

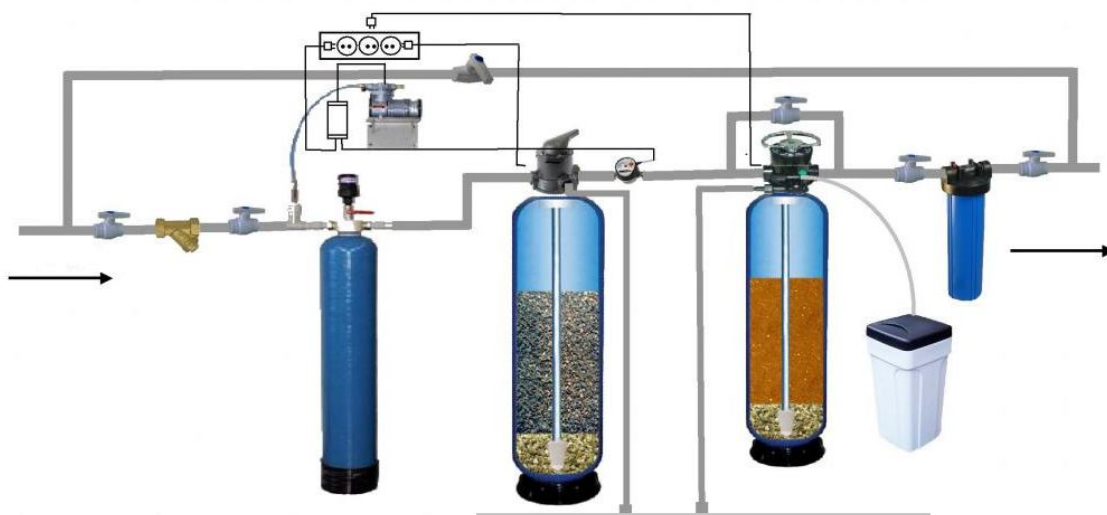
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання курсового проекту
з навчальної дисципліни

«СПЕЦКУРС З ОЧИСТКИ ПРИРОДНИХ ВОД»

*(для студентів 1–2 курсів денної і заочної форм навчання
другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія
та водні технології)*



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2019

Методичні рекомендації до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни «Спецкурс з очистки природних вод» (для студентів 1–2 курсів денної і заочної форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. К. Б. Сорокіна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 39 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. К. Б. Сорокіна

Рецензент

М. В. Дегтяр, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 29.08.2019.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	5
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....	6
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	36
Додаток А Зразок оформлення титульного аркуша курсвого проекту.....	37
Додаток Б Зразок основного надпису креслення (кутовий штамп).....	38
Додаток В Зразок оформлення презентації для доповіді за допомогою редактора PowerPoint.....	39

ВСТУП

Мінеральний склад води відбиває результат взаємодії води як фізичної фази і середовища життя з іншими фазами (середовищами): твердою, тобто береговими і тими, що підстилають та утворюють ґрунти, мінералами та породами; газоподібною (з повітряним середовищем), з вологою і мінеральними компонентами, які містяться в ній. Крім того, мінеральний склад води обумовлений цілою низкою фізико-хімічних і фізичних процесів, які протікають в різних середовищах, – розчинення і кристалізація, пептизація та коагуляція, седиментація, випаровування і конденсація та ін. Великий вплив на мінеральний склад води поверхневих водойм надають хімічні реакції, які протікають в атмосфері й інших середовищах за участю сполук азоту, вуглецю, кисню, сірки та ін.

Метою викладання навчальної дисципліни «Спецкурс з очистки природних вод» є формування у майбутніх фахівців знань, пов'язаних з вирішенням питань регулювання вмісту у воді розчинених домішок для доведення якості природної води до показників питної, підготовки глибокоочищеної води, а також обробки стічних вод з метою виділення з них цінних речовин, організації безстічного водопостачання та зменшення шкідливого впливу стічних вод на навколишнє середовище.

Мета виконання індивідуального завдання – курсового проекту (КП) – вибір і розрахунок споруд та обладнання технологічної схеми очищення води з метою отримання її необхідної якості.

У процесі виконання КП студенти закріплюють одержані теоретичні знання щодо методів та обладнання для регулювання вмісту розчинених домішок у воді, опановують навички роботи з науково-технічною, довідковою літературою.

У цих рекомендаціях наведені основні вимоги щодо виконання та оформлення курсового проекту.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Структура курсового проекту (КП) повинна бути такою:

□ *титульний аркуш* – виконують за відповідною формою, прийнятою для оформлення розрахунково-пояснювальних записок. На титульному аркуші повинні бути позначені назва (тема) КП, прізвища студента й викладача дисципліни (дод. А);

□ *вихідні дані*;

□ *зміст*. До змісту входять:

= послідовно перераховані найменування усіх розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів;

= висновки;

= список джерел;

= додатки (при необхідності).

Допускається найменування пунктів і підпунктів у зміст не включати;

□ *елементи основної частини КП*. Склад, зміст і обсяг розділів основної частини КП визначаються одержаним завданням на його виконання;

□ *висновки*. Коротко формулюють результати виконаної роботи;

□ *список джерел*. Перелік джерел, на які зроблені посилання у відповідних місцях тексту, складають в тому порядку, в якому вони вперше згадуються в тексті. Окрім літературних джерел, в список включають перелік використаної нормативної документації (ДБН, СНіП, ДСТУ, ТУ та ін.);

□ *додатки*. У додатках розміщують матеріал, який є необхідним, але не може бути розміщений в основній частині КП через великий об'єм або з інших міркувань. Додатки розташовують у порядку появи посилань в тексті основної частини КП. Кожен додаток починають з нової сторінки.

Оформлення КП проводять відповідно до вимог оформлення розрахунково-пояснювальних записок, тобто:

□ КП виконують на аркушах формату А4 без рамки з полями: верхнє і нижнє – 20, ліве – не менше 25, праве – не менше 10 мм;

□ текст КП виконують шрифтом 14 пт. (Times New Roman Arial, Arial Narrow, GOST type A, B) з полуторним міжрядковим інтервалом; заголовки можуть бути виділені шрифтом 16 пт. Абзаци в тексті відступають від тексту на 1-1,27 см;

□ нумерацію сторінок КП проставляють в правому верхньому кутку арабськими цифрами без крапки. Нумерація сторінок – наскрізна, включає ілюстрації (рисунок) і таблиці, розташовані на окремих сторінках, а також додатки. Структурні елементи КП – ВИСНОВКИ, СПИСОК ДЖЕРЕЛ – не нумерують;

- всі розділи КП починають з нової сторінки;
- заголовки структурних елементів і розділів КП пишуть прописними (заголовними) буквами без крапки в кінці, не підкреслюючи. Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів пишуть малими буквами починаючи з заголовної, розташовуючи номер підрозділу (пункту, підпункту) з абзацного відступу, без крапки в кінці.

Зміст графічного матеріалу визначається темою КП. На аркуші А1 може бути представлена схема очищення води, схема апарату, проілюстрована дослідна частина та ін.

Оформлення графічного матеріалу має відповідати прийнятим вимогам. На аркуші показують основний надпис (кутовий штамп) (*Додаток Б*).

Представлення виконаної роботи студент виконує у 5-тихвілінній доповіді, яку слід супроводити презентацією. Перший її слайд повинен містити назву (тему) КП, прізвище студента, а інші слайди – змістовну інформацію щодо змісту доповіді (*Додаток В*). Рекомендується супроводжувати доповідь класифікаціями, формулами, таблицями, графіками, рисунками, фотографіями; при цьому уникати великих текстових фрагментів, особливо дубльованих висловлюваннями доповіді.

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Загальним завданням виконання курсового проекту (КП) є вивчення особливостей методів, застосовуваних для видалення з води розчинених домішок.

Тема КП індивідуальна для кожного студента. Завдання студент отримує за вказівкою викладача, але (за погодженням) вона може відповідати напряму, за яким проводяться дослідження для майбутньої магістерської роботи. Цей напрям має бути визначений магістрантом і його науковим керівником.

Перелік та зміст тем КП:

1. Застосування озону для деструкції забруднень природних вод.

Внаслідок високого окисного потенціалу бактерицидна дія озону, введеного в воду, сильніша, ніж у інших хімічних агентів. Тому озон цілком забезпечує знезараження води від бактерій, якщо вода попередньо освітлена або якщо каламутність природної води нижче 3 мг/дм³.

Добре усуваються при озонуванні запахи та присмаки води. До них відносять запахи, що виділяються деякими водоростями, органічними субстанціями і мікроорганізмами.

Озон може бути застосований для видалення з води заліза і марганцю у тих випадках, коли знезалізнення і деманганация води звичайним способом не вдаються. Це спостерігається, якщо залізо або марганець містяться у воді у вигляді органічних комплексних сполук або колоїдних частинок.

Іноді озонування застосовують з головною метою – для усунення присмаків і запахів води, так як озон діє на сполуки, які не піддаються дії інших хімічних реагентів. Особливо ефективний озон при очищенні води, забрудненої фенолами, сірководнем, сірчистими і ціанистими сполуками та іншими речовинами, здатними викликати поганий запах води.

Озонування являє собою єдиний сучасний метод обробки води, який дійсно універсальний, тому що проявляє свою дію одночасно в бактеріологічному, фізичному і органолептичному відношенні. З хімічної точки зору мінеральні речовини, розчинені у воді та визначають її якісний склад, після озонування не змінюються. Разом з тим при обробці озоном у воду не вноситься ніяких додаткових сторонніх речовин, що відбувається, наприклад, при хлоруванні води.

Принципова технологічна схема установки для озонування води представлена на рисунку 2.1.

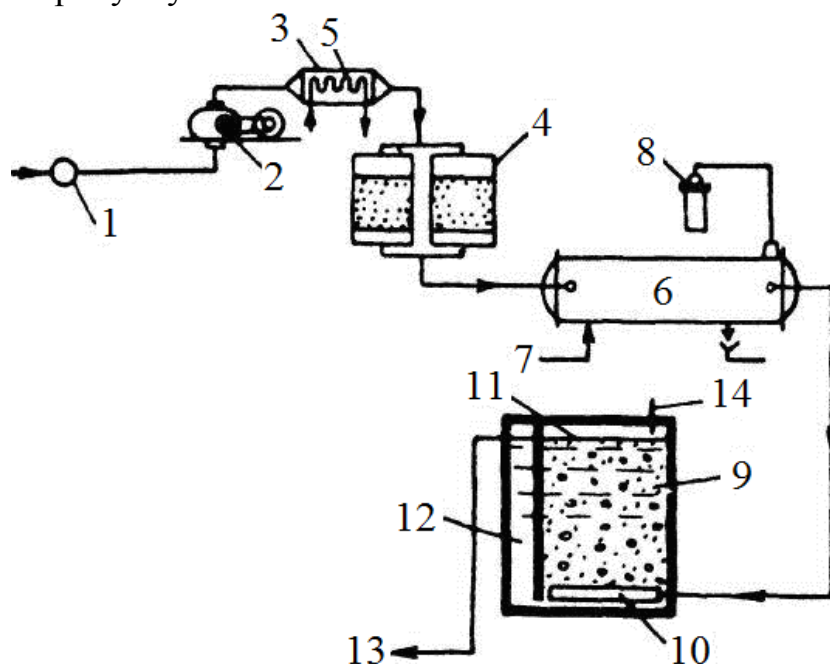


Рисунок 2.1 – Принципова технологічна схема установки для озонування води:

- 1 – фільтр; 2 – повітряний компресор; 3 – охолоджуючі пристрої; 4 – пристрої для осушки повітря; 5 – змійовик; 6 - генератори озону (озонатори); 7 – трубопровід, який подає воду для охолодження електродів озонатора; 8 - підвищувальний трансформатор; 9 - контактна колона; 10 - мережа пористих трубок; 11 – подача оброблюваної води; 12 – бокова кишень; 13 – подача обробленої води в РЧВ; 14 – витяжна труба

Атмосферне повітря пропускається через фільтр 1 для очищення від пилу, після чого повітряним компресором 2 нагнітається на охолоджуючі пристрої 3,

звідки надходить в пристрої для осушки повітря 4. Охолоджувачем є вода, яку подають в змішувач 5. Охолоджене й осушене повітря направляють в генератори озону 6 (озонатори). Генератор озону складається з двох електропровідних поверхонь – електродів, розташованих на невеликій відстані один від одного. Конструктивно електроди виконують або у вигляді двох паралельних пластин, або у вигляді двох концентрично розміщених трубок різного діаметру (зовнішня – сталева, внутрішня – скляна). Під дією «тихого» електричного розряду виходить озон, але не в чистому вигляді, а в суміші з повітрям. Концентрація озону в цій озono-повітряній суміші коливається для озонаторів різних типів в межах від 10 до 20 г/м³ (або від 0,85 до 1,7 % за вагою при температурі 25 °С).

