

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ОДЕРЖАННЯ ПИТНОЇ ТА ТЕХНІЧНОЇ ВОДИ: ПРАКТИКУМ (ЧАСТИНА 2)

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою
«Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення»
161 «Хімічні технології та інженерія»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2020

Технологія та обладнання одержання питної та технічної води: Практикум (Частина 2). [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / Н.М. Толстопалова, М.І. Літинська, Т.І. Обушенко, І.М. Астрелін, О.В. Сангінова; КПІ ім. Ігоря Сікорського – Електронні текстові дані (1 файл: 8,12 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 181 с.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського

(протокол №10 від 18.06.2020 р.)

за поданням Вченої ради хіміко-технологічного факультету

(протокол №3 від 27.04.2020 р.)

Електронне мережне навчальне видання

ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ОДЕРЖАННЯ ПИТНОЇ ТА ТЕХНІЧНОЇ ВОДИ: ПРАКТИКУМ (ЧАСТИНА 2)

Укладачі:

Толстопалова Наталія Михайлівна, к.т.н., доцент

Літинська Марта Ігорівна, асистент

Обушенко Тетяна Іванівна, ст. викладач

Астрелін Ігор Михайлович, д.т.н., професор

Сангінова Ольга Вікторівна, к.т.н., доцент

Рецензент:

Мотронюк Тетяна Іванівна., к.т.н., доцент

Відповідальний

редактор:

Феденко Юрій Миколайович, к.т.н., асистент

Дисципліна «Технологія та обладнання одержання питної та технічної води» розширює та доповнює класичну «Теоретичні основи хімії та технології води» та викладається для магістрантів спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» спеціалізації «Хімічна технологія неорганічних речовин та водоочищення».

В даному навчальному посібнику наведено приклади типових схем водопідготовки, інформацію щодо конструкцій та приклади розрахунків головних параметрів технологічного обладнання.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	5
1 Типи контролю за якістю води	6
2 Сучасні методи знезараження води.....	9
2.1 Особливості знезараження води за допомогою реагентних методів.....	10
2.2 Фізичні методи знезараження води	17
2.3 Переваги та недоліки знезараження води за допомогою УФ випромінювання	24
2.4 Інші фізичні методи знезараження води.....	25
2.5 Знезараження води змішаними оксидантами: переваги і особливості застосування	28
3 Особливості систем водопостачання промислових підприємств.....	34
3.1 Основні схеми виробничого водопостачання	38
3.2 Охолоджуючі пристрої оборотних систем	42
3.3 Водопостачання підприємств чорної металургії	54
3.4 Водопостачання хімічних заводів	61
3.5 Водопостачання електростанцій	63
3.6 Водопостачання нафтопереробних заводів	70
3.7 Водопостачання підприємств легкої промисловості.....	72
3.8 Водний цикл підприємств харчової промисловості.....	74
3.9 Інноваційні прийоми покращення технології іонообмінної обробки води.....	78
3.10 Стабілізаційна обробка води.....	85
4 Приклади розрахунків обладнання водоочисних станцій.....	89
4.1 Розрахунок потужності водоочисної станції.....	89
4.2 Розрахунок водозабірних споруд.....	93

4.2.1 Типи водозаборів із поверхневих джерел та вибір місця їх розташування. Типи споруд для забору підземних та інфільтраційних вод.....	93
4.2.2 Розрахунок берегового водозабору.....	98
4.2.3 Розрахунок руслового водозабору.....	100
4.3 Розрахунок тонкошарового відстійника.....	108
4.4 Розрахунок піщаного фільтра.....	110
4.5 Розрахунок двопотокового фільтра.....	113
4.6 Видалення з води сполук заліза.....	119
4.6.1 Розрахунок установки знезалізнення води.....	129
4.7 Фторування та знефторення води.....	134
4.8 Дегазація води.....	138
4.9 Установки демінералізації води.....	142
4.9.1 Пом'якшення води за допомогою вапняно-содового методу.....	142
4.9.2 Пом'якшення води за допомогою іонообмінного методу....	146
4.9.3 Розрахунок двоступеневої схеми знесолення води.....	153
4.9.4 Опріснення води за допомогою електродіалізу.....	158
4.9.5 Опріснення води за допомогою електродеіонізації.....	167
4.10 Розрахунок установок знезараження води.....	170
4.10.1 Установки УФ випромінювання.....	170
4.10.2 Установки використання гіпохлориту натрію.....	173
4.11 Резервуари.....	176
Список посилань.....	181

ВСТУП

Ресурси прісних вод України включають поверхневі та підземні водні маси. Поверхневі ресурси прісної води – це головним чином стоки річок, об'єм яких складає 87,7 км³/рік у роки середньої водності та 55,9 км³/рік – у маловодні роки. Для місцевого водопостачання мають значення запаси води у прісних озерах України (близько 3,3 км³/рік). Україна характеризується нерівномірним розподілом водних ресурсів по території країни. Величина середнього шару опадів змінюється в межах від 5-10 мм (Херсонська область) до 625 мм (Закарпатська область). Практично всі поверхневі джерела водопостачання України протягом останніх десятиліть інтенсивно забруднювались. Через низьку ефективність очищення промислових, побутових, сільськогосподарських та атмосферних стічних вод надходження забрудників у поверхневі водойми не зменшується, хоча використання води у господарській діяльності порівняно з початком 90-х років XX століття зменшилося більш ніж удвічі. Хоча Україна має значні запаси підземних вод, але їх територіальний розподіл характеризується значною нерівномірністю. Найбільші запаси в Чернігівській області, а найменші – в Криму, Волинській, Тернопільській, Запорізькій, Закарпатській та Дніпропетровській областях.

Дисципліна «Технологія та обладнання одержання питної та технічної води» розширює та доповнює класичну «Теоретичні основи хімії та технології води» та викладається для магістрантів спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» спеціалізації «Хімічна технологія неорганічних речовин та водоочищення». Матеріали практичних занять розроблено в рамках проєктів Water Harmony Erasmus+ (<https://www.waterh.eu/>) та Water Harmony II Eurasia (<https://www.waterh.net/>).

Даний посібник включає теоретичні відомості та детальні приклади розрахунків і є продовженням електронного мережного видання «Технологія та обладнання одержання питної та технічної води. Практикум. Частина 1» авторів Толстопалової Н.М., Літинської М.І. та Обушенко Т.І..

1 ТИПИ КОНТРОЛЮ ТА ВИМОГИ ДО ЯКОСТІ ВОДИ

Типи контролю за якістю води поділяються на:

- повний – визначення всіх компонентів;
- загальний фізико-хімічний – визначення показників нешкідливості хімічного складу та органолептичних показників;
- скорочений – визначення загальної кількості бактерій, колі-індекса, рН, окиснюваності, нітратів, заліза, залишкового активного хлору, тригаломертанів, кольоровості, каламутності, присмаку, запаху;
- спеціальний епідемічної безпеки – визначення каламутності, загальної кількості бактерій та інші мікробіологічні та паразитологічні показники;
- спеціальний токсикологічний та радіаційний.

При цьому контроль за якістю води проводиться зазвичай:

- фізико-хімічний та скорочений у джерелі;
- повний та інші види перед надходженням у розподільну мережу і безпосередньо з водорозбірних приладів.

Кількість аналізів на місяць встановлюється залежно від продуктивності системи водопостачання, екстремальних умов тощо.

Адміністрація водопровідно-каналізаційних господарств несе відповідальність за дотримання вимог Державних санітарних правил і норм (ДСанПіН), безперервну і надійну роботу споруд, погодження з санітарно-епідеміологічними службами всіх найбільш важливих робіт, щорічного медичного обстеження працівників, надання необхідної інформації санітарно-епідеміологічним службам. Органи державної виконавчої влади, місцевого та регіонального самоврядування несуть відповідальність щодо забезпечення питною водою населення. Органи державної санітарної епідеміологічної служби несуть відповідальність у разі нездійснення нагляду за дотриманням вимог ДСанПіНу щодо забезпечення відповідності якості

питної води, відповідності правил та гігієнічних нормативів для споруд, погодження проектів тощо.

Вимоги паросилових установок до якості живильної та котлової води і пари залежать від типу котлів, параметрів пари, питомих теплових навантажень на поверхню нагріву, потужностей агрегатів, кількості годин безперервної роботи. Для кожної котельної установки ці вимоги встановлюються на основі спеціальних експлуатаційних досліджень, але згідно з «Правилами технічної експлуатації електричних станцій і мереж» є певні вимоги до живильної та котлової води. За чистішої води буде спостерігатися більш надійна та ефективна робота котельної установки. Проте вартість підготовки води збільшується. Вода в парових котлах повинна бути максимально звільнена від завислих та органічних речовин, тому що вони збільшують кількість шламу в котловій воді, викликають вторинний накип, погіршують якість насиченої пари. Залежно від типу котлів прозорість живильної води повинна бути не менше 30-40 см за шрифтом. Такий показник прозорості можуть забезпечити нормативні значення каламутності і кольоровості питної води. Концентрація феруму залежно від типу котлів повинна бути в межах 0,02-0,3 мг/дм³.

Вільна вуглекислота разом із киснем сприяє корозії металу, а тому її не повинно бути. На процеси корозії сильно впливає значення водневого показника рН, доцільно щоб вода була нейтральною або слаболужною. Мастильні масла викликають спінювання котлової води і винос крапель котлової води. Вміст масел у живильній воді барабанних котлів не повинен перевищувати 3-0,5 мг/дм³ (залежно від тиску), для прямоточних – практично повна відсутність.

Вимоги до якості живильної води котельних комунальних установок наведені в табл. 1.1. Солевміст та лужність котлової води встановлюється на основі теплохімічних випробувань. Відносна лужність не нормується.

Таблиця 1.1 - Якість живильної води для котлів з тиском до 1,3 Мпа

Показник	Парові котли ДКВ, ДКВР, 2Г-50 тощо, без паронагрівачів	Парові сталеві та чавунні секційні котли, продуктивність менше 0,7 т/год	Сталеві водогрійні котли ПТВМ, ТВГ, КВГМ тощо (підживлювальна та мережева вода)
Загальна твердість, мг- екв/дм ³ , не більше	0,02	0,2	0,2
Вміст кисню O ₂ , мг/дм ³ , не більше	0,03	0,1	0,5
Вільна вуглекислота CO ₂ , мг/дм ³ , не більше	Немає	10	Немає
Вміст надлишкового сульфіту натрію Na ₂ SO ₃ , не більше	2	-	-
Значення рН, не менше	7	7	7
Вміст завислих речовин, мг/дм ³ , не більше	0	0	5

Вимоги до якості води відкритих і закритих систем теплопостачання наведені в табл. 1.2. В періоди запуску тепломереж після ремонту або монтажу допускається відхилення від наведеної якості в першу чергу за кольоровістю та вмістом феруму протягом чотирьох тижнів для закритих мереж і двох тижнів для відкритих мереж.

Таблиця 1.2 - Показники якості підживлювальної та мережевої води

Показник	Значення	Показник	Значення
Розчинений кисень O ₂ , мг/дм ³	<u>0,05</u> 0,02*	Вміст феруму Fe, мг/дм ³	<u>0,3-0,5</u> 0,5**
Вільна вуглекислота CO ₂ , мг/дм ³	Немає	Завислі речовини, мг/дм ³ , не більше	5
Значення рН	<u>8,3-9</u> 8,3-9,5**	Масла та нафтопродукти, мг/дм ³ , не більше	3
Перманганатна окиснюваність для відкритих систем, O ₂ , мг/дм ³ , не більше	5	Кремнієва кислота SiO ₂ у мережевій воді відкритих систем при силікатуванні, мг/дм ³ , не більше	30

* У чисельнику – у підживлювальній воді, в знаменнику – у мережевій.

** Для всіх видів води: у чисельнику – для відкритих систем, у знаменнику – для закритих.

2 СУЧАСНІ МЕТОДИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ

На сьогоднішній день з найбільш популярних та використовуваних методів дезінфекції води виділяють три: хлорування, озонування та обробка води ультрафіолетовим випромінюванням. Всі методи добре відомі, мають високу ефективність та знайшли застосування в різних областях водопідготовки. Згадувати про домінуючі позиції, які більш ніж 100 років займає хлорування, не має сенсу. А щодо недоліків, які спричинили депопуляризацію метода, говорити стало банальним. Разом з тим, варто замітити поступовий ріст популярності цього методу.

Відомо, що хлор-реагенти, самі по собі небезпечні та агресивні речовини, «славляться» здібностями утворювати куди більш небезпечні, токсичні, мутагенні і канцерогенні сполуки при взаємодії з домішками води. Вже зараз виділено більш 30 різних хлор-похідних, які являють небезпеку для людини, найбільш відомими є тригалогенметани, галогенооцтові кислоти, хлорфеноли тощо.

До альтернативної заміни хлорування відноситься озонування. Метод має більш високу ефективність і екологічно безпечніший, крім того, має комплексну дію – висока реакційна здатність озону дозволяє не тільки знищувати мікроорганізми, але і окиснювати різні домішки води, покращуючи тим самим її смак, колір і запах. Сьогодні озонування використовується як в процесах великого виробництва, наприклад, знезараження води в централізованому водопостачанні, так і в локальних системах, зокрема, басейнах, СПА. Але, на сьогоднішній день, метод залишається найдорожчим з відомих. Крім того, озон, а також технологія його виробництва, являються вибухо- та вогнебезпечними, а серед продуктів дезінфекції зустрічаються такі екологічно небезпечні речовини, як кетони та органічні кислоти.

2.1 Особливості знезараження води за допомогою реагентних методів

При хімічних способах знезараження питної води для досягнення стійкого знезаражуючого ефекту необхідно правильно визначити дозу реагенту, який вводиться, і забезпечити достатню тривалість його контакту з водою. Доза реагенту визначається пробним знезараженням або розрахунковими методами. Для підтримки необхідного ефекту при хімічних способах знезараження питної води доза реагенту розраховується з надлишком (залишковий хлор, залишковий озон), що гарантує знищення мікроорганізмів, що потрапляють у воду, ще деякий час після знезараження.

При фізичних способах необхідно підвести до одиниці об'єму води задану кількість енергії, яка визначається як добуток інтенсивності впливу (потужності випромінювання), помноженої на час контакту.

Зараженість води мікроорганізмами контролюють, визначаючи загальне число бактерій в 1 мл води і кількість індикаторних бактерій групи кишкової палички (БГКП). Основний вид цієї групи - *E. coli* - визначається простіше, ніж інші бактерії цієї групи. БГКП присутні в воді, яка забруднена фекаліями, і при цьому вони мають один з найвищих коефіцієнтів опору знезараженню. Будучи нешкідливою, *E. coli* є контрольним мікроорганізмом, що характеризує бактеріальне забруднення води. За СанПіН 2.1.4.1074-01, загальне число бактерій повинно бути не більше 50 при відсутності в 100 см³ коліформних бактерій. Мірою зараженості є так званий колі-індекс, тобто вміст *E. coli* в 1 дм³ води.

Однак ця норма не завжди корелює зі знезараженням води від вірусів. При дозах УФ випромінювання і хлору, що забезпечують однаковий ефект знезараження за колі-індексом, вплив ультрафіолету на віруси (віруцидний ефект) значно сильніше, ніж в разі застосування хлору. Озонування ж по віруцидній активності практично не поступається УФ опроміненню. Реальні практичні дози для досягнення високого віруцидного ефекту: 0,5-0,8 г/дм³ озону при контакті 12 хв; при УФ опроміненні - 16-40 мДж/см³.

Найбільш поширеним методом знезараження води був і залишається метод хлорування. Це пояснюється високою ефективністю, простотою технологічного обладнання, що використовується, дешевизною реагенту, який застосовують, - рідкого або газоподібного хлору - і відносною простотою обслуговування.

Дуже важливою і цінною рисою методу хлорування є його післядія. Якщо кількість хлору взято з деяким розрахунковим надлишком, так щоб після проходження очисних споруд в воді містилося 0,3-0,5 мг/дм³ залишкового хлору, то не відбувається вторинного росту мікроорганізмів у воді.

Взаємодію хлору з мікроорганізмами описано вище.

Одночасно зі знезараженням води протікають реакції окиснення органічних сполук, при яких в воді утворюються хлорорганічні сполуки, що мають високу токсичність, мутагенність і канцерогенність. Подальше очищення води на активному вугіллі не завжди може видалити ці сполуки. Крім того, що ці хлорорганічні сполуки, які мають високу стійкість, стають забрудниками питної води, вони, пройшовши через систему водопостачання і каналізації, викликають забруднення річок вниз за течією.

Хлор є сильнотоксичною речовиною, що вимагає дотримання спеціальних заходів щодо забезпечення безпеки при його транспортуванні, зберіганні і використанні; заходів щодо попередження катастрофічних наслідків в надзвичайних аварійних ситуаціях. Тому ведеться постійний пошук реагентів, що поєднують позитивні якості хлору без недоліків.

Пропонується застосування діоксиду хлору, який має низку переваг, таких як вищу бактерицидну і дезодоруючу дію, відсутність в продуктах обробки хлорорганічних сполук, поліпшення органолептичних якостей води, відсутність необхідності перевезення рідкого хлору. Однак діоксид хлору дорогий, повинен виготовлятися на місці за досить складною технологією. Його застосування може бути перспективним для установок відносно невеликої продуктивності.

Застосування для знезараження хлорвмісних реагентів (хлорного вапна, гіпохлоритів натрію і кальцію) менш небезпечно при обслуговуванні і не вимагає складних технологічних рішень. Правда, реагентне господарство, що використовується при цьому, є більш громіздким, що пов'язано з необхідністю зберігання великих кількостей препаратів (в 3-5 разів більше, ніж при використанні хлору). У стільки ж разів збільшується обсяг перевезень. При зберіганні відбувається часткове розкладання реагентів зі зменшенням вмісту активного хлору. Залишається необхідність влаштування системи припливно-витяжної вентиляції і дотримання заходів безпеки для обслуговуючого персоналу. Розчини хлорвмісних реагентів корозійно-активні і вимагають обладнання і трубопроводів з нержавіючих матеріалів або з антикорозійним покриттям.

Дедалі більшого поширення, особливо на невеликих станціях водопідготовки, набувають установки по виробництву активних хлорвмісних реагентів електрохімічними методами. Наприклад, кілька підприємств пропонують установки типу «Сапер», «Санатор», «Хлорел-200» для виробництва гіпохлориту натрію методом електролізу кухонної солі.

Слід враховувати, що при рівних дозах активного хлору корозійна активність в разі застосування гіпохлориту набагато вище, ніж при використанні хлору. Це пояснюється тим, що в воду разом з розчином гіпохлориту натрію вводиться така ж або більша кількість хлориду натрію, який неминуче присутній в розчині, а також стабілізатору гіпохлориту - каустичної соди. Результати - дедалі частіші руйнування міських споруд водопроводу при переході з хлору на гіпохлорит. Крім того, на жаль, є випадки бактеріального обсіменіння кінцевих точок водорозбірних мереж при використанні гіпохлориту.

При виборі хлорвмісних реагентів необхідно зробити обґрунтований вибір між високою ефективністю знезараження, технологічною та екологічною безпекою, і вартістю процесу. В результаті дискусії, що тривала

кілька років між противниками і прихильниками використання хлору, можна відзначити, що всі варіанти, мають свої переваги і недоліки (с. 28, табл. 2.1).

У світі в 99 випадках зі 100 для дезінфекції використовують або чистий хлор, або хлоровмісні продукти. У США для цих цілей в середньому використовують близько 500 тис. тон хлору на рік, в Росії - до 100 тис. тон. Така популярність хлорування пов'язана з тим, що це єдиний спосіб, який забезпечує мікробіологічну безпеку води в будь-якій точці розподільчої мережі в будь-який момент часу, завдяки ефекту післядії. Всі інші методи знезараження води, в тому числі озонування і УФ опромінення, що використовуються в даний час у промисловості, не забезпечують необхідної знезаражуючої післядії і тому необхідно застосовувати додаткове хлорування на одній зі стадій водопідготовки.

Озонування ґрунтується на властивості озону розкладатися у воді з утворенням атомарного кисню, що руйнує ферментні системи мікробних клітин і окиснює деякі сполуки, які надають воді неприємний запах (наприклад, гумінові основи). Кількість озону, необхідна для знезараження питної води, залежить від ступеня забруднення води і складає 1-6 мг/дм³ при 8-15 хвилинному контакті; кількість залишкового озону повинна складати не більше 0,3-0,5 мг/дм³, тому що більш висока доза надає воді специфічний запах і викликає корозію водопровідних труб. З гігієнічної точки зору озонування - один з найкращих способів знезараження питної води. При високому ступені знезараження воно забезпечує її найкращі органолептичні показники і відсутність високотоксичних і канцерогенних продуктів в очищеній воді.

Однак, у зв'язку з великою витратою електроенергії, використанням складної апаратури і необхідністю висококваліфікованого обслуговування, озонування знайшло застосування для знезараження питної води тільки при централізованому водопостачанні.

Метод озонування технічно складний і найбільш дорогий. Технологічний процес включає послідовні стадії очищення повітря, його

охолодження і осушення, синтез озону, змішування озоноповітряної суміші, виведення її в атмосферу. Все це вимагає також додаткового допоміжного обладнання - озонаторів, компресорів, установок осушення повітря, холодильних агрегатів і т.д., об'ємних будівельно-монтажних робіт.

Озон токсичний. Гранично допустимий вміст цього газу в повітрі виробничих приміщень - $0,1 \text{ г/м}^3$. До того ж існує небезпека вибуху озоноповітряної суміші.

Однак позитивні якості озонування переважають його недоліки, що сприяє постійному розширенню його застосування.

Слід зазначити, що, хоча ряд зарубіжних фірм пропонує автономні озонаторні установки для організації водопостачання окремого котеджу або очищення води в басейні, крім дуже високої вартості таких пристроїв, потрібне забезпечення їх високоякісного обслуговування.

Застосування металів (міді, срібла та ін.) для знезараження питної води засноване на використанні їх «олігодинамічної» властивості - здатності надавати бактерицидну дію в малих концентраціях. Ці метали можуть вводитися у вигляді розчинів солей або методом електрохімічного розчинення. В обох цих випадках можливий непрямий контроль їх вмісту у воді. Слід зауважити, що ГДК іонів срібла і міді в питній воді досить жорсткі, а вимоги до води, що скидається в рибогосподарські водойми, ще вище. Причому бактерицидну дію ці метали надають за більших концентрацій, ніж їх допустимі ГДК.

До хімічних способів знезараження питної води відноситься також широко застосовуване на початку ХХ ст. знезараження сполуками брому і йоду, що мають більш виражені бактерицидні властивості, ніж хлор, але які вимагають і більш складної технології. У сучасній практиці для знезараження питної води йодуванням пропонується використовувати спеціальні іоніти, насичені йодом. При пропусканні через них води йод поступово вимивається з іоніту, забезпечуючи необхідну дозу в воді. Таке рішення є прийнятним для малогабаритних індивідуальних установок. Істотним недоліком є зміна

концентрації йоду в ході роботи і відсутність постійного контролю його концентрації.

Застосування активованого вугілля і катіонітів, насичених сріблом, наприклад, C-100Ag або C-150Ag фірми «Purolite», має на меті не «сріблення» води, а запобігання розвитку мікроорганізмів при припиненні руху води. При зупинках створюються ідеальні умови для їх розмноження: велика кількість органіки, затримана на поверхні частинок, їх величезна площа і підвищена температура. Наявність срібла в структурі цих частинок різко зменшує ймовірність бактеріального обсіменіння шару заправки. Катіоніти, що містять срібло, містять значно більшу кількість срібла і призначені для знезараження води в установках невеликої продуктивності.

Електрохімічний спосіб знезараження води дещо відрізняється від виробництва гіпохлориту.

Випускається кілька поколінь установок для безпосередньої електроактивації води і виробництва концентрованих розчинів оксидантів, що вводяться потім в воду.

Серійно виробляються установки «Смарагд», «Сапфір», «Аквамін», «Аквахлор» і т.п. Їх робота заснована на пропусненні води через електрохімічний діафрагмовий реактор, розділений ультрафільтраційною металокерамічною мембраною на катодну і анодну область. При подачі постійного струму в катодній і анодній камерах відбувається утворення лужного і кислого розчинів, електролітичне утворення активного хлору. У цих середовищах гинуть практично всі мікроорганізми і відбувається часткове руйнування органічних забруднень. Конструкція проточного електрохімічного елемента добре відпрацьована, і набором з різного числа таких елементів отримують установки заданої продуктивності. Крім того, їх використовують для отримання дезінфікуючих розчинів - католіта і аноліта, що застосовуються в медичній практиці. Що стосується заяв розробників про зміну структури води і її чудодійні властивості, залишимо це без коментарів.

В установках типу «Аквахлор» вирішені питання раціонального поєднання позитивних властивостей відомих оксидантів - хлору, діоксиду хлору і озону - і усунені негативні моменти, характерні для кожного з названих реагентів окремо, тобто виключено утворення побічних продуктів хлорування і озонування. Установки «Аквахлор» є альтернативним і безпечним в експлуатації джерелом хлору і можуть використовуватися в якості заміни балонів і контейнерів з рідким хлором на станціях очищення води господарсько-питного водопостачання будь-якої продуктивності.

В установках «Аквахлор» з модульними реакторами ПЕМ-7 реалізований новий технологічний процес - Іонселективний електроліз з діафрагмою, що забезпечує повне розділення вихідного сольового розчину концентрацією від 180 до 250 г/дм³ за один цикл обробки на вологу суміш газоподібних оксидантів (хлор, діоксид хлору, озон) і розчин гідроксиду натрію концентрацією 150-170 г/дм³ при ступені конверсії солі від 98 до 99,5% і витратах електроенергії в межах 2-3 кВт·год на кілограм газоподібної суміші оксидантів.

Весь газоподібний хлор, що виробляється в ній, з невеликою кількістю діоксиду хлору, озону і гідропероксидних радикалів надходить у вбудований в установку ежекторний змішувач і розчиняється в воді, що протікає, яка перетворюється в розчин оксидантів з такою ж концентрацією розчиненого хлору, як і хлорна вода, що утворюється в типових хлораторах при розчиненні молекулярного хлору в воді. Далі цей розчин оксидантів змішується з основним потоком оброблюваної води за існуючими технологічними схемами хлорування, з використанням тих же гідравлічних ліній в співвідношенні, що дозволяє отримати в знезараженій воді концентрацію оксидантів, що відповідає вимогам діючих санітарних норм і правил. Отриманий розчин оксидантів є більш сильним дезинфікуючим агентом (знищує віруси, спори, біоплівки). Це обумовлено тим, що в розчині знаходиться суміш оксидантів: хлор, хлорноватиста кислота, діоксид хлору, озон, гідропероксидні сполуки, а не одна якась речовина. Суміш

свіжеотриманих різнорідних оксидантів в розчині має синергізм дії в процесах окисної деструкції органічних сполук.

Установки «Аквахлор» виробляються у вигляді модулів продуктивністю по оксидантам 30, 50, 100 і 500 г/год.

2.2 Фізичні методи знезараження води

Таким чином, основний недолік хлорування та озонування, які по визначенню є хімічними окиснювальними методами, полягає в утворенні побічних токсичних продуктів. Повністю позбавлені цих недоліків фізичні методи знезараження води, найбільш широкопоширений з яких – ультрафіолетове випромінювання (УФ). Крім екологічної складової, метод також володіє цілим рядом інших переваг:

- висока ефективність знезараження для широкого спектра мікроорганізмів;
- відсутність впливу на фізико-хімічні та органолептичні властивості води, не утворюються побічні продукти, немає небезпеки передозування;
- низькі капітальні затрати, енерговикористання та експлуатаційні витрати;
- УФ установки компактні та прості в експлуатації, не потребують спеціальних мір безпеки.

Принцип дії УФ

Ультрафіолетове випромінювання являє собою частину діапазону оптичних випромінювань (включає ультрафіолетову, видиму та інфрачервону області), яке знаходиться в межах від 100 до 400 нм. Область УФ-випромінювання можна умовно розділити на три частини:

- УФ-А – від 315 до 400 нм;
- УФ-В – від 280 до 315 нм;
- УФ-С – від 100 до 280 нм.

На відміну від УФ-А і УФ-В променів, тільки промені УФ-С області мають здатність до бактерицидної дії.

Знезаражуючий ефект УФ-випромінювання, в першу чергу, обумовлений тим, що під його дією відбуваються фотохімічні реакції в структурі молекул ДНК і РНК, які призводять їх до необоротних пошкоджень. В ДНК живої клітини зберігається вся інформація, яка контролює процеси її нормального розвитку і функціонування. Під дією УФ випромінювання порушується структура ДНК і РНК, вони не можуть виконувати свої функції, в результаті чого втрачається здатність клітини до розмноження. Крім того, дія ультрафіолетового випромінювання викликає порушення в структурі мембран і клітинних стінок мікроорганізмів.

Бактерицидне УФ-випромінювання має широкий спектр дії, включаючи найпростіші організми та віруси, бактерії, а також цисти та спори, які мають високу зернистість по відношенню до хлору.

Конструкції систем УФ

Принципова конструкція УФ реактора представлена на рис. 2.1.

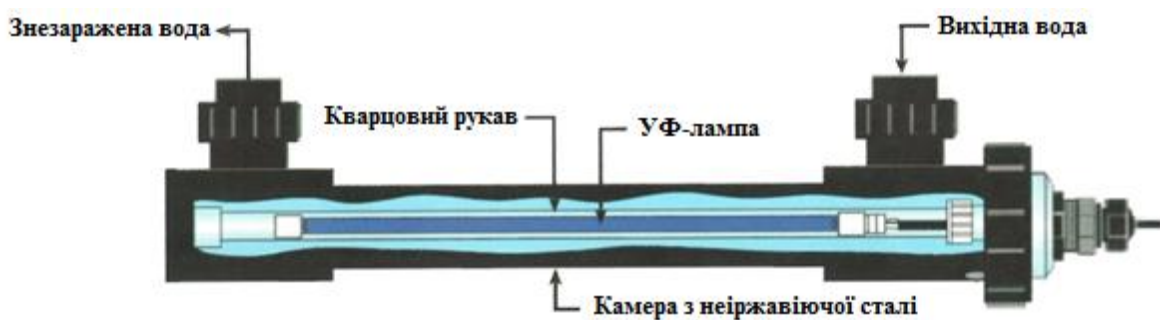


Рисунок 2.1 – Принципова конструкція УФ випромінювача.

Вона достатньо проста у виконанні і вміщує наступні основні компоненти: камеру із високоякісної нержавіючої сталі, УФ-лампи і кварцовий рукав, який захищає лампу від пошкоджень. Вихідна вода, потрапляючи в камеру, опромінюється УФ-променями і знезаражується. Деякі реактори додатково укомплектовані автоматичними системами

очистки кварцових рукавів, а також витратомірів, УФ-сенсорами і аналізаторами для моніторингу випромінюваної дози УФ.

В залежності від конструкції камер, розрізняють УФ реактори замкнутого та відкритого типів. В силу конструктивних особливостей, реактори відкритого типу можуть компонувати з більшою кількістю ламп і тим самим забезпечувати високу ефективність знезараження води для процесів з великим виробництвом. Вони в основному використовуються для знезараження стічних вод. Реактори замкнутого типу, які працюють під тиском, частіше всього використовуються для знезараження питної води, вони запобігають потраплянню різних мікроорганізмів у воду з навколишнього середовища.

Крім того, можливість різного розміщення УФ ламп в камері реактора – уздовж, перпендикулярно і радіально потоку обробленої води. Частіше всього для реакторів прямокутного перетину використовують перпендикулярне розміщення ламп, повздовж розміщують лампи в реакторах з круговим перетином. Цей фактор, а також турбулентність потоку води, товщина її шару між лампами та стінкою реактора, орієнтація ламп в реакторі по відношенню до поверхні, на якій встановлено реактор, значно впливає на інтенсивність випромінювання води УФ і враховується при розробці індивідуальних рішень проектними організаціями.

Разом з тим, у переважній більшості випадків інтенсивність і доза випромінюваної води УФ визначається типом використання в системі УФ-лампи.

Основні типи УФ лампи та їх порівняння

В якості джерела ультрафіолету в системі знезараження використовують ртутні газорозрядні лампи, відомі більш ніж 70 років. Ці джерела випромінюють у широкому оптичному діапазоні, включаючи УФ-, видиму та ІЧ-області. Принцип дії цих ламп полягає в перетворенні електричної енергії в світлову. Внаслідок проходження току в газовому

середовищі, заповненому парами ртуті та інертними газами, виникає дуговий розряд, який призводить до збудження атомів ртуті та утворенню ними променів заданої довжини.

В залежності від величини тиску парів розрізняють три типи ртутно-дугових ламп:

- низького тиску (тиск парів ртуті 1,33-133 Па);
- середнього тиску (до $3 \cdot 10^5$ Па);
- високого тиску ($3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^7$ Па).

У водопідготовці використовують тільки 2 перших типи ламп, оскільки лампи високого тиску характеризуються низьким бактерицидним ефектом та високим використанням енергії. В свою чергу, лампи низького тиску розділяються на традиційні, в яких використовується чиста ртуть, і альмагамні, які містять сплав бісмута, індію та ртуті (амальгаму). Розрізняють також лампи з легкоплавкого та тугоплавкого кварцового скла, а останні можуть бути також двох типів – які виробляють і не виробляють озон.

Не дивлячись на наявність ряду значущих недоліків, лампи середнього тиску достатньо широко використовуються у водопідготовці. Завдяки високій потужності, вони можуть виготовлятися більш в компактних розмірах і використовуються в меншій кількості, що дуже зручно у випадку обмежених територіальних можливостей при розміщенні УФ-обладнання.

