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv...		0.15%