Так як тихий електричний розряд супроводжується тепловиділенням, передбачають охолодження електродів озонатора водою, що надходить по трубопроводу 7. Напруга подається на озонатор від підвищувального трансформатора 8 по високовольтному кабелю.

Заключним етапом технологічного процесу є швидке і повне змішання води з озонованим повітрям в спеціальній контактній колоні 9. Дифузій озону у вигляді найдрібніших бульбашок в товщі води здійснюють через мережу пористих трубок 10, розміщених в основі контактної колони. Вода входить самопливом по трубі 11. Отже, вода і озоноване повітря циркулюють в зустрічних напрямках, що прискорює процес розчинення озону. Вода випускається через отвори в стінці бокової кишені 12, що примикає до корпусу колони. Озонована вода піднімається у цій кишені, після чого направляється в резервуар чистої води по трубопроводу 13. Завдяки раціональним умовам контакту води з озоном повітря, що виходить у витяжну трубу 14, містить тільки сліди озону і може бути виведене назовні без всякої небезпеки для населення навколишніх районів.

Доза озону для обробки води коливається зазвичай від 0,6 до 3,5 мг/дм³ залежно від якісних показників вихідної води.

Основним завданням розрахунку озонаторних установок є визначення:

- 1) основних параметрів пристроїв для підготовки повітря;
- 2) вибір обладнання для генерації озону;
- 3) параметрів контактної камери.

2. Опріснення води електродіалізом.

Електродіаліз – це процес перенесення іонів через мембрану під дією електричного поля, прикладеного до мембрани. Швидкість перенесення іонів може змінюватися підбором відповідної сили струму. Таке перенесення може здійснюватися проти градієнта концентрації.

Метод електродіалізу слід застосовувати при опрісненні води з солевмістом від 3 000 до 10 000 мг/дм³ для отримання води з вмістом солей не нижче 500 мг/дм³.

Рушійною силою процесу є градієнт електричного потенціалу. Під дією електричного поля катіони переміщуються у напрямку до негативного електроду (катода). Аніони рухаються у напрямку до позитивно зарядженого електроду (анода) (рис. 2.2, а). Електричне поле не впливає на незаряджені молекули. При використанні проникних для іонів неселективних мембран можна розділяти електроліти та неелектроліти.

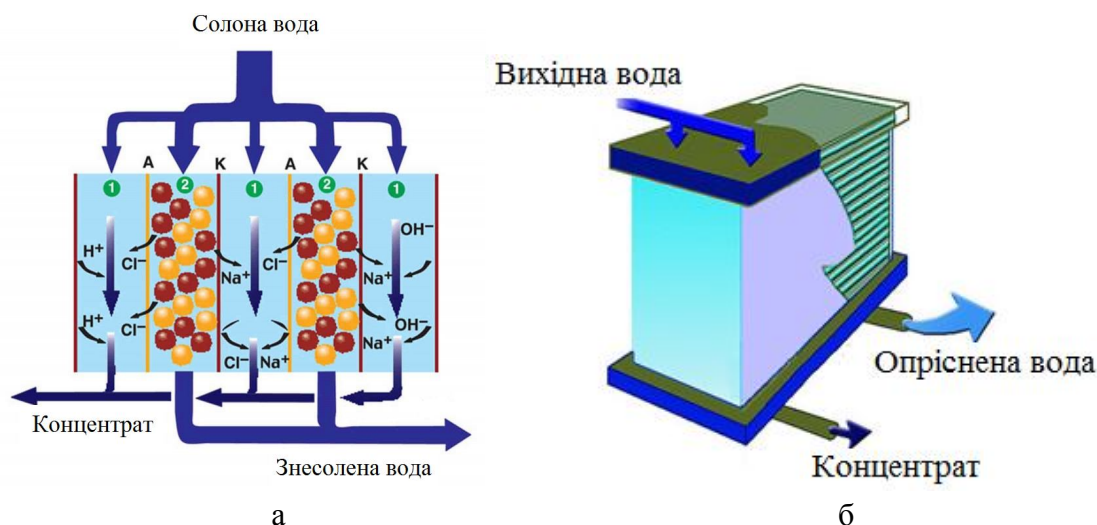


Рисунок 2.2 – Знесолення води електродіалізом:
а – схема процесу; б – електродіалізнний модуль

Застосовуючи катіонообмінні або аніонообмінні мембрани, за допомогою електродіалізу можна підвищити або знизити концентрацію розчину електроліту. Матриця аніонообмінної мембрани має катіонні групи. Заряд катіонів нейтралізований зарядом рухомих аніонів, що знаходяться в порах мембрани. Аніони розчину електроліту можуть проникати в матрицю мембрани і заміщати спочатку присутні в ній аніони. Проникненню в мембрану катіонів перешкоджають сили відштовхування їх фіксованими в матриці мембрани катіонами. Аналогічним чином діють і катіонообмінні мембрани, що містять фіксовані аніонні групи.

У багатоканальному електродіалізаторі чергується велике число (до декількох сотень) катіонообмінних і аніонообмінних мембран, розташованих між двома електродами. Електричний струм переносить катіони з вихідного розчину в потік концентрату через катіонообмінну мембрану, розташовану з боку катода. Катіони затримуються в цьому потоці аніонообмінною мембраною з боку катода. Напрямок руху аніонів є протилежним. Вони переносяться в потік концентрату через аніонообмінну мембрану. З боку анода аніони затримуються в потоці концентрату катіонообмінною мембраною. Таким

чином, загальний результат процесу полягає у збільшенні концентрації іонів в камерах, що чергуються, при одночасному зменшенні їх концентрації в інших камерах.

На електродах протікає процес електролізу. У багатокамерному апараті неминучі непродуктивні витрати електроенергії, зумовлені цим процесом, але вони розподіляються на велике число камер (рис. 2.2, б). Тому в розрахунку на одиницю продукції ці витрати зводяться до мінімуму.

Опріснювальні електродіалізні установки можуть бути прямоточними, циркуляційними порційними і безперервної дії.

Вода, що подається на опріснення в електродіалізатор, повинна відповідати певним вимогам. Оскільки розділення відбувається на іонітних мембранах, то всі забруднення, які здатні до «отруєння» іонів (органіка, залізо, окислювачі тощо), можуть призвести мембрани в непридатність і повинні бути попередньо видалені.

Істотний негативний вплив на процес електродіалізу надає наявність у воді солей твердості та заліза. Нерозчинні солі кальцію відкладаються на поверхнях мембран, що веде до підвищення опору і падіння продуктивності. Залізо, що присутнє у воді в розчиненому вигляді, накопичується в структурі мембран, внаслідок чого мембрани втрачають електропровідність. Наявність у воді завислих речовин призводить до забивання осередків апарату і падіння його продуктивності. Для боротьби з цими явищами проводять попередню обробку води, що включає видалення суспензій і колоїдів, а також зм'якшення води. Для видалення заліза апарат промивають розчинами кислот. Все це веде до істотного збільшення кількості вторинних відходів і може зробити процес очищення малоефективним.

Основним завданням розрахунку електродіалізних установок є визначення:

- 1) напруги та сили постійного струму, що підводиться до ванн;
- 2) площі мембран та їх кількості.

3. Реагентне зм'якшення води.

Зм'якшення води може бути здійснено наступними основними способами:

- 1) реагентним;
- 2) катіонуванням;
- 3) термічним.

Нерідко представляється доцільним комбінувати ці способи, видаляючи частину солей твердості реагентним способом, а залишок їх – катіонуванням,

або застосовувати реагентний спосіб в комбінації з термічним способом зм'якшення води.

Багато солей твердості мають низьку розчинність. При введенні в розчин деяких реагентів збільшується концентрація аніонів, які утворюють малорозчинні солі з іонами твердості Ca^{2+} і Mg^{2+} . Такий процес називають *реагентним зм'якшенням води*.

Поширення набуло зм'якшення води вапнуванням і содо-вапнуванням.

При вапнуванні в розчин додають гашене вапно $\text{Ca}(\text{OH})_2$ до рН близько 10. Даний спосіб використовують при високій карбонатній і низькій некарбонатній твердості води, коли потрібно одночасне зниження твердості та лужності. Залишкова твердість на 0,4-0,8 мг-екв/дм³ перевищує некарбонатну твердість. Звичайно використовують спільно з іонообмінним зм'якшенням води.

При содо-вапнуванні у воду додають гашене вапно $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і соду Na_2CO_3 до рН близько 10. За рахунок надлишку іонів HCO_3^- досягається більша повнота видалення з води солей твердості. Підвищення температури до 70–80 °С дозволяє довести залишкову твердість до 0,35–1,0 мг-екв/дм³. Того ж результату можна досягти збільшенням доз реагентів.

Процеси осадження здійснюють у відстійниках і освітлювачах із завислим шаром осаду.

Відстійники малопродуктивні, отримувана в них гідроксидна пульпа має високу вологість – 97–99 %. Тому їх в даний час практично не застосовують.

У практиці використовують різні варіанти освітлювачів із завислим шаром осаду. У них розчин, що очищається, подається знизу і проходить через шар осаду. Це збільшує коефіцієнт очищення води. Для зменшення обсягу шламу використовують додаткові зони і камери шлагоуцільнення. Збільшення ступеня освітлення досягають введенням додаткових секцій тонкошарового відстоювання.

Реагентні методи у підготовці питної води не використовують. Після них вода має сильнолужну реакцію. Їх широко застосовують в енергетиці та промисловості як перший ступінь очищення до механічних фільтрів. При спільній роботі вони дозволяють зм'якшити воду, видалити завислі речовини, включаючи колоїди, і частково очистити воду від органічних речовин.

Оскільки осадження утворених пластівців відбувається дуже повільно, продуктивність обладнання низька, і воно має великі габарити. В результаті утворюються відходи у вигляді важко утилізованих шламів. Процес потребує ретельного контролю, причому в основному ручного, оскільки залежить від багатьох факторів: температури води, точності дозування реагентів, вихідної каламутності води тощо.

Основним завданням розрахунку установки для зм'якшення води є визначення основних параметрів споруд, які входять до неї:

1) пристроїв для приготування та дозування розчинів реагентів (вапна й соди для усунення твердості води, коагулянту FeCl_3 або FeSO_4 для прискорення осадження суспензії);

2) змішувачів;

3) камер утворення пластівців;

4) освітлювачів із завислим осадом;

5) фільтрів.

4. Реагентне зм'якшення води з використанням вихрового реактора.

Вихровий реактор являє собою резервуар у вигляді усіченого конуса з верхньої циліндричною частиною (рис. 2.3). На відміну від вихрової камери утворення пластівців він має невеликий кут конусності ($15\text{--}20^\circ$) і приблизно на половину своєї висоти заповнений так званої контактною масою – дрібним кварцовим піском або мармуровою крихтою діаметром $0,2\text{--}0,3$ мм, що знаходяться в підвішеному стані під час роботи реактора (в вихрових камерах утворення пластівців контактної маси немає). Кількість контактної маси має становити 10 кг на 1 м³ об'єму реактора.