До основних переваг традиційних і амальгамних ламп низького тиску з тугоплавкого кварцу, які не утворюють озон, відносяться:

- високий ККД перетворення електричної енергії в бактерицидну;
- низька витрата електроенергії;
- тривалий термін придатності;
- відсутність утворення побічних продуктів;
- виконання рукава з тугоплавкого, не утворюючого озон кварцу, дозволяє переважно зменшувати ефект соляризації (відкладення

оксиду ртуті) на поверхні камери і запобігти погіршенню її проникності для УФ-променів;

- низька температура нагріву.

До переваг ламп середнього тиску в свою чергу відносяться:

- висока ефективність знезаражування, обумовлена поліхроматичним спектром мультихвильових УФ-ламп;
- неможливість повторного відновлення мікроорганізмів;
- мала кількість використаних УФ-ламп, завдяки їх високій ефективності;
- мінімальна втрата напору в УФ-установці.

Слід зазначити, що всі види сучасних УФ-ламп відрізняються тривалим терміном придатності.

Критерії вибору УФ обладнання

Найважливішим критерієм при виборі УФ-обладнання є доза випромінювання. Правильно обрана УФ-доза – основа успішної роботи будь-якого УФ-обладнання. Вона визначається з урахуванням багатьох факторів і розраховується за формулою:

$$\text{УФ-доза, мДж/см}^2 = \text{Інтенсивність випромінювання (мВ/см}^2) \cdot \text{Час (с)}.$$

В першу чергу, доза УФ-випромінювання залежить від кількості та типів присутніх у воді мікроорганізмів, а також вимог до мікробіологічної якості знезараженої води.

Різні мікроорганізми володіють різною стійкістю по відношенню до УФ-випромінювання. Так, найбільш стійкими є віруси, а також представник бактерій - Синьогнійна паличка. Більш чутливі до впливу УФ-променів паразитичні найпростіші та бактерії. Але, як показує досвід використання, для дезактивації всього спектру патогенних організмів доза УФ в 25 мДж/см² є достатньою.

Разом з тим, ця доза УФ може прийматися для попередньо очищеної питної води. Для стічних вод та вод із неочищених поверхневих джерел, значення буде вищим, відповідно, 30 та 40 мДж/см². Це викликано, в першу чергу, високим рівнем мікробіологічного забруднення цих типів води, а також присутністю більшої кількості органічних та неорганічних сполук, які здатні поглинати чи розсіювати УФ-випромінювання. Таким чином, якість вихідної води також суттєво впливає на вибір дози УФ.

Для кількісного виразу цього впливу використовують поняття **УФ пропускання води**. Воно характеризує здатність води пропускати промені ультрафіолету і вимірюється у %. Наприклад, УФ пропускання 90% на 10 мм, означає, що 90% вихідного ультрафіолету пройде через шар води, товщиною 10 мм. Для різних типів води коефіцієнт пропускання може варіюватися: стічні – 40-75%; поверхневі – 35-90%; водопровідна вода – 70-90%; підземна – 80-98%.

На УФ пропускання води впливають такі показники якості води, як каламутність, кольоровість та перманганатна окиснюваність (ПО). Саме вони використовуються при виборі обладнання для питної води. У випадку стічних вод зручним показником є хімічне споживання кисню (ХСК), а також вміст завислих речовин, так як вони можуть створювати перешкоди при УФ-зnezараженні за рахунок «тіньового ефекту» (мікроорганізми здатні «ховатися» за крупними частинками, тим самим уникаючи контакту з УФ). Крім того, вміст у воді сполук заліза характеризує можливий ступінь забруднення кварцових чохлів.

Ще один важливий критерій, який необхідно враховувати при виборі дози УФ, – максимальна витрата води. Важлива тільки годинна, а не добова витрата, оскільки znezараження повинно забезпечуватись постійно.

УФ-обладнання повинно розраховуватися для забезпечення мінімальної ефективної дози за одночасного впливу всіх несприятливих факторів (максимальна витрата води, мінімальний коефіцієнт пропускання, максимальне забруднення чохлів, кінець терміну придатності ламп).

Області застосування систем УФ-знезараження

Зовсім недавно широкому розповсюдженню УФ суттєво перешкоджала висока вартість і енергозатратність методу, сьогодні ж великий асортимент ламп різної потужності та виробництва дозволяє застосовувати метод в різних сферах знезараження. В першу чергу, це екологічно-безпечний метод активно витісняє хлорування в питному водопостачанні. Крім того, обробка УФ-випромінюванням - це один з небагатьох методів, дозволених, на відміну від хлору, для обробки стічних вод. Накінець, УФ-установки успішно використовують для знезараження води в різних сферах виробництва.

Розглянемо більш детально всі вказані області використання УФ.

Питна вода

Ріст населення планети, погана гігієна, недостатнє очищення стічних вод призводять до суттєвого мікробіологічного забруднення джерел питної води. Як наслідок, саме питна вода – джерело життя для всього живого, призводить до масових епідемій в країнах третього світу, а також створює значну загрозу для населення розвинених країн.

Після цілої епохи хлорування питної води, останнім часом суттєво підвищився інтерес до використання УФ-випромінювання для знезараження води, як в централізованому водопостачанні, так і в умовах локальної водопідготовки.

Централізоване водопостачання

В централізованому водопостачанні розвинених країн Європи (Франція, Угорщина, Німеччина), США, Канаді впроваджено і ефективно використовують великі УФ-системи знезараження питної води. В силу особливостей УФ-випромінювання, а саме повної відсутності ефекту післядії, для консервування води та її безпечного транспортування по трубопроводах все ж використовують низькі дози хлору, але екологічний негативний вплив від цього зовсім мінімальний. Тривалий досвід експлуатації установок УФ

показав не тільки високу ефективність, екологічну та експлуатаційну безпечність методу, але і його високу економічність, не дивлячись на вихідні високі капітальні затрати.

2.3 Переваги та недоліки знезараження води за допомогою УФ-випромінювання

З фізичних способів знезараження питної води найбільшого поширення набуло знезараження ультрафіолетовими променями, бактерицидні властивості яких обумовлені їх дією на клітинний обмін і особливо на ферментні системи бактеріальної клітини. Ультрафіолетові промені знищують не тільки вегетативні, але і спорові форми бактерії і не змінюють органолептичних властивостей води. Важливо відзначити, що, оскільки при УФ-опроміненні не утворюються токсичні продукти, то не існує верхньої межі дози. Збільшенням дози УФ-випромінювання майже завжди можна домогтися бажаного рівня знезараження.

Основним недоліком методу є повна відсутність післядії.

Організація процесу УФ знезараження вимагає більших капітальних затрат, ніж хлорування, але менших, ніж озонування. Більш низькі експлуатаційні витрати роблять УФ знезараження і хлорування порівнянними в економічному плані. Витрата електроенергії незначна, а вартість щорічної заміни ламп становить не більше 10% від ціни установки. УФ установки є найбільш привабливими для індивідуального водопостачання.

Фактором, що знижує ефективність роботи установок УФ знезараження при тривалій експлуатації, є забруднення кварцевих чохлам ламп відкладеннями органічного і мінерального складу. Великі установки забезпечуються автоматичною системою очищення, яка здійснює їх промивання шляхом циркуляції через установку води з додаванням харчових кислот. В інших випадках застосовується механічне очищення.

2.4 Інші фізичні методи знезараження води

Знезараження питної води ультразвуком засноване на його здатності викликати так звану кавітацію - утворення пустот, що створюють велику різницю тиску, що веде до розриву клітинної оболонки і загибелі бактеріальної клітини. Бактерицидна дія ультразвуку різної частоти досить значна і залежить від інтенсивності звукових коливань. Цей метод не завжди забезпечує необхідний рівень знезараження і вимагає великих енергозатрат.

З фізичних способів індивідуального знезараження води найбільш поширеним і надійним є кип'ятіння, при якому, крім знищення бактерій, вірусів, бактеріофагів, антибіотиків і ін. біологічних об'єктів, які часто містяться у відкритих водоймах, видаляються розчинені у воді гази і зменшується твердість води. Смакові якості води при кип'ятінні змінюються мало.

У багатьох випадках найбільш ефективним виявляється комплексне застосування реагентних і безреагентних методів знезараження води. Поєднання УФ знезараження з подальшим хлоруванням малими дозами забезпечує як найвищу ступінь очищення, так і відсутність вторинного біозараження води. Так, обробкою води басейнів УФ опроміненням в поєднанні з хлоруванням досягається не тільки висока ступінь знезараження, зниження порогової концентрації хлору у воді, але і, як наслідок, істотна економія коштів на витраті хлору і поліпшення обстановки в самому басейні.

Аналогічно поширюється використання озонування, при якому знищується мікрофлора і частина органічних забруднень, з подальшим щадним хлоруванням, що забезпечує відсутність вторинного біозараження води. При цьому різко скорочується утворення токсичних хлорорганічних речовин.

Досить новими способами знезараження води є електрохімічний і електроімпульсний.

Серед перспективних методів безреагентного знезараження становить інтерес елект्रोімпульсна технологія, заснована на впливі на оброблювану

рідину ударних хвиль, що генеруються імпульсним електричним розрядом і викликають дезінтеграцію і загибель мікроорганізмів, - електрогідролітичний удар, так званий ефект Л.А. Юткіна. Електричний розряд формує ударну хвилю, яка поширюється в об'ємі води. Короткочасність електричного імпульсу дозволяє реалізувати таку ударну хвилю, товщина фронту якої менше розміру мікроорганізмів. При проходженні такої ударної хвилі в об'ємі, який займає мікроорганізм, виникає миттєвий градієнт тиску, який і призводить до механічного знищення біологічного об'єкта. Енергія в одиничному імпульсі і частота проходження імпульсів визначаються бактеріальним складом води. Знезараження може бути проведено як в замкнутому просторі, так і в проточній воді. Застосування електроімпульсної технології для знезараження води дозволяє забезпечити знищення всіх видів мікроорганізмів, включаючи віруси і спори, незалежно від кількості зважених в ній твердих частинок і домішок. При цьому ударна хвиля залишається ефективною в об'ємі радіусом до 1 метра.

Технологічний процес складається з шести ступенів:

- подача рідини в робочий об'єм при рівномірному профілі розподілу швидкості (причому робочий об'єм заповнюють з повітряним проміжком, а рівномірний профіль розподілу рідини допомагає зменшити енергоємність процесу);
- зарядка накопичувача електроенергії в режимі постійної потужності;
- ініціювання одного або серії електричних розрядів в рідині при швидкості наростання переднього фронту напруги не менше 10^{10} В/с (енергію дозують шляхом відліку зарядів);
- посилення ефекту руйнування мікроорганізмів за рахунок формування хвиль розтягування при відображенні хвиль стиснення, утворених електричним розрядом від вільної поверхні рідини;
- придушення або гасіння ударних хвиль в магістралях, що підводять і відводять рідину, для виключення їх руйнування;
- відведення знезараженої рідини з робочого об'єму.

В процесі знезараження питної води електроімпульсним способом відбувається безліч різних явищ: потужні гідравлічні процеси, утворення ударних хвиль надвисокого тиску, утворення озону, явища кавітації, інтенсивні ультразвукові коливання, виникнення імпульсивних магнітних і електричних полів, підвищення температури. В результаті всіх цих явищ в воді гинуть практично всі патогенні мікроорганізми.

Дуже важливо помітити, що вода, оброблена ІЕР, набуває бактерицидні властивості, які зберігаються до 4 міс. Встановлено, що такі бактерицидні властивості обумовлюються утворенням при розряді наночастинок металів електродів за рахунок їх ерозії. Тому найбільш ефективні електроди зі срібла і, дещо гірше, - з міді. Однак токсикологічний вплив таких наночастинок поки не вивчено.

Основною перевагою електроімпульсного способу знезараження питної води є екологічна чистота, а також можливість використання в великих об'ємах рідини.

Однак цей спосіб має ряд недоліків, зокрема, відносно високу енергоємність ($0,2-1 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$) і, як наслідок, - дороговизну.

Окремо варто розглянути знезараження за допомогою мікро- і ультрафільтраційних мембран. Такі мембрани повністю затримують всі бактерії, а ультрафільтраційні - і віруси. Однак такі мембрани тільки затримують забруднення, але не знищують їх. Більш того, на їх поверхні концентрація мікроорганізмів поступово зростає, при цьому бактерії можуть житися ацетатцелюлозною мембраною або проникати через неї. Тому у всіх промислових мікро- і ультрафільтраційних установках використовується періодична (і досить часта) обробка мембран гіпохлоритом для ряду процесів, де є неприпустимим застосування хімічних реагентів, наприклад, на фінішних операціях в медицині і мікроелектроніці, такі мембрани використовуються строго протягом певного часу, після чого їх замінюють.

Нижче наводяться дані щодо застосування різних способів знезараження для різних забруднювачів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Застосовність різних способів знезараження для різних забруднювачів

Забруднювач, що видаляється	Спосіб дезінфекції					
	O ₃	УФО	Cl ₂	NaOCl	ClO ₂	Хлораміни
Колір	+					
Смак і запах	+					
Аміак			+	+		+
Водорості	+		+	+	+	
Органіка	20%					
Мікрозабруднення	10-80%					
Ферум і манган	+		+		+	

2.5 Знезараження води змішаними оксидантами: переваги і особливості застосування

На сьогоднішній день одна з найактуальніших проблем в області водопровідно-каналізаційного господарства - відсутність або недостатня ефективність методів знезараження води. Основним завданням, потребуючого першочергового рішення при виробництві питної води, є впровадження прогресивних методів знезараження, які зможуть забезпечити епідеміологічну безпеку питної води.

Для покращення якості питної води за санітарно-мікробіологічними показниками застосовують різні методи знезараження: хлорування, озонування, опромінення ультрафіолетом (УФ) і обробка змішаними оксидантами.

На сьогодні відомо, що застосування вибухонебезпечного і токсичного озону, сприяє утворенню у воді побічних продуктів дезінфекції. Крім того, при озонуванні питної води відсутній ефект післядії, залишкова концентрація озону розкладається менше, ніж через 1 годину. Ці характеристики обмежують використання озону на водопровідних станціях і в системах водовідведення.

Широке поширення методу знезараження за допомогою УФ-випромінювання обмежує відсутність оперативного контролю за процесом

зnezараження. Крім того, отримання бактерицидного ефекту в значній мірі залежить від мутності і кольоровості води, виду мікроорганізмів, їх кількості і дози УФ-опромінення. Тому даний метод зnezараження найкращий при обробці води з артезіанських свердловин або після систем попередньої очистки.

Зnezараження води рідким хлором – найрозповсюджений метод для потреб централізованого водопостачання, каналізації, при експлуатації басейнів і аквапарків. Даний метод також має свої недоліки, а саме:

- хлор і препарати на його основі – токсичні сполуки, їх використання вимагає чіткого дотримання правил техніки безпеки;
- існуючі схеми на основі хлорвмісних реагентів мають недостатній очищувачий ефект відносно ентеровірусів;
- при хлоруванні у воді утворюються побічні продукти дезінфекції, які мають канцерогенні, мутагенні та тератогенні властивості.

Серед чотирьох хлорвмісних реагентів гіпохлорит натрію має найбільшу реакційну здатність до утворення канцерогенних хлорорганічних сполук (гіпохлорит натрію → хлорне вапно → рідкий хлор → хлорамін). При зберіганні гіпохлориту спостерігається зниження дезінфікуючої здатності реагенту з часом (особливо під дією тепла і світла). Для нейтралізації даного ефекту доводиться застосовувати спеціальні консерванти, що ускладнюють промислове використання гіпохлориту натрію.

Постійне посилення вимог до якості питної води на фоні інтенсивного забруднення джерел питного водопостачання, призводить до пошуку альтернативних методів зnezараження води, заснованих, наприклад, на спільній дії двох і більше реагентів. Саме до таких методів можна віднести метод зnezараження води сумішшю оксидантів, запатентований компанією MIOX Co. (США).

Змішані оксиданти отримують методом електролізу розчину кухонної солі. Застосування безпечних сировинних ресурсів (вода, сіль,

електроенергія) позбавляє від необхідності зберігати такі небезпечні хімікати, як рідкий хлор або товарний гіпохлорит натрію, які потребують облаштування спеціальних зон безпеки і у разі витоків можуть стати причиною серйозної екологічної катастрофи.

Виробництво в точці споживання змішаних оксидантів в кількостях, потрібних для застосування, усуває потребу транспортування небезпечних речовин, що призводить до скорочення як транспортних витрат, так і витрат на забезпечення безпеки перевезення вантажів.

Існують явні свідчення присутності хлор-кисневих груп в розчині змішаних оксидантів, що є однією з причин покращення функціональних показників як в лабораторних, так і в експлуатаційних умовах. При використанні змішані оксиданти ведуть себе подібно до діоксиду хлору або озону, при цьому забезпечуючи дезінфектант необхідних рівнем залишкового хлору. Ґрунтуючись на багаторічних дослідженнях, можна стверджувати, що інші хлор-кисневі складові суміші оксидантів не містять діоксид хлору або озон, що дозволяє споживачам змішаних оксидантів не контролювати вміст побічних продуктів дезінфекції (за винятком тригалометану, НАА5 (галогензаміщена оцтова кислота) і інші форми хлору).

Порівняно з іншими методами знезараження, використання розчинів змішаних оксидантів має ряд переваг:

- змішані оксиданти ефективно видаляють і в подальшому не дають утворюватися біобростанням в резервуарах зберігання води і трубопроводах. Існуючі біобростання поглинають залишковий хлор у воді, надають воді неприємний смак, що змушує збільшувати початкову дозу хлору для досягнення його необхідної концентрації на кінцевій точці споживання. Збільшення початкової дози хлору тягне з собою збільшення утворень небезпечних канцерогенних сполук. Видалення біобростань за допомогою змішаних оксидантів дозволяє суттєво знизити об'єм дозування хлору, що гарантує покращення органолептичних показників води і значно знижує утворення побічних продуктів дезінфекції;

- суміш оксидантів має більш сильні дезінфікуючі характеристики, ніж гіпохлорит або рідкий хлор.

Порівняно зі звичайним хлором, змішані оксиданти в такій же кількості і за такий же час забезпечують більш ретельне і швидке усунення великого числа мікроорганізмів, а також мають кращі смакові характеристики і запах. При дозуванні однакової кількості активного хлору, залишковий хлор після змішаних оксидантів значно вище, ніж після товарного гіпохлорита або рідкого хлору. При проведенні досліджень на водоканалі м. Нікополь (Запорізька область) було виявлено, що залишковий хлор у воді після обробки розчином змішаних оксидантів у два рази вище рівня залишкового хлору, отриманого після обробки води рідким хлором. Для отримання необхідної концентрації залишкового хлору у воді, початкова доза активного хлору була знижена на 50%, що дозволило на 45% зменшити концентрацію хлороформу в очищеній воді.

При застосуванні змішаних оксидантів для попередньої очистки води (коагуляція і флокуляція) спостерігається більш швидке і більш крупне утворення пластівців і грудочок, ніж при застосуванні рідкого хлору або гіпохлориту.

Як показали дослідження на водоканалі м. Калинівка (Вінницька область), цей ефект застосування змішаних оксидантів значно знижує мутність води після фільтрації або гравітаційного осадження. Для отримання необхідних показників мутності води можна знизити об'єм дозування коагулянту до 30%, що суттєво знижує затрати на закупку і доставку коагулянту. Також можна знизити об'єм дозування активного хлору, що призводить до зменшення утворень канцерогенних сполук у воді і суттєвої економії витрат на виробництво розчину дезінфектанту.

Мала концентрація хлору в розчині змішаних оксидантів (менше 0,5%) попереджує корозію труб водопостачання, що дозволяє значно збільшити термін їх експлуатації. При використанні гапохлорита натрію і змішаних

оксидантів виміри в робочих зонах показали наступні концентрації парів хлору в повітрі:

- гіпохлорит натрію – $0,03 \text{ мг/м}^3$;
- змішані оксиданти – $0,0095 \text{ мг/м}^3$.

Проведені дослідження по зберіганню змішаних оксидантів показують дуже низьку деградацію дезінфектанту, що дозволяє розчину змішаних оксидантів зберігати робочі характеристики до 20 разів довше в порівнянні з гіпохлоритом натрію.

Застосування змішаних оксидантів для знезараження води у басейнах і аквапарках також показує ряд переваг у порівнянні з традиційними методами знезараження.

При застосуванні змішаних оксидантів спостерігається стабільність залишкового хлору у воді. Завдяки більш сильним дезінфікуючим характеристикам змішаних оксидантів, з'являється можливість знизити об'єм дозування активного хлору. Більш сильна окисна здатність розчину змішаних оксидантів дозволяє досягти ідеальної прозорості води менше, ніж через тиждень застосування. Крім того, відсутність необхідності шокового хлорування (гіперхлорування) води у чаші басейна. Проведені випробування показали помітне зниження запаху хлору у воді, покращення органолептичних показників води, відсутність подразнень на шкірі і почервоніння очей у відвідувачів басейна. Здійснені бактеріологічні аналізи води показали значне зниження бактерій і вірусів у чаші басейна. Змішані оксиданти усувають біообростання в системі циркуляції води в басейні і не дозволяють їм утворюватися на стінках басейна, що скорочує кількість профілактичних санітарних чисток чаші басейна, а також економить грошові кошти на його обслуговування.

Застосування змішаних оксидантів для знезараження стічних вод дозволяє знизити концентрацію початкової дози активного хлору, що тягне за собою зниження об'єму препаратів для видалення хлору з очищених стоків. Розчин змішаних оксидантів здатний вбити велику кількість бактерій,

мікроорганізмів і вірусів, ніж традиційні дезінфектанти, що сприяє покращенню екологічних характеристик каналізаційно-очисних споруд, а також збереженню природної і навколишнього середовища.

Застосування змішаних оксидантів в області знезараження води і стоків в системах централізованого водопостачання, басейнах і розважальних центрах, каналізаційно-очисних спорудах і оборотної води дає споживачу наступні переваги:

- зниження дози активного хлору для отримання запланованих результатів;
- зменшення кількості препаратів для попереднього очищення води;
- видалення біооброств і зелених водоростей, що суттєво покращує смак і запах води;
- зниження утворення побічних продуктів дезінфекції в оброблюваній воді;
- зниження швидкості корозії труб;
- відсутність необхідності облаштування зон безпеки для збереження небезпечних хімічних речовин.

У сукупності, всі вищеперелічені переваги дозволять споживачу досягнути значного економічного ефекту та скорочення витрат на транспортування і додаткові препарати для очищення води, на обслуговування і ремонт технологічного обладнання, що гарантує швидку окупність набутого обладнання.

3 ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Промислові підприємства витрачають велику кількість води, а деякі підприємства вимагають навіть безперервної її подачі. Зі збільшенням потужності підприємств, використанням складних технологічних процесів потреба у воді зростає. На підприємствах залежно від прийнятих технологій, виготовленої продукції, потужності, займаних площ може існувати декілька систем водопостачання. У цілому системи водопостачання промислових підприємств можна поділити на: господарсько-питні, протипожежні, виробничі.

Господарсько-питна система подає воду для питних та інших потреб робітників і службовців протягом зміни, а також для прийняття душів протягом 45 хв після закінчення зміни. Залежно від виду виробництва (холодні або гарячі цехи) в розрахунках встановлюють графік витрачання води протягом зміни. Воду забирають питними фонтанчиками, раковинами, мийками, різними санітарними приладами. Для розрахунків приймають, що воду споживають усі працівники, а душами користується певна їх частина. Кількість працівників, які приймають душ, встановлюють залежно від типу виробництва. Якість води повинна відповідати вимогам "Вода питна".

Протипожежна система має подавати воду тільки під час пожежі із зовнішньої та внутрішньої мереж. Витрати води на пожежогасіння можуть бути великими, але пожежі не є постійним явищем. Використовувати можна воду як питної, так і іншої якості.

Виробнича система забезпечує водою тільки виробничі процеси. При цьому залежно від типу виробництва на підприємстві можуть бути споживачі з різними вимогами до якості води. Так, на сучасному заводі синтетичного каучуку потрібна вода річкова технічна (неочищена), технічна очищена до вмісту завислих речовин 20 мг/дм^3 , технічна профільтрована до вмісту

завислих речовин 5 мг/дм^3 , охолоджуюча оборотна технічна вода, прояснена й охолоджена до 7°C та відведена при температурі 12°C , частково зм'якшена натрій-катіонуванням, змішана з фільтрованою, з жорсткістю до $0,7 \text{ мг-екв/дм}^3$ і використану на відмивку каучуку, зм'якшена натрій-катіонуванням до $0,05 \text{ мг-екв/дм}^3$, знесолена до $20\text{-}30 \text{ мг/дм}^3$ для приготування каталізатора.

Водоспоживання у виробництві застосовують для: охолодження, промивання, пароутворення, гідротранспорту, як складову продукції.

Воду на охолодження використовують для конденсації пари, охолодження печей, машин, агрегатів, верстатів. Звичайно, частка цих витрат значно перевищує інші витрати води і безперервно зростає. Так, у чорній і кольоровій металургії, у нафтопереробній промисловості води на водяне охолодження використовується 95%) і тільки 5% на підсобні потреби, в хімічній та коксохімічній - відповідно 90 і 10%, на теплових електростанціях відповідно - 99 і 1%.

Промивання водою сировини або продукції здійснюється, наприклад, на шкіряних, консервних, овочесушильних, цукрових підприємствах тощо. Водою змивають різне сміття, жир, мул.

Пару, яку одержують на різноманітному за потужністю та конструкцією паросиловому обладнанні, використовують практично на всіх підприємствах для обігріву приміщень, підігріву різних матеріалів, прогріву продукції, наприклад залізобетонних плит на заводах будівельної індустрії тощо.

Гідротранспорт передбачає транспортування потоком води лотками або жолобами шлаку, золи, сировини тощо. Його можна використовувати, наприклад, на теплових станціях для транспортування шлаку і золи, в доменному виробництві для транспортування шлаку, на збагачувальних фабриках - для транспортування різних відходів, на цукрових заводах - для транспортування цукрових буряків, на фермах - для транспортування гною.

Вода як складова продукції використовується на багатьох виробництвах: зокрема, виготовлення консервів і продукції на овочесушильних виробництвах, молочних заводах, виготовлення цегли на цегляних заводах тощо.

Кількість і якість води для виробничих потреб залежать від характеру виробництва, схеми технологічних процесів, використовуваного обладнання, можливих джерел водопостачання. Звичайно ці параметри задають технологи і вони можуть коливатися в дуже широких межах. Різноманітні вимоги до якості води потребують навіть різних виробничих систем. Вимоги до якості води дуже часто визначають можливі схеми водопостачання. В деяких випадках якість води може визначати питоме водоспоживання. Так, при охолодженні мартенівських печей на Донбасі жорсткою водою на одну піч використовується 250-500 м³/год, а на Уралі при більш якісній воді - всього 150-300 м³/год.

Якість води, яка використовується у важкій промисловості, в середньому не повинна мати каламутність більше 50-100 мг/дм³, солей тимчасової жорсткості 2-3 мг-екв/дм³, загальний сухий залишок – 1000 мг/дм³, залізо - 1 мг/дм³. У хімічній промисловості на заводах пігменту використовується вода з каламутністю до 30 мг/дм³, вмістом заліза 0,2 мг/дм³, сухого залишку 100 мг/дм³, загальної твердості 3 мг-екв/дм³; у виробництвах карбамідних смол - каламутність не більше 60 мг/дм³, солевміст - до 5 мг/дм³, заліза - десяті частки, кремнію - не більше 0,2 мг/дм³ тощо. Підприємства сільської місцевості потребують воду питної якості або таку, що відрізняється від питної за деякими показниками. Вода, яку використовують на підприємствах для виготовлення їстівної продукції (молокозавод, консервний завод тощо), має бути тільки питної якості. У воді для цукрового виробництва не повинно бути речовин, що гниють, бо вони спричиняють бродіння в дифузорах. У ній має бути мінімальна кількість солей, що сприяє варінню та кристалізації цукру. Вода пивоварного виробництва не повинна містити гіпсу, який перешкоджає бродінню солоду.

Вода для охолодження різного устаткування повинна мати карбонатну жорсткість не більше ніж 5 мг-екв/дм³. В охолоджувальній воді вміст завислих речовин допускається: для коробчатих холодильників 30-50 мг/дм³, трубчастих - 100 мг/дм³, агрегатів промислових підприємств - до 200 мг/дм³. При цьому допустимий вміст сірководню 0,5 мг/дм³, заліза 0,1 мг/дм³, гіпсу 1500-2000 мг/дм³. Для охолодження двигунів внутрішнього згоряння і заправлення радіаторів допустима автомобілів карбонатна твердість 2-7 мг-екв/дм³, вміст завислих речовин - до 400 мг/дм³. Вода для живлення котлів повинна мати невелику загальну жорсткість (0,35-0,003 мг-екв/дм³).

Режим витрачання води на підприємствах визначається режимом його роботи й окремого обладнання та методом використання води. Здебільшого передбачається рівномірне використання води, але може бути нерівномірне за графіком, що його встановлюють технологи. Іноді передбачають періодичне використання води, тобто наповнюють бак, ванну, резервуар, а потім тривалий час підприємству воду не подають. Слід також враховувати сезонні коливання: наприклад, для охолодження влітку можна витратити більше води та, навпаки, цукрові заводи влітку не працюють і практично не витрачають воду.

Вимоги окремих виробництв до напорів залежать від використаного обладнання, висоти виробничих будівель тощо. Для окремих агрегатів або цехів можна робити окремі підвищувальні установки. Інколи зниження тиску або подачі, перерва в подачі води можуть зумовити псування продукції або обладнання, тобто системи виробничого водопостачання повинні мати навіть більшу надійність, ніж господарсько-питні.

Залежно від призначення об'єкта, вимог споживачів до якості води, економічних розрахунків використовують або об'єднану систему, наприклад, господарсько-питну і протипожежну, або повністю самостійні.

Для підприємств, які є великими споживачами неочищеної води, звичайно, будують самостійний виробничий водопровід. Інколи такі водопроводи об'єднують для групи підприємств. Великі підприємства, які

розташовані за межами населеного пункту, мають, зазвичай, роздільні системи господарсько-питного та виробничого водопроводів і такі, що повністю відокремлені від водопроводу населеного пункту. Якщо в населеному пункті є кілька підприємств, які розкидані по його площі й потребують питної або подібної до неї за якістю води, то їх підключають до системи водопостачання цього населеного пункту. Протипожежний водопровід здебільшого об'єднують з господарсько-питним, бо він більше розгалужений на території підприємства, але за якісними показниками використаної води краще об'єднувати з виробничим, особливо коли він подає неочищену воду, або робити повністю самостійним. Невеликі підприємства здебільшого підключають до водопроводу населеного пункту. У разі потреби в якісній воді (кращій ніж питна) для якогось цеху або приладу можна розробити локальні установки поліпшення якості води. При потребі у воді з гіршою за питну воду якістю на території підприємства можуть пробурювати невелику свердловину і живити водою виробничий чи протипожежний водопровід. При живленні водопроводу населеного пункту підземними водами і наявності поверхневого джерела окремі підприємства в межах населеного пункту можна об'єднувати технічним водопроводом неочищеної або частково очищеної поверхневої води з подачею води на господарсько-питні потреби підприємства з водопроводу населеного пункту. Окремі підприємства можна підключати до мережі населеного пункту, але через резервуар чи башту, які наповнюються водою в часи незначного водоспоживання населеного пункту, а підприємство вже витрачає воду з цієї ємкості за своїм графіком.

3.1 Основні схеми виробничого водопостачання

За технологічними особливостями виробничі водопроводи (рис. 3.1) поділяють на:

- прямоточні;
- з повторним використанням води;

- оборотні з охолодженням води;
- оборотні схеми з очищенням води.

У *прямоточній схемі (рис. 3.1, а)* воду забирають із водойми водозабором і насосною станцією подають на виробничий процес, а за необхідності додатково проводять відповідну підготовку води. Використана вода забруднюється певними інгредієнтами, її скидають у водойму, перед цим її можуть частково очищати від цих інгредієнтів на очисних спорудах. Водний баланс має вигляд:

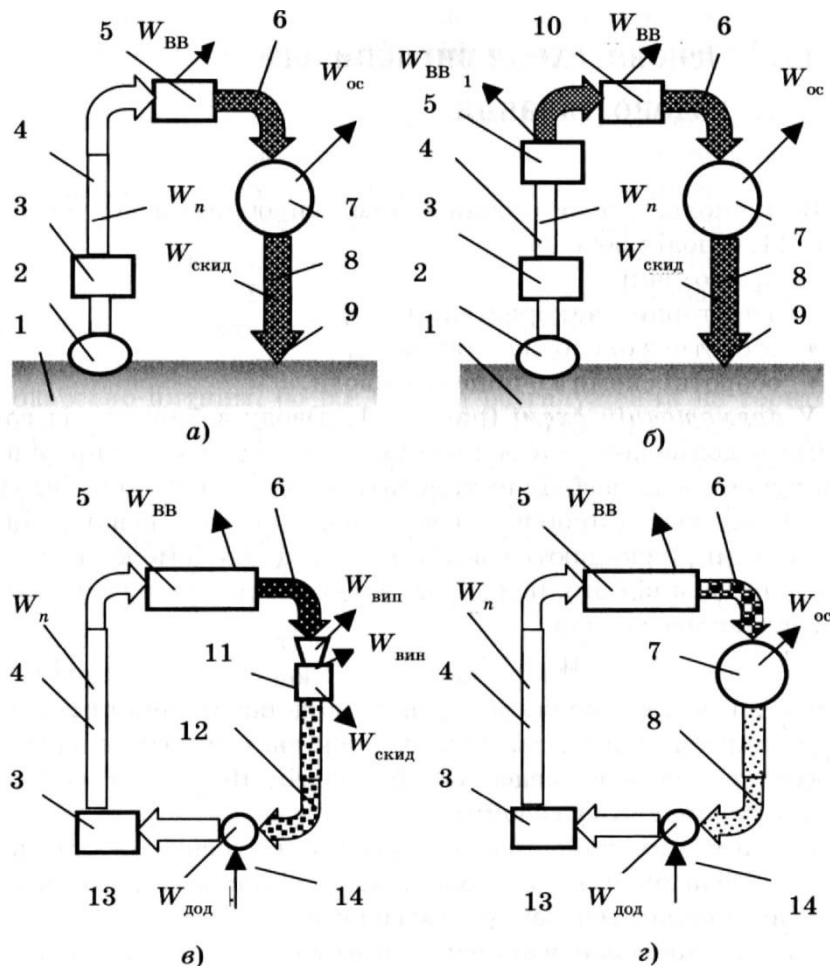
$$W_{\Pi} = W_{\text{вв}} + W_{\text{ос}} + W_{\text{скид}}, \quad (3.1)$$

де W_{Π} — кількість води, що подається на виробничий процес; $W_{\text{вв}}$ — виробничі витрати води; $W_{\text{ос}}$ — кількість води, що втрачається з осадом на водоочисній станції; $W_{\text{скид}}$ — кількість води, яку скидають у водойму.