Необхідне для реагентного зм'якшення води вапно у вигляді розчину або вапняного молока вводиться в нижню частину реактора. Зерна контактної маси, які слугують центрами кристалізації карбонату кальцію, що утворюється при зм'якшенні води, поступово обволікаються CaCO_3 , збільшуючись в діаметрі до $1,5\text{--}2$ мм. Внаслідок цього 2 рази на тиждень контактну масу доводиться частково замінювати, випускаючи надлишок по трубопроводу, що примикає до нижньої частини реактора. Свіжу контактну масу вводять за допомогою ежектора в площині верхнього рівня завантаження. Установка з вихровими реакторами доцільна лише при каламутності вихідної води не вище $8\text{--}12$ мг/дм³ і вмісті магнію не більше 15 мг/дм³, так як глиниста завись і гідроокис магнію не затримуються вихровим реактором. Реактори застосовують для зм'якшення підземних або поверхневих вод після їх освітлення, а тому коагулянт не додається.

У більшості випадків, тобто коли вміст магнію у вихідній воді не перевищує 15 мг/дм³, до складу установки входять: пристрої для підготовки та дозування реагентів, змішувачі, вихрові реактори і фільтри.

Не виключається можливість застосування вихрових реакторів і при вмісті у вихідній воді магнію більше 15 мг/л, однак у таких умовах схема установки повинна бути доповнена освітлювачем, який розміщується між

вихровим реактором та фільтром і призначається для виділення з води гідроксиду магнію.

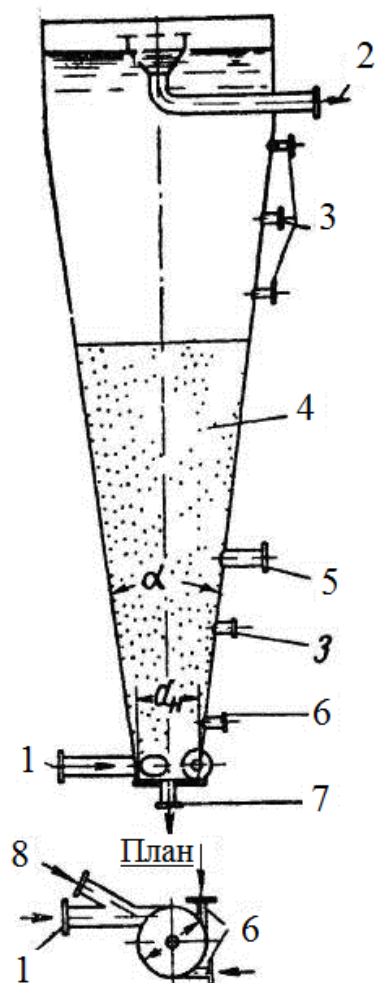


Рисунок 2.3 – Вихровий реактор:

1 – подача води; 2 – відведення води;

3 – штуцера для відбору проб;

4 – завантаження; 5 – випуск надлишку завантаження; 6 – введення вапна;

7 – скидання;

8 – промивна вода від напірної лінії

Основним завданням розрахунку установки для зм'якшення води є визначення основних параметрів споруд, які входять до неї:

1) пристроїв для приготування та дозування розчинів реагентів (вапна (сода) для усунення твердості води);

2) змішувачів;

3) вихрових реакторів;

4) освітлювачів із завислим осадом – за необхідністю;

5) фільтрів.

5. На-катіонітове зм'якшення води (1 ступінь).

Серед способів зм'якшення води, при яких використовують термічний, реагентний методи, метод іонного обміну, діаліз, магнітну обробку або їх комбінації, найбільш поширеним в даний час є заміщення іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} на нешкідливий Na^+ , що отримав назву натрій-катіонування. В основі методу лежить здатність фільтруючого матеріалу іоніту забирати з води певні іони в обмін на еквівалентну кількість власних противоіонів.

Іонообмінна смола складається із зерен, до складу яких входять функціональні групи, що утримують катіони з більш низькою динамічною активністю, ніж іони, передбачувані до видалення з розчину електроліту (води). При попаданні в розчин частинки іоніту вбирають воду і розбухають, приходячи в робочий стан.

Процес іонного обміну протікає внаслідок різниці концентрацій води всередині і зовні зерна смоли, яке в даному випадку виступає як мембрана. Як

відомо, різниця в концентраціях заряджених частинок по різні сторони мембрани призводить до виникнення мембранної різниці потенціалів, званої також потенціалом Доннана. Енергія входження різних катіонів у катіоніт і заміщення в ньому противоіонів залежить від їх валентності, а при однаковому заряді – від інтенсивності гідратації.

З усього обсягу хімічних елементів і сполук, що проникають у зерно, затримуються в ньому тільки ті, які змогли вступити в міцний зв'язок з функціональною групою. Цим і пояснюється різноманіття варіантів фільтраційного завантаження та його спеціалізація, тобто ефективність використання по відношенню до тих чи інших домішок.

Іони дифундують через мембрану до тих пір, поки не встановиться електрохімічна рівновага. Після чого починається фаза так званого «проскакування» в фільтрат катіонів твердості. Дана стадія триває до моменту зрівнювання твердості фільтрату з твердістю вихідної води.

На зовнішній поверхні омиваної частинки іонообмінної смоли в процесі фільтрації утворюється тонка водяна плівка. Швидкість іонообміну залежить від швидкості дифузії катіонів твердості через плівку. Швидкість дифузії залежить, у свою чергу, від кількох факторів:

1. Структура зерна. Важливу роль у іонообмінному процесі відіграє відношення площі обмінної поверхні до розміру зерна. У компактних частинках іонний обмін протікає на поверхні (екстраміцеллярний обмін), що підвищує швидкість фільтрації, але обмежує площу обмінної поверхні. У частинках з розвиненою структурою і діаметром пір, що перевищує розмір гідратованих катіонів, іонний обмін відбувається як на зовнішній, так і на внутрішній поверхнях (інтерміцеллярний обмін). Це уповільнює фільтрацію, проте дозволяє обійтися меншою кількістю катіоніту за рахунок більш повноцінного його використання.

2. Хімічний склад зерна. Асиміляція різних катіонів з електроліту функціональною групою іонообмінної смоли залежить також від фракційного складу завантаження.

3. Температура вихідного розчину. З одного боку, підвищення температури оброблюваної води сприяє зниженню її в'язкості, що покращує кінетику іонного обміну. З іншого боку, нагрів у поєднанні з високою лужністю або кислотністю може призводити до пептизації (перетворення на колоїдний розчин) катіоніту, в результаті чого він втрачає здатність до іонного обміну. Універсальною рекомендацією в цьому випадку може служити дотримання вказівок, що стосуються діапазонів температури і рН фільтрованого середовища, оскільки для кожного матеріалу вони можуть значно відрізнятися.

4. Вміст механічних домішок. Завислі домішки, що містяться в фільтрованій воді, можуть забруднювати і блокувати дифузні шляхи зерен іоніту, знижуючи його фільтруючу здатність. Це накладає певні обмеження на якість вихідної води: вміст суспензії не може перевищувати 8 мг/дм³, а забарвленість – 30 град. п.к.ш. Тому в системі водопідготовки ступінь зм'якшення ставлять після механічної фільтрації.

5. Швидкість потоку. Товщина обволікаючої частинки іоніту водяної плівки тим тонше, чим вище швидкість потоку. А вона, у свою чергу, пов'язана з тиском води на вході, а також розміром зерен смоли.

Фільтрована рідина зазвичай подається у фільтр з іонообмінною смолою зверху вниз, при цьому іонний обмін між електролітом і катіонітом закінчується на певній глибині. У міру виснаження обмінних властивостей катіоніту робочий шар поступово зміщується вниз, поки не досягне дна ємності. Весь цей час твердість фільтрату зберігається постійною. Швидкість фільтрування зазвичай становить 10-25 м/год.

Після сполучення нижньої межі робочої зони з нижньою межею засипки в фільтрат починають проскакувати невідфільтровані іони з вихідного розчину, у зв'язку з чим залишкова твердість підвищується і врешті-решт досягає значення граничної твердості фільтрату, що свідчить про виснаження катіоніту і необхідності регенерації.

Відновлення фільтруючої здатності катіоніту проходить у кілька етапів: розпушування смоли зворотним потоком обробленої води, слив надлишків води для запобігання розбавлення реагенту, фільтрація регенеруючого розчину прямим потоком через катіоніт, відмивання катіоніту від реагенту нефільтрованою водою. Регенерація натрій-катіонітових фільтрів проводиться звичайно 5–8 %-ним розчином хлористого натрію, який отримав широке поширення внаслідок низької вартості та хорошої розчинності отриманих у результаті регенерації солей.

Найбільш простою є схема одноступеневої Na-катіонітової установки (рис. 2.4). Вода, пройшовши Na-катіонітові фільтри, відводиться в збірний бак, звідки насосом подається споживачеві. При роботі за цією схемою відсутні вода та розчини з кислою реакцією, відпадає необхідність у застосуванні кислотостійкої арматури труб і захисних покриттів фільтрів.

Схема одноступінчастого Na-катіонування має недоліки, які лімітують її застосування: неможливість глибокого зм'якшення води; висока питома витрата солі на регенерацію; неповне використання ємності поглинання катіоніту.

Основним завданням розрахунку одноступеневого натрій-катіонування води є визначення:

- 1) параметрів основного обладнання;
- 2) параметрів допоміжного обладнання.

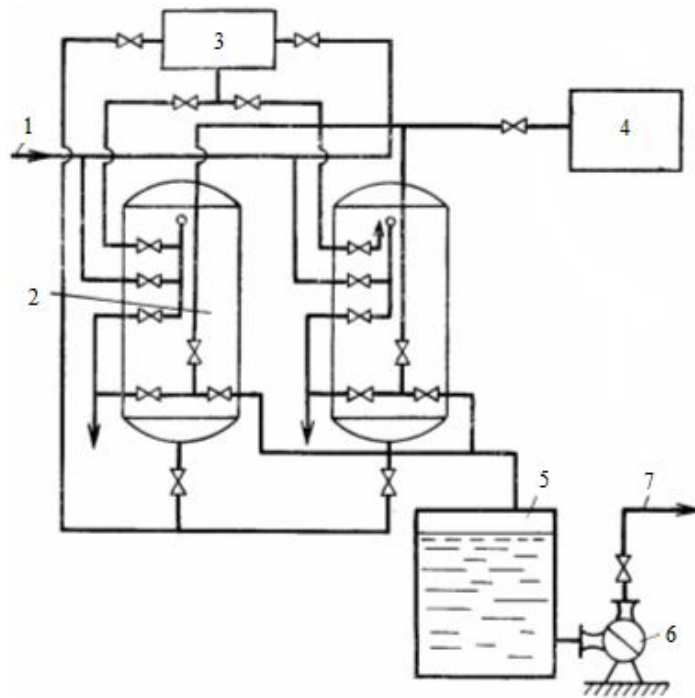


Рисунок 2.4 – Схема одноступеневого натрій-катіонування води:

- 1, 7 – подача вихідної і відведення зм'якшеної води; 2 – натрій-катіонітовий фільтр;
 3 – бак з розчином солі; 4 – бак з частково зм'якшеною водою для розпушування катіоніту;
 5 – резервуар зм'якшеної води; 6 – насос

6. Розрахунок установки для Na-катіонітового зм'якшення води (2 ступеня).

Більш глибокого зм'якшення води, економії солі і збільшення фільтроциклу досягають двоступінчастим Na-катіонуванням (рис. 2.5). У цьому випадку у фільтрах I ступеня вода піддається зм'якшенню до залишкової твердості $0,1-0,2$ мг-екв/дм³ при звичайній швидкості фільтрування $15-25$ м/год. Потім зм'якшена вода передається на натрій-катіонітові фільтри II ступеня, де твердість попередньо зм'якшеної води знижується до $0,02-0,01$ мг-екв/дм³. Оскільки кількість солей твердості, що надходять на фільтри II ступеня є незначною, швидкість фільтрування приймають до 40 м/год, а висоту шару катіоніту – $1,5$ м.

Фільтри II ступеня створюють свого роду бар'єр, що перешкоджає проскоку катіонів, що видаляються, при випадкових відхиленнях в роботі фільтрів першого ступеня. Тому натрій-катіонітові фільтри другого ступеня називають *бар'єрними*. При їх наявності спрощується експлуатація установки, оскільки катіонітові фільтри першого ступеня відключаються на регенерацію не

за проскоком катіонів солей твердості, що вимагає ретельного контролю твердості фільтрату, а за кількістю води, що пройшла через них. Деяке підвищення кількості солей твердості після фільтрів першого ступеня небезпечно, так як вони будуть затримані бар'єрними фільтрами.

Ємність поглинання на фільтрах і терміни їх корисної роботи при двоступеневому катіонуванні збільшуються; оскільки фільтри другого ступеня несуть невелике навантаження зі зм'якшення води, тривалість міжрегенерацийної їх роботи досягає 200 год.

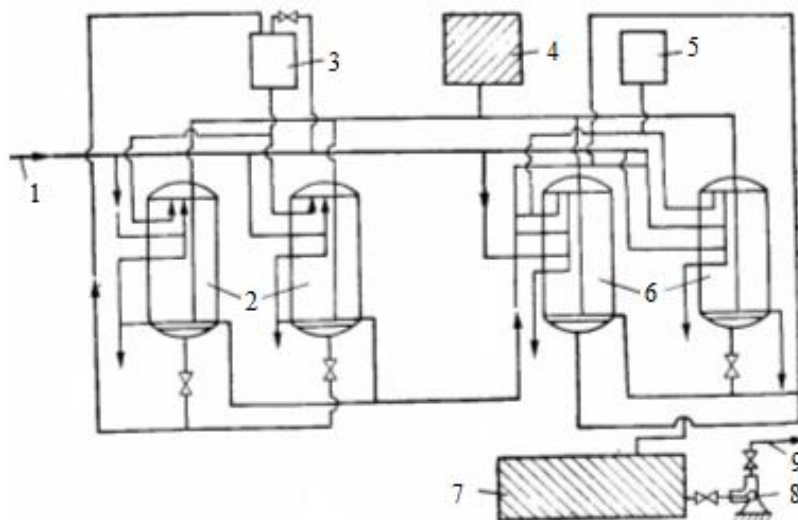


Рисунок 2.5 – Схема двоступеневого натрій-катіонітового зм'якшення води:
1, 9 – подача вихідної і відведення зм'якшеної води; 2, 6 – натрій-катіонітові фільтри I і II ступеня; 3, 5 – баки з розчином солі для регенерації фільтрів I і II ступеня; 4 – бак з водою для розпушення завантаження фільтрів; 7 – резервуар зм'якшеної води; 8 – насос

Катіоніт після регенерації фільтрів першого ступеня відмивають незм'якшеною водою до тих пір, поки вміст хлоридів у фільтраті не стане приблизно рівним вмісту їх у відмивній воді.

Половину відмивної води направляють в водостоки, а другу половину в баки для використання при розпушуванні катіоніту або для приготування регенераційних розчинів.

Катіоніт у фільтрах другого ступеня відмивають фільтратом першого ступеня.

Основним завданням розрахунку двоступеневого натрій-катіонування води є визначення:

- 1) параметрів основного обладнання;
- 2) параметрів допоміжного обладнання.

7. H-Na-катіонітове зм'якшення води.

Водень-натрій-катіонування – особливий вид обміну іонами, під час якого відбувається фільтрування паралельного або послідовного типу, при цьому

спостерігається регенерація водень-катіонних фільтрів, вона може бути нормальною або «голодною».

Таку технологію успішно застосовують для зниження твердості, зменшення лужності та демінералізації води. Також використовують для регулювання лужної агресивності води, використовуюваної в котлах. Вона підходить для зниження концентрації вуглекислоти в парі та зниження витрат на продувку котлів.

Під час водень-катіонування задіяні катіони водню H^+ . У ліотропному ряду водень розташований перед такими елементами, як кальцій, магній, натрій, залізо, калій та іншими. Коли відбувається процес фільтрації води, що проходить через катіоніт з позитивними іонами водню, катіоніт вбирає в себе всі катіони, що присутні у воді, заміщаючи їх еквівалентним об'ємом іонів водню. У той же час відбувається розкладання бікарбонатів, що впливають на карбонатну твердість води. Під час цієї реакції відбувається викид діоксиду вуглецю. При водневому катіонуванні істотно падає рН, так як у фільтраті утворюються кислоти.

Для видалення утвореного діоксиду вуглецю можна провести дегазацію, після чого у воді залишаться тільки мінеральні кислоти, вміст яких буде відповідати наявності у вихідному розчині сульфатів, хлоридів і нітратів.

Спільно із зм'якшенням води відбувається її демінералізація, а також зниження електропровідності.

Відповідно до ліотропного ряду позитивно заряджені іони водню спочатку витісняють з катіоніту позитивні іони натрію, потім сорбовані іони натрію витісняються під впливом іонів магнію і кальцію. Тобто зменшення обмінної ємності іоніту проходить поступово і пошарово: вгору з'являється зона поглинання плюсових іонів кальцію і магнію, відразу під нею відбувається поглинання позитивних іонів натрію. Обидві ділянки переміщуються вниз, до нижнього краю катіонітного шару.

Всю роботу фільтру можна розділити на два основних етапи:

1. Абсолютне поглинання катіонів (якщо є достатня висота катіонітного шару), фільтрат зм'якшується, адже позитивні іони кальцію і магнію припинені, кислотність розчину на цей момент дорівнює різниці між сумою всіх катіонів та зруйнованим аніоном з негативним зарядом HCO_3^- .

2. Коли зона поглинання добирається до нижнього краю катіонітного шару, в фільтрат просочується все більше позитивних іонів натрію, концентрація його стає приблизно такою ж, яка була у вихідній воді. До цього періоду катіоніт вже не може поглинати позитивні натрієві іони, він стає перепорою тільки для іонів натрію і магнію, іноді ще заліза і марганцю, якщо вони є в достатній кількості. Так що частково цю технологію можна вважати і

деманганацією, і знезалізненням. Потім рівень позитивних Na^+ починає рости, адже калієві і магнієві іони з «+» зарядом видавлюють з катіоніту раніше затримані іони натрію. Також витісняються і водневі позитивні іони.

При майже повному видаленні перш зупинених іонів Na^+ їх стане менше у фільтраті, тоді в нього отримують доступ іони кальцію і магнію (позитивно заряджені), з урахуванням ліотропного ряду першими підуть магнієві позитивні аніони.

У процесі фільтрування кислотність теж не буде постійною. Спочатку вона знизиться практично до нульового рівня, потім почне збільшуватися лужність фільтрату, це буде відбуватися доти, поки вона не стане такою ж, як у вихідній воді. Вона буде зберігатися на цьому рівні, поки не почнуть проскакувати іони твердості.

Робота водень-катіонітних фільтрів залежить від схеми. Вони діятимуть до проскакування натрію і магнію, якщо мова йде про «гоłodну» регенерації.

Умови використання способу:

1) паралельну схему водень-натрій-катіонування застосовують:

– для отримання зм'якшеної води, залишкова лужність якої не перевищує $0,4 \text{ ммоль/дм}^3$;

– якщо превалює карбонатна твердість води в початковому стані та її частка в загальному показнику твердості більше половини;

– кількісний вміст хлоридів і сульфатів у рідині не вище 4 ммоль/дм^3 ;

– концентрація натрію не більше 2 ммоль/дм^3 .

При паралельному Н- Na -катіонуванні, схема якого наведена на рисунку 2.6, частина води проходить через Н-катіонітовий фільтр, а частина – через Na -катіонітовий фільтр.

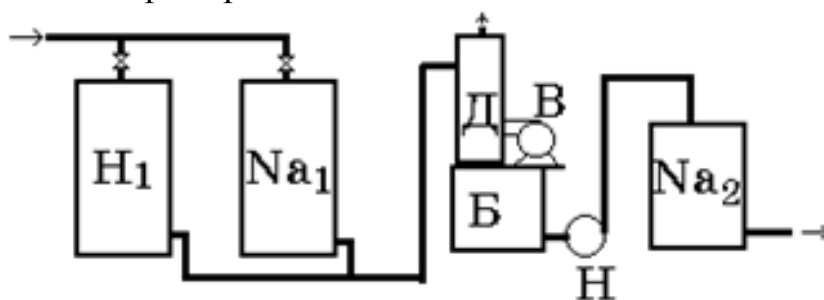


Рисунок 2.6 – Паралельне Н- Na -катіонування:

H_1 – водень-катіонітовий фільтр; Na_1 , Na_2 – натрій-катіонітові фільтри першого і другого ступеня; Д – дегазатор; Б – бак; Н – насос; В – вентилятор

Далі суміш потоків подається на дегазатор і при необхідності проходить обробку на Na -катіонітових фільтрах другого ступеня.

Основною перевагою даної схеми є отримання води з мінімальною лужністю, що необхідно при живленні котлів високого тиску.

До недоліків можна віднести зниження ефекту зм'якшення при великих концентраціях натрію у вихідній воді. Розрахунок фільтрів і дегазатору в цих схемах не має суттєвих особливостей.

2) послідовна схема водень-натрій-катіонування рекомендується, якщо:

– необхідна лужність повинна знаходитися в межах 0,7-1 ммоль/дм³;

– карбонатна твердість води не перевищує половини загальної твердості;

– сумарна концентрація сульфатів і хлоридів не більш 4 ммоль/дм³;

– метод може використовуватися, навіть якщо загальна мінералізація перевищує 1 000 мг/дм³;

– граничні коливання в момент фільтроциклу повинні дорівнювати 0,5–2 ммоль/дм³;

– концентрація сульфатів і хлоридів у вихідній воді не повинна бути вище 3,5–5 ммоль/дм³.

Схема споруд за даним методом наведена на рисунку 2.7.

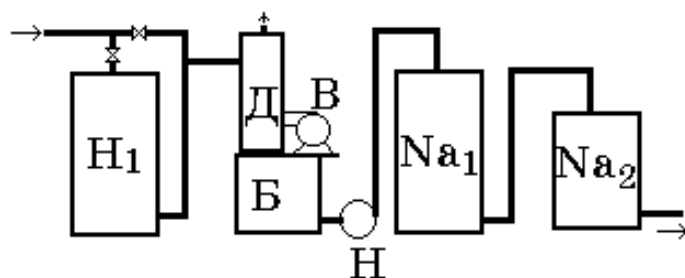


Рисунок 2.7 – Схема послідовного водень-натрійкатіонування води:

Н₁ – водень-катіонітовий фільтр; Na₁, Na₂ – натрій-катіонітові фільтри першого і другого ступеня; Д – дегазатор; Б – бак; Н – насос; В – вентилятор

У цій схемі частина води проходить через фільтр Н₁, а частина проходить повз його. Суміш цих потоків води надходить на дегазатор для видалення діоксиду вуглецю і далі на два ступеня натрій-катіонітових фільтрів.

Основною перевагою цього процесу є глибоке видалення солей твердості та добре використання обмінної ємності Н-катіонітових фільтрів.

Іноді треба знизити тільки карбонатну твердість (лужність). У такій ситуації застосовують «голдне» відновлення катіоніту. Під час звичайного водень-катіонування надлишок кислоти для відновлення більше, ніж стехіометричний кількісний показник в 1,3–2,5 рази. Під час «голдної» регенерації умовно кількість кислоти, що бере участь у відновленні катіоніту, вважається такою же, як стехіометрична кількість, або менша.

При такій реакції у верхній частині катіоніту будуть розташовуватися іони Н⁺, а нижче розмістяться затримані Са²⁺, Na⁺, Mg²⁺. У верхньому шарі реакції з позитивним іоном будуть проходити так само, як і при стандартному водень-катіонуванні. У підсумку іони Н⁺ мінеральних кислот заміняться на

позитивно заряджені іони кальцію, натрію і магнію. У фільтрат надходять іони, які раніше були у вихідній воді, але при цьому розпадаються бікарбонати, вуглекислий газ видаляється, затримуються іони кальцію і магнію (позитивні), так як вони пов'язані з HCO_3^- .