Ця схема нині найбільш поширена. Вона досить проста і дешева, але не надійна в екологічному відношенні, оскільки вода, яка скидається, забруднює водойми.

Схема з повторним використанням води (рис. 3.1, б) відрізняється від попередньої тим, що забруднену в першому виробничому процесі повторно використовують у другому виробничому процесі. При цьому якість води після забруднення першим виробничим процесом має задовольняти потреби другого виробничого процесу. Наприклад, у першому виробничому процесі вода використовується для охолодження, а в другому - для підготовки сировини.

У цій схемі замість двох самостійних для кожного процесу систем водопостачання використовують, по суті, одну, що спрощує водопостачання, але недоліки попередньої схеми залишаються і треба ще вибирати відповідні технологічні виробничі процеси та обґрунтувати за техніко-економічними показниками.



1 — водойма; 2 — водозабір; 3 — насосна станція; 4 — подача чистої води; 5 — підприємство; 6 — відведення відпрацьованої води; 7 — очисні споруди; 8 — відведення очищеної води; 9 — скидання води; 10 — друге підприємство; 11 — охолоджувальний пристрій; 12 — подавання охолодженої води; 13 — підживлювальний колодязь; 14 — подача підживлювальної води

Рисунок 3.1 - Схеми виробничих водопроводів: а) прямоточна; б) із повторним використанням води; в) оборотна з охолодженням; г) оборотна з очищенням води.

Найнадійнішими з екологічної з погляду є *оборотні схеми*. Тепер на багатьох підприємствах є охолоджувальні оборотні системи (рис. 3.1, в), в яких використана для охолодження обладнання вода охолоджується в градирнях, бризкальних басейнах, ставках. Потім її знову подають на охолодження обладнання. При цьому постійно, щоб забезпечити певний

сольовий склад, із системи скидають частину води (W) та додають певну кількість свіжої (підживлюють):

$$W_{\text{дод}} = W_{\text{скид}} + W_{\text{вв}} + W_{\text{вип}} + W_{\text{вин}}, \quad (3.2)$$

де $W_{\text{вип}}$ — кількість води, що випаровується; $W_{\text{вин}}$ - кількість води, що виноситься вітром.

Оборотні схеми з очищенням (рис. 3.1, з) поки використовують мало. Однак за ними майбутнє, оскільки вони дають змогу припинити скидання стічних вод у водойми.

В цих схемах забруднену у виробництві воду очищують на очисних спорудах від затриманих домішок і знову використовують у виробництві. Наприклад, після миття коренів цукрових буряків у воду потрапляє певна кількість завислих речовин. Після відстоювання у відстійниках воду знову подають на миття коренів.

У гальванічному виробництві стічні води забруднюються солями важких металів, очищення води на досить складних очисних спорудах дає змогу повернути воду у виробництво і захистити водойми від забруднення токсичними елементами.

В обороті постійно перебуває велика кількість води, а додавати треба незначну її кількість:

$$W_{\text{дод}} = W_{\text{вв}} + W_{\text{ос}}. \quad (3.3)$$

Схему виробничого водопроводу вибирають за результатами аналізу призначення води у виробництві, відповідно до характеру цього виробництва, обладнання, що використовується, технічних та місцевих умов (наприклад, потужність джерела та якість води в ньому), відстані підприємства від джерела, санітарних вимог до скидання стічних вод. Проте в усіх випадках нині потрібно більше використовувати оборотні системи.

3.2 Охолоджуючі пристрої оборотних систем

У технологічних процесах багатьох виробництв для охолодження приладів, верстатів, устаткування, печей, ректифікаційних колон, готової продукції використовується вода. Витрати води на охолодження визначаються

$$Q = q_t(T_G - T_X), \quad (3.4)$$

де q - кількість тепла, яка відводиться за одиницю часу від об'єкта, тис. ккал/год; T_G - температура гарячої води; T_X - температура холодної води.

Холодна вода подається на об'єкт, омиває його або обприскує, нагрівається і відводиться від об'єкта. Температура нагріву води може сягати 95 °С. Звідси витрати води за формулою (2.4) будуть дуже великими і в цілому із джерел їх практично не можна забезпечити необхідні оборотні системи. В оборотних системах вода очищається від механічних домішок та масел, якщо вони з'являються в процесі охолодження, й охолоджується в охолоджувачах. Охолодження відбувається за рахунок контакту з повітрям, що обумовлює типи охолоджувачів та ступінь охолодження води. Сприятливі умови контакту забезпечує охолодження води до температури, яка відповідає оптимальним техніко-економічним показникам. Такими умовами є:

- найбільша площа контакту води і повітря;
- максимальні кількість і швидкість повітря, яке охоплює вільну поверхню води;
- найбільший ступінь рівномірності розподілу води і повітря по робочій поверхні охолоджувача.

Кількісними характеристиками охолоджувача вважаються гідравлічне та теплове навантаження. Гідравлічне навантаження (щільність зрошення) показує кількість води в м³/год, яка припадає на м² активної (робочої) площі охолоджувача в плані. Теплове навантаження охолоджувача відображає кількість тепла, що віддає вода повітрю на м² охолоджувача.

За способом підводу повітря охолоджувачі поділяються на: відкриті, баштові, вентиляторні. До відкритих охолоджувачів належать водосховища-

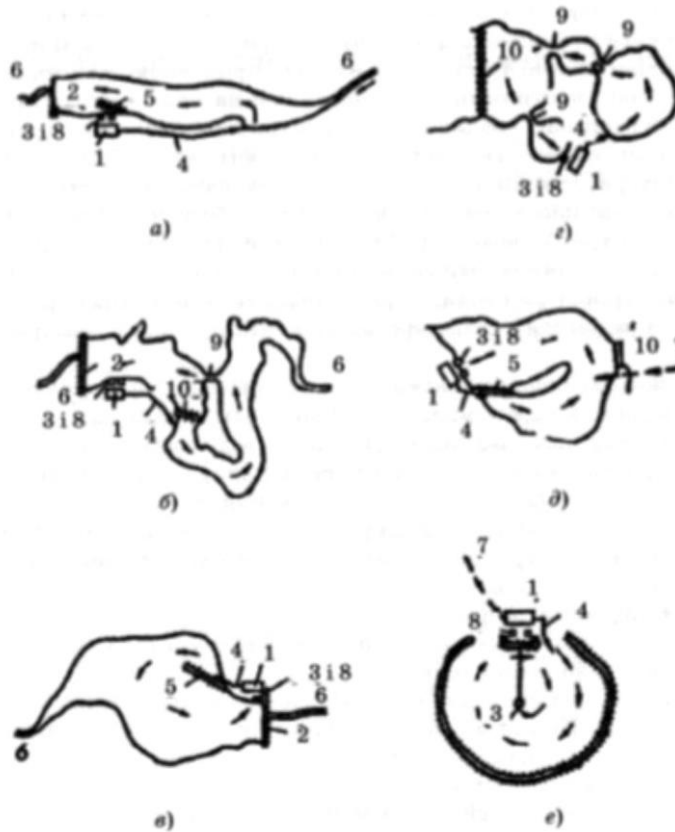
охолоджувачі, бризкальні басейни, відкриті градирні, в яких рух повітря забезпечується вітром або природною конвекцією. Баштові і вентиляторні охолоджувачі називаються *градирнями*. В баштових градирнях рух повітря забезпечується природною тягою, яка утворюється високою витяжною баштою. Вентиляторні градирні можуть бути обладнані нагнітальним чи всмоктувальним вентилятором, який забезпечує інтенсивний рух повітря. Цю свою чергу баштові і вентиляторні градирні можуть бути поверхневими, в яких передбачений безпосередній контакт повітря і води, та радіаторними, в яких вода протікає через радіатори і безпосереднього контакту води й повітря немає.

Водосховища-охолоджувачі є величезними накопичувачами води в складках місцевості. Вони поділяються на:

- регулювальні водосховища на водотоках (річках), які використовуються для охолодження циркуляційної води і для сезонного або багаторічного регулювання стоку;
- водосховища-охолоджувачі без регулювання стоку, які утворюються перекриттям водотоку дамбою і відповідним його розливом по площі;
- природні озера та ставки;
- наливні водосховища поза водотоком з підживлюючою водою з найближчої річки.

В усіх цих спорудах тепло віддається повітрю через вільну поверхню. Не вся вільна поверхня бере участь, або однакову участь, у передачі тепла. Кількість тепла, яке віддається водою, залежить від температури води, участі процесів випаровування, конвективної тепловіддачі, випромінювання поверхні, проникнення сонячної радіації, в мілководних водоймах негативно впливають добові зміни радіаційних складових теплового балансу. Площа активної зони для водойм приймається 25-40 м² на один м³/год поданої води при температурному перепаді до 8 °С. Площа активної зони, зазвичай, в 1,1-2 рази менша від повної площі охолоджувача. Це співвідношення

залежить від форми водосховища, місць розташування та умов скиду та забору води, умов розтікання циркуляційного потоку, наявності та форми струмененапрямних та струменерозподільних споруд. Найбільш поширені типи водосховищ-охолоджувачів показані на рис. 3.2.



1 - підприємство; 2 - гребля; 3 - водозабір; 4 - відвідний канал;
5 - струмененапрямна дамба; 6 - річка; 7 - подача води з річки; 8 - насосна станція; 9 - прорізь; 10 - перегороджувальна дамба

Рисунок 3.2 - Основні схеми водосховищ-охолоджувачів:

а) водосховище витягнутої форми на водотоці; б) водосховище складної форми на водотоці; в) широке водосховище на водотоці; г) природне озеро;
д) наливне водосховище зі сприятливим рельєфом місцевості; е) наливне водосховище з круговою циркуляцією.

Циркуляція води підвищує ступінь використання площі водосховища. У водосховищах найбільш доцільно забирати воду з придонних шарів глибинним водозабором. При цьому найчастіше точка випуску води і точка

прийняття досить наближені одна до одної і їх розділяють за допомогою струмененапрямних дамб.

Винос водозабірної споруди в центр круглого водосховища (рис. 3.2, *е*) сприяє також циркуляції. На рис. 3.2, *а*, циркуляція забезпечується відвідним каналом, який скидає підігріту воду у верхів'я водосховища, та дамбою перед водозабором. Рис. 3.2, *б*, може бути використаний для водосховища складної конфігурації. Тут циркуляція забезпечується перегороджувальною дамбою та штучною проріззю. В широкому водосховищі (рис. 3.2, *в*) циркуляцію забезпечує струмененапрямна дамба, яка відхиляє потоки теплої води у верхів'я водосховища з наступним її проходженням через усе водосховище до водозабору. Глибина води у водосховищах повинна бути не менше 3,5 м, не бажані мілководдя. Перед будівництвом водосховища його ложе готується шляхом видалення кущів та дерев, а для попередження розмиву та замулення слід береги закріплювати, засаджувати кущами, ізолювати яри. Усі споруди на водосховищі проектуються з урахуванням вітру та гідрогеологічних особливостей.

При проектуванні водосховищ-охолоджувачів слід по можливості використовувати наявні або запроектовані водосховища регулювання стоку і тільки при техніко-економічному потрібно планувати їх самостійними. В цілому водосховища-охолоджувачі можуть забезпечити більш низьку температуру охолодженої води, ніж бризкальні басейни, градирні з природною тягою, а взимку і вентиляторні градирні. Вони мають надійне оборотне водопостачання за незначних водних ресурсах, прості в експлуатації, витрачають невелику кількість електроенергії, але потребують значних площ та капіталовкладень.

Бризкальні басейни становлять відкриті резервуари, над поверхнею яких розбризкується вода. Резервуари можуть бути штучними або природними водоймами. Розбризкування води забезпечується системою розподільних труб для подачі води і сопел. Сопла встановлюються по одному або пучками по три - п'ять штук. Відстань між розподільними трубами того,

щоб вітер менше виносив краплі води за межі басейну повинна становити 8-12 м, а між окремими соплами – 1,2-4,5 м. Для крайні сопла розміщуються на відстані 7-10 м від межі басейну. Над рівнем води сопла встановлюються на висоті 1,2-1,5 м. Сопла повинні забезпечувати максимальне розбризкування води - дрібне дощування, яке забезпечується формою сопла та напором води перед ним. У практиці використовуються сопла евольвентні, тангенціальні, гвинтові з напором води перед ними 5-8 м. Сопла утворюють факели бризок, які контактують із повітрям. Факели не повинні перекривати один одного, а між їх рядами мають бути повітряні коридори (забезпечується відстанню між розподільними трубами). Підвищення напору перед соплом збільшує траєкторію польоту краплин та зменшує їх діаметр. Проте такий захід потребує більших витрат електроенергії, яку витрачають циркуляційні насоси, та збільшується можливість віднесення дрібних краплин за межі басейну. Глибина води у басейні приймається 1,5 м, а брівка басейну повинна підвищуватись над рівнем води на 0,3 м. Розміри басейнів установлюються з умов гідравлічного навантаження $0,8-1,3 \text{ м}^3/\text{год}$ на м^2 площі. Ширина бризкального басейну повинна становити не більше 50 м в осях крайніх сопел. Кількість басейнів приймається не менше двох. Басейни слід проектувати з бетону або залізобетону з гідроізоляцією.

Бризкальні басейни потребують незначних капітальних вкладень, прості в експлуатації, але мають невисокий охолоджуючий ефект і потребують спланованого майданчика. Звичайно, вони використовуються в умовах, коли не потрібно постійної низької температури, наприклад, для охолодження води калориферів громадських будівель.

Градирні забезпечують більш стабільний ефект охолодження води. В градирнях вихідна вода розбризкується по площі водорозподільним пристроєм у вигляді окремих струменів, які падають донизу, контактують із повітрям і охолоджуються (бризкальні градирні). Проте в більшості градирень для підвищення ступеня контакту води з повітрям уставляється додатково спеціальний зрошувач. Охолоджена вода збирається в резервуарі

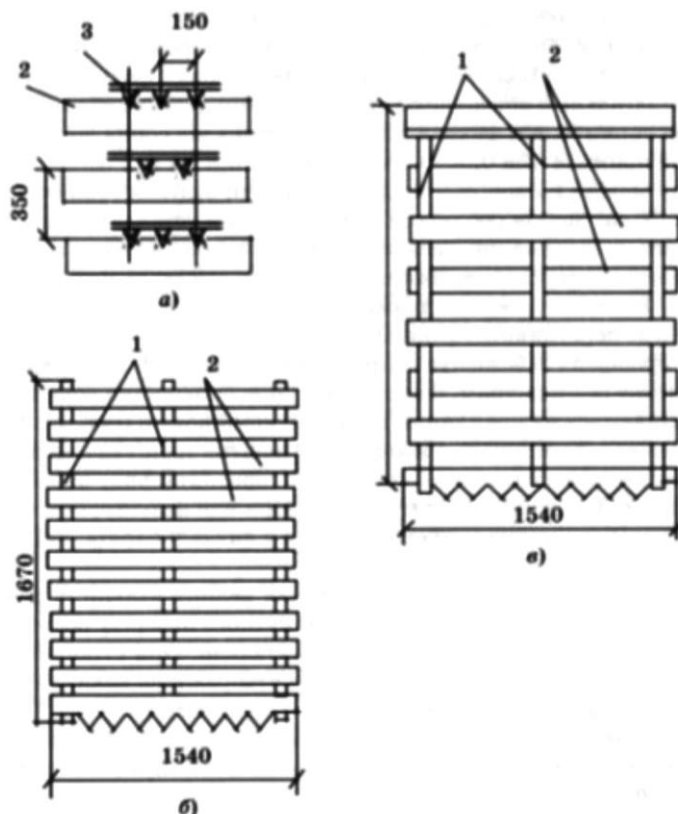
під градирнею. Залежно від способу подачі повітря градирні поділяються на відкриті, баштові, вентиляторні.

Водорозподільна система передбачається напірною трубчастою з розбризкуючими соплами, які рівномірно розташовані по площі. Вода при виході із сопел утворює факели з великою загальною поверхнею і які спрямовані доверху або донизу. При спрямуванні факела доверху відстань від сопла до зрошувача приймається 0,3-0,5 м, донизу - 0,8-1 м. Розподіляти воду можна і з допомогою дерев'яних чи залізобетонних лотків. У дні лотків робляться отвори, в які в уставляються трубочки - гідравлічні насадки. З насадок вода витікає на розбризкуючі тарілочки. Таким чином, утворюється факел бризок. Відстань між насадками приймається 1-1,25 м, що запобігає перетинанню факелів сусідніх насадок.

Зрошувач забезпечує подрібнення потоків стікаючої води і контакт їх з повітрям. Залежно від умов протікання води вони поділяються на краплинні, плівкові, комбіновані (рис. 3.3), а залежно від напрямку проходження повітря зрошувачі можуть бути поперечні (повітря проходить горизонтально, впоперек стікаючій воді) або протиточні (повітря йде назустріч стікаючій воді). Зрошувачі передбачаються у вигляді блоків, які рівномірно розподіляють потоки води.

Краплинний зрошувач передбачає велику кількість дерев'яних рейок, трикутного чи прямокутного перерізу розміром 50 x 71 мм, які розташовані горизонтально. При стіканні потоків води з верхніх рейок на нижні утворюється велика кількість бризок із великою поверхнею контакту (рис. 3.3, а). Плівковий зрошувач складається з вертикальних або з невеликим нахилом щитів. Вода стікає по ним плівкою, товщиною 0,3-0,5 мм. Щити виготовляють із горизонтальних дощок (рис. 3.3, б) товщиною 6-10 мм та шириною 100 мм, які закріплені щільно одна до одної або з невеликою відстанню (до 40 мм). Можна використовувати суцільні листи з азбестоцементу чи пластмаси, в нижній частині яких зроблені трикутні вирізи (фестони). Щити розташовуються один від одного на відстані

3-5 см. Висота щитів приймається 0,8-1,7 м, ширина - 1,5-2 м. Комбінований зрошувач (рис. 3.3, в) передбачає приєднання дощок до вертикальної основи (обрешітника) з різних боків. ц цілому зрошувач повинен забезпечувати найменший опір руху повітря. В цьому плані краще використовувати плівковий зрошувач, але витрати матеріалів для нього більші.



1 - обрешітник; 2 - горизонтальні дошки; 3 - рейки трикутного перерізу

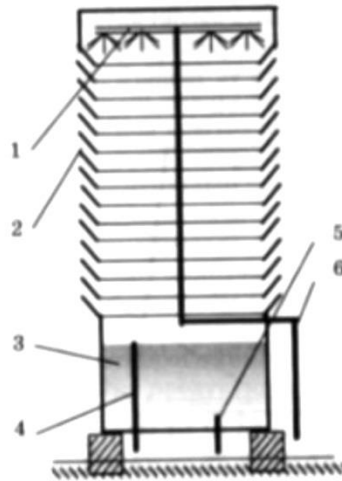
Рисунок 3.3 - Типи зрошувачів: а) краплинний; б) плівковий;

в) комбінований.

Відкриті градирні становлять короб, який з усіх боків огорожений жалюзійною решіткою (рис. 3.4).

Вихідна вода подається у верхню її частину та рівномірно розбризкується по площі. Вітер вільно продуває жалюзійну решітку й обдуває низхідні потоки води. Ці градирні поділяються на бризкальні і крапельні. В бризкальних градирнях розбризкуючі сопла знаходяться над поверхнею води в резервуарі на 4-5 м та направлені донизу. Вода окремими струменями проходить цей вільний простір, охолоджується і збирається в

резервуарі. Щільність зрошення встановлюється в межах $1,5-3 \text{ м}^3/\text{год}$ на м^2 . У крапельних градирнях цей вільний простір заповнений крапельним зрошувачем. Щільність зрошення приймається $2-4 \text{ м}^3/\text{год}$ на м^2 . Відкриті градирні використовуються при невеликих витратах води — до $300-1500 \text{ м}^3/\text{год}$ та забезпеченні невисокого охолоджуючого ефекту. Ефект охолодження значно зменшується за відсутності вітру.

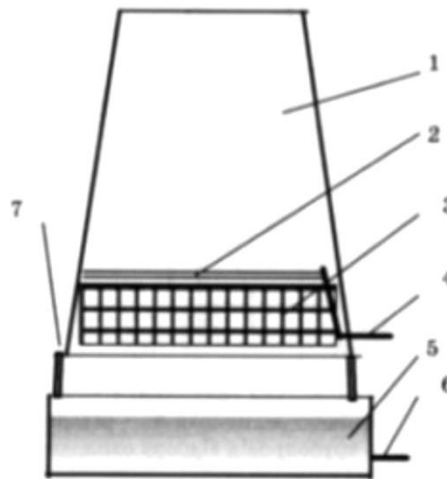


- 1- розбризкуючі сопла; 2 - стінки з жалюзійною решіткою; 3 - резервуар;
 4 - переливний трубопровід; 5 - трубопровід відбору охолодженої води;
 6 - трубопровід подачі гарячої води

Рисунок 3.4 - Відкрита бризкальна градирня.

Баштові градирні мають високі витяжні башти, які забезпечують природну тягу повітря за рахунок різниці в щільності повітря на виході з башти та теплового й зволоженого повітря всередині градирні (рис. 3.5).

Площа баштових градирень може становити від 4 до 4000 м^2 , а продуктивність - від 10 до $32\,000 \text{ м}^3/\text{год}$. У цих типах градирень використовуються протитоківі та поперечні зрошувачі. При використанні протитоківих зрошувачів башти розташовуються над зрошувачем, а поперечних — зрошувач розташовується кільцем навколо башти. Щільність зрошення приймається $4-8 \text{ м}^3/\text{год}$ на м^2 . Площа перерізу башти призначається 30-40 % від площі зрошувача.



1 - витяжна башта; 2 - водорозподільний пристрій; 3 - зрошувач;
4 - подача гарячої води; 5 - резервуар; 6 - трубопровід відбору охолодженої
води; 7 - вікна для проходження повітря

Рисунок 3.5 - Баштова градирня.

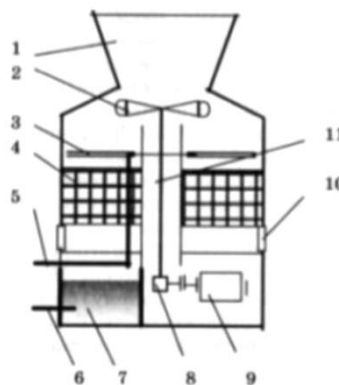
Башти для малих та середньої продуктивності градирень роблять циліндричними, зі зрізаним конусом або зрізаною багатогранною пірамідою. Великі градирні, звичайно, мають башти у вигляді оболонок гіперболічної форми. Башти роблять каркасно-обшивними (сталевий каркас, обшитий дошками) або монолітними залізобетонними. у градирнях площею більшою за 1000 м² над водорозподільним пристроєм додатково вбудовують водоуловлювач. При збільшенні площі зрошувача башта проектується вищою. Площа входних вікон повітря відноситься до площі зрошувача, як один до трьох або чотирьох. Для розрахунку градирень побудовані експериментальні залежності, які дають можливість від температури та вологості повітря місцевості, необхідного температурного перепаду визначити щільність зрошення і, відповідно, площу зрошувача.

Баштові градирні забезпечують більш стійке охолодження, ніж відкриті градирні та бризкальні басейни. Вони передбачають більшу інтенсивність зрошення, а тому і більш компактні, та можуть мати будь-яку

продуктивність. Водночас вони мають високу будівельну вартість, а головне, складність самого будівництва.

Вентиляторні градирні дають змогу підвищувати щільність зрошення до 10-14 м³/год на м². Необхідний потік повітря в градирнях забезпечується нагнітальним або відсмоктуючим вентилятором. Нагнітальні вентилятори розміщуються знизу, що дає змогу швидко проводити ремонт і огляд. Вони, звичайно, використовуються для малих витрат, так як мають менший ККД.

Вентиляторні градирні поділяються на баштові, які обладнані вентилятором великої продуктивності, і секційні, які складаються із окремих секцій із самостійними вентиляторами. Лопаті таких вентиляторів мають діаметр до 10 м. На рис. 2.6 зображена баштова градирня. Охолоджувальна вода подається зверху водорозподільним пристроєм 3, проходить зрошувач і охолодженою збирається в резервуарі 7. Необхідний потік повітря забезпечує вентилятор 2. Башта в таких градирнях виконується невисокою, а над водорозподільним пристроєм також влаштовується водоуловлювач. Водоуловлювач, звичайно, виконується з двох — трьох рядів дощок, які поставлені на ребро під кутом 60°. Огорожу градирень роблять із дерева, шиферу, залізобетону.



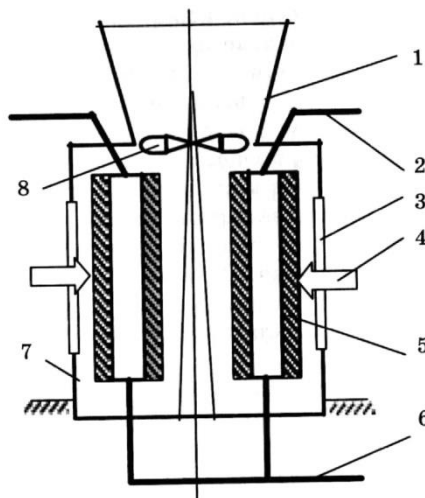
1- башта; 2 - лопаті вентилятора; 3 - водорозподільний пристрій; 4 - зрошувач; 5 - подача вихідної води; 6 - відведення охолодженої води; 7 - резервуар; 8 - редуктор; 9 - електродвигун; 10 - вікна для підсмоктування повітря; 11- вертикальний вал

Рисунок 3.6 - Баштова вентиляторна градирня.

Вентиляторні градирні забезпечують глибоке і стійке охолодження, але витрачають велику кількість електроенергії, складні в експлуатації, вентилятор постійно шумить, може з'являтися туман над землею, який несприятливо впливав на технологічне обладнання. В районах із низькою температурою і високою відносною вологістю зовнішнього повітря вони можуть бути нерентабельними. Звичайно вентиляторні градирні використовуються в умовах, коли потрібна низька й стабільна температура води.

Радіаторні градирні інколи ще називають сухими градирнями.

В цих градирнях вода протікає через систему радіаторів з алюмінієвих оребрених труб та скомпонованих у декілька секцій (рис. 3.7). Діаметр трубок, звичайно, приймається 15 мм, а ребра — товщиною 0,3 мм. Повітря продувається, як і у вентиляторних градирнях, відсмоктуючими вентиляторами.



- 1- дифузор; 2 - подача води на охолодження; 3 - вікна для повітря;
4 - напрямок входу повітря; 5 - радіатори; 6 - відведення охолодженої води;
7 - корпус; 8 - вентилятор

Рисунок 3.7 - Радіаторна градирня.

У радіаторних градирнях спостерігаються мінімальні втрати води, а якість води практично не змінюється. Водночас витрачається більше повітря,

більші габарити градирні, у спеку не забезпечується низька температура води, великі витрати металу і, відповідно, велика вартість.

Використовуються такі градирні в умовах, коли неможлива подача додаткової води або вартість її дуже висока.

Водяний режим в оборотних системах характеризується зміною якісних показників води та впливом її на споруди. Так, у результаті випаровування концентрація солей у воді підвищується, солі тимчасової жорсткості (в основному CaCO_3) випадають у теплообмінниках і знижують коефіцієнт теплопередачі. Необхідна продувка системи, тобто видалення продувочної води з відповідним додаванням свіжої води. Стабілізація сольового складу буде спостерігатись за умови, що кількість продувочної води буде дорівнювати:

$$p_3 = \frac{C_d + p_1}{C_{\text{ц}} - C_d} - (p_2 + p_4), \quad (3.5)$$

де C - концентрація солей твердості в додатковій воді, мг-екв/дм³; $C_{\text{ц}}$ - максимально допустима концентрація солей твердості в циркуляційній воді, мг-екв/дм³; p_1 - втрати на випаровування, м³/год; p_2 - втрати на знос, м³/год; p_3 - кількість продувочної води, м³/год; p_4 - кількість води, яка втрачається в технологічному процесі, м³/год.

Така продувка системи можлива при карбонатній жорсткості доданої води меншої за карбонатну жорсткість води в системі. При невиконанні цих умов слід передбачати зм'якшення, підкислення, фосфатування. Додаткова вода обов'язково повинна очищатися від зависі та часток біологічного походження, які також можуть відкладатись у теплообмінниках та погіршувати їх стан.

Тепла вода оборотних систем є сприятливим середовищем для розвитку грибків (цвілі), залізобактерій, сіркобактерій, водоростей та ін. Усі вони можуть відкладатися на теплообмінниках, водоводах, зрошувачах. Для боротьби з цими явищами передбачається раз у два-три місяці обробка

хлором із дозою 1,5-7,5 мг/дм³ та мідним купоросом дозою 4-6 мг/дм³. При використанні водосховищ охолоджувачів для попередження забору води, яка "цвіте", слід забирати воду з глибини 2-3 м, а при їх проектуванні слід враховувати зміни сольового складу та передбачати продувку.

3.3 Водопостачання підприємств чорної металургії

Підприємства чорної металургії забезпечують добування сировини (залізних та марганцевих руд, вогнетривких глин, вапняків, доломітів, кварцитів та ін.) і палива для виплавки чавуну і сталі з переробкою останніх у прокатні профілі та вироби. До цих підприємств належать рудники чи кар'єри, збагачувальні та агломераційні фабрики, коксохімічні та металургійні заводи. Усі вони можуть бути розкидані по значній території і, як правило, мають самостійні системи виробничого водопостачання. Руду та нерудні копалини добувають у шахтах або кар'єрах підземним або відкритим способами. Кар'єрна розробка гірських порід проводиться механічним або гідромеханічним способами. Підземна розробка в шахтах здійснюється буровибуховим способом і передбачає буріння, вибух, кріплення зводів, навантажування і вивезення на поверхню гірської маси. Добута рудна маса направляється на збагачувальні або дробильно-сортувальні фабрики. Розсипні та пилюваті руди після збагачування агломеруються (спекаються) на агломераційних фабриках.

На рудниках вода використовується на мокре буріння забоїв буровими станками і перфораторами, знепилення забоїв і бункерів вантажних майданчиків, поливання відвалів, де використовується технічна вода за прямоточною схемою. Для охолодження різних приладів, обладнання, компресорів використовується зм'якшена вода з оборотних систем. При відкритій розробці вода витрачається на виробничі потреби автобаз та ремонтно-механічних майстерень, зрошення гірської маси в кар'єрах та відвалах, миття автомашин. Система водопостачання оборотна та прямоточна з використанням систем питної води, оборотної забрудненої,

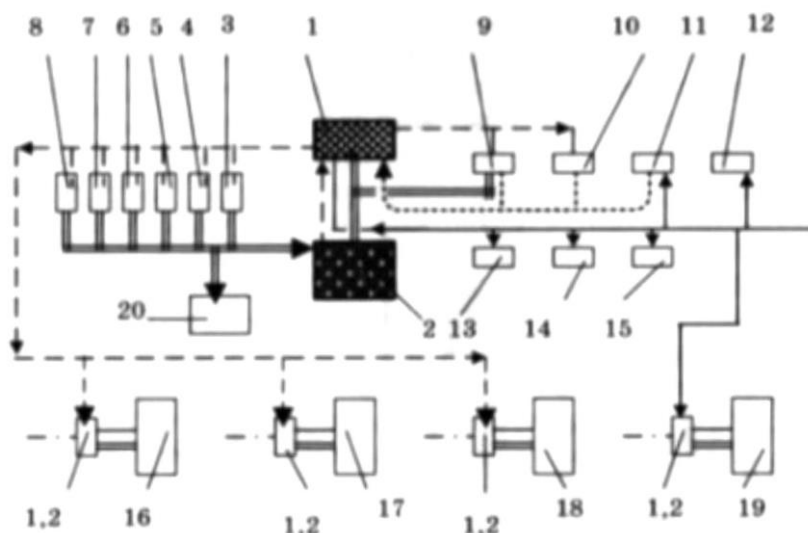
оборотної технічної. Загальні витрати води на 1 т руди становлять 0,07-1,7 м³, при цьому необхідно додавати свіжої води тільки 15-30 %. При гідравлічному добуванні гірської породи витрати води збільшуються до 8-24 м³ на 1 т руди.

На збагачувальних фабриках вода використовується в процесах, пов'язаних із подрібненням, грохоченням, змільченням, промивкою, збагаченням, зневодненням руд, охолодженням обладнання, приготування розчинів флотаційних реагентів. Залежно від прийнятих методів збагачення використовується від 5 до 9 м³ води на 1 т руди. Вода не повинна мати каламутність більше 30-50 мг/дм³. Використовується чотири системи: оборотна забруднена вода з відстоюванням використаної води в ставках-прояснювачах (шламонакопичувачах), оборотна охолоджувача з градирнями, технічної свіжої, питної води. Приблизно 85% використовується на поглинання і транспортування матеріалів. Напір у мережі повинен бути до 40 м, а для подачі води гідромоніторам використовуються насоси з напором до 150 м. У системі повинна бути передбачена подача води протягом 15-30 хв для системи при зупинці насосної станції.

На агломераційних фабриках вода зволожує шихту (руда, вапняк, кокс, повернення дрібного агломерату), здійснює охолодження горнів, підшипників механізмів, знепилення повітря та миття підлоги. На 1 т агломерату залізних руд витрачається 1 м³ води, марганцевих — 3,5 м³, при додаванні свіжої води відповідно 50 і 30% . Необхідний напір у водопроводі фабрики підтримується 25-30 м. Система водопостачання — оборотна, в якій вода перед поверненням у виробництво відстоюється у відстійниках. Свіжа вода спочатку охолоджує підшипники.

Коксохімічні заводи у своєму складі, звичайно, мають вуглезбагачувальну фабрику, коксовий цех, хімічні цехи та відділення. Загальна схема водопостачання коксохімічного заводу подана на рис. 3.8. На схемі подача вихідної води показана суцільною лінією, охолодженої незабрудненої — пунктирною, подвійна — напірна, нагріта вода; з

квадратними крапками — нагріта, безнапірна; штрихпунктирна лінія — скид у фенольну каналізацію. На вуглезбагачувальних фабриках (20) вода використовується на миття вугілля, приготування розчинів флотаційних реагентів і пульпи, для гідротранспорту шламу, охолодження підшипників.



1 - насосна станція; 2 - градирня; 3 - холодильники газу; 4 - відділення вловлювання сірководню; 5 - відділення ректифікації бензолу; 6 - бензольний цех; 7 - сульфатний цех; 8 - збірник і насосна конденсату; 9 - смолоперегонний цех; 10 - пекококсова установка; 11 - машинне відділення; 12 - резервуар для поливки території; 13 - цех вуглепідготовки; 14 - коксовий цех; 15 - біохімічна знефенольна установка; 16 - кінцеві газові холодильники; 17 - пекоковий транспортер; 18 - первинний холодильник пекококсової установки; 19 - зрошувальні холодильники сірчаної кислоти; 20 - вуглезбагачувальна фабрика

Рисунок 3.8 - Загальна схема водопостачання коксохімічного заводу.

Система водопостачання оборотна з проясненням води у відстійниках і вона на рисунку не показана. Підживлення відбувається з напірної лінії нагрітої води. На 1 т збагаченого вугілля витрачається 4,5-5 м³ води, зокрема 3,5-4 % свіжої. Напір у мережі дорівнює 35-40 м. У коксовому цеху (14) вода гасить розпалений кокс.

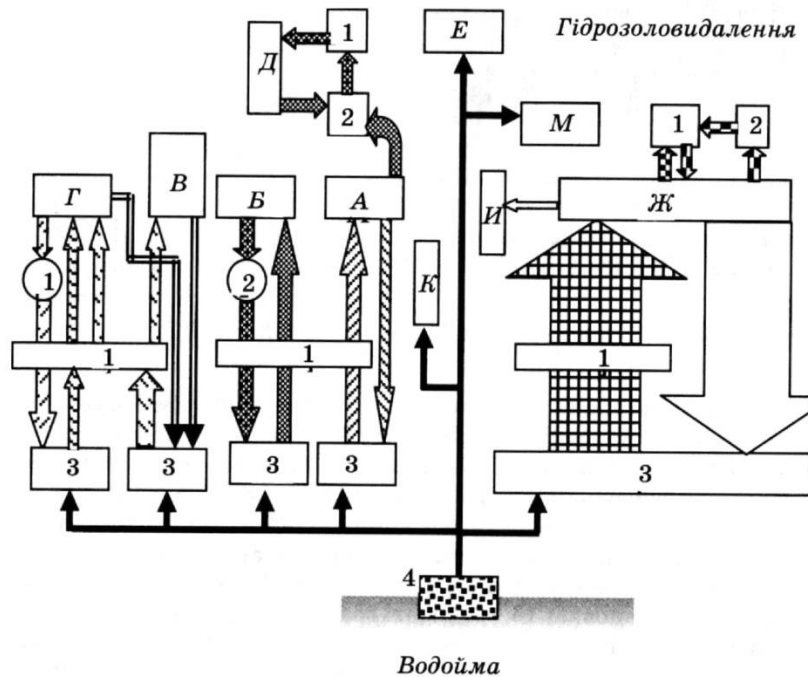
Потрібно 1 м³ води на 1 т коксу, при цьому половина випаровується, а друга половина після відстоювання повертається. У хімічних цехах та відділеннях вода використовується на охолодження, при цьому частина води не входить у контакт із продуктом і не забруднюється (3, 4, 5, 6, 7), а частина — входить у контакт і забруднюється (16, 17, 18), тому має самостійні градирні і насосні станції, забруднені стічні води скидаються в каналізаційну мережу фенольних стоків і після відповідної очистки використовуються в циклі гасіння коксу. В цілому на 1 т коксу витрачається до 23 м³ води, із них 6-7% свіжої. Охолоджена вода повинна мати температуру не вище 25-28 °С, завислих речовин — 20-40 мг/дм³, карбонатну твердість - не більше 2,5 мг-екв/дм³.

Металургійні заводи з виплавки чавуна, сталі, виробництва прокату та метизів (сталевий дріт, стрічка, профілі та ін.) займають площі десятки квадратних кілометрів. Чавун виплавляють з руди, агломерату, окатишів, флюсу в безперервно діючих доменних печах із нагрівом коксом або природнім газом.

Отриманий чавун у ковшах направляють на виплавку сталі або виготовляють чушки. Отриманий при виплавці шлак гранулюють, а потім його використовують. Споживання води на заводі з повним металургійним циклом доходять до 240 м³ на 1 т чавуну, 194 на 1 т сталі, 233 на 1 т прокату. Система виробничого водопостачання (рис. 3.9) має декілька оборотних циклів для кожного цеху чи приладу, які відрізняються один від одного якістю води та потрібним напором у мережі. Кількість свіжої води коливається від 5 до 8%.

Основні цехи повинні отримувати воду безперервно, тобто обов'язкове дублювання ліній мережі з подачею по кожній повних розрахункових витрат води. До 75 % води використовується на охолодження конструктивних елементів доменних, сталеплавильних, нагрівальних печей, конденсацію пару тощо. Ця вода тільки нагрівається. Вода для охолодження обладнання і

продукції, транспортування механічних домішок нагрівається та забруднюється, кількість її доходить до 22%.



А - доменний цех; Б - газоочищення; В - сталеплавильний цех; Г - прокатний цех; Д - розливальні машини; Е - коксохімічний цех; Ж - ТЕЦ та пароповітродувна станція; М - цех вогнетривів; І - хімводоочищення; К - інші цехи: 1- насосні станції; 2 - відстійник; 3 - бризкальні басейни; 4 - насосна станція першого підняття

Рисунок 3.9 - Схема оборотного водопостачання металургійного заводу.

У доменному цеху вода витрачається на зволоження шихти, охолодження доменних печей та арматури повітрянагрівачів, грануляцію шлаку, охолодження чавуну на розливальних машинах та підбункерних приміщеннях. Шихту зволожують водою після охолодження пічок. Напір води в мережі у доменних печах дорівнює 45-70 м. Система водопостачання оборотна, за якої вода від холодильників печей та арматури водонагрівачів (температура до 800 °С) потрапляє в приймальний резервуар і потім на охолодження. Свіжої води витрачається 3-4%. При охолодженні чавуну в розливальних машинах до 20% води випаровується, вода насичується шматками ламаного чавуну та вапна. Тому перед охолодженням вода

відстоюється спочатку у відстійнику. Концентрація завислих речовин у воді, яка подається на розливальні машини, не повинна перевищувати 100-150 мг/дм³.

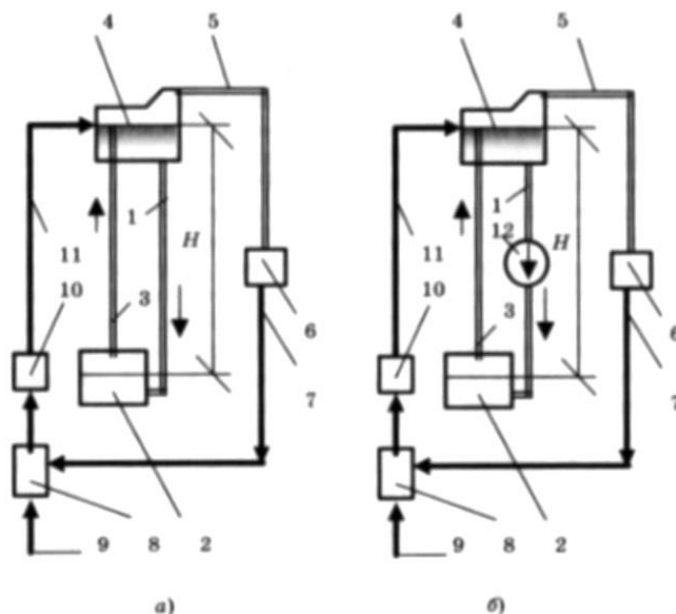
У цеху очищення доменного газу вода поглинає механічні домішки з газу, охолоджує газ, транспортує поглинуті домішки, розчиняє газ та деякі мінерали. В оборотній системі вода потрапляє спочатку в радіальні відстійники, перекачується насосом на охолоджувач, а потім знову насосом качається в цехи. В середньому витрачається 24 м³ води на 1 т чавуну.

У сталеплавильних цехах виплавка сталі здійснюється в мартенівських печах, конвертерах, електроплавильних печах при цьому вода витрачається на охолодження пічок, поливку робочої площі перед пічками, замочку та охолодження інструментів, заливку шлаку та ін. Система виробничого водопостачання, звичайно, оборотна з тільки охолодженням води. Витрачається до 6% свіжої води.

З метою зменшення витрат води на охолодження доменних, мартенівських, сталеплавильних печей використовується також випаровувальне охолодження (рис. 3.10).

У наведених схемах отримане тепло від нагрівальних елементів відводиться водою, яка нагрівається до пароводяної емульсії. При цьому використовується прихована теплота пароутворення. Потім пар конденсується і повертається в піч на охолодження, частина пару відводиться на господарські потреби.

Вода в системі випаровувального охолодження, звичайно, не повинна мати солей жорсткості та не мати корозійних властивостей. Порівняно з водяним охолодженням у випаровувальному охолодженні використовується в 60 разів менше води.



1- трубопровід охолоджуючої води; 2 - піч; 3 - трубопровід пароводяної емульсії; 4 - бак-сепаратор пари; 5 - паропровід до споживачів пари; 6 - споживачі пари; 7 - трубопровід конденсату пари; 8 - хімводоочищення; 9 - подача води з джерела; 10 - насосна станція; 11 - подача пом'якшеної води; 12 - циркуляційний насос

Рисунок 3.10 - Схеми випарувального охолодження металургійних печей:

а) з природною циркуляцією води; б) із примусовою циркуляцією води.

У прокатних цехах виготовляються гарячекатані, пресовані, холоднокатані та холоднотягнуті, теплокатані, зварні труби. Основна маса води використовується на охолодження валків та підшипників. Вода забруднюється окалиною та маслами, спочатку відстоюється в цехових відстійниках, а потім у вторинних для затримання дрібної окалини та масла і знову подається на використання. Крім того в цеху є водяні системи для охолодження пристроїв біля нагрівальних печей, пилок, ножиць, повітря, масла. Вода також використовується на зволоження повітря, приготування травильних розчинів. Таким чином у цеху може бути декілька систем водопостачання з дуже різними вимогами до них.

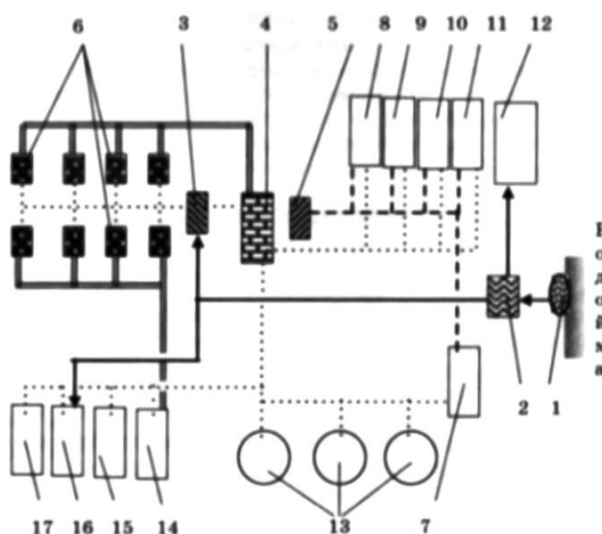
3.4 Водопостачання хімічних заводів

До хімічної промисловості належать гірничохімічні, основної хімії, азотної промисловості, продуктів органічного синтезу, лакофарбів, пластмас, фенолів та ін. Підприємства хімічної промисловості використовують воду для охолодження ректифікаційних колон, різного обладнання та апаратів, теплоенергетичних потреб, приготування розчинів, як основну частину готової продукції, вихідну сировину тощо. Витрати води значні, а тому широко використовуються оборотні системи. Узагалі на підприємствах може бути декілька систем водопостачання з різними якісними показниками води та потрібними напорами. Найбільший відсоток належить охолоджуючим системам. Характерними представниками цих заводів є азотнотукові заводи, штучних та синтетичних волокон, органічних фарб, синтетичного каучуку.

Азотнотукові заводи виготовляють рідкий аміак, слабку азотну кислоту, аміачну селітру та ін. Рідкий аміак отримують з природного газу шляхом конверсії метану, очистки азотно-водневої суміші від окису та двоокису вуглецю, синтезу аміаку. Слабку азотну кислоту отримують каталітичним окисненням аміаку киснем повітря з наступною абсорбцією водою окислів азоту. Аміачну селітру отримують нейтралізацією 55-60% азотної кислоти газоподібним аміаком з наступним упарюванням та грануляцією. Залежно від продуктивності витрачають води на виробничі потреби від 10 000 до 170 000 м³/год. Основні потреби у воді йдуть на охолодження холодильників з дрібними трубками, конденсаторів з маленькими зазорами та іншої подібної апаратури. Як правило заводи розташовуються біля річок і використовують річну воду (рис. 3.11).

Підготовлена до питної якості річна вода частково направляється в господарсько-питний водопровід, а основна маса витрачається на виробничі потреби. На рисунку суцільною лінією показана вихідна вода, лінією з квадратними крапками — охолоджена оборотна вода, пунктирною - гаряча безнапірна вода, подвійною лінією - гаряча напірна вода. Так, на заводі продуктивністю до 100 000 т аміаку з випуском аміачної води в обороті

знаходиться більше 10 000 м³/год води і до 12% забирається додатково із джерела. В оборотній системі вода повинна бути стабільною і мати каламутність до 20 мг/дм³.



- 1 - суміщений водозабір; 2 - станція прояснення і знебарвлення води;
 3 - змішувач оборотної води; 4 - циркуляційна насосна станція;
 5 - резервуар гарячої води; 6 - градирні; 7 - склад рідкого аміаку;
 8, 9, 10, 11 - відділення розділення повітря; конверсії, синтезу, компресії газу;
 12 - адміністративний корпус; 13 - газгольдер; 14 - установка скраплення аміаку;
 15 - цех виробництва карбаміду; 16 - парокотельня;
 17 - киснеазотонаповнюючий цех

Рисунок 3.11 - Принципова схема водопостачання азотнотукового заводу.

Заводи синтетичного каучуку витрачають воду в об'ємах від 100 000 до 300 000 м³/год. Вода витрачається на 95% на охолодження технологічного обладнання і перероблених продуктів. При цьому вода не забруднюється і може бути використана повторно, в ній допускається концентрація солей твердості не більше 5-6 мг-екв/дм³, каламутність - не більше 15 мг/дм³. До 5% води використовується у виробництві.

Так, при полімеризації дивінілстирольного, дивінілнітрольного каучуку потрібна зм'якшена вода із загальною твердістю до 0,07 мг-екв/дм³, лужністю до 1 мг-екв/дм³, вільної вуглекислоти до 5 мг/дм³, завислих

речовин до 3 мг/дм³, рН 6,8-7,2. Для промивки полімеру дивінілстирольного, поліізопренового, полідівінілового каучуку потрібна вода з вмістом солей карбонатної жорсткості та лужністю до 0,5 мг-екв/дм³, вмістом завислих речовин до 3 мг/дм³, розчиненого кисню 0,5-1 мг/дм³.

У виробництві *каталізаторів і вихідних мономерів* використовується знесолена вода з мінералізацією до 15 мг/дм³. Тому на заводі існує дві системи водопостачання: одна — із вмістом завислих речовин до 15 мг/дм³, друга — із вмістом завислих речовин 3-5 мг/дм³ і відповідною додатковою підготовкою води для окремих технологічних процесів.

На заводах *віскозних і синтетичних волокон* використовується фільтрована, зм'якшена, знесолена вода. При виробництві віскозних волокон (шовк, штапель, корд, целофан) на 1 т продукції витрачається 1000-2350 м³ фільтрованої води і додатково 30 м³ пом'якшеної води, а при виробництві синтетичних волокон (капрон, амід, лавсан, нітрон) фільтрованої води потрібно 1900-6100 м³ на 1 т продукції і тільки 4-8 % пом'якшеної води. У залежності від складу виробництва та його розкиданості по території на заводі може бути до 20 самостійних водопроводів. У деяких циклах до води ставляться дуже жорсткі умови щодо мінерального складу пом'якшеної і знесоленої води, а тому труби й арматуру повинні використовувати з антикорозійних матеріалів — неіржавіючої або гумованої сталі, пластмаси. Обов'язково на заводах є оборотні охолоджуючі системи. З метою скорочення витрат свіжої води використовується повторне використання води з улаштуванням спеціальних оборотних систем.

3.5 Водопостачання електростанцій

На електростанціях пара виробляється в котлах, в яких спалюють вугілля, газ, нафтопродукти, торф, використовують атомні реактори. Електричні станції, які виробляють тільки електроенергію, називаються *конденсаційними*. Якщо додатково виробляється теплова енергія (пара на технологічні потреби, на опалення, гаряче водопостачання), то вони

називаються *теплофікаційними*. Витрати води на електростанціях можуть доходити, залежно від їх потужності, до $100 \text{ м}^3/\text{с}$.

На теплових електростанціях вода використовується для приготування пари охолодження конденсаторів парових турбін, повітро- та газоохолоджувачів генераторів, повітроохолоджувачів живильних насосів, маслоохолоджувачів систем змащування механізмів, підшипників, всмоктувачів диму, допоміжних механізмів. Кожний теплообмінник становить батарею латунних або мельхіорових трубок, які знаходяться в металевому корпусі. По трубках циркулює охолоджувальна вода, а між трубками проходить повітря, газ, масло, які необхідно охолоджувати. Нагріта вода після конденсатора часто використовується на шлако- і золовидалення гідравлічним способом.

Схема водопостачання може бути прямоточна (за наявності досить потужного джерела), оборотна (найчастіше) та змішана.

Водозабірні, водоочисні споруди, насосні станції, водоводи, звичайно, мають великі розміри. Тому місце розташування електростанцій, як правило, вибирають відповідно за наявністю потужних джерел водопостачання. Для охолодження конденсаторів використовується технічна вода без нормування її якості. Проте підвищення ККД паросилової установки досягається покращенням якості води та зниженням її температури. У цілому температура повітря для охолодження генераторів повинна бути не вище $35\text{-}37^\circ\text{C}$, а отже, вода для підготовки такого повітря має мати температуру $30\text{-}35^\circ\text{C}$. Витрати води на охолодження генераторів не перевищують 1-2%. Оскільки під час охолодження повітря та масла вода нагрівається тільки на $2\text{-}4^\circ\text{C}$ її можна використовувати повторно в конденсаторах.

За прямоочної системи вода після використання на охолодження скидається в море, річку, водосховище. Така система потребує значних капітальних вкладень, потужних джерел водопостачання, проте забезпечує низькі і стабільні температури води. Подача води з водойми може забезпечуватися блочною або центральною насосною станцією. На блочній

станції на кожний блок (котел, турбіну) подається двома циркуляційними насосами й окремим водоводом. У такій системі засувки і зворотні клапани на напірних лініях не встановлюються, а тепла вода скидається в самопливний канал великого перерізу (4,2х3 м). Система найбільш економічна й надійна. На центральній насосній станції вода подається споживачам двома - трьома водоводами великого діаметра (3-3,3 м) декількома насосами (не менше чотирьох). У схемі багато запірної й запобіжної арматури, відповідно великі гідравлічні втрати.

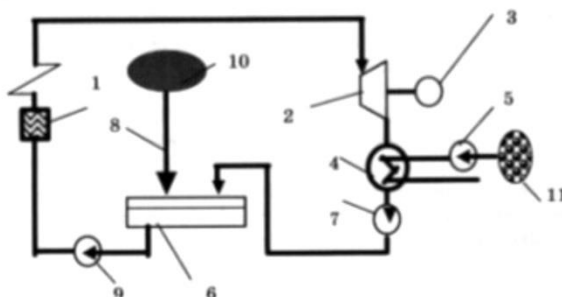
Все ж таки перевагу слід віддавати оборотним системам з охолодженням води на великих станціях у баштових градирнях (Рівненська атомна електростанція), у водосховищах-охолоджувачах (Хмельницька атомна електростанція), для невеличких станцій у вентиляторних градирнях або бризкальних басейнах. При використанні градирень охолоджена вода потрапляє великим самопливним каналом у машинний зал станції, де встановлені циркуляційні насоси подачі води на конденсатори. В деяких випадках використовуються змішані системи, коли в маловодні періоди додатково до прямоточної системи підключаються водосховища, градирні, бризкальні басейни. Якщо в окремі періоди року у водоймі не вистачає води можна конденсатори включати послідовно. Якщо це значно ускладнює експлуатацію. Воднохімічний режим електростанції повинен забезпечувати роботу теплосилового обладнання без ушкоджень та зниження економічності, яке викликається утворенням:

- накипу та відкладень на поверхні нагріву;
- шламу в котлах, на тракті живильної води та в теплових мережах;
- корозії внутрішніх поверхонь теплосилового обладнання та теплових мереж;
- відкладень у проточній частині турбін;
- відкладень на поверхнях трубок конденсаторів турбін.

Найпростіша конденсаційна станція (рис. 3.12) передбачає паровий котел 1, з якого пар потрапляє на турбіну 2. Турбіна, у свою чергу, обертає

електричний генератор. Відпрацьована пара потрапляє в конденсатор 4, куди насосом 5 подається охолоджуюча вода. Конденсат перекачується в бак запитуючої води 6. У бак подається додатково свіжа очищена і знесолена вода. Необхідна кількість води подається в котел насосом 9.

Вода в робочому циклі електростанції постійно контактує з металевими частинами котла, парової турбіни, конденсатора. При цьому може відбуватися виділення розчинених у воді домішок та проходити хімічна взаємодія води з металом. В результаті на поверхні елементів котла та турбіни з'являються сольові відкладання - накип, у воді з'являється завись шлам, який може відкладатися в місцях з більш спокійним потоком води з утворенням вторинного накипу, поверхня металу роз'їдається - відбувається корозія, міцність металу зменшується. Крім того, наявність у воді зависі призводить до додаткового виносу краплинок котлової води, яку потім слід відновлювати.



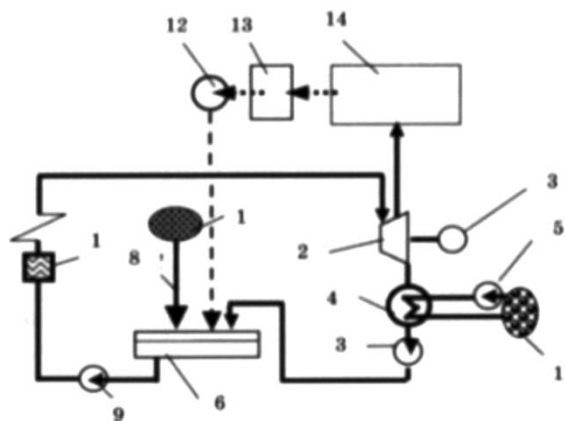
- 1 - паровий котел; 2 - турбіна; 3 - електричний генератор;
4 - конденсатор; 5 - циркуляційний насос; 6 - бак живильної води з
деаераційною колоною; 7 - конденсатний насос; 8 - подача додаткової
води; 9 - живильний насос; 10 - установка підготовки додаткової води;
11 - охолоджувальний пристрій

Рисунок 3.12 - Схема конденсаційної електростанції.

Для попередження вказаних явищ слід дотримуватись нормального водного режиму, який передбачає забезпечення певних якісних показників води: прозорість (каламутність, кольоровість), лужність, твердість, солевміст, вміст кремнію, вміст розчинених газів, значення водневого показника рН.

Безперервне випаровування у котлі води призводить до поступового накопичення в котловій воді солей. Відповідно починає збільшуватись солеміст у парі, вода в котлі починає спінюватись, частина її виноситься парою і ще більше збільшуючи солеміст у ньому, підвищений солеміст котлової води викликає появу в ній шламу. Отже, необхідно проводити продувку (безперервну, періодичну) барабанних котлів, яка полягає в скиді певної кількості води, а в прямооточних котлах слід проводити більш глибоке хімічне знесолення конденсату та періодично зупиняти котли для очистки (водні промивки) від утворених відкладень.

На теплофікаційній електростанції (рис. 3.13) є такий самий водяний контур, як і на конденсаційній, але частина пари знімається з парової турбіни і подається різним типам споживачів - 14, відпрацьований конденсат збирається в збірнику та насосом повертається в живильний бак. Таким чином утворюється другий водяний контур. При цьому може бути замкнута система, коли вода не контактує з людиною, та відкрита, коли вода входить у контакт з людиною, тобто забезпечується гаряче водопостачання.

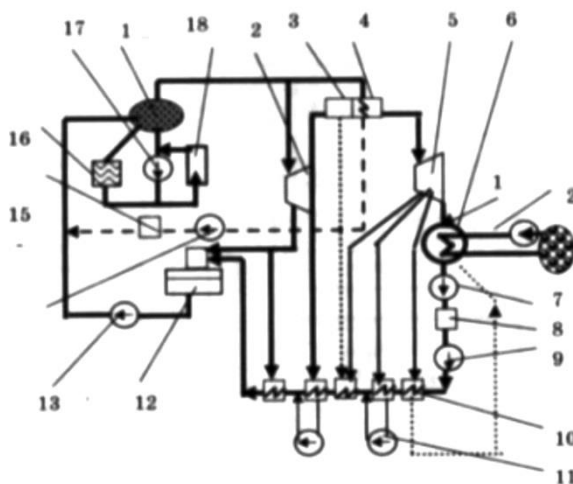


- 1 - паровий котел; 2 - турбіна; 3 - електричний генератор;
 4 - конденсатор; 5 - циркуляційний насос; 6 - бак живильної води з
 деаераційною колонкою; 7 - конденсатний насос; 8 - подача додаткової
 живильної води; 9 - живильний насос; 10 - установка підготовки додаткової
 води; 11 - охолоджувальний пристрій; 12 - насос виробничого конденсату;
 13 - збірник виробничого конденсату; 14 - виробничі споживачі пари

Рисунок 3.13 - Схема теплофікаційної станції.

Атомні електростанції (АЕС) з водним теплоносієм можуть бути одно- та двоконтурні. В одноконтурних станціях пара виробляється безпосередньо у реакторі, а в двоконтурних - у парогенераторі, який отримує теплоносій ,у реакторі.

На одноконтурній АЕС (рис. 3.14) насичена пара з барабана-сепаратора 1 потрапляє в циліндр високого тиску 2, осушується в проміжному сепараторі 3, вилучена волога потрапляє на регенерацію і барабан-сепаратор, а суха пара - в проміжний перегрівач 4 і далі в циліндр низького тиску турбіни 5. Конденсат перекачується насосами 7, 9 через конденсатоочищення 8, підігрівачі низького тиску 10 в деаератор 12, звідки живильна вода насосом 13 закачується в барабан-сепаратор.

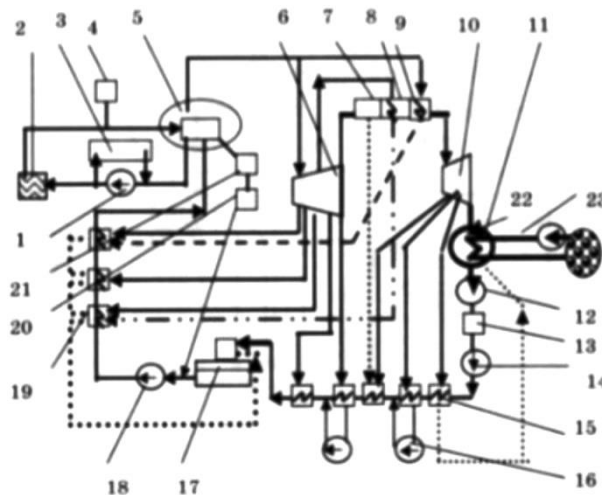


- 1 - барабан-сепаратор; 2 - циліндр високого тиску; 3 - проміжний сепаратор; 4 - проміжний перегрівач; 5 - циліндр низького тиску турбіни; 6 - конденсатор турбіни; 7 - конденсатний насос першого підйому; 8 - конденсатоочищення; 9 - конденсатний насос другого підйому; 10 - підігрівачі низького тиску; 11 - зливні насоси; 12 - деаератор; 13 - живильний насос; 14 - насос закачування конденсату нагрівальної пари проміжного пароперегрівача; 15 - високотемпературний механічний фільтр; 16 - активна зона реактора; 17 - головний циркуляційний насос; 18 - очисна установка реакторної води; 19 - додаткова живильна вода; 20 - охолоджувальний контур

Рисунок 3.14 - Схема одноконтурної АЕС.

Конденсати нагрівальної пари проходять водяний об'єм конденсаторів, а потім зливними насосами 11 закачуються в лінії основного конденсату. В реакторі є примусова циркуляція реакторної води насосом 17, із виводом і поверненням частини води після очистки на установці 18, яка через високу радіоактивність води розташована біля реактора. Утворена пароводяна суміш у реакторі потрапляє в барабан-сепаратор.

У двоконтурних АЕС (рис. 3.15) насичена пара потрапляє з парогенератора 5 у циліндр високого тиску турбіни 6. Волога пара від циліндрів високого тиску проходить через сепаратор 7, перегрівачі 8 та 9 на циліндр низького тиску.



- 1- головний циркуляцій- ний насос; 2 - реактор; 3 - очисна установка для реакторної води; 4 - компенсатор об'єму; 5 - парогенератор; 6 - циліндр високого тиску; 7 - проміжний сепаратор; 8,9 - проміжні перегрівачі першого та другого ступенів; 10 - циліндр низького тиску; 11 - конденсатор турбіни; 12 - конденсатний насос першого підйому; 13 - конденсатоочищення; 14 - конденсатний насос другого підйому; 15 - підігрівачі низького тиску; 16 - зливні насоси; 17 - деаератор; 18 - живильний насос; 19 - підігрівачі високого тиску; 20 - очисна установка на парогенераторній воді; 21 - дросельний пристрій на парогенераторній воді з відбором пари на деаератор; 22 - додаткова живильна вода; 23 - охолоджувальний контур

Рисунок 3.15 - Схема двоконтурної АЕС.

Конденсована пара у конденсаторі повертається в парогенератор через ті самі елементи, що й у попередній схемі, але на нагнітальній лінії насоса 18 додаються підігрівачі високого тиску 19. Інші елементи практично такі самі, як у попередній схемі, але додається компенсатор об'єму 4 на реакторній воді та для виводу домішок із циклу за рахунок продувки, яка направляється на байпасну очисну установку 20.

Отже, на електростанції водопідготовка складається з окремих циклів фізико-хімічної, хімічної обробки води, охолодження води. При цьому за якісними показниками вода поділяється:

- на *вихідну*, таку, яка забирається з природного джерела або водопроводу населеного пункту або підприємства;
- *додаткову живильну* - воду, яка компенсує втрати води і пари в пароводяному циклі;
- *живильну* - воду, яка відновлює втрати на випаровування води і є сумішшю конденсату турбін, регенеративних і теплофікаційних підігрівачів, зворотного конденсату зовнішніх споживачів пари;
- *котлову* - воду в котлах, пароперетворювачах, випаро- вувачах;
- *продувочну* - воду, яку випускають з котлів, пароперетворювачів, випаровувачів для підтримки в них певної концентрації домішок;
- *охолоджувальну* - воду, яку подають у конденсатори для конденсації відпрацьованої пари;
- *підживлювальну* - воду, яку подають у теплофікаційну мережу для поповнення втрат води в мережі.

3.6 Водопостачання нафтопереробних заводів

Нафта є сировиною для перегонки її у паливо, мастило, парафін тощо. Основна кількість води на нафтопереробних заводах використовується для конденсації, охолодження та відмивки нафтопродуктів. При цьому на 1 т переробленої нафти потрібно до 120 м³ води, з них повертається у виробництво 93,4 %, 3,2 % скидається в стік із досить складною подальшою

очисткою і 3,4 % втрачається. Окремі види оборотних вод мають до 250-350 мг/дм³ завислих речовин, до 1000-2500 мг/дм³ нафтопродуктів, до 3-15 мг/дм³ фенолів, до 5-20 мг/дм³ поверхнево-активних речовин. У цілому оборотні системи заводів мають до чотирьох самостійних систем.

Використана вода в першій системі має до 100 мг/дм³ нафтопродуктів і обслуговує установки з переробки легких і важких нафтопродуктів. Витрати води в цій системі досягають 45 м³ на 1 т переробленої нафти.

У другій системі на 1 т нафти використовується до 40 м³ води, яка практично не забруднюється.