При проведенні водень-катионування методом «голодної регенерації» слід проводити її з урахуванням властивостей вугільної кислоти. При наявності сильних кислот її дисоціація нейтралізується. А CO_2 , що виникає у верхній частині катіоніту, розчиняється у воді та починає проходити крізь невідновлені ділянки катіоніту. При відсутності у фільтраті сильних кислот в нижній частині катіоніту починається часткова дисоціація $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$, водневий іон замінюється натрієвим, утворюється вторинна лужність вже очищеної води.

Частка води, що пропускається через Н-катионітові фільтри, визначається за формулою

$$X = \frac{\text{HCO}_3^- - L_{\text{зал}}}{\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{NO}_3^-}$$

де HCO_3^- , HCO_3 , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- – концентрації у вихідній воді відповідних іонів, мг-екв/дм³;

$L_{\text{зал}}$ – лужність очищеної води, яка дорівнює приблизно 0,35 мг-екв/дм³.

Основним завданням розрахунку Н-Na-катионітового зм'якшення води є визначення:

- 1) параметрів основного обладнання;
- 2) параметрів допоміжного обладнання.

8. Іонообмінне знесолення води.

Під знесоленням води розуміють зниження вмісту солей до 1 мг/дм³, а під опрісненням – зниження солевмісту до 1 000 мг/дм³, тобто до норми, пропонованої для питної води.

При виборі способу опріснення та знесолення води слід враховувати: солевміст вихідної води, задану продуктивність опріснювальної установки, а також вартість джерел тепла, електроенергії та потрібних хімічних реагентів і матеріалів.

Іонітний спосіб можна рекомендувати для знесолення вод із загальним вмістом солей не більше 3 000 мг/дм³ при наявності суспензії не більше 8 мг/дм³ і забарвленості не вище 30 град. п.к.ш.

У випадках, коли не потрібно глибокого знесолення води, а потрібно довести її солевміст до норми, пропонованої для питної води, тобто тільки опріснити воду, застосовують іонообмінні установки з одним ступенем катіонітових і аніонітових фільтрів.

За одноступінчастою схемою вода пропускається через Н-катіонітовий фільтр, завантажений сильнокислотним катіонітом, який сорбує катіони Ca^{2+} , Mg^{2+} та Na^+ заміщує їх іонами водню. Солевміст води знижується на величину, еквівалентну лужності вихідної води, яка відповідає вмісту в ній бікарбонатних іонів. Потім вода проходить через фільтр із завантаженням із слабоосновного аніоніту, в якому сульфатні SO_4^{2-} і хлоридні Cl^- іони обмінюються на іони OH^- аніоніту.

Між катіонітовим і аніонітовим фільтрами або в кінці установки розміщують дегазатор для видалення вільної CO_2 .

Катіоніт регенерують 5 %-ним розчином соляної або сірчаної кислоти, а аніоніт – 4 %-ним розчином кальцинованої соди.

Застосування для регенерації Н-катіонітових фільтрів сірчаної кислоти створює небезпеку загіпсовування катіоніту. Тому рекомендується ступінчаста регенерація з поступовим збільшенням концентрації розчину H_2SO_4 з 1 до 5 %.

Одноступінчаста схема дозволяє початковий солевміст води знизити з 2 000 до 10 мг/дм^3 , проте аніон кремнієвої кислоти SiO_3^{2-} практично залишається не видаленим.

При двоступеневій схемі солону воду пропускають спочатку через Н-катіонітові фільтри I ступеня із завантаженням сильнокислотним катіонітом, що затримує катіони Ca^{2+} і Mg^{2+} , а потім через аніонітові фільтри I ступеня із завантаженням слабоосновним аніонітом, який затримує іони сильних кислот (сульфати, хлориди, нітрати). Далі вода проходить через Н-катіонітові фільтри II ступеня, які затримують катіони натрію, і, нарешті, через аніонітові фільтри II ступеня із завантаженням з сильноосновного аніоніту. Тут витягаються аніони кремнієвої кислоти і залишки вільної CO_2 , не усунуті в декарбонізаторі, який розміщують після Н-катіонітових фільтрів II ступеня.

Якщо у вихідній воді переважають аніони HCO_3^{2-} , а сума аніонів Cl^- і SO_4^{2-} становить не більше 1 мг-екв/дм^3 , декарбонізатор розміщують після Н-катіонітових фільтрів I ступеня, на яких і видаляється вся вільна CO_2 . Кремнієву кислоту і залишки CO_2 разом з аніонами Cl^- і SO_4^{2-} затримують двоступінчастим аніонним обміном. За такою схемою вміст SiO_3^{2-} можна знизити до 0,1–0,2 мг/дм^3 , а загальний солевміст – до 1 мг/дм^3 .

Триступенева схема іонітної установки дозволяє здійснити ще більш глибоке знесолення води із залишковим вмістом солей 0,1 мг/дм^3 і знизити вміст кремнієвої кислоти до 0,05 мг/дм^3 .

Основним завданням розрахунку іонообмінного знесолення води є визначення:

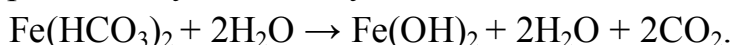
- 1) параметрів основного обладнання;
- 2) параметрів допоміжного обладнання.

9. Реагентне знезалізнення води.

У природних водах може бути присутнім двовалентне (закисне) або тривалентне (окисне) залізо. Найбільш часто у воді підземних джерел залізо зустрічається у вигляді бікарбонату закису заліза $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, тобто двовуглекислого заліза.

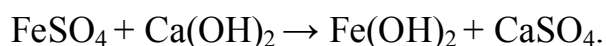
У воді поверхневих джерел залізо міститься зазвичай у формі органічних сполук, переважно колоїдних, наприклад гуміновокісле залізо.

З підземних вод двовалентне залізо може бути усунуто за допомогою аерації води. Треба відзначити, що двовуглекисле залізо у воді частково гідролізується, втрачаючи вуглекислоту



Інтенсивне виділення CO_2 йде при аерації води, яка досягається шляхом розбризкування її на контактних або вентиляторних градирнях. Це створює сприятливі умови для повного гідролізу $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. Гідрат закису заліза $\text{Fe}(\text{OH})_2$, з'єднуючись з киснем, перетворюється на колоїдний гідроксид заліза $\text{Fe}(\text{OH})_3$, який при коагулюванні перетворюється на окис заліза $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, який випадає у вигляді бурих пластівців. Тому після аерації потрібно пропускати воду через контактні резервуари та фільтри.

Якщо у воді міститься сірчанокісле залізо FeSO_4 , то при аерації такої води не досягається її знезалізнення, так як при гідролізі розчиненої солі заліза утвориться вугільна кислота, яка знизить рН води до величини, меншої ніж 6,8, при якій гідроліз майже припиняється, тому з води CO_2 видаляють її вапнуванням:



Після вапнування необхідні відстоювання і фільтрування води.

Залізо, що міститься у воді у вигляді колоїду гідрокси заліза $\text{Fe}(\text{OH})_3$ або у вигляді колоїдальних органічних сполук (гумати заліза), може бути видалено за допомогою коагулювання сульфатом алюмінію або залізним купоросом з добавкою хлору або вапна.

Щоб встановити найбільш економічний для даної води спосіб знезалізнення, треба зробити пробне видалення заліза.

Установку на рисунку 2.8 застосовують для знезалізнення води поверхневих джерел. Вона включає обладнання реагентного господарства (для приготування і дозування розчину коагулянту, вапняного молока і хлор-газу), аератор-змішувач 1 для аерації води і змішування її з реагентами, освітлювач 2 для затримання завислих речовин і продуктів реакції реагентів, введених у воду, фільтр 3, який затримує суспензію, що не затримана в освітлювачі.

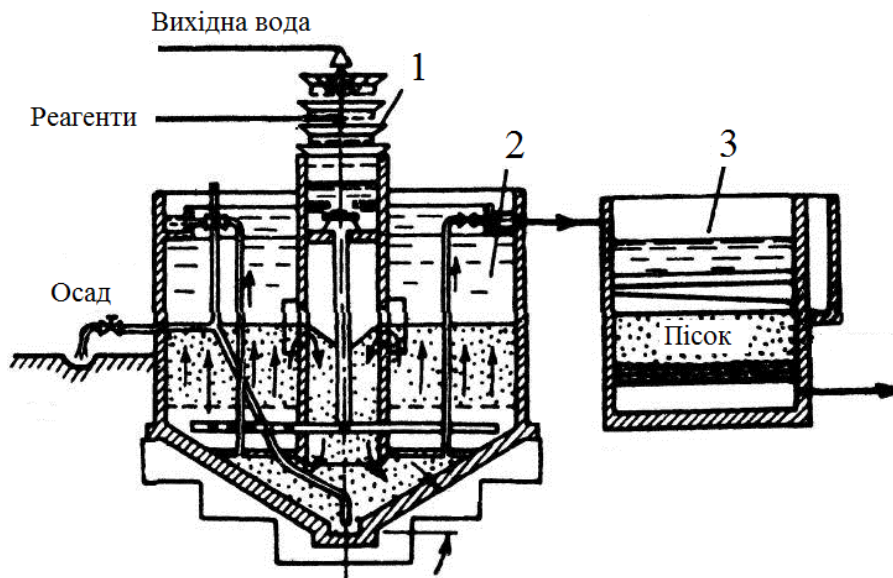


Рисунок 2.8 – Схема установки для реагентного знезалізнення води:
 1 – аератор-змішувач для аерації води і змішування її з реагентами;
 2 – освітлювач для затримання завислих речовин і продуктів реакції реагентів, введених у воду; 3 – фільтр

Основним завданням розрахунку установок для реагентного знезалізнення води є визначення основних параметрів споруд, які входять до неї:

- 1) реагентного господарства (для приготування і дозування розчину коагулянту, вапняного молока і хлор-газу);
- 2) аератора-змішувача для аерації води і змішування її з реагентами;
- 3) освітлювача для затримання завислих речовин і продуктів реакції реагентів, введених у воду;
- 4) фільтру.

10. Фторування води з використанням фтораторної установки з розчинними баками.

Фторування води господарсько-питного призначення проводять для попередження карієсу зубів у населення, що користується водою з вмістом фтору нижче $0,7 \text{ мг/дм}^3$. Однак надлишковий вміст фтору понад $1,5 \text{ мг/дм}^3$ може викликати флюороз (гіпоплазію емалі зубів). Тому слід збільшувати вміст фтору у воді тільки до $0,8 \text{ мг/дм}^3$ влітку і до 1 мг/дм^3 взимку, вводячи фторвмісні реагенти.

Для фторування питної води може бути використаний ряд фторвміщуючих сполук, таких як кремнефтористий натрій NaSiF_6 , кремнефториста кислота H_2SiF_6 , фтористий натрій NaF , кремнефтористий амоній $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$, фтористий кальцій CaF_2 , фтористоводнева кислота HF , кремнефтористий калій K_2SiF_6 , кремнефтористий алюміній $\text{Al}_2(\text{SiF}_6)_3$, фтористий алюміній AlF_3 і ряд інших.

У США і Канаді застосовують для фторування питної води на 60 % діючих установок кремнефтористий натрій, на 25 % – кремнефтористоводневу кислоту, на 13 % – фтористий натрій і тільки на 2 % установок застосовують кремнефтористий амоній, фтористий кальцій, фтористоводородну кислоту та інші сполуки. У вітчизняній практиці найбільше застосування отримав кремнефтористий натрій, менш широке – фтористий натрій і фторид-біфторид амонію.

Схема дії фтораторної установки з розчинними баками і механічним завантаженням реагенту (рис. 2.9) полягає в наступному: реагент подається в розчинні баки з бочок, розташованих на підлозі складу на спеціальних підставках. Пристроєм, укріпленим на кран-балці, бочку ставлять на роликову платформу, яку підводять по напрямних до перекидної кабіни з дверцятами, які відкриваються вниз. Вміст бочки висипається в бункер, що обслуговує баки. Реагент заповнює сектори об'ємних дозаторів і подається по черзі в один або інший бак. Реагент завантажують один раз на зміну.

Готовий розчин забирають насоси-дозатори і по фторопроводу подають на очисну станцію до швидких фільтрів. По трубопроводу в бак надходить вода для розчинення реагенту, а труба служить для скидання осаду в каналізацію.

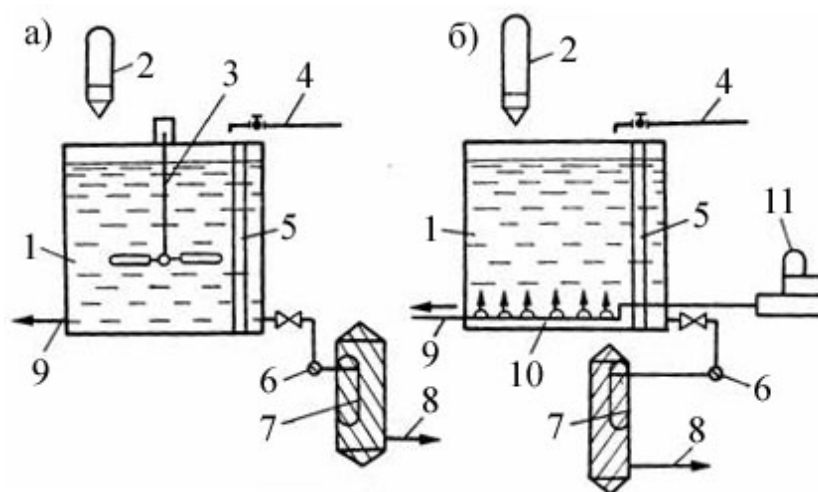


Рисунок 2.9 – Фтораторна установка з розчинним баком з механічним перемішуванням (а) і з барботуванням (б):

- 1 – розчинний бак; 2 – бункер з дозуючим пристроєм; 3 – механічна мішалка;
 4 – подача води; 5 – поплавковий пристрій; 6 – насос; 7 – напірний фільтр для освітлення розчину фторвміщуючого реагенту; 8 – фторпровід; 9 – скидання осаду;
 10 – повітрозподільна система; 11 – повітродувка

Основним завданням розрахунку фторування води є визначення основних параметрів обладнання та споруд технологічної схеми:

- 1) реагентного господарства;
- 2) основного обладнання;
- 3) допоміжного обладнання.

11. Фторування води з використанням фтораторної установки з сатуратором.

У всіх установках з сатураторами зазвичай як реагент застосовують кремнефтористий натрій. Щоб отримати в сатураторі насичений розчин реагенту з постійною концентрацією, треба підтримувати постійну температуру води, що поступає. З цією метою воду пропускають через теплообмінник з температурою 20 °С.

Фтораторна установка розглянутого типу (рисунок 2.10) примикає до складу реагенту; поруч є кімната чергового оператора. Сатуратор складається з конічної нижньої і верхньої циліндричної частин. Усередині сатуратора за його вертикальної осі проходить центральна труба, що закінчується всередині конічної частини сатуратора воронкою, яка розширюється донизу. Центральна труба служить для засипання реагенту та відділення повітря. Вода подається в нижню частину сатуратора і до невеликої зовнішньої воронки у верхній частині сатуратора, в яку надходить розчин реагенту. Насичений розчин кремнефтористого натрію, що утворюється в сатураторі, відводиться по фторопровадам, на яких встановлені ротаметри. Для регулювання підведення води до сатуратора встановлений бачок постійного рівня ємністю 15 л.

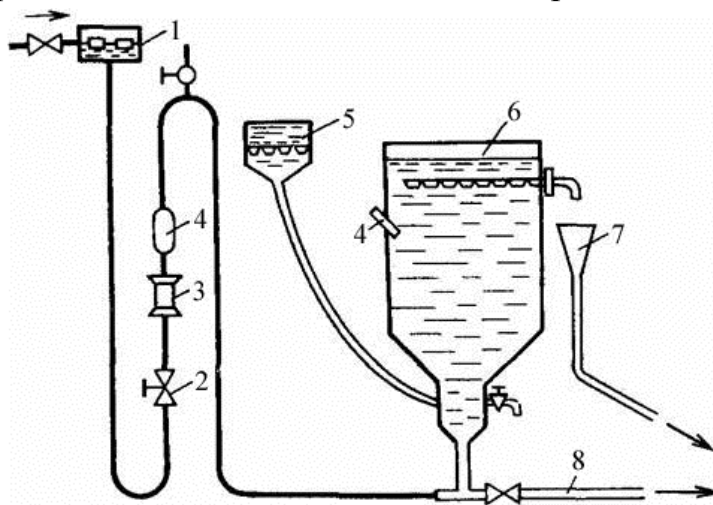


Рисунок 2.10 – Фтораторна установка з сатуратором:

1 – бак постійного рівня; 2 – регулюючий вентиль; 4 – термометр; 5 – воронка прийому реагенту; 3 – ротаметр; 7 – прийом і відведення розчину реагенту; 6 – сатуратор одинарного насичення; 8 – скидання в каналізацію

Основним завданням розрахунку фторування води є визначення основних параметрів обладнання та споруд технологічної схеми:

- 1) реагентного господарства;
- 2) основного обладнання;
- 3) допоміжного обладнання.

12. Дефторування води методом осадження з використанням гідроксиду магнію.

Вміст фтору в підземних водах, використовуваних для господарсько-питного водопостачання (колодязі, артезіанські свердловини), сильно варіює залежно від географічного розташування і глибини джерела. Фтор є гігієнічно значущим хімічним елементом, і його гранично допустима концентрація в питній воді не повинна перевищувати $1,2 \text{ мг/дм}^3$. Збільшення концентрації дуже небезпечно: зростає ризик захворювання зубним флюорозом (поява плям на зубах), у разі сильного перевищення (5 мг/дм^3) – флюорозом кісткових тканин.

Для дефторування води використовують ряд методів, які можна об'єднати у дві групи:

– метод сорбції фтору осадом гідроксиду алюмінію або магнію, а також фосфату кальцію доцільно застосовувати при обробці поверхневих вод, коли крім знефторення потрібні ще освітлення й знебарвлення. Разом з тим цей метод може знайти застосування для обробки підземних вод при необхідності їх одночасного зм'якшення (реагентним методом) і знефторення;

– метод фільтрування води через фторселективні матеріали заснований на обмінній адсорбції іонів, при якій фтор видаляється в процесі пропуску оброблюваної води через сорбент. Цей метод найбільш ефективний при знефторенні підземних вод, які, як правило, не потребують інших видів кондиціювання, або в тих випадках, коли одночасно із знефторенням проводять ще й опріснення.

Знефторення води гідроксидом магнію, який утворюється у воді, яка містить магній, в присутності вапна, дозволяє знизити вміст у воді й магнію.

Для зниження вмісту фтору у воді на 1 мг потрібно $50\text{--}60 \text{ мг}$ магнію або $100\text{--}150 \text{ мг}$ $\text{Mg}(\text{OH})_2$. При нестачі магнію у вихідній воді для підвищення ефекту знефторення до неї вводять сульфат або хлорид магнію. При надлишку магнію утворюваний в результаті взаємодії гідроксиду магнію з фтором фторид магнію переходить потім у малорозчинний оксифторид магнію.

Процес сорбції фтору свіжоутвореним гідроксидом магнію при $\text{pH} > 9,5$ протікає швидко й інтенсивно, практично не залежить від температури і закінчується за $8\text{--}12 \text{ хв}$. Сорбційна здатність гідроксиду магнію може бути використана більш повно шляхом пропуску оброблюваної води через його завислий шар. Відмінною особливістю осаду гідроксиду магнію є надзвичайна легкість. Тому швидкість висхідного руху води в освітлювачах повинна бути $0,2\text{--}0,3 \text{ мм/с}$. При цьому концентрація завислих речовин шарі завислого осаду складе $1,6\text{--}2 \text{ г/дм}^3$. Висоту шару осаду приймають $2\text{--}2,5 \text{ м}$. Час перебування води в шарі контактного осаду не менше 1 год . У цьому випадку витрата магнію на видалення 1 мг фтору значно менша – близько 30 мг . Для

орієнтовних розрахунків витрату солей магнію на знефторення води осадженням гідроксиду магнію з використанням його сорбційної здатності у завислому шарі слід приймати 2 мг-екв на 1 мг фтору, який видаляється з води, при його вмісті у воді до 7 мг/дм³. У зв'язку з тим що процес є сорбційним, зі збільшенням початкової концентрації фтору у воді питома витрата магнію на знефторення буде зменшуватися. При нестачі в природних водах солей магнію необхідну їх кількість для знефторення забезпечують введенням реагентів.

Технологічна схема установки для дефторування природних вод сорбцією на гідроксиді магнію складається з вертикального змішувача, освітлювачів із шаром завислого осаду з конічними або пірамідальними днищами і швидких освітлювальних фільтрів.

Дефторування води солями алюмінію засноване на сорбції фтору осадом гідроксиду алюмінію. Це пов'язано з утворенням на поверхні твердої фази малорозчинних фторидів. При цьому ефективність процесу перебуває у зворотній залежності від рН води. У міру зниження рН води при постійній дозі сульфату алюмінію ефективність знефторення зростає, що пояснюється неоднорідністю складу осадів при гідролізі сульфату алюмінію при різних рН. При низьких значеннях рН в осаді переважно утворюється основний сульфат алюмінію – $\text{Al}(\text{OH})\text{SO}_4$, ефективність знефторення зростає, зменшується вміст у ньому гідроксиду алюмінію, який сорбує фтор в меншій мірі, ніж основний сульфат алюмінію. Для дефторування води при значеннях рН, близьких до нейтральних, потрібні дуже великі дози сульфату алюмінію. Тому видалення фтору з води цим способом найбільш доцільно вести при рН = 4,3–5,0. При таких значеннях витрата сульфату алюмінію на 1 мг віддаленого фтору складе 25–30 мг/дм³.

Отже, знефторення води гідроксидом алюмінію вимагає її попереднього підкислення з подальшим підлугуванням для зниження корозійної дії води. Технологічна схема складається з вертикального змішувача, освітлювачів із завислим осадом і швидких освітлювальних фільтрів. Розчин кислоти для підкислення вводиться перед змішувачем, сульфат алюмінію – в змішувач, вапно для підлугування води – перед фільтрами. Великі витрати кислоти та вапна, а також необхідність точного дозування реагентів роблять цей метод знефторення води дорогим і складним в експлуатації.

Видалення фтору з води за допомогою трикальційфосфату засноване на сорбції фтору його свіжоутвореним осадом, який зв'язує наявний у воді фтор в малорозчинну сполуку $[\text{Ca}_9(\text{PO}_4)_6\text{Ca}]\text{F}_2$, що випадає в осад. Витрата трикальційфосфату на видалення 1 мг фтору становить 23–30 мг.

Швидкість висхідного потоку води в шарі завислого осаду приймають 0,6–0,8 мм/с. Вміст фтору знижується з 5 до 1 мг/дм³ при витраті реагенту 30 мг

на 1 мг видаленого фтору. Для отримання трикальційфосфату у вертикальний змішувач спочатку вводять вапно, а потім розчин ортофосфорної кислоти. Після цього вся маса води передається в освітлювач і надходить у шар завислого осаду. Тут протікає основна частина процесу, утворюється малорозчинний фторид, який в осадоушільнювачі випадає в осад. Весь цикл обробки води закінчується на швидких освітлювальних фільтрах, де вона звільняється від дрібних пластівців, що не випали в осад в освітлювачі. Після цього вода піддається знезараженню, акумулюється в резервуарах і насосами II підйому подається в мережу споживача.

Техніко-економічне порівняння трьох розглянутих сорбційних методів дефторування води свідчать про те, що найбільш доцільно застосовувати для зазначеної мети гідроксид магнію.