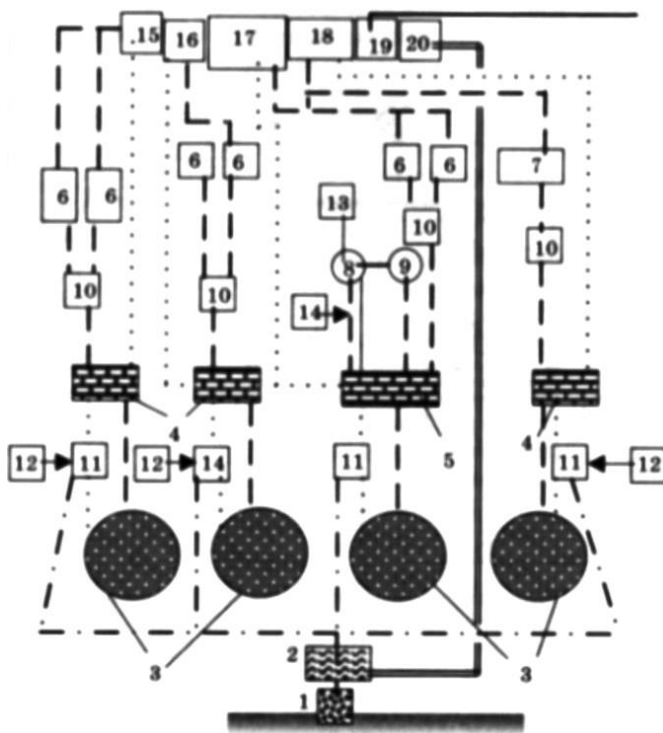
Третя система обслуговує нафтопереробні апарати, які дуже забруднюють воду нафтопродуктами та сірководнем (до 100 мг/дм³). Біля виробничих пристроїв влаштовуються локальні очисні установки, до складу яких входять пісковловлювачі, нафтовловлювачі, флотатори, аеротенки, фільтри.

Четверта система обслуговує цехи синтетичних жирних кислот, де вода забруднюється парафіном та жирами.

Принципова схема водопостачання нафтопереробного заводу подана на рис. 3.16. На схемі штрихпунктирною лінією позначений виробничий водопровід низького тиску, подвійною лінією - високого тиску, пунктирною лінією:

- нагріта води, лінією з квадратними крапками - охолодженої води, стрілочка - подачі реагентів, суцільна жирна лінією
- подача питної води, тонкою штрихпунктирною з двома крапками
- повітропровід, стрілочка - подача реагенту, суцільною жирною лінією - подача питної води.

Нафтопереробні заводи мають велику кількість сировини і готової продукції, яка дуже легко загоряється. Тому пожежній безпеці приділяється особлива увага. Зазвичай, влаштовується самостійний протипожежний водопровід високого тиску.



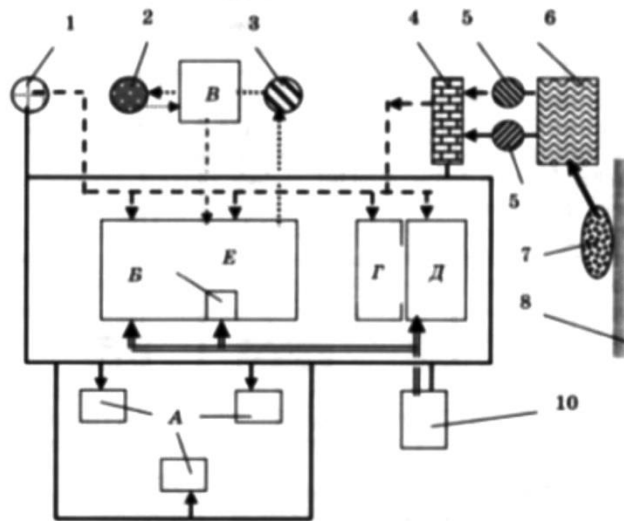
1 - водозабір; 2 - водоочисні споруди і насосна станція другого підйому; 3 - вентиляторні градирні; 4 - циркуляційні насосні станції; 5 - насосно-компресорні станції; 6 - нафтоволлювачі; 7 - жировловлювачі; 8- десорбер; 9 - резервуар гарячої води; 10 - камери гарячої води; 11 - камери охолодженої води; 12 - установка для стабілізації і хлорування води; 13 - установка для очищення повітря від сірководню; 14 - установки для підкислення води; 15-18 - споживачі води відповідно 1, 2, 3, 4 систем; 19 - установки з використанням на технологічні потреби питної води; 20 - установки, які використовують вихідну воду

Рисунок 3.16 - Принципова схема водопостачання нафтопереробного заводу.

3.7 Водопостачання підприємств легкої промисловості

Підприємства легкої промисловості найчастіше розміщуються в межах населеного пункту або на його околиці. Залежно від їх продуктивності призначається певна площа і відповідно обсяги витрат води на технологічні потреби, які значно менші, ніж для розглянутих вище підприємств. Найбільш характерними підприємствами є підприємства вовняної, шовкової,

бавовняної, лляної промисловостей. Принципова схема водопостачання текстильного комбінату наведена на рис. 3.17.



А - адміністративно-побутовий корпус; Б - головний корпус;
В - холодильна станція; Г - допоміжні цехи; Д - котельня; Е - тепловий пункт:
1- водонапірна башта; 2- градирня; 3 - резервуар-акумулятор; 4 - насосна
станція; 5 і 7- резервуари проясненої і господарсько-питної води;
6 - водоочисні споруди; 8 - сумісний водозабір; 9 - вододжерело;
10 - установка пом'якшення води

Рисунок 3.17 - Принципова схема водопостачання текстильного комбінату.

Вихідна вода забирається з ріки. На водоочисних спорудах готується вода питної якості, яка кільцевою мережею (суцільна лінія) розподіляється по території заводу та подається на установку зм'якшення води, прояснену воду для подачі (пунктирна лінія) відповідним цехам. Пом'якшена вода (подвійна лінія) подається на виробництва головного корпусу, звідки гарячою (лінія з квадратними крапками) направляється в резервуар-акумулятор.

Таким чином на підприємстві існує виробничий водопровід проясненої води, пом'якшеної холодної та гарячої води, повторно використаної холодної пом'якшеної води для охолодження гарячих розчинів красильних апаратів,

оборотної води кондиціонерів, конденсаторів холодильних машин, компресорних установок

На фабриках первинної обробки вовни витрачається до 8 м^3 питної води, 50 м^3 проясненої холодної води, 30 м^3 пом'якшеної теплої води. пом'якшена і тепла вода використовується для промивка вовни та допоміжних операцій. Холодна прояснена вода використовується в котельній та на інші виробничі потреби. проводиться водою з каламутністю до 5 мг/дм^3 , кольоровістю до 25 градусів, твердістю холодної води 5 мг-екв/дм^3 , теплої - $1,5 \text{ мг-екв/дм}^3$, вмістом заліза і мангану - не більше $0,1 \text{ мг/дм}^3$.

На 1 т лляної соломки на заводах первинної обробки льону потрібно $1,6 \text{ м}^3$ питної, 33 м^3 проясненої води і 1 м^3 пом'якшеної води. Мочіння льону виконується водою з каламутністю до 100 мг/дм^3 , кольоровістю до 50 градусів, твердістю до 9 мг-екв/дм^3 , вмістом заліза до 5 мг/дм^3 .

3.8 Водопостачання підприємств харчової промисловості

Підприємства легкої промисловості в межах населеного пункту часто підключаються до господарсько-питного водопроводу цього пункту. На технологічні потреби можуть додатково забирати воду власними водозабірними свердловинами з забором води наближеної до питної якості.

До цієї групи підприємств належать макаронні фабрики, овочесушильні комбінати, молокозаводи, сирзаводи, хлібзаводи, м'ясо- та рибокомбінати, пивзаводи, заводи безалкогольних напоїв, спиртзаводи та ін. Останнім часом це можуть бути навіть невеличкі цехи відповідного напрямку. Вода на всіх цих підприємствах використовується на технологічні потреби і часто входить до складу виготовленого продукту, на миття сировини, для живлення парових котлів, на охолодження обладнання, на господарсько-питні потреби. В основному використовується вода питної якості, але для охолодження і живлення котлів використовується пом'якшена вода, в окремих циклах може використовуватись вода зі зменшеною концентрацією заліза ($0,1 \text{ мг/дм}^3$), з підвищеною концентрацією завислих

речовин або кольоровістю. Системи водопостачання застосовуються прямоточні та оборотні. Для прикладу розглянемо водопостачання спиртзаводів

Спиртові заводи за видом сировини, що переробляється, поділяються на такі, що працюють на зерні, картоплі, тобто вміщуючи крохмаль, та такі, що працюють на відходах бурякоцукрового виробництва, тобто меляси. Основною продукцією спиртових заводів є етиловий спирт, а додатково - хлібопекарські та кормові дріжджі. На лікєро-горілочні заводи надходить спирт-ректифікат вищого очищення (міцність не нижче 96,2% об.); спирт-ректифікат "Екстра" (міцність не нижче 96,5 % об.); спирт-ректифікат "Люкс" (міцність не нижче 96,3 % об.).

Під час виготовлення спирту з меляси остання розчиняється водою до певної концентрації сухих речовин, у розчин додаються живлячі солі та дріжджі, в результаті проходить зброджування з утворенням спирту та вуглекислого газу. Готова бражка поступає безпосередньо на перегонку в брагоректифікаційний апарат. Бражка може бути сировиною для виготовлення хлібопекарських дріжджів, а тому може надходити в цех хлібопекарських дріжджів у відділення дріжджів, де дріжджі відділяються від спиртової бражки. Дріжджі промиваються водою питної якості, згущуються, пресуються та розфасовуються. Зріла бражка подається на брагоректифікаційний апарат для виготовлення спирту. Під час виготовлення спирту із зерна або картоплі сировина мнеться, дробиться, додається вода і розварюється з додаванням солодового молока або культури плісневих грибків. Після цього проходить зброджування всієї маси з наступною перегонкою вже зрілої бражки на багаторектифікаційних колонах. Післядріжджева барда використовується як корм для скоту.

Процес виготовлення сухих кормових дріжджів на післяспиртовій барді полягає в охолодженні барди, підготовці живлячого середовища, вирощуванні культури кормових дріжджів при безперервній аерації

середовища, згущуванні біомаси дріжджів та її промивці. Відходами є післядріжджева барда.

Сировиною для виготовлення рідкої харчової вуглекислоти є вуглекислий газ, який виділяється при спиртовому зброджуванні. Вуглекислий газ збирається в газгольдері, очищується в скрубєрі та фільтрах, компримується в три ступені, конденсується та розливається в балони або контейнери.

Для виділення спирту із бражки в Україні використовують типові брагоректифікаційні установки непрямої дії (БРУНД), які складаються, як правило, із бражної (БК), епюраційної (ЭК) і ретифікаційної (РК) колон.

Вода в технологічних процесах виготовлення спирту та дріжджів є:

- сировиною виготовленої продукції;
- холодоагентом в усіх теплообмінних процесах;
- сировиною для виготовлення пари;
- продуктом для миття технологічного обладнання, тари, сировини.

Вода використовується також на питні та господарсько-побутові потреби. Вода питної якості (ДСанПіНу 2.2.4-171-10) використовується на промивку біомаси дріжджів (при використанні мелясової барди), на замочування зерна для солоду, для гідроподачі та дезінфекції зеленого солоду, приготування солодового молока, на охолодження конденсаторів і холодильників брагоректифікаційних колон, обладнання та ін. Водночас зараз змінюються вимоги до води, яка використовується в спиртовому виробництві і, також як вимоги до питної води, вони стають більш жорсткими (табл. 3.1).

Найбільша кількість води (приблизно 80%) використовується на охолодження (рис. 3.18). Тобто вода повинна бути стабільною і не давати на нагрівальних елементах відкладатись, насамперед, карбонату кальцію та солей заліза. Більшість заводів мають прямоточну технологічну схему водопостачання з частковим повторним використанням умовно-чистих вод.

Таблиця 3.1 - Межі допустимого вмісту компонентів у воді для виготовлення горілки

Показник	Вимоги до води для виготовлення горілки	
	Для води з вихідною жорсткістю більше 1 мг-екв/дм ³	Для води з вихідною жорсткістю до 1 мг-екв/дм ³
рН	Менше 7,8	Менше 7,8
Хлориди, мг/дм ³	80	25
Сульфати, мг/дм ³	100	20
Магній, мг/дм ³	1,3	7
Ферум, мг/дм ³	0,13	0,1
Кальцій, мг/дм ³	1,3	7
Лужність, мг/дм ³	4	1
Сухий залишок, мг/дм ³	500	100
Окиснюваність, мг О ₂ /дм ³	6	6
Твердість, мг-екв/дм ³	0,2	1
Каламутність, мг/дм ³	1,5	1,5
Кольоровість, град.	0	0
Калій і натрій, мг/дм ³	100	15
Нітрати, мг/дм ³	40	40
Фосфати, мг/дм ³	0,1	0,1
Манган, мг/дм ³	0,1	0,1
Силікати, мг/дм ³	7	3
Алюміній, мг/дм ³	0,1	0,1
Купрум, , мг/дм ³	0,1	0,1

В Україні для охолодження спирту і промивки хлібопекарських дріжджів найчастіше використовується артезіанська вода. Вода з дефлегматорів ректифікаційних колон найбільше нагрівається, а тому

частково повторно використовується на розсиропку меляси, живлення парових котлів і миття технологічного обладнання. Оскільки найчастіше на спиртових заводах України використовується підземна вода, то, в першу чергу, потрібне її знезалізнення та стабілізаційна обробка або пом'якшення води з максимальною автоматизацією технологічних процесів через неможливість знаходження працівників у технологічних приміщеннях виготовлення спирту.



1- гідроавтоматична установка знезалізнення води; 2 - бак холодної води; 3- бак оборотної води; 4- бак гарячої води; 5- баки-накопичувачі; 6- блок спиртовловлювачів, конденсаторів, дефлегматорів, відповідно 1, 2, 3 колон; 7- магнітні установки; 8- бактерицидна установка

Рисунок 3.18 - Схема водопостачання спиртового заводу.

3.9 Інноваційні прийоми покращення технології іонообмінної обробки води

У практиці водопідготовки застосовують дві основні технології іонообмінного очищення води – прямотечійну та протитечійну, які відрізняються напрямками руху води, що очищається, та регенераційного розчину.

У випадку традиційної і поширеної прямотечійної технології (рис. 3.19) оброблювана вода і регенераційний розчин рухаються в одному напрямку – подаються у верхню частину іонообмінного фільтра та виводяться з нижньої.

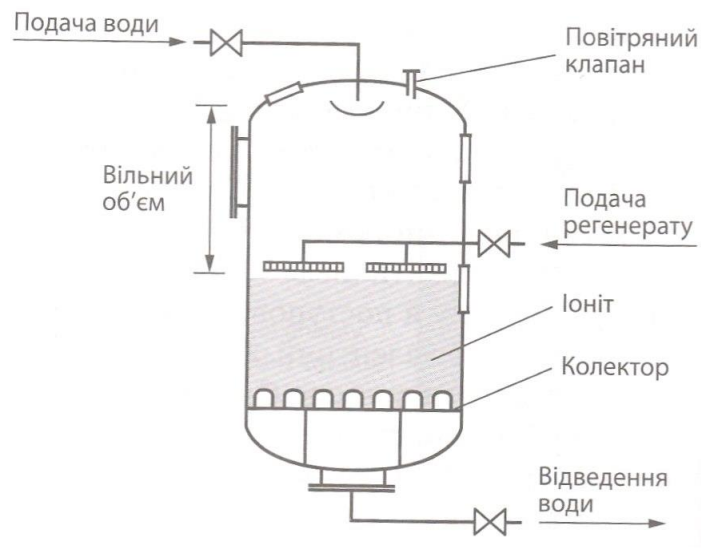


Рисунок 3.19 – Прямотечійний іонообмінний фільтр.

У випадку сучаснішої та економічнішої протитечійної технології, наприклад UPCORE (рис. 3.20), оброблювана вода й регенераційний розчин рухаються в протилежних напрямках. У цьому випадку іоніт, який прореагував найглибше, перебуває в тій частині іонообмінного шару, яка розташована в зоні виходу очищеної води, що забезпечує високу якість очищення, зменшує проскакування іонів і доводить до максимуму робочу ємність смоли. За рахунок цього регенерація іонітів може бути здійснена швидше та ефективніше, з нижчою витратою реагентів, меншою кількістю промивних вод, відносно невеликим об'ємом стоків і низькою загальною собівартістю.

Важливо, однак, мати на увазі, що є два різновиди цієї технології: 1) з робочим потоком, спрямованим знизу вгору, а регенерацією - в напрямку зверху – вниз; 2) з робочим потоком, що подається зверху - вниз, а регенерацією в напрямку знизу – вгору.

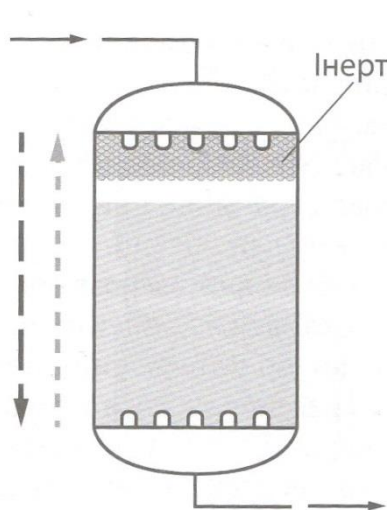


Рисунок 3.20 – Протитечійний іонообмінний фільтр UPCORE.

Переваги регенерації у висхідному потоці

Регенерація іонітів у висхідному потоці стає все більш поширеною внаслідок високої ефективності і економічності. При цьому зазвичай на 50% зменшується кількість стоків і приблизно вдвічі витрати реагентів і промивних вод, у порівнянні з прямотечією. Крім того регенерація за протитечією проводиться приблизно вдвічі швидше, ніж за прямотечією, і забезпечує вищі показники якості обробленої води.

Процес UPCORE в технологічному відношенні перевершує вже відомі протитечійні технології регенерації іонітів у завислому шарі, а також технології з блокуванням (затисненням) шару смоли повітрям або водою. До недоліків останніх відносяться висока чутливість до зміни параметрів процесу (навантаження) неповне використання об'єму фільтру, необхідність встановлення додаткового обладнання і складність контролю.

Не всі протитечійні процеси однакові

Зазвичай до всіх протитечійних технологій висуваються дві основні вимоги:

- зона з високим ступенем регенерації повинна бути цілісною і перебувати в тій частині шару іоніту, яка розташована якомога ближче до виходу обробленої води;

- шар іоніту повинен залишатися в затиснутому стані як під час робочого циклу, так і при проведенні регенерації.

Спосіб, за допомогою якого вирішуються ці завдання, впливає на якість, продуктивність і економічність протитечійних систем.

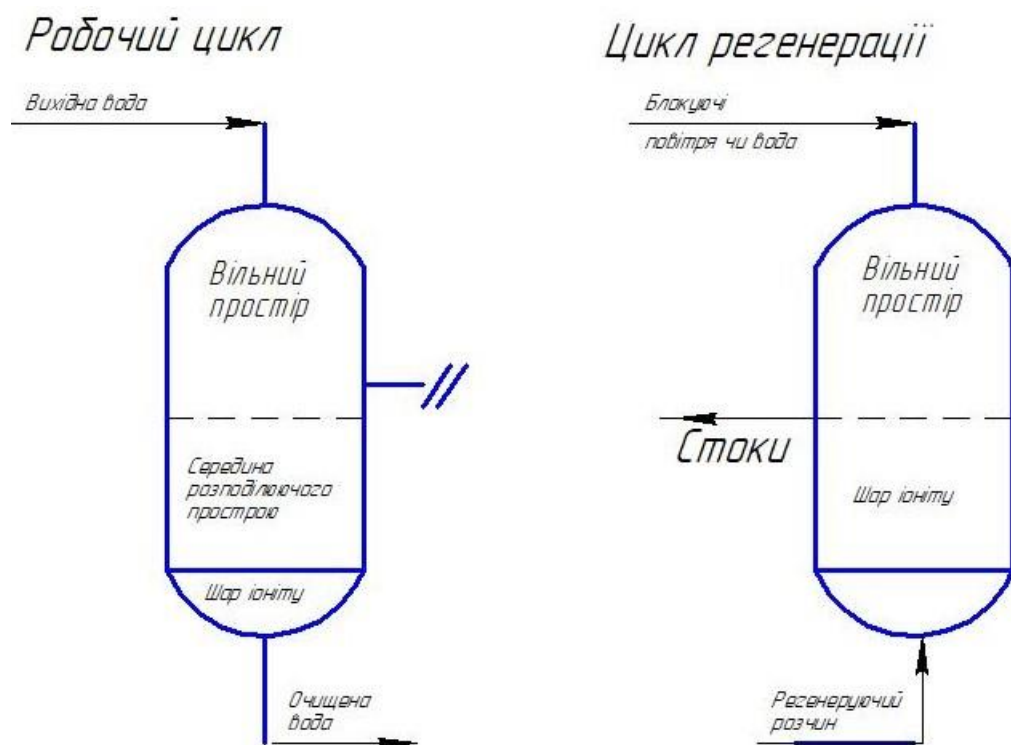
Недоліки протитечійних технологій із застосуванням завислого шару в робочому циклі

Процеси з висхідним потоком оброблюваної води мають суттєві недоліки в порівнянні з процесами з низхідним потоком. Затиснутий шар вкрай чутливий до змін витрат води, що надходить у фільтр. Крім того, якщо робочий потік схильний до значних флуктуацій або переривається, може спостерігатися внутрішньосхарувате перемішування. Внаслідок цього в ту частину шару, яка знаходиться в зоні виходу очищеної води і складається з іоніту з високим ступенем регенерації, можуть потрапити забруднені частинки смоли, що призведе до зниження якості очищення і зменшить робочу ємність, які зазвичай вище в протитечійних системах, ніж у прямотечійних.

У таких процесах перед регенерацією, яка проводиться в низхідному потоці, іоніт вільно осідає на дно фільтра, при цьому дрібні частинки мимовільно спрямовуються до поверхні шару і потім можуть бути віднесені в наступний фільтр. Як тільки регенерація закінчується, іоніт повинен бути повернутий в робоче положення, тобто притиснутий до верхньої частини фільтра (рис 3.21).

Щоб зберегти зону високовідрегенованого іоніту в затиснутому стані в найвищій частині шару, він повинен бути переміщений вгору до інерту швидко і різко.

Пастки іонообмінних смол складають істотну частину протитечійних систем і призначені для запобігання віднесення дрібних частинок під час робочого циклу. Однак тільки за допомогою пасток можна адекватно вирішити цю проблему.



Процеси з блокуванням повітрям і водою

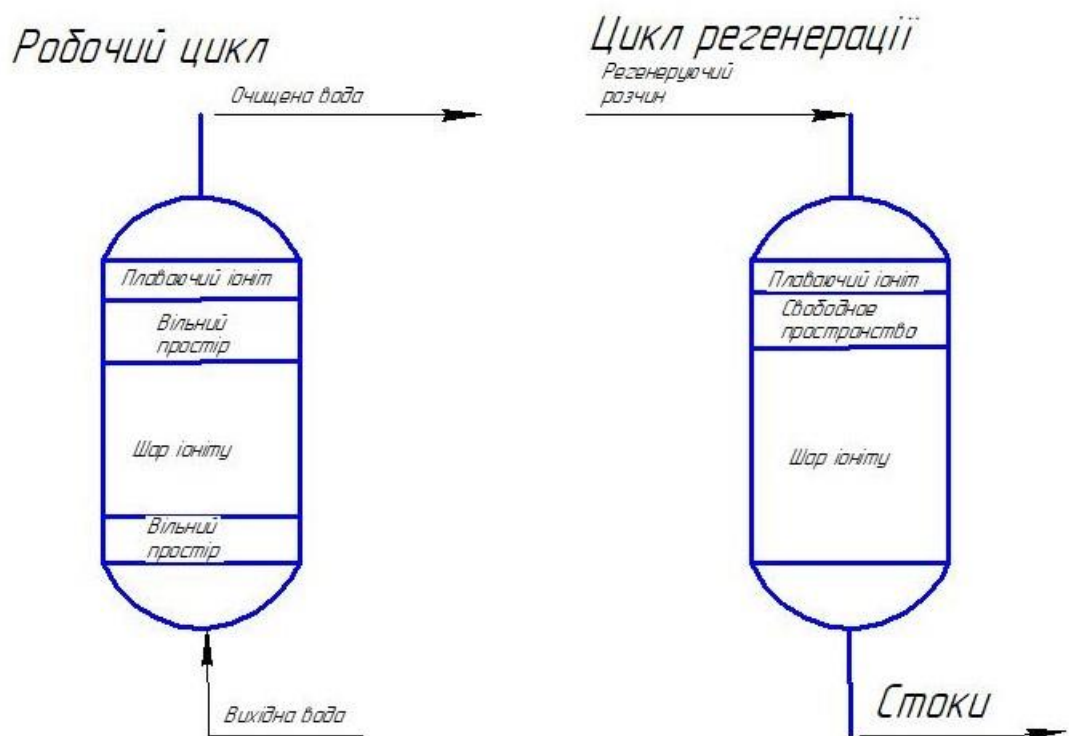


Рисунок 3.21 – Робочий цикл та регенерація протитечійних фільтрів.

При використанні протитечійних технологій з висхідним потоком очищуваної води в робочому циклі необхідно регулярно проводити

розпушувальні промивання іоніту. В іншому випадку дріб'язок, який під час осадження смоли накопичується у верхній частині шару, може бути віднесений з фільтра робочим потоком, що призведе до забруднення нижніх шарів аніоніту дрібними частинками катіоніту, а очищеної води подрібненими смолами. Розпушування зворотним потоком необхідно також для видалення будь-яких частинок, які перебували у воді, що надійшла на обробку в фільтр. Оскільки робочий потік вводиться в його нижню частину, де розташовуються найбільші зерна, а іоніт переходить у завислий стан, висхідний потік, проходячи через шар, ніби реалізує модель «глибинного фільтрування». З часом ці забруднення акумулюються в шарі іоніту, викликаючи зростання гідравлічного опору шару. Необхідність проведення розпушувальної промивки очевидна.

Оскільки технології зі завислим шаром іоніту не дозволяють здійснювати операцію розпушування всередині робочого фільтру, то іоніт для цієї мети необхідно перевантажити в додаткову ємність. Монтаж комунікацій, трубопроводів та арматури призводить до подорожчання таких процесів, а виносна розпушувальна промивка викликає простій обладнання, зниження продуктивності, збільшення споживання води на власні потреби. Процес перенесення супроводжується стиранням гранул іоніту і виникненням додаткових проблем, пов'язаних з руйнуванням смоли і утворенням дріб'язків.

Недоліки процесів з блокуванням шару повітрям і водою

У процесах обробки води з блокуванням шару іоніту повітрям або водою робочий цикл проводять в низхідному потоці, але не дивлячись на це, ці процеси вимагають відносно великих обсягів повітря або води, необхідних для того, щоб при регенерації утримати затиснутий шар у висхідному потоці. Фільтр не може бути заповнений іонітом повністю, оскільки завжди має існувати вільний простір над середнім розподільним пристроєм, яке заповнюється смолою під час промивання розпушуванням.

Цей факт, однак є і позитивною стороною процесу, тому що з'являється можливість промивати іоніт в тому ж робочому фільтрі (рис. 3.21).

Процеси з блокуванням шару повітрям або водою мають ряд інших недоліків: висока ймовірність руйнувань середнього розподілюючого пристрою, потреба в стислому повітрі або воді призводить до додаткових витрат, іоніт потрібно періодично промивати зворотнім струмом для видалення накопичених суспензій (як і для того щоб зменшити їх накопичення від циклу до циклу), регенерація проходить довго і зі значними трудовитратами.

Переваги процесів з блокуванням шару повітрям і водою:

- висока якість води;
- низька питома витрата реагентів.

Але:

- неповне використання об'єму фільтра;
- середнє розподілююче обладнання чутливе до механічних ушкоджень внаслідок набухання іоніту і його усадки;
- потреба в додатковому обладнанні;
- великий об'єм споживаної води чи повітря;
- великі затрати часу і праці на регенерацію;
- необхідність періодичної зрошувальної промивки.

Процеси із затиснутим (завислим) шаром при обробці висхідного потоку

Система може працювати з частково зрідженим чи затиснутим шаром:

- висока якість води;
- низька питома витрата реагентів;
- мала тривалість регенерації.

Але:

- чутливість до змін витрати і/або перериванню робочого циклу;

- накопичення забруднень в шарі робочого циклу;
- для очищення іоніту зрошуванням необхідна додаткова ємність;
- пастки необхідні для уловлення дріб'язку;
- пошарове завантаження смол можливе лише при секціонуванні фільтра розподілюючими тарілками.

3.10 Стабілізаційна обробка води

Вода, яка не викликає корозії контактуючої поверхні або не видаляє на ній осаду карбонату кальцію називається стабільною. Нестабільною може стати природна вода після обробки її реагентами (коагулянтами, вапном, аерацією-киснем).

Експериментально стабільність води визначається шляхом струшування протягом 1-2 год на шутельмашині з карбованатом кальцію. За наявності у воді вільної вуглекислоти карбонати перейдуть у гідрокарбонати, підвищиться лужність і рН. Якщо вода перенасичена карбонатом кальцію, то він випаде на зерна, а лужність та рН знизяться. Показник стабільності визначається за формулами:

$$C_1 = L_{\text{вих}} / L_{\text{нас}};$$

$$\text{або } C_2 = pH_{\text{вих}} / pH_{\text{нас}},$$

де $L_{\text{вих}}$ та $L_{\text{нас}}$ – загальна лужність вихідної води та води після струшування з карбованатом кальцію, мг-екв/дм³; $pH_{\text{вих}}$ та $pH_{\text{нас}}$ – водневий показник вихідної води та води після струшування з карбованатом кальцію.

Стабільною водою є вода, в якій C_1 та C_2 дорівнюють одиниці, при перевищенні одиниці вода є нестабільною і такою, що може відкладати карбонат, при значеннях менших за одиницю – вода нестабільна і корозійна.

За неможливості провести такі дослідження стабільність визначається за індексом насичення:

$$J = pH_{\text{вих}} - pH_{\text{рівн}},$$

де $pH_{\text{вих}}$ – водневий показник води в природному стані; $pH_{\text{рівн}}$ – водневий показник рівноважного насичення води карбонатом кальцію, який залежить від загального солевмісту, лужності води, температури та вмісту кальцію.

При $J = 0$ – вода стабільна, $J > 0$ – вода може відкладати карбонат кальцію, $J < 0$ – вода корозійна.

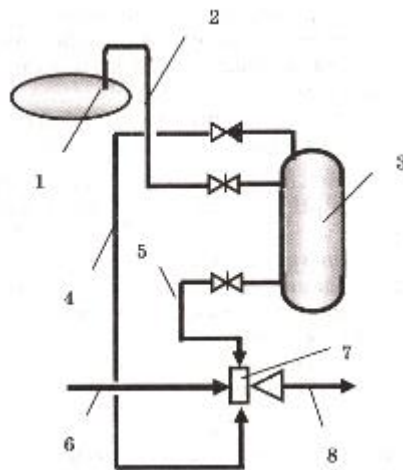
Наявність позитивного індексу насичення вказує на необхідність введення кислот – сульфатної або хлоридної, які понижують водневий показник і роблять воду стабільною, введення гексаметафосфату або триполіфосфату натрію, які утворюють на поверхні щільну метафосфатну плівку для захисту металу.

Доза кислоти (мг/дм³) визначається за формулою:

$$D_k = 100 \cdot \alpha_k \cdot L_{\text{вих}} \cdot E / C_k,$$

де α_k – коефіцієнт, який залежить від водневого показника та індексу насичення; $L_{\text{вих}}$ – лужність вихідної води, мг-екв/дм³; E – еквівалентна маса кислоти, мг/мг-екв (для сульфатної – 49, для хлоридної – 36,5); C_k – вміст активної частини в товарній кислоті, %.

Кислоту у воду вводять за допомогою ежектора (рис. 3.22). Спочатку концентровану кислоту переливають зі сталевого монжусу в бачок-дозатор сифоном. Бачок-дозатор – це герметична місткість. Ежектором відсмоктують повітря з верхньої частини бачка. У результаті кислота перетікає і наповнює бачок, який має повітряний регулятор дозування кислоти. Із наповненого бачка ежектор відсмоктує постійні витрати кислоти, одночасно розчиняє її водою і подає готовий розчин кислоти трубопроводом 8.



1 – сталевий монжус; 2 – сифон; 3 – бачок дозатор; 4 – трубка всмоктування повітря; 5 – трубопровід дозування кислоти; 6 – подача води під тиском 0,3-0,5 МПа; 7 – ежектор; 8 – подача розчину кислоти

Рисунок 3.22 – Схема установки для підкислення води.

Дозу гексаметафосфату або триполіфосфату натрію в перерахунку на P_2O_5 приймають для господарсько-питних водопроводів не більше $2,5 \text{ мг/дм}^3$, виробничих – 4 мг/дм^3 .

Від’ємний індекс насичення вимагає обробки води лужними реагентами та вапном, содою або обома одночасно, які утворюють на внутрішній поверхні трубопроводу карбонатну плівку. Доза вапна (мг/дм^3) у розрахунку на CaO приймається із виразу:

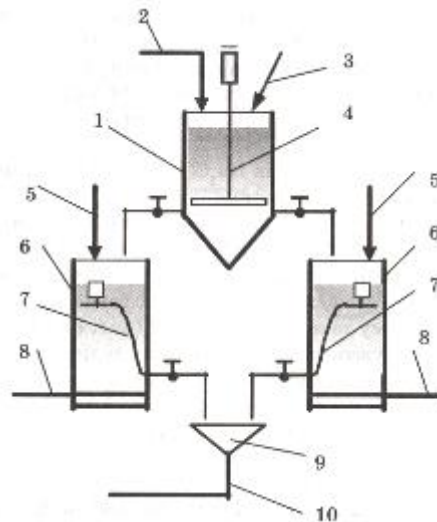
$$D_v = 38 \cdot \beta_v \cdot K_T \cdot L,$$

де β_v – коефіцієнт, який залежить від водневого показника води та індексу насичення, приймається від 0,01 до 2 (більше значення зі збільшенням індексу насичення та зменшенням водневого показника); L – лужність вихідної води, мг-екв/дм^3 ; K_T – коефіцієнт впливу температури (за 50°C $K_T = 1,3$, за 20°C $K_T = 1$).

Доза соди в розрахунку на Na_2CO_3 (мг/дм^3) приймається в 3-3,5 рази більшою за дозу вапна.

Для забезпечення більш рівномірної захисної карбонатної плівки по довжині трубопроводу одночасно з лужними реагентами потрібно вводити

гексаметафосфат або триполіфосфат натрію дозою 0,5-1,5 мг/дм³. Розчини фосфатних реагентів готують у розчинному та витратних баках (рис. 3.23). Товарний реагент завантажують у розчинний бак, заливають гарячою водою для кращого розчинення та перемішують механічною мішалкою. Розчин з концентрацією 0,5-3% готують у витратних баках, заливаючи холодною водою та перемішуючи повітрям. При обробці трубопроводів тільки гексаметафосфатом чи триполіфосфатом натрію їх на 2-3 доби заливають розчином реагентів із концентрацією 100 мг/дм³, потім скидають цей розчин та промивають трубопровід водою з дозами реагентів 2,5 мг/дм³ для господарськопитних водопроводів і 5-10 мг/дм³ для виробничих водопроводів.



- 1 – розчинний бак; 2 – подача гарячої води; 3 – завантаження реагенту;
 4 – механічна мішалка; 5 – подача холодної води; 6 – витратні баки;
 7 – дозатор постійної дози; 8 – подача повітря для перемішування; 9 – лійка;
 10 – відведення віддозованого розчину

Рисунок 3.23 - Схема фосфатної установки.

На малих водопроводах при від'ємному індексі стабільності можна видаляти вільну вуглекислоту на вентиляторних градирнях із хордовою насадкою або насадкою із кілець Рашига. Навантаження на градирню приймається залежно від насадки 40-60 м³/(м²·год).

4 ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ ОБЛАДНАННЯ ВОДООЧИСНИХ СТАНЦІЙ

4.1 Розрахунок потужності водоочисних станцій

Склад очисних споруд

Послідовність технологічних операцій та вид споруд визначають виходячи з аналізів вихідної води та певних вимог, які висуваються до якості очищеної води.

Для господарсько-питного водопостачання процес очищення води передбачає наступні послідовні операції:

- попереднє відстоювання;
- обробка води розчинами реагентів (зазвичай $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4) – з метою коагулювання домішок, які містяться у воді;
- змішування реагентів із водою у змішувачах протягом 1-2 хв.;
- пластівцеутворення, яке відбувається у камерах пластівцеутворення або у освітлювачах протягом 20-30 хв.;
- освітлення води шляхом осадження завислих частинок у відстійниках;
- фільтрування води крізь швидкі піщані фільтри;
- хлорування – знезараження води до повного знешкодження бактерій за допомогою хлор-газу у хлораторах; хлор вводять у воду після фільтрування перед резервуарами чистої води;
- амонізація – додавання у фільтровану воду аміаку для зменшення присмаків та запахів (особливо хлорфенольних).

Вибір основних споруд водоочисної станції залежить від потужності та якості вихідної води (вміст завислих речовин, колірність тощо).

Визначення продуктивності водоочисної станції

Продуктивність водоочисної станції складається з наступних величин:

$$Q_{o.c.} = \alpha Q_{max.доб} + Q_{дод},$$

де $Q_{o.c.}$ – продуктивність очисної станції, $m^3/доб$; α – коефіцієнт, який враховує витрати води на власні потреби станції (при скиданні осаду з відстійників або під час продувки освітлювачів, при промиванні швидких фільтрів тощо), зазвичай складає 1,06-1,08; $Q_{max.доб}$ – добова витрата води максимального водоспоживання, m^3 ; $Q_{дод}$ – додаткові витрати води, які пов'язані з можливістю виникнення пожеж, m^3 .

$$Q_{дод} = 3,6\tau_{пож}(mq_{пож} + m'q'_{пож}), m^3,$$

де $\tau_{пож}$ – розрахунковий час пожежі, год (приймається для всіх випадків 3 години); m та m' – кількість одночасних пожеж відповідно у населеному пункті (m) та в зоні промислових підприємств (m') – приймається за СНіП; $q_{пож}$ та $q'_{пож}$ – витрати води (dm^3/c) на одну пожежу відповідно у населеному пункті ($q_{пож}$) та на підприємстві ($q'_{пож}$).

Повна продуктивність очисної станції – це сумарна витрата корисної води, яка подається користувачу, та витрата води на власні потреби станції. Ефективна продуктивність визначається з урахуванням поповнення витрати води з метою використання на пожежі.

Приклад. *Визначити розрахункову продуктивність водоочисної станції для міста з населенням 50000 мешканців, якщо норма максимального водоспоживання на одну особу дорівнює $250 dm^3/добу$; $\alpha = 1,08$; $m = 2$ (дві одночасні пожежі); $q_{пож} = 35 dm^3/c$; $\tau_{пож} = 3 год$.*

У даному місті розташоване промислове підприємство, яке має категорію пожежної безпеки А, при цьому витрати води на одну пожежу $q'_{пож} = 30 dm^3/c$. Витрати води на внутрішні пожежні крани приймають $5 dm^3/c$. Для чисельності мешканців у місті 25 тис. та більше витрати води визначаються як сума необхідної більшої витрати (у даному випадку –

населений пункт) та 50% меншої витрати (у даному випадку на підприємстві). Тоді:

$$Q_{\text{дод}} = 3,6 \cdot 3[2(35 + 5) + 1(30 + 5) \cdot 0,5] = 1053 \text{ м}^3.$$

Звідси розрахункова продуктивність:

$$Q_{\text{о.с.}} = 1,08 \frac{250 \cdot 50000}{1000} + 1053 = 14553 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Розрахунок дози реагентів для обробки води

Обробка води коагулянтами – це важливий процес підготовки питної води з поверхневих джерел водопостачання.

У якості коагулянтів використовують: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 . Якщо лужність води недостатня, використовують розчини $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH та Na_2CO_3 . Доза лугу розраховується за формулою:

$$D_{\text{л}} = K \left(\frac{1}{E} \cdot D_{\text{к}} - L + 1 \right), \text{ мг/дм}^3,$$

де $D_{\text{л}}$ – доза лужного реагенту, який додається для підлугування води, мг/дм^3 ; K – кількість лугу, яка необхідна для підлугування води на 1 мг-екв/дм^3 , для NaOH – 40 мг/дм^3 , для Na_2CO_3 – 53 мг/дм^3 ; E – еквівалентна маса безводного коагулянту, мг-екв/дм^3 , яка дорівнює для: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – 57, FeCl_3 – 54, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ – 67, FeSO_4 – 76; $D_{\text{к}}$ – максимальна доза безводного коагулянту, мг/дм^3 ; L – мінімальна лужність води, мг-екв/дм^3 (для природних вод зазвичай дорівнює карбонатній твердості); 1 – коефіцієнт надлишку.

Приклад. Визначити необхідні дози реагентів для підлугування води, якщо мутність 700 мг/дм^3 , лужність – 1,7 мг-екв/дм^3 . Максимальна доза безводного $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ $D_{\text{к}} = 75 \text{ мг/дм}^3$.

Розрахункові дози реагентів для підлугування складатимуть:

а) $\text{Ca}(\text{OH})_2$

$$D_{\text{л}} = 28 \left(\frac{1}{57} \cdot 75 - 1,7 + 1 \right) = 17,4 \text{ мг/дм}^3;$$

б) NaOH

$$D_{\text{л}} = 40 \left(\frac{1}{57} \cdot 75 - 1,7 + 1 \right) = 18,5 \text{ мг/дм}^3;$$

в) Na₂CO₃

$$D_{\text{л}} = 53 \left(\frac{1}{57} \cdot 75 - 1,7 + 1 \right) = 33 \text{ мг/дм}^3.$$

У тих випадках, якщо $D_{\text{л}}$ має від'ємне значення, підлогувати воду не потрібно. Такі випадки можуть спостерігатися за невеликої мутності та достатньо високої лужності (карбонатної твердості) вихідної води.

Приклад. Визначити необхідну дозу вапна для підлогування води, яка має мутність 200 мг/дм³, лужність 2 мг-екв/дм³, доза коагулянту $D_{\text{к}} = 40 \text{ мг/дм}^3$.

$$D_{\text{л}} = 28 \left(\frac{1}{57} \cdot 40 - 2 + 1 \right) = -8,4 \text{ мг/дм}^3.$$

Тобто здійснювати підлогування не потрібно.

Доза коагулянту обирається у відповідності з результатами технологічного аналізу води за стандартними методиками і залежить від вмісту завислих речовин.

Якщо природна вода має високу кольоровість, здійснюється перевірка достатності дози коагулянту для знебарвлення води за формулою:

$$D_{\text{к}} = 4\sqrt{Ц}, \text{ мг/дм}^3,$$

де Ц – колірність води в градусах платиново-кобальтової шкали.

4.2 Розрахунок водозабірних споруд

4.2.1 Типи водозаборів із поверхневих джерел та вибір місця їх розташування. Типи споруд для забору підземних та інфільтраційних вод

Надійна робота водозабору з поверхневих джерел практично повністю залежить від місця його розташування, складу і конструкції споруд, які входять до технологічної схеми водозабірною вузла.

Водозабірні споруди з поверхневих джерел поділяються за:

- розташуванням основних елементів: суміщені, роздільні, інфільтраційні;
- розташуванням водоприймача: берегові, руслові, комбіновані, ковшові, острівні;
- способом приймання води: глибинні, донні, поверхневі, інфільтраційні, комбіновані;
- ступенем стаціонарності: стаціонарні, пересувні (фунікулерні та плавучі);
- тривалістю експлуатації: постійні та тимчасові.

Зазвичай при виборі місця розташування водозабору виходять із таких умов: водозабірний вузол повинен розташовуватися якнайближче до водоспоживача; кількість та якість води у водному джерелі мають відповідати вимогам водоспоживача або відповідати цим вимогам після очищення (за можливістю найбільш простого та ефективного); розташовувати водозабірний вузол слід так, щоб не перешкоджати проведенню призначених водогосподарських заходів на водному джерелі та не зачіпати інтереси інших водоспоживачів та водокористувачів; топографічні, геологічні та гідрогеологічні умови повинні бути сприятливі для будівництва та експлуатації водозабірних споруд, технічне рішення водозабірною вузла та всієї системи водопостачання повинні бути

економічними, споруди — простими та доступними під час експлуатації; санітарна охорона — надійна, ефективна і недорога.

Місце водозабору господарсько-питного призначення на річці повинно бути розташоване вище випуску стічних вод та вище населеного пункту за течією річки, вище портів, причалів, товарно-транспортних баз та складів, поза зонами руху пароплавів і плотів.

Водоприймальні сітчасті колодязі берегових водозаборів найчастіше влаштовують залізобетонними прямокутними або круглими в плані - залежно від місця розташування і способу спорудження. Якщо розміщення водоприймальних отворів потребує значної площі, а умови річки — ефективного обтікання, колодязі можуть влаштовувати овальної форми або з двох напівкілець з прямими вставками.

Спосіб влаштування водозабірних вузлів і склад споруд для забору підземних та інфільтраційних вод визначається умовами залягання, продуктивністю, глибиною і геологічною побудовою водоносних пластів, гідравлічними характеристиками підземного потоку (його напором, швидкістю і напрямками руху, зв'язком з іншими водоносними пластами і поверхневими водами), санітарним станом території, необхідністю штучного створення або поповнення запасів підземних вод, наявністю водоносних пластів, що мають недоброякісну воду, наміченою потужністю техніко — економічними показниками.

Із надр землі для цілей водопостачання забирають тільки ті води, що знаходяться у вільному стані. Це води, які знаходяться в пористих породах земної кори, та інфільтраційні води, тобто води відкритих джерел, які поступають у пористі породи дна і берегів річок, озер, водосховищ, каналів і морів, і таким чином переходять у підземні води. Використання підземних та інфільтраційних вод для господарсько-питного водопостачання в багатьох випадках буває більш раціональним, ніж використання для цих потреб поверхневих вод. Підземні та інфільтраційні води мають практично стабільну температуру, майже не забруднені патогенним бактеріями та органічними

речовинами, а тому в багатьох випадках можуть використовуватися без очищення або з найпростішою очисткою та знезараженням.

Залежно від конкретних умов для забору підземних вод влаштовують споруди таких основних типів: вертикальні, горизонтальні, променеві, комбіновані та каптажні.

Вертикальні водозабори — це трубчасті та шахтні колодязі. *Трубчасті колодязі* — це споруди, що розташовуються вертикально, мають відносно незначні розміри поперечного перетину і велику глибину. Застосовують їх за глибокого залягання водоносних пластів (більше 10 м) і значної потужності (більше 5-6 м). Влаштовують трубчасті колодязі як у безнапірних, так і в напірних водоносних пластах.

За розташуванням у товщі водоносного пласта трубчасті колодязі можуть бути досконалими, тобто такими, що повністю перетинають водоносний пласт, навіть часто занурюються в його підшову, і недосконалими, що не повністю перетинають водоносний пласт, нібито зависають у ньому.

Шахтні колодязі — це споруди, що розміщуються, як і трубчасті колодязі, вертикально, але мають відносно великі розміри поперечного перетину і невелику глибину. Їх найчастіше використовують для забору неглибоко заляглих від денної поверхні вод (не більше 10 м, і тільки в окремих випадках — 20-30 м). За потужності водоносного пласта до 3 м шахтні колодязі влаштовують тільки досконалого типу, тобто вони перетинають товщу водоносного пласта. За більшої потужності водоносного пласта шахтні колодязі влаштовують недосконалого типу, як і трубчасті колодязі.

Горизонтальні водозабори (водозбори) — приймальна частина яких розташована горизонтально, влаштовують їх траншейними, каменещебеневими, трубчастими, штольневими, галерейними. Кам'яно-щебінчасті водозабори влаштовують переважно для забору підземних вод зони аерації, тобто при заляганні підземних вод на глибині до 3-5 м.

Використовують їх, в основному, для тимчасових систем водопостачання. Трубчасті і галерейні горизонтальні водозабори влаштовують при глибині залягання водоносних пластів до 8 м, переважно поблизу відкритих джерел, тобто для забору інфільтраційних вод з явно вираженим напрямком руху підземного потоку. Використовують їх як для постійних, так і для тимчасових систем водопостачання. Галерейні і штольневі горизонтальні водозабори можуть застосовуватися і при значних глибинах залягання підземних вод. У цьому разі їх будують закритим способом.

Променеві водозабори найбільш раціонально використовувати для забору води, а малопотужних водоносних пластів (де 5 м), що залягають на глибині 25–50 м, або з водоносних пластів значної потужності (15–25 м і більше), що мають незначний коефіцієнт фільтрації. Променеві водозабори при цьому можуть бути вигіднішими за трубчасті та шахтні колодязі. Мала потужність водоносного пласта або невеликий коефіцієнт фільтрації водоносного пласта — це найкращі умови застосування променевих водозаборів. Практично тільки цими водозаборами можна забирати підруслові води. Орієнтовним критерієм доцільності застосування променевих водозаборів може бути величина kH , де k — коефіцієнт фільтрації; H — потужність водоносного пласта. Якщо kH менше рівне 0,02 — вигідний променевий водозабір, при kH більше 0,02 — вертикальний. Ця оцінка певною мірою справедлива і для порівняння варіантів горизонтальних і вертикальних водозаборів узагалі.

Комбіновані водозабори — це горизонтальні галереї або штольні з низкою вертикальних трубчастих чи шахтних колодязів, або шахтні чи трубчасті колодязі з горизонтальними водозаборами; променеві водозабори з трубчастим колодязем у дні шахти, або шахтним колодязем, яким є сама водозабірша шахта. Застосовують їх при необхідності забору води із неглибоко розташованих малопотужних пластів, або підруслових вод з одночасним використанням глибоко розташованих водоносних горизонтів, якщо ці пласти окремо не забезпечують рахункову потужність водозабору,

або коли техніко-економічні показники вертикального чи горизонтального водозабору окремо нижчі, ніж комбінованого.

Каптажі — це споруди зі збору і накопичення вод висхідних і низхідних ключів (джерел).

Перераховані водозабірні споруди використовують для забору як підземних, так і інфільтраційних вод. У цьому разі їх називають інфільтраційними водозаборами. В більшості випадків інфільтраційні водозабори забезпечують отримання питної води без додаткового її очищення (за винятком знезаражування), не піддаються впливу наносів та шуги, надійні в забезпеченні забору води із річок з нерівномірним стоком і навіть стоком, що періодично припиняється, не вимагають рибозахисного обладнання, забезпечують майже постійну температуру води. Разом з тим інфільтраційні водозабори можуть влаштовуватися тільки за наявності добре фільтруючих порід, що складають береги і русла відкритих водотоків і водоймищ.

Склад споруд і схема розміщення, при заборі підземних та інфільтраційних вод, залежить насамперед від наведених вище факторів, а також від фізико-хімічних показників води, необхідності її обробки і знезаражування, та від масштабів водоспоживання.

Найбільш загальною і поширеною схемою водозабірної вузла при заборі підземних вод є схема, що включає групу водоприймальних споруд (колодязів чи горизонтальних водозаборів), обладнаних водопідйомником з подачею води на водопровідні очисні споруди для їх обробки і знезаражування з подальшою подачею в мережу водоспоживача.

Найпростішою є схема з одиничним трубчастим чи шахтним колодязем і подачею води безпосередньо у водопровідну мережу. Природно, що в практиці влаштування водозаборів підземних вод часто зустрічаються й інші схеми, що виключають які-небудь споруди із загальної схеми і доповнюють найпростішу.

4.2.2 Розрахунок берегового водозабору

Для забезпечення безперебійної роботи і періодичної чистки та ремонту без припинення подачі води водоприймальні сітчасті колодязі розділяють поздовжніми перегородками на декілька секцій (не менше двох), що паралельно працюють. На практиці кількість секцій, як правило, дорівнює кількості насосів насосної станції першого підняття або кількості всмоктувальних трубопроводів.

Площу і розміри водоприймальних отворів колодязя слід визначати для одночасної роботи всіх секцій і отворів одного ярусу за формулою

$$S_3 = 1,25 \frac{Q_B}{V} \cdot K,$$

де S_3 — загальна площа водоприймальних отворів колодязя, м^2 ; 1,25 — коефіцієнт, що враховує засміченість отворів; Q_B — розрахункова продуктивність водозабору, $\text{м}^3/\text{с}$; V — допустима швидкість втікання води у водоприймальні отвори, звичайно приймається в межах 0,2 - 0,6 $\text{м}/\text{с}$; K — коефіцієнт, за яким враховується зайнятість отворів стрижнями решітки і приймається рівним величині співвідношення $(a + c)/a$, де a — відстань між стрижнями решітки; c — діаметр (товщина) стрижнів решітки.

Найменша необхідна площа сміттеутримувальних сіток може визначатися за величиною коефіцієнта K , рівного квадратові співвідношення $(a + c)/a$, тобто $[(a + c)/a]^2$.

За невеликої (до 1 $\text{м}^3/\text{с}$) і середньої продуктивності (від 1 до 6 $\text{м}^3/\text{с}$) водозаборів, незначних коливань рівнів води (до 6-8 м) в джерелі і використанням насосів з допустимою висотою всмоктування більше 3-4 м можна влаштовувати береговий водозабір роздільного компонування. За такого компонування насосна станція першого підняття розташовується на відстані від берегового водоприймального сітчастого колодязя, на ділянці з більш надійними основами, з незначним заглибленням, а тому кращими умовами роботи електросилового обладнання. Обидві споруди, особливо береговий водоприймальний сітчастий колодязь, мають незначну площу,

з'єднуються між собою всмоктувальними трубопроводами, часто прокладеними в прохідній галереї.

Приклад. *Визначити необхідну площу та встановити розміри водоприймальних отворів, а також розрахувати площу та обрати тип сміттєзатримувальної сітки берегового водозабору за технологічними даними.*

Загальну площу водоприймальних отворів одного ярусу берегового водоприймального колодязя визначають прийнявши товщину стрижнів решітки $c = 1,5$ см, просвіт між стрижнями $a = 10$ см і швидкість втікання води у водоприймальні отвори з урахуванням шуги у воді $V = 0,3$ м/с:

$$s_{\text{бп}} = 1,25 \frac{Q_B}{V} K = 1,25 \frac{1,8}{0,3} (10 + 1,5) \div 10 = 8,63 \text{ м}^2.$$

Прийнявши, що береговий водоприймальний сітчастий колодязь є двосекційним, з двома водоприймальними отворами в кожній секції (всього 4 отвори), визначають площу одного водоприймального отвору:

$$s_1 = \frac{s_{\text{бп}}}{n} = \frac{8,63}{4} = 2,16 \text{ м}^2.$$

Розміри отворів визначають виходячи з умов можливого їх вертикального розташування за мінімальної глибини води в річці $H_{\text{min}} = 4,2$ м, товщині льоду $h_{\text{л}} = 1,1$ м (за умовою приклада), необхідної мінімальної відстані від дна до низу отвору $0,5$ м, та від нижньої кромки льоду до верху отвору — $0,2$ м. Згідно з цими умовами можливий вертикальний розмір отвору:

$$H'_{\text{ст}} = H_{\text{min}} - h_{\text{л}} - 0,5 - 0,2 = 4,2 - 1,1 - 0,5 - 0,2 = 2,4 \text{ м}.$$

Відповідно до необхідної площі одного отвору ($s_1 = 2,4 \text{ м}^2$) і можливої його висоти ($H = 2,4$ м) прийнято розміри отвору, які дорівнюють 1260×2000 мм, площею $s = 2,52 \text{ м}^2$, а решітки площею $2,8 \text{ м}^2$.

Необхідну загальну площу сміттєзатримуючих сіток визначають також за наведеною формулою, приймаючи $K = \left(\frac{a+c}{a}\right)^2$, швидкість проціджування

(руху води через сітку) $V_c = 0,2$ м/с, товщину дротів сітки $c = 2$ мм, а відстань між дротами в просвіті $a = 5$ мм (тобто з розмірами вічок 5×5 мм).

$$s_c = 1,25 \frac{Q}{V} \left(\frac{c+a}{a} \right)^2 = 1,25 \frac{1,98}{0,2} \left(\frac{0,005 + 0,002}{0,005} \right)^2 = 22 \text{ м}^2.$$

Сітки встановлюються в кожній секції колодязя, отже, $\omega = \frac{22}{2} = 11 \text{ м}^2$.

Враховуючи невелику продуктивність водозабору, шугу у воді та малий вміст наносів, прийнято сітки з лобово-зовнішнім підводом води, що обертаються, та шириною полотна $B_c = 2,2$ м. Необхідна глибина занурення сітки під мінімальний рівень води, за якої буде забезпечена прийнята швидкість проціджування $V_c = 0,2$ м, при цьому становитиме:

$$H_c = \frac{\omega_1}{B_c} = \frac{11}{2,2} = 5 \text{ м}.$$

4.2.3 Розрахунок руслового водозабору

Руслові водозабори – це комплекс споруд, що забезпечує забір води з відкритого джерела на відстані від берега, транспортування її до водоприймального сітчастого колодязя, грубу її очистку і подачу на очисні споруди або у водопровідну мережу. Складається русловий водозабір із водоприймального оголовка, що розташовується безпосередньо в джерелі, самопливних або сифонних водоводів, що з'єднують оголовки з водоприймальним сітчастим колодязем, в якому вода проходить грубу очистку, та насосної станції першого підйому.

Залежно від розташування водоприймального сітчастого колодязя і насосної станції першого підйому руслові водозабори бувають двох типів: роздільного компонування – коли водоприймальний сітчастий колодязь і насосна станція розміщуються в окремих, незалежних одна від одної спорудах, і суміщеного компонування – коли водоприймальний сітчастий колодязь і насосна станція скомпоновані (суміщені) в одній споруді.

Загальними умовами застосування руслових водозаборів є широка заплава річки з пологими берегами; відсутність достатніх глибин

безпосередньо біля берега; нескельні ґрунти, що складають берег і русло ріки.

За відносно чистої води в джерелі і невеликої продуктивності водозабору, в технологічній схемі руслового водозабору можуть бути відсутні самопливні або сифонні водоводи і водоприймальний сітчастий колодязь. У цьому разі до складу водозабору входять: водоприймальний оголовок, всмоктувальний трубопровід і насосна станція першого підйому. Вода за такої схеми очищується сіткою оголовка, яка в цьому випадку заміняє решітки на водоприймальних отворах (вікнах).

Можливість їх оглядати, замінювати сміттєзатримувальні решітки та рибозагороджувальні пристрої. В той же час вони суттєво впливають на річковий потік, ускладнюють надійність роботи водозабору. Тому їх дуже рідко влаштовують для забору води з судноплавних та лісосплавних рік.

Незатоплювальні оголовки – це оголовки, що не затоплюються за будь-яких рівнів води у джерелі. Такі оголовки забезпечують найбільшу надійність роботи водозабору. Окрім того, вони найбільш зручні в експлуатації, але дуже дорогі в будівництві, а тому можуть влаштовуватись лише для водозаборів середньої і великої продуктивності, коли будівництво берегового водозабору неможливе або економічно не вигідне. Такі оголовки складаються із декількох незалежних одна від одної секцій. Водоприймальні вікна в цих оголовках, як правило, розташовуються в два і більше ярусів, що дає змогу забирати воду найкращої якості.

Розрахунки оголовків руслових водозаборів полягають у визначенні площі водоприймальних отворів або фільтруючої поверхні оголовків, перевірці стійкості оголовків на перевертання, зсув, а дерев'яних – і на спливання.

Розміри водоприймальних отворів (вікон) і фільтруючої поверхні оголовків слід визначати за наведеною вище формулою, враховуючи, що допустима швидкість втікання води у водоприймальні отвори оголовка не повинна перевищувати 0,1–0,3 м/с, а в джерелах з надзвичайно важкими

природними умовами може приймати навіть 0,05 м/с. Коефіцієнт К, який враховує міру перешкоди руху води стержнями решітки визначається так, як і для берегових водозаборів, а для оголовків фільтруючого типу коефіцієнт К приймається як величина обернено пропорційна величині пористості, фільтруючому завантаженню Р, тобто $K = \frac{1}{P}$. Зазвичай пористість завантаження приймають рівною 0,5. У такому випадку К=2. Фільтруючі оголовки є непоганими рибозахисними спорудами, але тільки тоді, коли швидкість води в порах фільтра не перевищує критичної швидкості плавання молодняку риб, що має довжину L, тобто $V < V_{кр} \approx 10L$.

За знайденими таким чином площами водоприймальних отворів або фільтруючих поверхонь встановлюють кількість отворів та їх розміри. При цьому слід пам'ятати, що вхідних отворів в оголовці повинно бути не менше двох, а їх розміри повинні підбиратися відповідно до розмірів сміттєзатримувальних решіток. Розміри вхідних отворів (вікон) чи фільтруючих поверхонь визначають і загальні розміри оголовків. При цьому враховуються їх форма, відстань від дна до низу отворів (у більшості випадків не менше 0,5м) і від нижнього краю льоду чи вільної поверхні води за мінімального рівня до верху оголовка чи водоприймальних отворів (відповідно не менше 0,2 і 0,3 м), а також занурення оголовка в дно.

Самопливні і сифонні водоводи з'єднують оголовки з водоприймальними сітчастими колодязями. Для забезпечення безперебійної подачі води всі основні елементи водоприймальних споруд, у тому числі водоводи, дублюються. Тому самопливних і сифонних водоводів повинно бути не менше двох. Звичайно, їх кількість відповідає числу секцій берегового сітчастого колодязя.

Самопливні водоводи прокладають відкритим способом за невеликої глибини, і методами безтраншейного прокладання – за великої. Залежно від способу прокладання водоводів їх влаштовують із залізобетонних, чавунних та сталевих труб.

Стальні труби зовні покривають гідроізоляцією та захисними дерев'яними рейками, а зсередини, залежно від агресивності води, цементним або іншим покриттям.

Самопливні водоводи не повинні мати в плані і по вертикалі різких поворотів, звужень, розширень, які можуть викликати відкладання наносів, сміття, шуги і заважати їх промивці. Водоводи можуть мати похил як від берегового колодязя до оголовка (за наявності системи зворотної промивки), так і навпаки – від оголовка до колодязя (за прямої промивки). Водоводи повинні бути захищені від механічних пошкоджень. Для цього їх заглиблюють у дно на глибину не менше ніж на 0,4-0,8 м відповідно на несудноплавних і судноплавних річках. Вхід водоводів у колодязі повинен забезпечуватись через сальник.

Сифонні водоводи влаштовують лише у водозаборах II і III категорії надійності подачі води, а також у випадках, коли за геологічних або гідрогеологічних умов прокладання самопливних водоводів надзвичайно складне або економічно не вигідне.

Розміри самопливних і сифонних водоводів визначають за розрахунками за формулою:

$$S = \frac{Q_v}{V},$$

де S – площа перерізу водоводів; Q_v – розрахункова продуктивність водозабору; V – швидкість руху води у водоводах.

Для нормальної роботи водоводів швидкість води в них повинна бути в межах 0,7-1,5 м/с. При виборі розрахункової швидкості руху води в водоводах слід мати на увазі, що вони транспортують каламутну та засмічену воду, тому ця швидкість повинна бути достатньою для того, щоб не допустити випадання в трубах завислих частинок, що може призвести до замулювання трубопроводів. Тому розміри водоводів, розрахованих за наведеною формулою перевіряють на замулюваність за формулою:

$$P \leq 0,11 \left(1 - \frac{\delta}{U}\right)^{4,3} \cdot \frac{V^3}{g \delta D},$$

де P – каламутність води, кг/м^3 ; δ – середньозважена гідравлічна крупність завислих частинок, м/с ; $U = \frac{\sqrt{g}}{C} \cdot V$ – швидкість осідання частинок, м/с ; V – розрахункова швидкість руху води у водоводі, м/с ; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ; D – діаметр трубопроводу, м ; C – коефіцієнт Шезі.

При дотриманні цієї нерівності можна вважати, що прийнята швидкість забезпечує незамулювання трубопроводів. Разом з тим слід мати на увазі, що велика швидкість руху води у трубопроводі має свої негативні наслідки: різко збільшуються витрати напору, прискорюється руйнування трубопроводу. Тому швидкість руху води в трубопроводах слід приймати більшою за незамулюючу, але меншою, ніж допускається для цього матеріалу труб.

Для сифонних водоводів слід визначити ще й їх висотне розташування, виходячи з умов гарантованої їх роботи за найнижчого розрахункового рівня води в джерелі. Для цього повинна виконуватися умова:

$$P_{\text{вак}} \leq P_{\text{ат}} - P_{\text{нп}},$$

де $P_{\text{вак}}$ – вакуум у найвищій точці водоводу; $P_{\text{ат}}$ – атмосферний тиск; $P_{\text{нп}}$ – тиск насичених парів при розрахунковій температурі.

Значення вакууму $P_{\text{вак}}$ визначається за формулою:

$$P_{\text{вак}} = H + \frac{V^2}{2g} + \sum h,$$

де H – висота розташування найвищої точки сифонного водоводу над рівнем води в джерелі, м ; V – швидкість руху води у водоводі, м/с ; $\sum h$ – сума втрат напору у водоводі протягом руху води до точки, що розглядається.

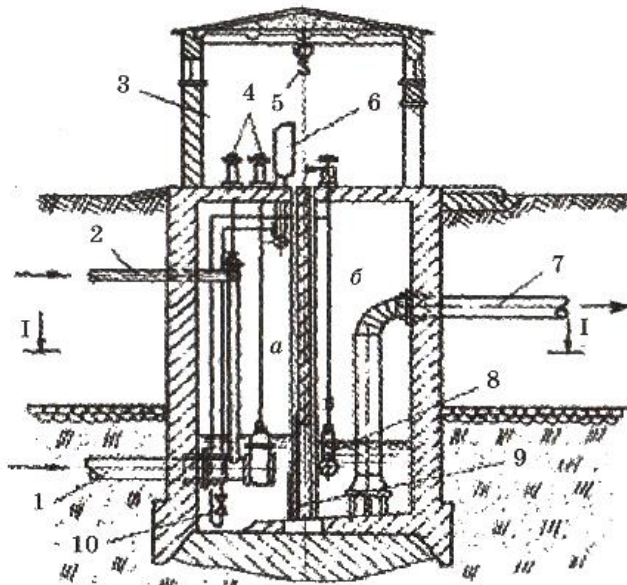
Звичайно на практиці визначають можливу висоту розташування найвищої точки сифона, виходячи з того, що стійка робота сифона забезпечується при величині вакууму в цій точці, яка не перевищує 8 м водяного стовпа, тоді:

$$H_{\text{доп}} = P_{\text{вак}} - \frac{V^2}{2g} - \sum h = 8 - \frac{V^2}{2g} - \sum h.$$

Для надійної роботи руслових водозаборів необхідно передбачати і влаштовувати зворотну промивку водоводів та оголовків. Для цього у водозабірному вузлі повинно бути передбачене підключення самотливних або сифонних водоводів до напірних трубопроводів насосної станції першого підняття, при достатньому напорі в цих водоводах, або установка спеціальних промивних насосів. Промивка за такою схемою не потребує великої кількості води та напору, необхідно лише створити зворотний потік води зі швидкістю, більшою за 1-1,2 м/с. За великих забруднень решіток оголовків і замулюванні водоводів доцільно застосовувати імпульсну або гідропневматичну промивку. У водозаборах, що забирають воду з відносно чистих джерел із великими коливаннями рівнів води може застосовуватися пряма промивка, за якої потік води в оголовках і водоводах має напрямок робочого потоку, але зі значно більшими швидкостями. Звичайно, така промивка можлива тільки за високих рівнів води в джерелі, що є суттєвим її недоліком.