Основним завданням розрахунку дефторування води є визначення основних параметрів споруд технологічної схеми:

- 1) реагентного господарства;
- 2) вертикального змішувача;
- 3) освітлювачів із шаром завислого осаду;
- 4) швидких освітлювальних фільтрів

13. Адсорбційна установка для очищення води з нерухомим шаром активованого вугілля.

Адсорбцію використовують для глибокого очищення вод замкнутого водоспоживання та доочищення стічних вод від органічних речовин, у тому числі від біологічно жорстких.

Апарати для сорбційної очистки стічних вод класифікуються за різними ознаками:

- щодо організації процесу – періодичної і безперервної дії;
- за гідродинамічним режимом – апарати витіснення, змішування і проміжного типу;
- за станом шару сорбенту – з нерухомим, рухомим, пульсуючим, тим, що перемішують, і циркулюючим шаром;
- за організацією контакту взаємодіючих фаз – з безперервним і ступінчастим контактом;
- за організацією напрямку руху фаз – з прямоточним, протитечійним і змішаним рухом;
- за конструкцією – колонні і ємнісні;
- за способом підведення енергії – без підведення енергії ззовні (гравітаційний рух фаз) і з підведенням енергії ззовні (примусовий рух твердої фази).

Найчастіше в практиці очищення води застосовують адсорбери з нерухомим і щільно рухомим шаром поглинача, апарати з псевдозрідженим шаром адсорбенту, а також апарати, в яких забезпечується інтенсивне перемішування оброблюваної води з порошкоподібним або пиловидним сорбентом.

Вибір конструкції адсорберів обумовлений дисперсним складом використовуваного адсорбенту, який приймається з урахуванням дефіцитності, його вартості та можливості регенерації.

Ефективність адсорбційного очищення залежить від хімічної природи адсорбенту, доступності та величини адсорбційної поверхні, від хімічної будови і стану речовини у водному розчині. Перевага методу – можливість сорбції речовин з багатокомпонентних сумішей, в тому числі з малоконцентрованих вод, висока ефективність очищення.

Як адсорбенти для очищення води від розчинних органічних речовин широке застосування знаходять активні вугілля, які повинні мати такі властивості: слабо взаємодіяти з водою і добре з органічними речовинами, мати розмір пір доступний для речовини, яка витягується, мати високу адсорбційну ємність, високу селективність і малу утримуючу здатність при регенерації, бути міцними, швидко змочуватися водою, мати певний гранулометричний склад.

У динамічних умовах процес очищення проводять при фільтруванні води через шар адсорбенту. Швидкість фільтрування залежить від концентрації розчинених речовин і коливається від 2 до 6 м/год. Адсорбент застосовують у вигляді частинок розміром 1,5–5 мм. Щоб уникнути забивання адсорбенту стічна вода не повинна містити твердих завислих домішок. В одній колоні при нерухомому шарі вугілля очищення ведуть періодично до проскакування, а потім адсорбент регенерують. При безперервному процесі використовують кілька колон. За такою схемою дві колони працюють, а третя відключена на регенерацію.

Найважливішою стадією процесу адсорбційного очищення є регенерація вугілля. Адсорбовані речовини з вугілля витягують десорбцією насиченою або перегрітою водяною парою, або нагрітим інертним газом.

Типовий адсорбер з нерухомим шаром зерненого сорбенту показаний на рисунку 2.11. Як правило, в схемах з нерухомим шаром адсорбенту передбачено кілька адсорберів, в кожному з яких в один і той же момент часу протікає певна стадія процесу. При такій схемі адсорбери працюють періодично, а очищення води відбувається безперервно. Завислі речовини, затримані у верхніх шарах адсорбенту, періодично видаляють при промиванні водою, що проходить через шар активного вугілля знизу вгору. Перед цією стадією зазвичай проводять так звану поверхневу промивку від дрібниці.

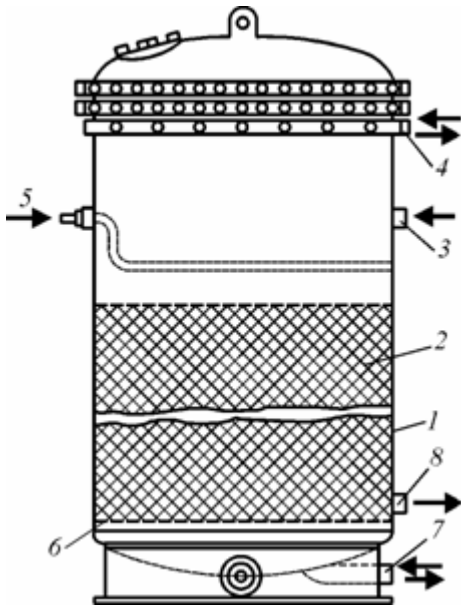


Рисунок 2.10 – Адсорбер з нерухомим шаром активного вугілля:

1 – корпус апарату; 2 – адсорбер; 3 – люк для завантаження вугілля; 4 – штуцер подачі води на очищення; 5 – штуцер подачі води для поверхневої промивки завантаження; 6 – решітки; 7 – штуцер для відводу очищеної води і подачі промивної води; 8 – люк для вивантаження відпрацьованого сорбенту

Основним завданням розрахунку адсорбційних установок є визначення основних параметрів:

- 1) основного обладнання;
- 2) допоміжного обладнання.

14. Адсорбційна установка для очищення води з псевдозрідженим шаром активованого вугілля.

На рисунку 2.11 представлені адсорбери, які працюють в режимі псевдорідинної твердої фази.

Установка з одноярусними завислим шаром (рисунок 2.11, а) активного вугілля оснащена виносним вуглеуцільнювачем 1 з примусовим відсмоктуванням адсорбенту, який подають разом із струменем води, що надходить на очищення центральною трубою 2 через дифузор 5. Пройшовши розподільні решітки 4, вода вступає в контакт із завислим шаром вугілля; очищену воду відводять з верхньої частини установки через дірчасту затоплену кільцеву трубу 3.

У двоярусному протитечійному адсорбері (рисунок 2.11, б) суспензію активного вугілля через центральну трубу 7 подають під розподільну решітку другого ярусу адсорбера, де змішують з частково обробленою водою, що виходить з камери першого ярусу 3 через горловину 4. Над решітками в камері 5 активне вугілля утворює завислий шар. Очищену воду відводять з верхньої частини адсорбера за допомогою кільцевого жолоба 6, забруднена вода надходить на очищення в нижню частину адсорбера через ежектор 1, який підсмоктує надлишок активного вугілля з камери другого ярусу по переливній трубці 8.

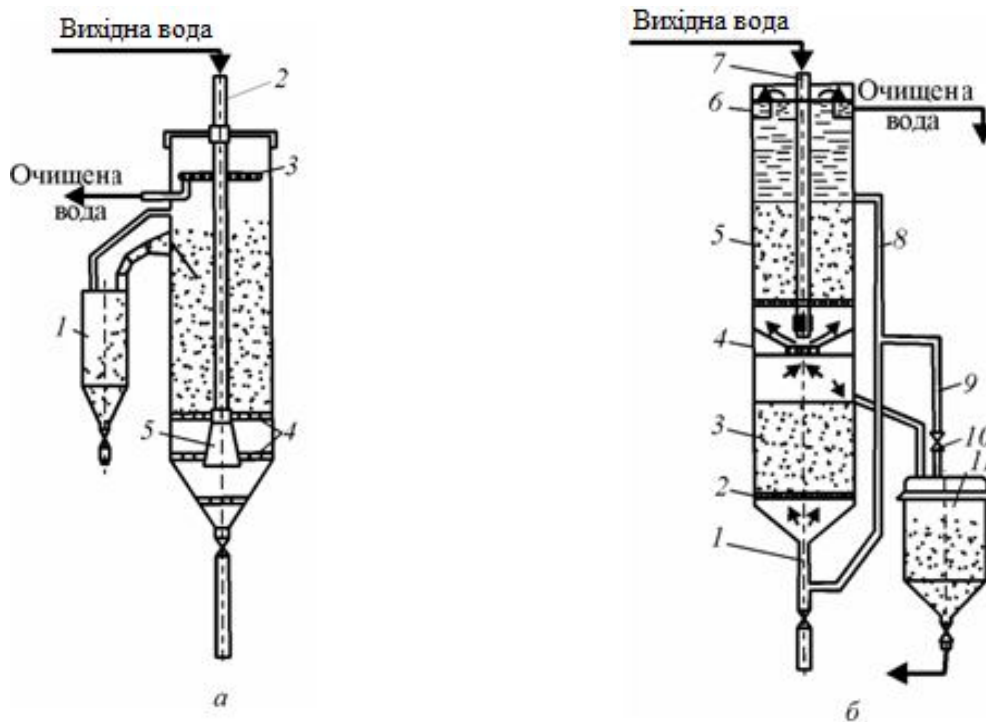


Рисунок 2.11 – Конструкції адсорберів з псевдозрідженим шаром активного вугілля:

а – одноярусний адсорбер, б – двоярусний адсорбер:

1 – виносний ущільнювач; 2 – центральна труба; 3 – дірчаста кільцева труба; 4 – розподільні решітки; 5 – дифузор;

1 – ежектор; 2 – розподільна решітка; 3 – камера першого ярусу; 4 – горловина; 5 – камера другого ярусу; 6 – кільцевий жолоб; 7 – центральна труба; 8 – переливна труба; 9 – труба для ежекування відпрацьованої води; 10 – регулюючий клапан; 11 – виносний ущільнювач

Вода, змішана в ежекторі з уже частково насиченим вугіллям, проходить розподільну решітку 2 і утворює нижній шар в камері першого ярусу 3. Очищення води в цьому шарі проводять за рахунок різниці концентрацій забруднень в необробленій і очищеній воді. Надлишок завислого шару відпрацьованого в нижньому ярусі вугілля потрапляє у виносний вуглеущільнювач 11. Процес посилюється ежекуванням обробленої води з ущільнювача через трубу 9, забезпечену регулюючим вентилям 10, в переливну лінію. З вуглеущільнювача відпрацьований сорбент направляють на регенерацію.

Застосування адсорберів розглянутої конструкції позитивно зарекомендувало себе в технології кондиціонування води для видалення розчинених органічних забруднень, у тому числі тих, що погано пахнуть.

Основним завданням розрахунку адсорбційних установок є визначення основних параметрів:

- 1) основного обладнання;
- 2) допоміжного обладнання.

15. Окислювально-сорбційна дезодорація води.

Вода може мати певний, не завжди приємний, запах, який вона набуває через різні органічні речовини, що містяться в ній і представляють собою продукти життєдіяльності або розпаду мікроорганізмів і водоростей.

Очищення води від запаху (*дезодорацію води*) проводять за допомогою різних модифікацій методу хлорування води, сорбційного фільтрування, вуглевання, аерування, озонування, обробки води перманганатом калію, перекисом водню і комбінації цих методів.

Завдання збільшення міжрегенераційного періоду роботи гранульованого активного вугілля успішно вирішується обробкою води окислювачем перед фільтруванням її через вугілля. Така обробка води дає не просто підсумовування двох процесів, а сприяє прояву *ефекту окислювально-сорбційної взаємодії*. При цьому вугілля «працює» як каталізатор окислення, який значно підвищує глибину і швидкість цього процесу, і, в той же час, на вугіллі краще сорбуються багато продуктів окислення. Подібне одночасне застосування двох методів значно розширює діапазон органічних забруднень, що видаляються з води. Практикою доведено також економічну перевагу спільного застосування окислювачів і активного вугілля.

Вихідні дані, такі як якість оброблюваної води, склад і типи очисних споруд, визначають різноманітність технічних рішень застосування окислювально-сорбційного методу очищення води. Наприклад, фільтри із завантаженням з гранульованого активного вугілля, які очищають воду тільки від органічних забруднень, розміщують у технологічній схемі після освітлювальних фільтрів. Фільтри, які використовують гранульоване вугілля і виконують поряд із зазначеною функцією також функцію освітлення води, розміщують після споруд першого ступеня. Завантаження таких фільтрів має два варіанти виконання: 1) цілком складається з активного вугілля; 2) складається з вугілля і матеріалу для механічного очищення (двошарове завантаження).