Водоприймальні сітчасті колодязі руслових водозаборів за будовою аналогічні до берегових водоприймальних сітчастих колодязів берегових водозаборів, але обладнання їх набагато складніше (рис. 4.1). Насамперед водоводи, які входять у колодязь, обладнуються запірною арматурою – засувками чи клапанами. При сифонних водоводах водоприймальний сітчастий колодязь повинен мати вакуум-насос або вакуум-котел для зарядки (пуску) сифону та підтримки вакууму в ньому. Часто у водоприймальних сітчастих колодязях руслових водозаборів розташовують і трубопроводи зворотної промивки, й арматуру управління нею. Водоприймальні сітчасті колодязі можуть суміщатися з насосною станцією першого підняття. В цьому випадку його розміри майже завжди диктуються розмірами насосної станції, а глибина занурення – розташуванням у ньому сміттєзатримувальних сіток.

При роздільному компонуванні водоприймального сітчастого колодязя і насосної станції розміри колодязя, як і його глибина, залежать від розміру сіток та запірної арматури на самопливних або сифонних водоводах.



а) водоприймальне відділення; б) всмоктувальне відділення;
 1 – самовпливний або сифонний трубопровід; 2 – промивний трубопровід;
 3 – наземний павільйон; 4 – управління засувками; 5 – таль; 6 – ванно-трап для промивання сітки; 7 – всмоктувальний трубопровід; 8 – з'єднувальна труба із засувкою; 9 – плоска сміттєзатримувальна сітка; 10 – ежектор

Рисунок 4.1 - Водоприймальний сітчастий колодязь руслового водозабору роздільного компонування.

Як і в берегових водозаборах, водоприймальні сітчасті колодязі руслових водозаборів повинні мати не менше двох секцій. Під час їх проектування та будівництва, як правило, кількість секцій водоприймального відділення колодязя прирівнюють до кількості водоводів, що заходять у нього, а всмоктувального відділення — до кількості всмоктувальних трубопроводів або, що рівнозначно, числа насосів насосної станції першого підняття.

Інколи до схеми руслового водозабору (як і берегового) входить відстійник або ківш, що внаочо полегшує роботу водозабору. Але враховуючи, що ці споруди збільшують витрати на будівництво та експлуатацію водозаборів, їх влаштовують тільки за надзвичайно складних природних умов джерела водопостачання і великої та середньої продуктивності.

Приклад. Визначити необхідну площу та розміри водоприймальних отворів, а також обрати тип водоприймача (оголовка) та діаметри самотливних водоводів руслового водозабору за технологічними даними.

Загальну площу водоприймальних отворів оголовка визначають приймаючи товщину стрижнів решітки $c = 1,2$ см, просвіт між стержнями $a = 10$ см і швидкість надходження води у водоприймальні отвори з урахуванням шуги у воді $V = 0,15$ м/с.

Загальну площу вхідних отворів(вікон) оголовка визначаємо за формулою

$$s_{\text{бр}} = 1,25 \frac{Q_{\text{в}}}{V} K,$$

$$\text{де } K = \frac{(a+c)}{a}.$$

Тоді:

$$s_{\text{бр}} = 1,25 \frac{0,33}{0,15} (10 + 1,2) \div 10 = 3,08 \text{ м}^2.$$

Тип оголовка вибираємо з урахуванням продуктивності водозабору $Q_{\text{в}} = 0,33 \text{ м}^3/\text{с}$, наявності шуги у воді, судноплавства, товщини льоду $h_{\text{л}} = 1,1$ м, мінімальної глибини в річці $H_{\text{мін}} = 2,6$ м. Найбільш прийнятним для цих умов є залізобетонний захищений оголовок з бічним прийомником води з чотирма водоприймальнимим отворами, висотою $H = 1,4$ м.

Розміри водоприймальних отворів устанавлюють виходячи з площі одного отвору $s_1 = \frac{s_{\text{бр}}}{4} = \frac{3,08}{4} = 0,752 \text{ м}^2$ і можливої висоти $H_{\text{от}} = H_{\text{мін}} - h_{\text{л}} - 0,5 - 0,2 = 0,8$ м, де 0,5 — мінімальна відстань від низу

водоприймального отвору до дна, а 0,2 — мінімальна відстань від верху водоприймального твору до льоду. Відповідно до цих даних маємо розміри вхідних вікон 800 на 1000 мм, площею 0,8 м² кожне.

Оголовок з береговим водоприймальним сітчастим колодязем з'єднується двома самопливним водоводами. Площі перерізу одного водоводу визначають взявши швидкість руху води у водоводах $V = 1$ м/с:

$$s_1 = \frac{Q_B}{2V} = \frac{0,33}{2 \cdot 1} = 0,165 \text{ м}^2.$$

Діаметр водоводу:

$$D = \sqrt{\frac{s_1}{\pi}} = 0,229 \text{ м}.$$

Приймають розмір одного водоводу $d_y = 250$ мм, площа 0,196 м².

4.3 Розрахунок тонкошарового відстійника

Приклад. Розрахувати тонкошаровий відстійник для очищення води, максимальна витрата якої $q_{\max} = 80 \text{ м}^3/\text{год}$. За даними технологічних аналізів води, виявлено, що для досягнення заданого ефекту освітлення води при висоті стовпа води $h = 0,2$ м та $T = 10^\circ\text{C}$ тривалість освітлення має складати $\tau = 440$ с.

Обрано відстійники з перехресною схемою, яка представлена на рис. 4.2. Прийmemo відстань між пластинами (висоту яруса) $h_{\text{яр}} = 0,1$ м, а кут нахилу пластин до горизонту $\alpha = 60^\circ$.

Розрахункова глибина буде:

$$h = h_{\text{яр}} / \cos \alpha = 0,1 / 0,5 = 0,2 \text{ м},$$

а гідравлічна крупність:

$$u_0 = h / \tau = 0,2 \cdot 1000 / 440 = 0,45 \text{ мм/с}.$$

Прийнято проточну швидкість у міжположному просторі $v = 4$ мм/с. Для тонкошарових відстійників з перехресною схемою $K = 0,8$, де K - коефіцієнт використання об'єму.

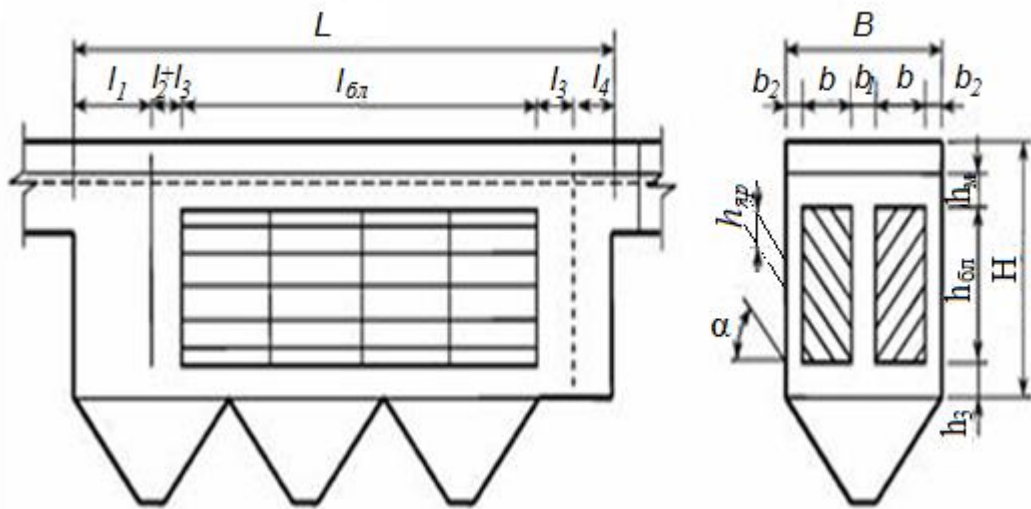


Рисунок 4.2 - До розрахунку тонкошарового відстійника.

Перевірка умови забезпечення ламінарного руху у міжполочному просторі:

$$Re = v \cdot h_{яp} / \nu = \frac{0,4 \cdot 10}{0,0131} = 305 < (500 \div 600).$$

Ламінарний рух забезпечується. Довжину тонкошарових блоків визначають за формулою:

$$l_{бл} = \frac{h_{яp}}{K \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{v}{u_0} = \frac{0,1 \cdot 1000 \cdot 4}{0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,45 \cdot 1000} = 2,22 \text{ м},$$

де $h_{яp}$ – відстань між ярусами (поличками); K - коефіцієнт використання об'єму; α - кут нахилу пластин до горизонту; v - проточна швидкість у міжполичному просторі; u_0 - гідравлічна крупність.

Загальна довжина відстійника має бути:

$$L = l_{бл} + l_1 + l_2 + 2l_3 + l_4 = 2,22 + 1 + 0,2 + 2 \cdot 0,2 + 0,2 = 4,02 \text{ м},$$

де $l_1 = 1$ м; $l_2 = 0,2$ м; $l_3 = 0,2$ м; $l_4 = 0,2$ м - розміри відстійника, прийняті по конструктивним та технологічним міркуванням (камера попереднього освітлення води довжиною l_1 необхідна для виділення зі стічних вод великих частинок).

Висота блоку визначається із наступної формули:

$$q_{\max} = 2 \cdot K_c \cdot \omega_6 \cdot v \cdot n = 2 \cdot K_c \cdot b \cdot h_{бл} \cdot v \cdot n,$$

де ω_6 - живий переріз тонкошарових блоків; $K_c = 1,1$ - коефіцієнт, що враховує стиснення живого перерізу тонкошарових блоків листами полицок та конструктивними елементами блоків; $h_{\text{бл}}$ - висота блоку, м; v - проточна швидкість у міжполичному просторі; b - ширина листа полицки, м; n - кількість відділень.

Приймають два відділення відстійника та $b = 0,75$ м. Висота блоків з приведеної вище формули:

$$h_{\text{бл}} = \frac{q_{\text{макс}}}{2K_c \cdot b \cdot v \cdot n} = \frac{80}{3600 \cdot 2 \cdot 1,1 \cdot 0,75 \cdot 0,004 \cdot 2} = 1,68 \text{ м.}$$

Висота відстійника:

$$H = h_{\text{бл}} + h_3 + h_m = 1,68 + 0,2 + 0,12 = 2 \text{ м,}$$

де $h_3 = 0,2$ м; $h_m = 0,12$ м - розміри відстійника, прийняті за конструктивними і технологічними міркуваннями.

4.4 Розрахунок піщаного фільтру

Приклад. Розрахувати піщані фільтри для доочищення води; середня витрата $Q_{\text{ср.доб.}} = 40\,000 \text{ м}^3/\text{добу}$.

Середня секундна витрата води:

$$q_{\text{ср}} = Q_{\text{ср.доб.}} / (24 \cdot 3600) = 40\,000 / 86\,400 = 0,463 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Загальний коефіцієнт нерівномірності $K_{\text{заг.макс}} = 1,51$.

Передбачено одношарові піщані фільтри з висхідним потоком води. Прийнято швидкість фільтрування $v_{\text{ф}} = 11$ м/год, $n = 1$ (тривалість фільтроциклу 24 год); $W_2 = 4 \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$; $\tau_2 = 10 \text{ хв} = 0,17 \text{ год}$; $W_3 = 6 \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$; $\tau_3 = 8 \text{ хв} = 0,13 \text{ год}$; $\tau_4 = 0,33 \text{ год}$. Сумарна площу фільтрів:

$$F_{\phi} = \frac{40000 \cdot 1,51(1 + 0,005)}{24 \cdot 11 - 3,6 \cdot 1(4 \cdot 0,17 + 6 \cdot 0,13) - 1 \cdot 11 \cdot 0,33} = 237,9 \text{ м}^2.$$

Число фільтрів розраховується за емпіричною формулою:

$$N = 0,5 \sqrt{F_{\phi}} = 0,5 \sqrt{237,9} \approx 8 \text{ шт.}$$

Площа одного фільтру:

$$F_1 = F_{\phi} / N = 237,9 / 8 = 30 \text{ м}^2,$$

а розмір його в плані 6×5 м.

Приймаємо число фільтрів, які знаходяться на промивці, $N_p = 1$. Тоді швидкість фільтрування води при форсованому режимі:

$$v_{ф.ф} = v_{ф} \cdot N / (N - N_p) = 11 \cdot 8 / (8 - 1) = 12,6 \text{ м/год.}$$

Ця швидкість не перевищує допустиму швидкість для форсованого режиму роботи фільтрів.

Далі розраховують розподільчу систему фільтра. При інтенсивності промивки фільтра $W_3 = 6 \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ кількість промивної води, необхідної для одного фільтра:

$$q_{np} = F_1 \cdot W_3 = 30 \cdot 6 = 180 \text{ дм}^3/\text{с.}$$

Діаметр колектора розподільчої системи знаходять за швидкістю входу промивної води $d_{кол} = 450$ мм. При витраті $180 \text{ дм}^3/\text{с}$, $v_{кол} = 1,06 \text{ м/с}$ (рекомендується $v_{кол} = 1 \div 1,2 \text{ м/с}$). Приймаємо відстань між відгалудженнями розподільчої системи $m = 0,3$ м. Площа дна фільтра, яка припадає на кожне відгалудження, складає (при зовнішньому діаметрі колектора $d_{кол} = 470$ мм):

$$f_{від} = (6 - 0,47) \cdot 0,3 / 2 = 0,83 \text{ м}^2,$$

а витрата промивної води, що надходить через одне відгалудження:

$$q_{від} = f_{від} \cdot W_3 = 0,83 \cdot 6 = 4,98 \text{ дм}^3/\text{с.}$$

Діаметр труб відгалуджень приймаємо 50 мм (стандартний розмір); швидкість входу води у відгалудження $v = 2,35 \text{ м/с}$.

Для забезпечення 95%-вої рівномірності промивки фільтра промивна вода повинна подаватися під напором в початок розподільчої системи:

$$H_0 = 2,19h_0 + 13,5 \frac{v_{кол}^2 + v^2}{2g} = 2,91 \cdot 1,5 + 13,5 \cdot \frac{1,06^2 + 2,35^2}{2 \cdot 9,81} = 8,93 \text{ м,}$$

де $h_0 = 1,5$ м - висота завантаження фільтра піском.

Витрату промивної води, яка витікає через отвір в розподільчій системі, знаходять за формулою:

$$q_{np} = \mu \sum f_o \sqrt{2gH_0},$$

де μ - коефіцієнт витрати (для отворів - 0,62); $\sum f_o$ - загальна площа отворів.

З цієї формули визначають загальну площу отворів:

$$\sum f_o = \frac{q_{np}}{\mu \sqrt{2gH_0}} = \frac{0,18}{0,62 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 8,93}} = 0,022 \text{ м}^2.$$

При $d_0 = 10$ мм площа отвору $f_o = 0,78 \text{ см}^2$. Загальна кількість отворів:

$$n = \sum f_o / f_o = 220 / 0,78 \approx 282.$$

Загальне число відгалужень на кожному фільтрі $(5/0,3) \cdot 2 \approx 34$. Кількість отворів, що припадають на кожне відгалуження, $282/34 \approx 8$ шт.

При довжині кожного відгалуження $l_{\text{відг}} = (6-0,47)/2 = 2,76$ м та розташуванню отворів у два ряди у шаховому порядку відстань між отворами $l_o = l_{\text{відг}}/12 = 2,76/8 = 0,34$ м. Для розрахунку збірних відвідних жолобів фільтру прийнято чотири жолоби з трикутною основою. Відстань між жолобами становить $6/4 = 1,5$ м (рекомендовано не більше 2,2 м). Витрата промивної води, що припадає на один жолоб, $q_{\text{ж}} = q_{\text{пр}}/4 = 180/4 = 45 \text{ дм}^3/\text{с}$.

Приймаємо ширину жолоба $B = 0,35$ м. Площу поперечного перерізу жолоба в місці його примикання до збірного каналу визначають за формулою Д.М. Мінца:

$$f = 1,73 \sqrt[3]{(q_{\text{ж}}^2 / g) B} = 1,73 \sqrt[3]{(0,045^2 / 9,81) 0,35} = 0,072 \text{ м}^2,$$

де $q_{\text{ж}}$ - витрата промивної води, що припадає на один жолоб; B – ширина жолоба.

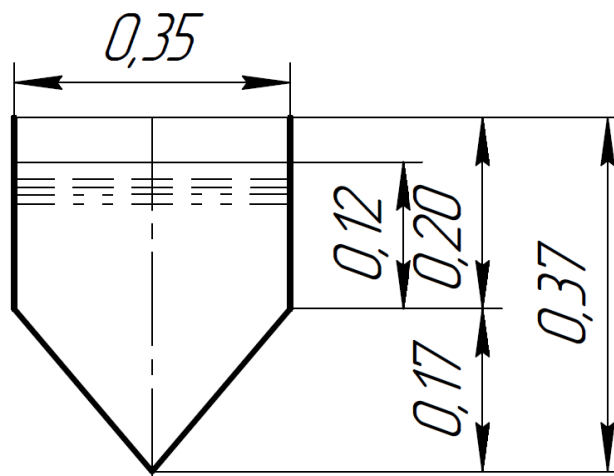


Рисунок 4.3 - Жолоби для відводу промивної води з фільтру.

Конструктивно прийнято розміри жолоба, які показані на рис. 4.3. При цьому найменше перевищення краю жолоба над рівнем води в ньому становитиме 8 см.

Висота краю над рівнем завантаження:

$$\Delta h_{ж} = (h_0 \cdot e/100) + 0,3 = (1,5 \cdot 25/100) + 0,3 \approx 0,68 \text{ м},$$

де $h_0 = 1,5$ м - висота завантаження фільтра піском; $e = 25\%$ - відносне розширення фільтруючого завантаження.

З урахуванням товщини днища загальна висота жолоба $0,37 + 0,04 = 0,41$ м. Тоді, відстань від низу жолоба до верху завантаження фільтру становитиме: $0,68 - 0,41 = 0,27$ м, що задовільняє вимогам.

4.5 Розрахунок двопотокового фільтра

Головним недоліком звичайних швидких фільтрів є швидке забруднення верхніх шарів зернистого завантаження, в яких затримується найбільша кількість завислих частинок. Тому ємність іншої частини завантаження, здатність затримувати суспензії між наступними промивками, залишається невикористаною.

Існує інший тип фільтру, в якому усунено вказаний вище недолік. Основна маса води фільтрується не зверху вниз, як в звичайних швидких фільтрах, а знизу вверх. Внаслідок цього завислі частинки, які затримуються, рівномірніше розподіляються в товщі завантаження фільтра. Це підвищує його брудоемність і сповільнює накопичення втрат напору, дозволяє подовжити робочий цикл між наступними промивкам або збільшити швидкість фільтрування води.

Швидкість фільтрування при нормальному режимі експлуатації фільтра приймається 12 м/год, а в режимі форсування (промивка, ремонт) – до 15 м/год.

Але фільтрування води знизу вверх з високими швидкостями потребує проведення заходів щодо збереження монолітності завантаження, в іншому випадку виникає розширення піску, аналогічне тому, що відбувається при

промивці швидкого фільтра у висхідному потоці води. Ця задача у двопотоковому фільтрі вирішена за іншим принципом – фільтрування знизу, але з урівноваженими силами тертя (рис. 4.4).

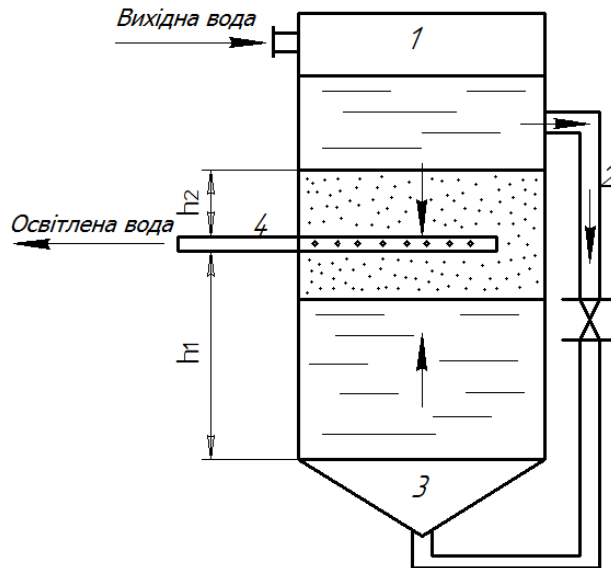


Рисунок 4.4 - Схема двопотокового фільтра.

Простір 1 над піском забезпечується трубопроводом 2 з піддоном 3. Дренаж 4 установлюється на глибині $h_1=0.5\div 0.6$ м від поверхні піску. Після заповнення фільтра зверху водою, частина вихідної води поступає в дренаж через шар дрібного піску, а друга по трубі 2 – в піддонний простір 3, і, фільтрується знизу догори через шар більш крупного піску, потім також направляється в дренаж. Затрати води, яка рухається в обох напрямках, змінюються в залежності від відношення гідравлічних опорів. Так як забрудненість верхнього шару h_2 мала, витрата води, яка проходить, буде поступово зменшуватись внаслідок відкладень зависів у дрібному піску. Витрати води, яка проходить через шар h_1 , будуть збільшуватись. В цьому випадку спостерігається рівновага сил тертя, які діють на завантаження і пісок залишається в монолітному стані. В кінці робочого циклу швидкого двопотокового фільтра кількість води, яка подається знизу, досягає 80% всієї її кількості.

Приклад. Повна розрахункова продуктивність фільтрувальної станції $Q_{\text{доба}}=120\,000\text{ м}^3/\text{добу}$, або $Q_{\text{год}}=5000\text{ м}^3/\text{год}$.

Сумарна площа двопотокового фільтра буде:

$$F = \frac{Q_{\text{доб}}}{\tau v_{\text{р.н}} - 3,6n\omega\tau_1 - n\tau_2 v_{\text{р.н}} - n\tau_3 v_{\text{р.н}}},$$

де τ – тривалість роботи станції протягом доби, год; $v_{\text{р.н}}$ – швидкість фільтрування при нормальному режимі; ω – інтенсивність промивання завантаження, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; τ_1 – тривалість промивання, год; τ_2 – час простою двопотокового фільтра, год; τ_3 – тривалість скидання першого фільтрату, год.

Приймаємо тривалість роботи станції протягом доби $\tau = 24$ год і кількість промивань кожного фільтра за добу $n = 2$. Швидкість фільтрування при нормальному режимі $v_{\text{р.н}} = 12$ м/год. Інтенсивність промивання $\omega = 15\text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$. Тривалість промивання двопотокового фільтра $\tau_1 = 0,1$ год; час простою двопотокового фільтра $\tau_2 = 0,5$ год; тривалість скидання першого фільтрату $\tau_3 = 0,17$ год.

Тоді за формулою:

$$F = \frac{120\,000}{24 \cdot 12 - 3,6 \cdot 2 \cdot 15 \cdot 0,1 - 2 \cdot 0,5 \cdot 12 - 2 \cdot 0,17 \cdot 12} \approx 460\text{ м}^2.$$

Кількість фільтрів:

$$N = 0,5\sqrt{460} \approx 11.$$

Приймаємо 11 фільтрів площею $460:11 \approx 42\text{ м}^2$ кожний. Так як площа фільтра більше 40 м^2 , проектуємо фільтри з центральним каналом, який складається з двох відділень площею по 23 м^2 кожний з розміром у плані $5,4 \times 4,3$ м.

На станціях, які мають менше 20 фільтрів, передбачається вимкнення на ремонт одного фільтра.

Підбір складу завантаження фільтра. Висота завантаження фільтра повинна прийматися в межах 1,45-1,65 м, а висота підтримуючих шарів – 0,45 м.

Таким чином, загальна висота завантаження буде $h=1,45+0,45=1,9$ м.

Гранулометричний склад завантаження фільтра, згідно ситового аналізу, обирається із табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Гранулометричний склад завантаження фільтра

Відносний вміст фракцій піску P_i	0,07	0,08	0,34	0,24	0,17	0,1
Середній розмір фракцій піску d_i в см	0,151	0,132	0,111	0,088	0,073	0,052
P_i / d_i	0,46	0,61	3,06	2,73	0,33	1,92

За графіком ситового аналізу завантаження (рис. 4.5) знаходять середній діаметр її зерен $d_{50}=0,89$ мм, ефективну величину піску $d_{10}=0,5$ мм і 80%-вий калібр завантаження $d_{80}=1,1$ мм. Отже, коефіцієнт неоднорідності завантаження складає $K = d_{80} : d_{10} = 1,1 : 0,5 = 2,2$.

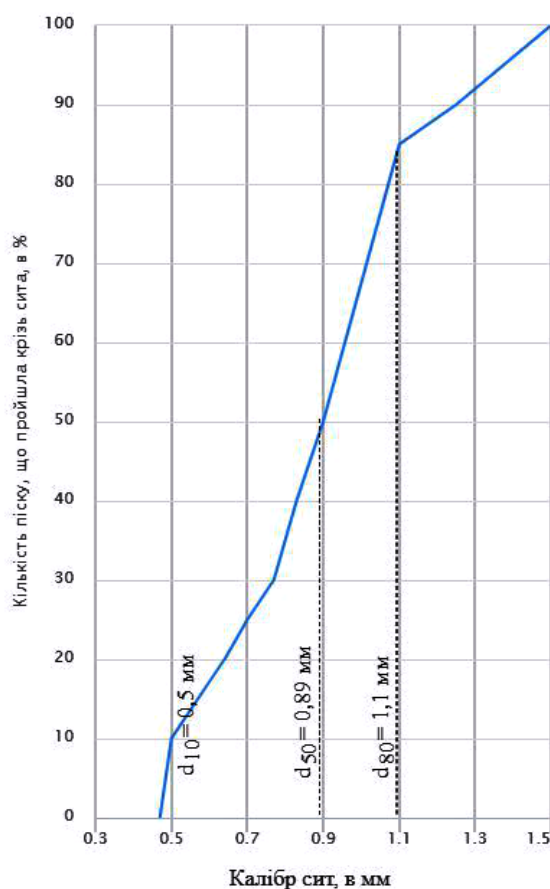


Рисунок 4.4 - Графік ситового складу завантаження двопотокового фільтра.

Користуючись графіком, наведеним на рис. 4.5, і даними табл. 4.1, визначають еквівалентний діаметр d_e завантаження фільтра з рівняння:

$$\frac{1}{d_e} = \sum \frac{P_i}{d_i} = 0.46 + 0.61 + 3.06 + 2.73 + 2.33 + 1.92 = 11.11 \frac{1}{\text{см}},$$

звідки $d_e = 11,11 = 0,09 \text{ см} = 0,9 \text{ мм}$, тобто відповідає рекомендаціям.

Розрахунок розподільної системи фільтра. Розподільні труби двопотокового фільтра розміщені в товщі підтримуючих шарів і використовуються для розподілення по площі фільтра як промивної, так і фільтрованої води.

У відповідності з порядком промивки фільтра, витрати промивної води, яка подається в розподільну систему одного фільтра, складають:

$$q_{\text{пр}} = F\omega = 46 \cdot 15 = 690 \text{ дм}^3/\text{с} = 0,69 \text{ м}^3/\text{с},$$

де ω – інтенсивність промивання, яка дорівнює $15 \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$.

При наявності двох відділень фільтра на кожний колектор розподільної системи припадає витрата промивної води, рівна: $q_{\text{кол}} = 0,345 \text{ м}^3/\text{с}$, або $345 \text{ дм}^3/\text{с}$.

Приймаючи швидкість руху води при промиванні не більше $1,6\text{-}1,7 \text{ м/с}$, знаходять діаметр колектора кожного відділення фільтра $d_{\text{кол}} = 500 \text{ мм}$, що відповідає швидкості руху води $v_{\text{кол}} = 1,65 \text{ м/с}$. Зовнішній діаметр труби за нормами дорівнює $D_{\text{кол}} = 530 \text{ мм}$.

Довжина одного відгалуження кожного відділення фільтра складає:

$$l_{\text{відг}} = (L - D_{\text{кол}}) : 2 = (5,4 - 0,53) : 2 \approx 2,44 \text{ м},$$

де $5,4$ – розмір фільтру в плані, м.

Так як крок вісі відгалужень повинен бути $e = 0,25 \text{ м}$, то кількість відгалужень в кожному відділі фільтра розміром $5,4 \times 4,3 \text{ м}$ буде:

$$m = 2(4,3 : 0,25) \approx 34 \text{ шт.}$$

Витрата промивної води, що припадає на одне відгалуження:

$$q_{\text{відг}} = 345 : 34 = 10,15 \text{ дм}^3/\text{с}.$$

Швидкість руху води на початку трубопроводів, які підводять її до отворів розподільної системи, повинна бути не більше $1,8\text{-}2 \text{ м/с}$. Отже,

діаметр відгалуження складає $d_{\text{від}} = 80$ мм, що відповідає швидкості руху води $v = 2,03$ м/сек.

Діаметр отворів у відгалуженнях приймають $d_0 = 10$ мм = 0,01 м (рекомендується в межах 10-12 мм), а відношення площі всіх отворів розподільної системи до площі поперечного перетину загального колектора:

$$\alpha = \sum f_0 : f_{\text{кол}} = 0,35.$$

Отже, сумарна площа отворів складає:

$$\sum f_0 = \alpha f_{\text{кол}} = 0,35 \times 0,196 = 0,0686 \text{ м}^2 \text{ або } 686 \text{ см}^2.$$

Тоді кількість отворів на кожному відгалуженні

$$n = \frac{\sum f_0}{mf_0} = \frac{686}{34 \cdot 0,785} \approx 25,$$

де $f_0 = 0,785 \text{ см}^2$ – площа одного отвору.

Відстань між осями отворів при розміщенні їх в один ряд:

$$e = l_{\text{отв}} : n = 2440 : 25 = 98 \text{ мм (рекомендується в межах 80-120 мм)}.$$

Отвори на трубах розподільної системи двопотокового фільтра повинні бути направлені вниз.

Провіримо площу перетину колектора розподільної системи за формулою Д.М. Мінца:

$$\frac{0,29}{\sum f_0} \geq \frac{1}{f_{\text{кол}}^2} + \frac{1}{m^2 f_{\text{отв}}^2},$$

де m – кількість відгалужень; $f_{\text{отв}}$ – площа, відгалудження діаметром 0,08 м, яка дорівнює $0,785 \cdot 0,08^2 = 0,005 \text{ м}^2$; $\sum f_0$ – сумарна площа отворів, яка дорівнює $34 \cdot 25 \cdot 0,785 \cdot 0,01^2 = 0,067 \text{ м}^2$.

Отже,

$$\frac{0,29}{0,067^2} \geq \frac{1}{f_{\text{кол}}^2} + \frac{1}{34^2 \cdot 0,005^2} \text{ або } 64,6 \geq \frac{1}{f_{\text{кол}}^2} + 34,6,$$

звідки

$$f_{\text{кол}}^2 = \frac{1}{64,6 - 34,6} \approx 0,033.$$

Отже, $f_{\text{кол}} = \sqrt{0,033} = 0,18 \text{ м}$, а

$$d_{\text{кол}} = \sqrt{\frac{4f_{\text{кол}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{14 \cdot 0,18}{3,14}} = 0,48 \text{ м} < 500 \text{ мм}.$$

Таким чином, діаметр колектора розподільної системи $d_{\text{кол}} = 500$ мм прийнятий правильно.

4.6 Видалення із води сполук заліза

Залізо в підземних водах може знаходитись у вигляді іонів двовалентного заліза, колоїдних органічних і неорганічних сполук, розчинених органічних сполук дво- та тривалентного заліза. Концентрація заліза у водах частіше буває до 5 мг, але є води, особливо на півночі України, в яких концентрація заліза перевищує 10 мг/дм³. У водах глибинних горизонтів залізо зазвичай знаходиться у вигляді іонів двовалентного заліза, стійкого у водних розчинах за наявності вільної вуглекислоти й відсутності окиснювачів. При піднятті води на поверхню землі залізо не залишається у сталому стані, а постійно змінює свій стан під впливом кисню, вуглецю, води, органічних речовин та мікроорганізмів.

Зазвичай кількість розчинного кисню визначає стан заліза. В ядрі землі передбачається присутність металевого заліза у сполуках з нікелем, ближче до поверхні – сульфідні сполуки, вище – карбонатні у формі залізного шпату і на поверхні – окисні.

Окиснення заліза киснем повітря відбувається зі значним виділенням тепла. Згідно з принципом Ле-Шательє окиснення швидко перебігає за досить низьких температур.



Згідно із діаграмами Пурбе (рис. 4.5) $\text{Fe}(\text{OH})_2$ утворює гель тільки за рН 6,5, а $\text{Fe}(\text{OH})_3$ випадає в осад за рН 3,5. Сполуки $\text{Fe}(\text{OH})_2$ зустрічаються у водах річок, озер та ґрунтових водах, гідрооксид заліза тільки в кислих ґрунтових водах (рН 3) торфових ґрунтів.

У водах, які проходять крізь нафтосховища, найбільш сталими є від'ємно заряджені комплекси заліза, які утворюються з органічними кислотами (лимонна, щавлева, гумінова, фульвокислоти). Присутність у структурі фульво- та гумінових кислот карбоксильних та фенолгідроксильних груп, аміногруп сприяє утворенню стійких комплексних сполук гумусових кислот з металами. В підземних горизонтах, які складаються із залізного шпату FeCO_3 , під впливом вуглекислоти та артезіанської води, двовалентні сполуки заліза досить легко розчиняються, утворюючи гідрокарбонат двовалентного заліза $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$.