Схема контактного освітлення води передбачає також можливість розташування після контактних освітлювачів окремо розташованих вугільних фільтрів або ж влаштування контактних освітлювачів з піщано-вугільним завантаженням. Варто відзначити, що в першому випадку, коли фільтрування води відбувається послідовно через два окремих каскади фільтрів, спостерігається значне зростання капітальних витрат на будівництво очисних споруд. Однак при цьому вугільне завантаження використовують за його прямим призначенням (для видалення хімічних забруднень) і знаходиться воно в найбільш сприятливих умовах, так як на вугільний фільтр надходить освітлена вода. В результаті фільтр вимагає меншу кількість промивань, що

знижує втрату вугілля на подрібнення і стирання; зменшення засмічення вугільних пір суспензією сприяє кращій сорбції хімічних забруднень і збільшенню терміну служби вугілля як сорбенту.

Санітарно-гігієнічні та техніко-економічні показники очищення води і призначення вугільного завантаження визначають місце його розташування в технологічній схемі. У всіх випадках введення окислювача в оброблювану воду повинно проводитися до її надходження на вугільне завантаження.

Варіанти введення окислювача у воду:

- 1) на початку технологічної схеми;
- 2) після стадії механічного очищення води;
- 3) безпосередньо перед вугільним фільтром;
- 4) подвійне введення окислювачів різного типу.

Причому місце введення окислювача визначається загальними завданнями, покладеними на окислювач, швидкістю його витрачання та іншими факторами.

Для підземних джерел як правило використовують перший варіант введення, а для поверхневих – другий.

Під час застосування окислювально-сорбційного методу дезодорації води, важливо правильно підібрати тип використовуваного окислювача. Використовувані в даний час окислювачі, поширені в практиці обробки води реагентами, відрізняються різною ефективністю (з техніко-економічної та санітарно-гігієнічної точок зору) щодо хімічних забруднень води.

Хлор як окислювач доцільно використовувати у разі знаходження у воді забруднень, які порівняно легко окислюються – феноли, деякі речовини природного походження тощо. Причому умови спільного застосування хлору і активного вугілля не вимагають попередньої амонізації води – при необхідності її проводять при остаточному хлорванні.

За наявності у воді здебільшого забруднень, які важко окисляються – розчинних фракцій нафти та її продуктів, синтетичних поверхнево-активних речовин, органічних пестицидів та ін., доцільним є застосування озону як найбільш сильного окислювача. В окремих випадках також ефективно використання декількох окислювачів (озону і хлору, хлору і перманганату калію). Шляхом лабораторних випробувань здійснюють вибір окислювача, його дозу і місце введення в технологічній схемі очищення води – з урахуванням підтримки мінімуму навантаження на вугілля як сорбент. При цьому враховують також функцію вугілля як каталізатора процесу окислення.

Дуже важливе питання – тривалість роботи активного вугілля, яку практично неможливо визначити розрахунковим шляхом. Вона залежить від правильного підбору типу та дози окислювача, а також ряду інших умов. Як

показує практика, спільне застосуванні окислювача і активного вугілля сприяє збереженню сорбційної активності вугілля протягом досить тривалого періоду (на практиці може досягати 2-х років). При такому положенні справ не завжди економічно виправданою є регенерація вугілля, особливо якщо врахувати, що для відшкодування його втрат на подрібнення, стирання й винесення при промиванні щорічно потрібно проводити добавку свіжого вугілля (орієнтовно 10 % на рік до обсягу вугілля). У той же час можливе різке зниження сорбційної здатності вугілля по відношенню до органічних речовин внаслідок його обростання неорганічними забрудненнями (в основному, гідроксидами заліза, алюмінію та ін.). Тому стоїть завдання забезпечення високого ступеня попереднього освітлення води (а саме – її знезалізнення і деманганації) до моменту її надходження в шари вугільного завантаження. У першу чергу це має відношення до фільтрувальних споруд з суміщеними функціями освітлення і очищення від хімічних забруднень.

Основним завданням розрахунку окислювально-сорбційної дезодорації води є визначення основних параметрів технологічної схеми:

- 1) реагентного господарства;
- 2) основних споруд;
- 3) допоміжних споруд.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10 : Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною : Затверджено МОЗ України 12.05.2010. – Київ, 2010. – 25 с.
2. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5 – 74:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 287 с.
3. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-75:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 210 с.
4. Кожин В. Ф. Очистка питьевой и технической воды. Примеры и расчеты: Учеб. пособие для вузов / В. Ф.Кожин. – М. : БАСТЕТ, 2008. – 304 с.
5. Справочное пособие к СНиП 2.04.03-85. Проектирование сооружений для очистки сточных вод. – М. : Стройиздат, 1990. – 75 с.
6. Белан Ф. И. Водоподготовка : расчеты, примеры, задачи / Ф. И. Белан. – М. : Энергия, 1980. – 256 с.
7. Гребенюк В. Д. Обессоливание воды ионитами / В. Д. Гребенюк, А. А. Маэ. – М. : Химия, 1980. – 256 с.
8. Кострикин Ю. М. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления / Ю. М. Кострикин, Н. А. Мещерский, О. В. Коровина. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 248 с.
9. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды / А.Д.Смирнов. – Ленинград : Химия, 1982. – 168 с.
10. Центр дистанційного навчання ХНУМГ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://cdo.kname.edu.ua>.

ДОДАТОК А
Зразок оформлення титульного аркуша
курсowego проекту

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Кафедра водопостачання, водовідведення і очищення вод

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

з дисципліни «Спецкурс з очистки природних вод»

**на тему: «Реагентне зм'якшення води з використанням
вихрового реактора»**

Студента 1 курсу гр. М ГБтаВТ2018-1
спеціальності 194 Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології

Іванова І. І.

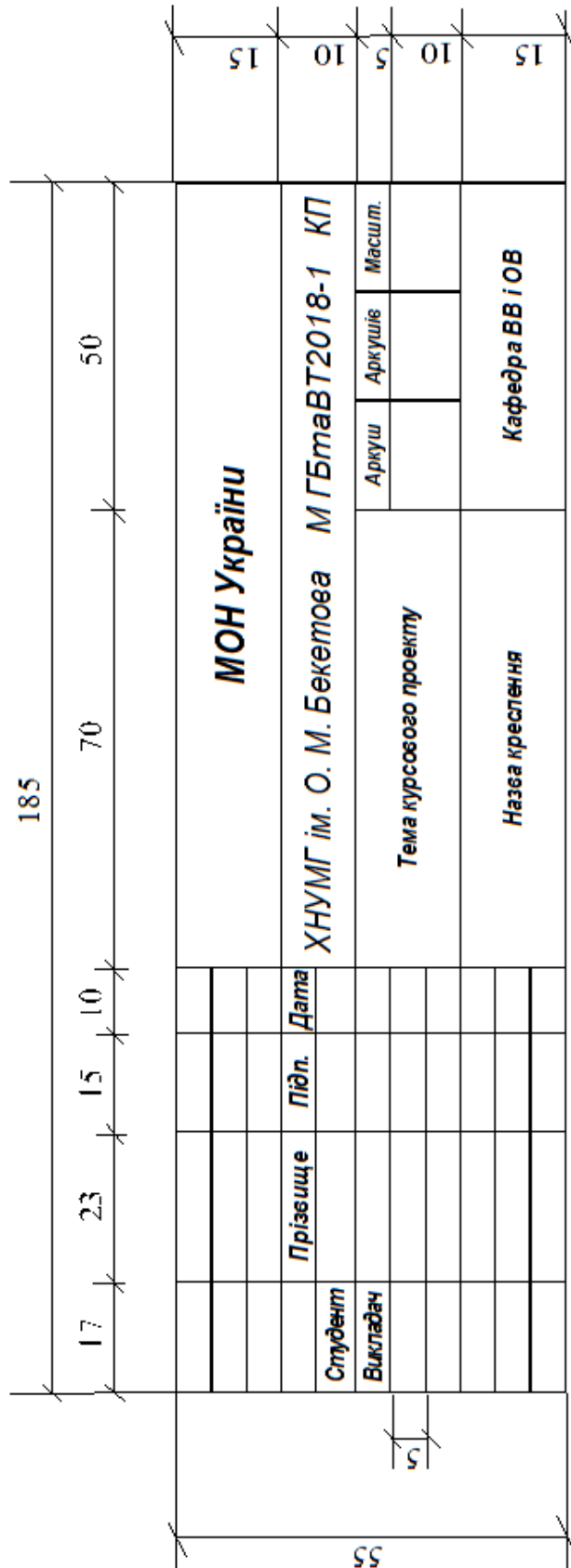
Керівник: доц. К. Б. Сорокіна

Національна шкала _____
Кількість балів: _____ Оцінка: ЄКТС _____

Члени комісії _____

м. Харків – 2019 рік

ДОДАТОК Б
Зразок основного надпису креслення
(кутовий штамп)



ДОДАТОК В
Зразок оформлення презентації для доповіді
за допомогою редактора PowerPoint

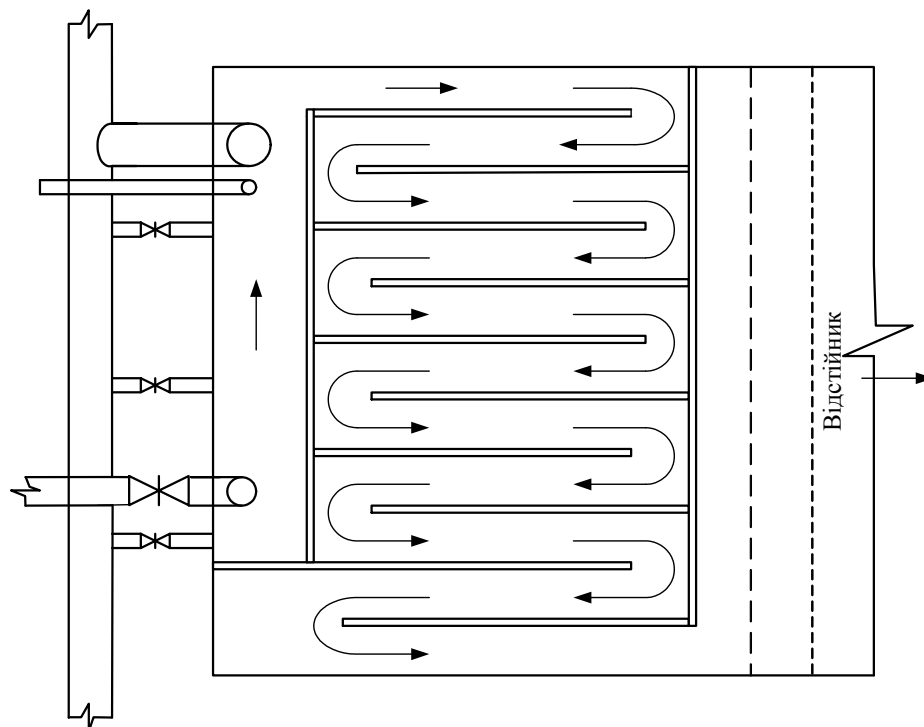
Тема курсового проекту:
«ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ОЧИЩЕННЯ ВОДИ»

Виконав:
ст. гр. МГБтаВТ2018-1

Іванов І.І.

3

КАМЕРА УТВОРЕННЯ ПЛАСТІВЦІВ



Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до виконання курсового проекту
з навчальної дисципліни

«СПЕЦКУРС З ОЧИСТКИ ПРИРОДНИХ ВОД»

*(для студентів 1–2 курсів денної і заочної форм навчання
другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія
та водні технології)*

Укладач **СОРОКІНА** Катерина Борисівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *К. Б. Сорокіна*

План 2019, поз. 124М

Підп. до друку 09.09.2019. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 1,8.

Тираж 50 пр. Зам. № _____.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.