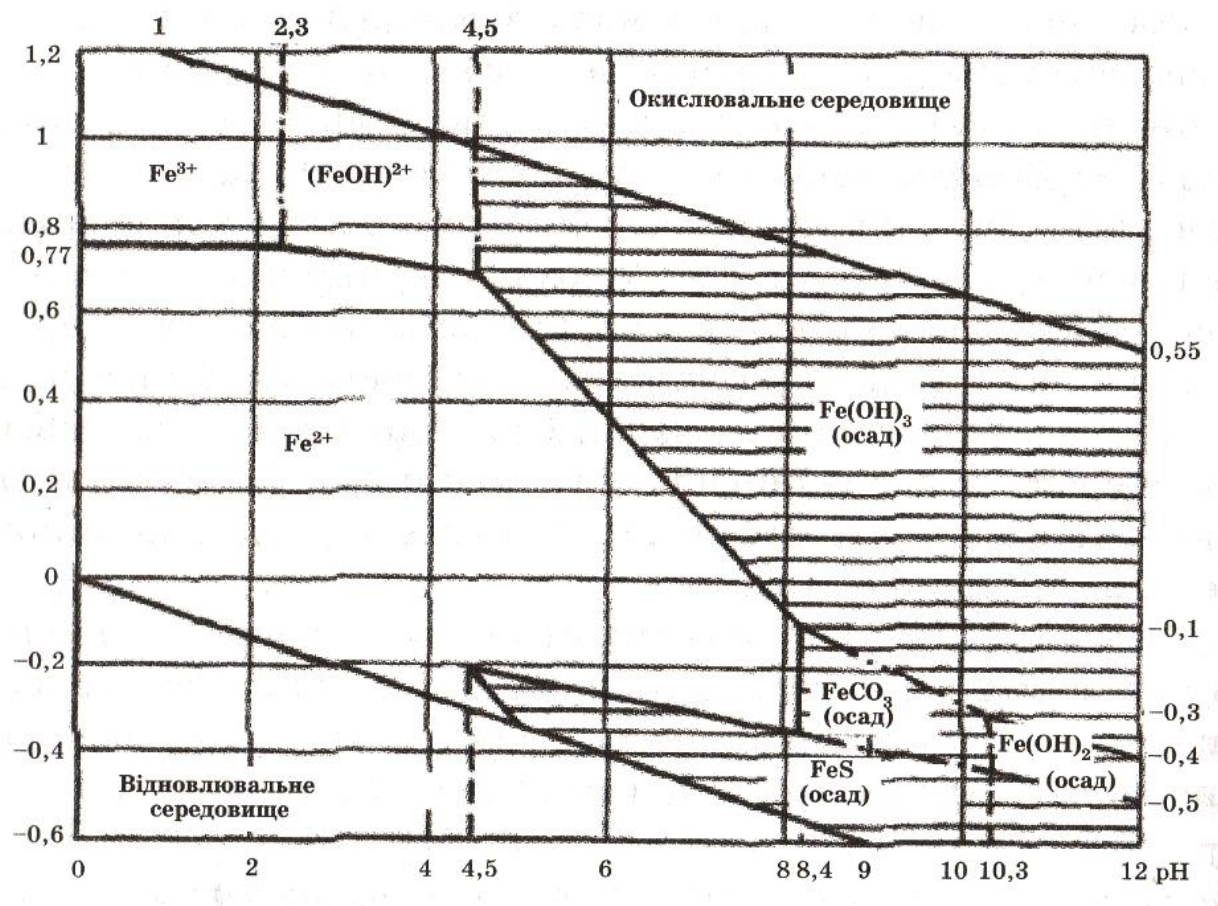


Рисунок 4.5 - Діаграма Пурбе стійкості заліза у підземних водах.

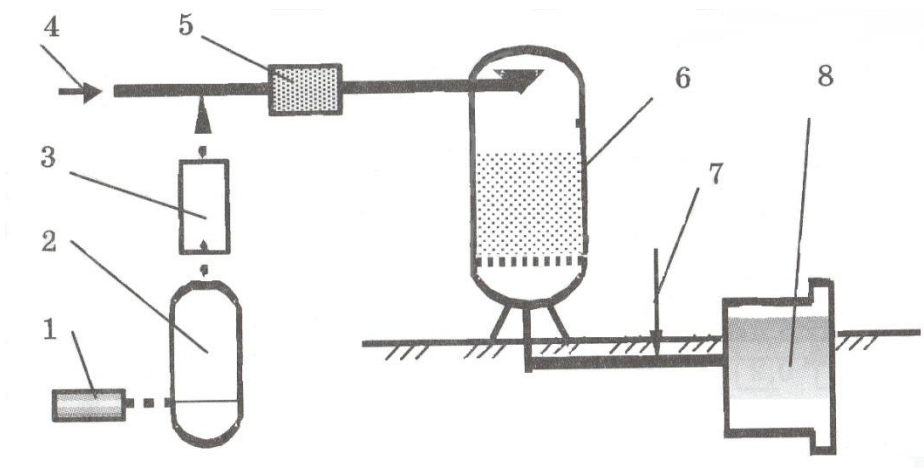
Метод знезалізнення обирають залежно від хімічного складу води, ступеня знезалізнення, продуктивності станції, технологічних випробувань. Найчастіше для знезалізнення використовують безреагентний метод, оскільки він простіший та дешевший. Процес полягає в тому, що в

аераційному пристрої воду насичують киснем, при цьому частково видаляється вугільна кислота, частково окиснюється залізо. Потім воду відстоюють у резервуарах і фільтрують, у результаті чого видаляються утворені пластівці гідроксиду заліза. Якщо процес знезалізнення безреагентним методом відбувається погано, то вдаються до реагентного методу. При цьому у вихідну воду вводять окиснювачі: хлор, перманганат калію, вапно, соду. Знезалізнення поверхневих вод, звичайно, проводиться реагентним способом одночасно з проясненням та знебарвленням.

Безреагентні методи знезалізнення

Аерацію можна проводити в спеціальних пристроях або використовувати спрощену. Спрощену аерацію використовують, якщо вміст заліза становить до 10 мг/дм^3 , у тому числі двовалентного не менше як 70 %, рН не менше ніж 6,8, лужність понад $(1 + \text{Fe}^{2+}/28) \text{ мг/дм}^3$.

Якщо продуктивність станції до $3200 \text{ м}^3/\text{добу}$ та вміст заліза до 5 мг/дм^3 , то застосовують установки за напірною схемою (рис. 4.6).



1 – компресор; 2 – повітрозбірник; 3 – редукційний клапан ; 4 – подача вихідної води; 5 – змішувач; 6 – напірний фільтр; 7 – введення хлору для знезараження; 8 – резервуар чистої води

Рисунок 4.6 – Схема напірної установки для знезалізнення води.

Потрібне для окиснення заліза повітря подає компресор. Витрати повітря ($Q_{\text{пов}}$, м³/год) визначаються за формулою:

$$Q_{\text{пов}} = q \cdot m \cdot C \cdot 10^{-3},$$

де q - розрахункова продуктивність станції, м³/год; m - витрати повітря на окиснення заліза (2 дм³ на 1 мг заліза); C - концентрація заліза, мг/дм³.

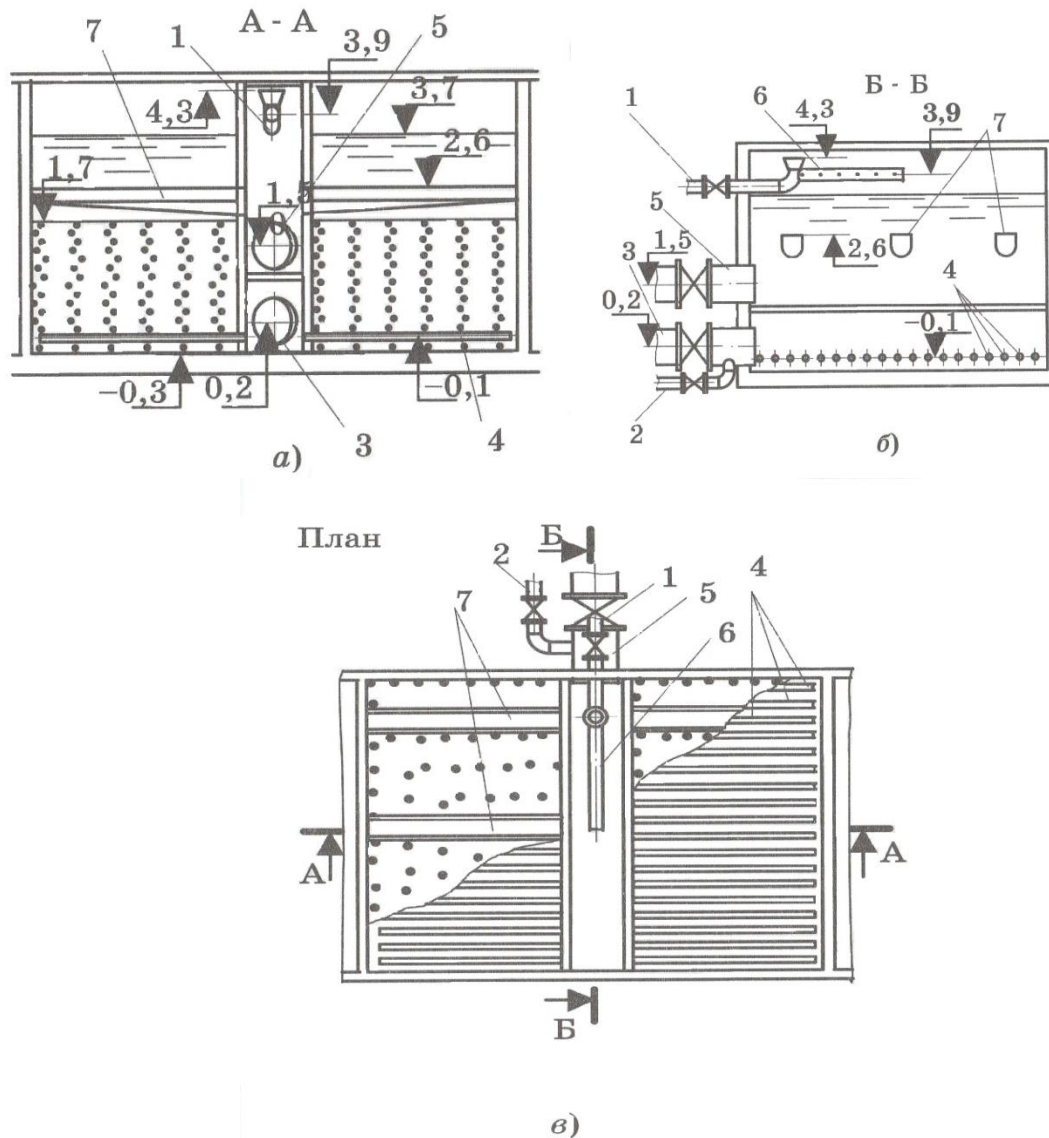
За наявності у вихідній воді вільної вуглекислоти більше 40 мг/дм³ та сірководню більше 0,5 мг/дм³ перед напірним фільтром передбачається проміжна місткість із вільним виливом води в неї, а введення повітря в трубопровід не передбачається. Використовують напірні фільтри діаметром 1, 2, 3, 4 м, які завантажені кварцовим піском.

На станціях більшої продуктивності використовуються звичайні швидкі фільтри з кварцовою засипкою крупністю 0,8-1,8 мм, коефіцієнтом неоднорідності 1,5-2, товщиною 1 м, розрахунковою швидкістю фільтрування 5-7 м/год або крупністю 1-2 мм, товщиною 1,2 м та швидкістю фільтрування 7-10 м/год. Зараз використовуються фільтри з засипкою щебенем крупністю 5-10 мм, товщиною засипки 2,1 м, швидкістю фільтрування – до 20 м/год. Особливістю всіх цих фільтрів є те, що вихідна вода виливається суцільним струменем у бічну кишеню з висоти не менше 0,5 м (рис. 4.7). Для покращення аерації пропонується вилив зі спеціального жолоба або дірчастої труби.

Для знезалізнення вод із вмістом заліза 5-15 мг/дм³ застосовують послідовне двоступеневе фільтрування – спочатку крізь контактний фільтр, а потім крізь прояснювальний. Швидкість фільтрування на контактному фільтрі на 50-60% більша, ніж на прояснювальному.

Для видалення заліза з концентрацією до 25 мг/дм³ і вище безреагентним методом розроблено установки, які складаються з вакуумно-ежекційного аератора, та пінополістирольного фільтра. Воду подають у вакуумно-ежекційний аератор, звідки вона надходить у регулятор швидкості фільтрування, а далі на пінополістирольний фільтр з шаром завислого осаду

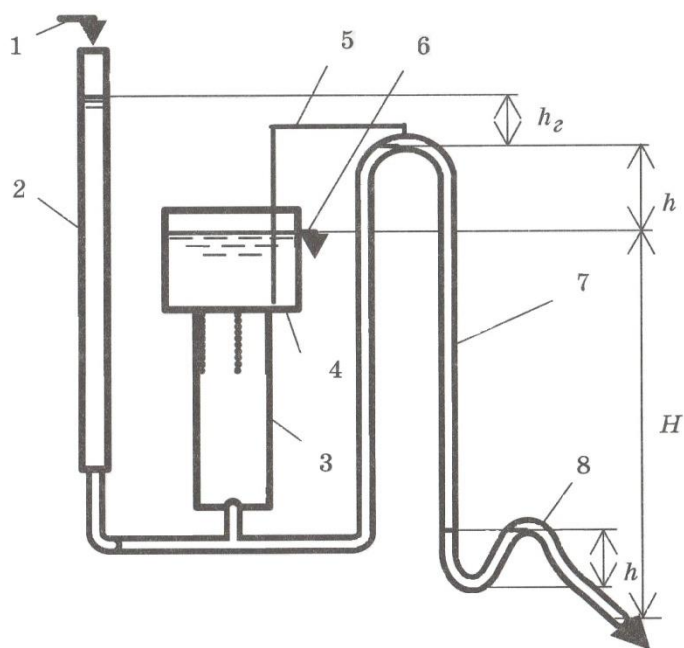
або без нього. Якщо вміст заліза до 10 мг/дм^3 , то можна використовувати не вакуумно-ежекційний аератор, а спрощену аерацію, розбризкуючи воду з висоти 0,5 м на водну поверхню в регуляторі швидкості фільтрування. Шар завислого гідроксиду заліза (III) в підфільтровому просторі фільтра не потрібен.



а, б) фільтр з грубою засипкою у розрізі; в) план фільтра з грубою засипкою:
 1 – подавальний трубопровід; 2 – відведення фільтрату; 3 – подача промивної води;
 4 – розподільні відгалуження; 5 – відвід промивної води; 6 – аератор;
 7 – жолоби

Рисунок 4.7 – Загальний вигляд фільтра з грубою засипкою для знезалізнєння.

Як засипку у фільтрах застосовують пінополістирол крупністю 0,5-1 мм шаром завтовшки 0,5-0,7 м. Швидкість фільтрування встановлюють до 4 м/год за наявності шару завислого гідроксиду заліза і до 7 м/год без нього. Такі установки можуть мати систему гідроавтоматики, яка забезпечує переведення фільтра з режиму фільтрування в режим промивки навпаки (рис. 4.8). Вихідна вода вільно виливається з висоти 0,5 м у регулятор швидкості фільтрування.



1 – подача води; 2 – регулятор швидкості фільтрування;

3 – пінополістирольний фільтр; 4 – промивний бак;

5 – повітряна трубка; 6 – відведення знезалізнєної води; 7 – промивний сифон; 8 – гідрозатор промивного сифона

Рисунок 4.8 – Принципова схема гідроавтоматичної установки знезалізнєння води.

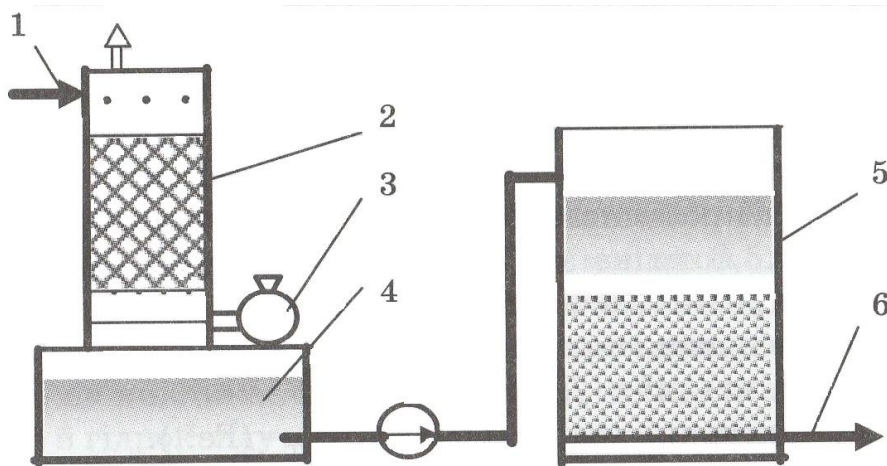
З нижньої частини регулятора вода надходить у нижню частину пінополістирольного фільтра, проходить пінополістирольну засипку, де звільняється від заліза, і знезалізнєною збирається в промивному баку 6, а з верхньої його частини відводиться у резервуар чистої води. Мірою фільтрування втрати напору зростають, збільшується рівень води в

регуляторі 2. Коли вода досягне максимального рівня включається спочатку сифон гідрозатвора – 8, а потім промивний сифон 7. Фільтр переходить у режим промивання. Коли промивний бак спорожніє, то через повітряну трубку у верхній перегин промивного сифона потрапляє повітря і він відключається. Фільтр знову переходить у робочий режим.

Промивний сифон розраховується на пропуск промивних витрат води – Q . Ці витрати визначають із необхідної інтенсивності промивки ($10-12 \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$) і площі фільтра. Потрібні витрати води Q можна регулювати як діаметром сифону, так і конструктивними особливостями установки. При цьому перевищення верхньої точки промивного сифона над рівнем води в надфільтровому просторі має бути $0,7-1,5 \text{ м}$.

Фільтри для знезалізнення розраховують так, як і прояснювальні фільтри. Швидкість фільтрування беруть $5-7 \text{ м/год}$.

Метод знезалізнення підземних вод із великою концентрацією заліза передбачає глибоку аерацію на вентиляторних або контактних градирнях, закінчення процесу окислення заліза в контактному резервуарі та наступному фільтруванні на відкритих фільтрах (рис. 4.9).



1– подача вихідної води; 2 – вентиляторна градирня; 3 – вентилятор; 4 – контактний резервуар; 5 – відкритий прояснювальний фільтр; 6 – відведення знезалізненої води

Рисунок 4.9 – Схема установки для знезалізнення з вентиляторною градирнею.

За продуктивності установки до 75 м³/год використовуються контактні градирні, більшій – вентиляторні. Контактна градирня – це споруда з жалюзійними стінками, всередині якої розташовуються ящики з дірчастим дном.

В ящики завантажуються шматки коксу, пемзи, щебеню. Вода у верхній частині розбризкується по площі і профільтровується через декілька таких ящиків, у результаті чого насичується киснем.

Останнім часом використовується метод знезалізнення "Віредокс", який полягає в закачуванні у водоносний пласт нагнітальною свердловиною попередньо аерованої води. Як результат, окиснення заліза проходить у водоносному пласті і там відбувається затримання гідроксиду заліза. знезалізнена вода забирається звичайною водозабірною свердловиною.

Метод "сухої" фільтрації використовується при вмісті гідрокарбонатного або карбонатного заліза у воді до 6 мг/дм³. За цим методом вода насичується повітрям, а потім профільтровується через незатоплену водою засипку під невеликим вакуумом. На зернах засипки утворюється дегідратована плівка, в яку входить сидерит, гетит, магнетит, гематит. Щільність цих сполук значно вища, ніж у гідроксиду заліза, а об'єм включень у 4-5 разів менший. Швидкість фільтрування підтримується в межах 6-20 м/год. Тому тривалість фільтраційного циклу може становити від місяця до року. На ефект знезалізнення впливають водневий показник води, ступінь диспергованості води та повітря – водяне співвідношення, параметри фільтрування. Відмивають засипку від сполук заліза 0,5-1% розчином дитіаніту або 5-10% розчином інгібіторної соляної кислоти.

Реагентні методи видалення з води сполук заліза та мангану

В умовах, коли не застосовують аераційні методи, використовують реагентні методи. Розрахункові дози реагентів окиснювачів призначають такими:

$$- \text{хлору, мг/дм}^3 - D_{\text{хл}} = 0,7(\text{Fe}^{2+});$$

– перманганату калію, мг/дм³ – $D_{\text{п}} = (\text{Fe}^{2+})$.

Введення реагентів – окиснювачів слід проводити безпосередньо в подавальний трубопровід перед фільтрами.

Знезалізнення вод поверхневих джерел передбачається одночасно із проясненням і знебарвленням води. При цьому доза вапна приймається:

$$D_{\text{В}} = 28 ([\text{CO}_2] / 22 + [\text{Fe}^{2+}] / 28 + D_{\text{к}} / E),$$

де $[\text{CO}_2]$, $[\text{Fe}^{2+}]$ – вміст вільної вуглекислоти та заліза, мг/дм³; $D_{\text{к}}$ – доза коагулянту, мг/дм³; E – еквівалентна маса коагулянту, мг/мг-екв.

Манган, як і залізо, в підземних водах за відсутності кисню зустрічається у формі двовалентних солей, а в поверхневих – у формі органічних комплексних сполук, колоїдів та тонкодисперсної зависі. У питній воді мангану повинно бути не більше 0,1 мг/дм³. *Деманганування* води передбачає видалення мангану безреагентним або реагентним методами. При цьому слід перевести двовалентний манган у три- або чотиривалентний, який утворює малорозчинні гідроксиди або діоксид мангану. Безреагентний метод може бути використаний, зазвичай, при достатньо високих значеннях рН і може досягатися:

- глибокою аерацією з наступним відстоюванням і фільтруванням;
- вакуумно-ежекційним аеруванням із наступним фільтруванням;
- використанням методу "Віредокс" одночасно зі знезалізненням;
- сорбцією на свіжоутвореному гідроксиді заліза;
- біохімічному окисленні в зернистій засипці.

Реагентний метод передбачає окиснення мангану перманганатом калію, озоном, хлором із наступним фільтруванням крізь зернисті засипки для утримання продуктів окиснення.

Метод глибокої аерації з наступним відстоюванням і фільтруванням використовується в умовах, коли після видалення вільної вуглекислоти вода має рН не менше 8,5. У практиці таке трапляється рідко, а тому вдаються до підлугування вапном або содою. Проте потім необхідно вдаватись до

підкислення, а це викликає побічні явища – випадання карбонату кальцію й гідроксиду магнію. Тому ця технологія складна і дорога.

При вакуумно-ежекційному методі над поверхнею швидкого фільтра розташовують вакуумно-ежекційні апарати, які розбризкують вихідну воду у вигляді краплин. Сам апарат становить три послідовних ежектори, значення вакууму в яких за ходом води зменшується. Це забезпечує видалення під вакуумом вільної кислоти та підсмоктування через отвори кисню й насичення ним води.

Метод "Віредокс" та сорбція на свіжоутвореному гідроксиді заліза передбачає затримання мангану піском одночасно зі знезалізненням води. Методи достатньо прості, але не завжди забезпечують необхідний ефект очищення.

Біохімічний метод передбачає заселення в зерна засипки фільтрів манганоспоживаючих бактерій – *Metallogenium personatum*, *Bacteria manganicus*. Висота шару засипки призначається 1,5 м, крупність зерен – 1-3 мм. Бактерії у процесі своєї життєдіяльності споживають манган, а бактерії, які відмирають створюють на зернах піску біомасу. Ця біомаса вміщує оксиди мангану і є каталізатором. Швидкість фільтрування приймається 22-30 м/год.

Під час деманганування реагентним методом частіше використовують перманганат калію. Перманганат калію окиснює двовалентний манган:



На окиснення 1 мг двовалентного марганцю витрачається 1,88 мг перманганату калію і при цьому утворюється дисперсний осад $\text{MnO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ або $\text{Mn}(\text{OH})_4$. При видаленні мангану з підземних вод розчин перманганату дозують у воду насосом-дозатором у трубопровід, а потім фільтрують воду через пісок із діаметром зерен 0,5-2 мм і товщиною шару 0,7-2 м. Оскільки як перманганат калію погано розчиняється у воді, то її попередньо підігрівають до 40-60 °С, концентрація розчину приймається 1-3%. При демангануванні поверхневих вод у схемах прояснення й

знебарвлення води перманганат калію вводять на станції першого підйому або за 5-10 хв до вводу коагулянтів.

Видаляти манган можна після аерування води фільтруванням за наявності каталізаторів. У цьому разі фільтр завантажується подрібненим піролюзитом, або "чорним" піском, тобто піском попередньо обробленим (модифікованим) розчином з 1-3 мг/дм³ перманганату калію.

Слід зазначити, що найповніше манган видаляється при окисненні його озоном, але складність приготування озону та велика його собівартість обмежують використання цього методу. При окисненні мангану хлором рН середовища повинно бути 8-8,5. Природні води з таким водневим показником трапляються рідко. Манган видаляється також і при На-катіонуванні за видалення інших катіонів.

4.6.1 Розрахунок установок для знезалізнення води

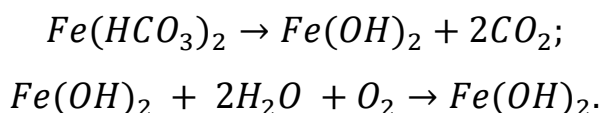
В природних водах можуть бути присутні ферум (II) та ферум (III). Найчастіше в підземних водах залізо зустрічається у вигляді $Fe(HCO_3)_2$, тобто двовалентний ферум.

В поверхневих водах залізо зазвичай міститься у формі органічних сполук, переважно колоїдних, наприклад гуматів феруму.

В річних водах, забруднених кислими стоками (наприклад шахтовими водами), зустрічається ферум (II) сульфат $FeSO_4$. Завдяки присутності розчиненого кисню в річній воді відбувається окиснення феруму (II) до феруму (III).

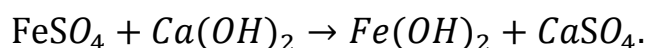
При одночасній присутності заліза та сірководню у воді з'являється мілкодисперсна суспензія сульфіда феруму FeS .

З підземних вод двовалентний ферум може бути видалено за допомогою аерації води. Важливо відмітити, що ферум (II) карбонат у воді частко гідролізується, втрачаючи карбонатну кислоту:



Інтенсивне виділення CO_2 відбувається при аерації води, яка досягається шляхом розбризкування її на контактних або вентиляторних градирнях. Це створює сприятливі умови для повного гідролізу $Fe(HCO_3)_2$. Ферум (II) гідроксид $Fe(OH)_2$, реагуючи з киснем, перетворюється у колоїдний ферум (III) гідроксид $Fe(OH)_3$, який при коагуляції переходить в ферум (III) оксид $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ і далі випадає в осад у вигляді бурих пластівців. Тому після аерації необхідно пропускати воду через контактні резервуари та фільтри.

Якщо у воді міститься феруму (II) сульфат $FeSO_4$, то при аерації такої води не досягається її знезалізнення, оскільки при гідролізі розчиненої солі заліза утворюється вуглецева кислота, яка знижує рН води до величини, яка менше, ніж 6.8, при якій гідроліз майже повністю припиняється. Тому з води ферум видаляється шляхом її вапнування згідно рівнянню:



Після вапнування необхідне відстоювання та фільтрування води.

Залізо, що міститься у воді у вигляді колоїда ферум (III) гідроксиду $Fe(OH)_3$ або у вигляді колоїдних органічних сполук (гумати заліза), може бути видалене за допомогою коагулювання сульфатом алюмінію або залізним купоросом з додаванням хлору або вапна.

Щоб встановити найбільш економічний для даної води спосіб знезалізнення, необхідно провести пробне видалення феруму. Знезалізнення води для господарсько-питних потреб здійснюють при вмісті у вихідній воді заліза у кількості більше, ніж $0,3 \text{ мг/дм}^3$, при цьому, спеціальні установки передбачаються лише у тих випадках, коли ферум не може бути видалено одночасно при обробці води на інших очисних спорудах.

Розрахунок установки для знезалізнення води аерацією

Цей метод знезалізнення води може бути застосований у наступних випадках: а) за лужності води більше 2 мг-екв/дм^3 ; б) за рН води після аерації вище 7; в) за окиснюваності води (перманганатної) менше

0,15 $[Fe^{2+}] + 3 \text{ мг/дм}^3 O_2$; г) при вмісті амонійних солей менше 1 мг/дм³; д) при вмісті сірководню менше, ніж 0,2 мг/дм³.

При аерації з води видаляється вуглекислота, що прискорює процес окиснення феруму (II) до феруму (III) і з подальшим гідролізом з утворенням ферум (III) гідроксиду.

Для здійснення аерації використовують: а) вентиляторні градирні (дегазатори); б) контактні градирні з природньою вентиляцією, якщо потужність установок знезалізнання не більше 50-75 м³/год.

Схема установки для знезалізнання води аерацією приведена на рис. 4.10. Вода направляється на вентиляторну градирню 1, завантажену насадкою з кілець Рашига. Вентилятор 2 подає повітря назустріч потоку води. При цьому відбувається виділення вільної вуглекислоти, і вода насичується киснем. Після пропускання через градирню вода стікає в контактний резервуар 3. Звідси насосом 4 вода подається в напірний (або відкритий) фільтр 5, де закінчується утворення пластівців гідроксиду та їх утримання в шарі кварцового завантаження.

Приклад. Розрахувати установку для знезалізнання для потужності $Q_{\text{доба}} = 9100 \text{ м}^3/\text{добу}$, або $Q_{\text{год}} = 380 \text{ м}^3/\text{год}$. Вміст у вихідній воді феруму (II) становить 9 мг/дм³.

Для виділення вільної вуглекислоти застосовують аерацію води на вентиляторній градирні.

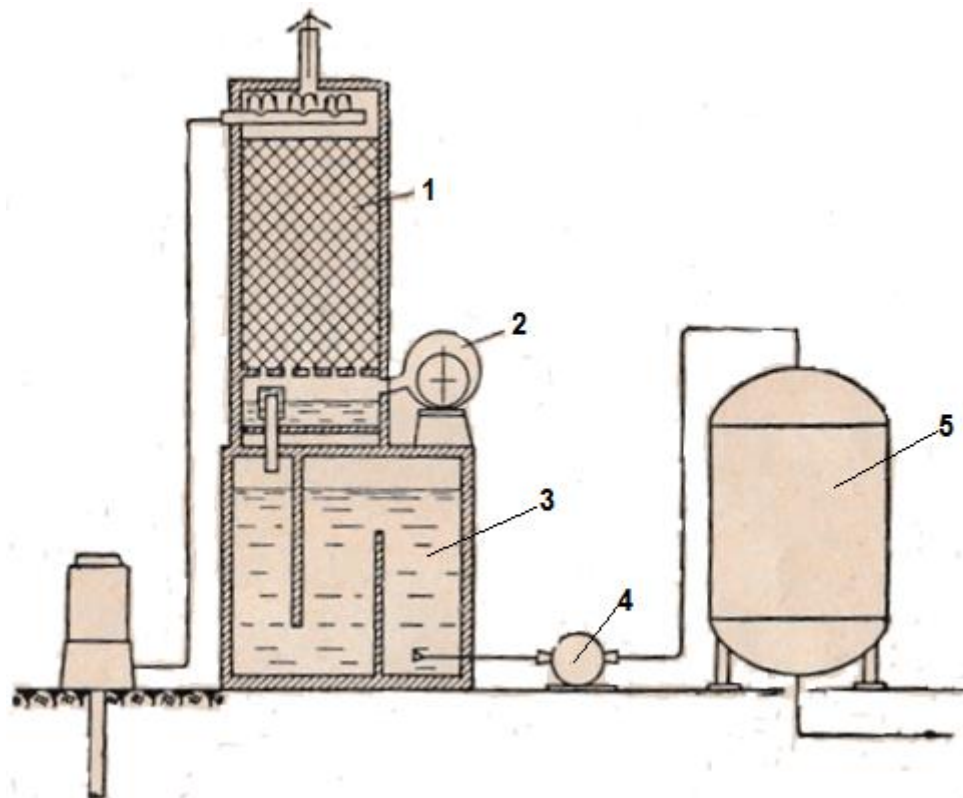
Необхідна площа вентиляторної градирні:

$$F_{\text{гр}} = Q_{\text{год}} : \Phi = 380 : 60 = 6,33 \text{ м}^2,$$

де Φ – питома витрата води на 1 м² площі вентиляторної градирні, приймається для насадки з кілець Рашига 60 м³/год і для дерев'яної хордової насадки 40 м³/год. Висота шару насадки з кілець Рашига при лужності (карбонатній жорсткості) вихідної води 6 мг-екв/дм³ приймається $h_{\text{кр}} = 3 \text{ м}$ (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 - Рекомендована висота шару насадки вентиляторної градирні для аерації води при її знезалізненні

Насадка	Висота шару $h_{кр}$, м при загальній лужності води, мг-екв/дм ³					
	2	3	4	5	6	8
кільця Рашига розміром 25×25×3 мм	1,5	1,75	2	2,5	3	4
хорда з дерев'яних брусків	2	2,5	3	3,5	4	5



1 – вентиляторна градирня; 2 – вентилятор; 3 – контактний резервуар;
4 – насос; 5 – фільтр

Рисунок 4.10 - Схема установки для знезалізнення води аерацією.

Продуктивність вентиляторів градирні:

$$Q_{\text{вент}} = Q_{\text{год}} Q_o = 380 \cdot 10 = 3800 \text{ м}^3 / \text{год},$$

де Q_0 – необхідна продуктивність вентилятора на 1 м^3 пропущеної води, яку зазвичай приймається 10 м^3 . Напір, який розвивається вентилятором, повинен бути:

$$h_{\text{вент}} = h_{\text{кр}} \cdot 30 = 3 \cdot 30 = 90 \text{ мм вод. ст.}$$

Ємність контактного резервуара:

$$W = \frac{Q_{\text{год}} \cdot t}{60} = \frac{380 \cdot 30}{60} = 190 \text{ м}^3,$$

де $t = 30 \div 40$ хв – час перебування води в контактному резервуарі.

Розмір (у плані) контактного резервуара об'ємом 190 м^3 при глибині шару води, який дорівнює 4 м , буде: $6,9 \times 6,9 \text{ м}$.

Напірні вертикальні фільтри для закінчення процесу флокуляції гідроксиду феруму (III) і його видалення обираються відповідно з потужністю та конструкційними особливостями.

Для завантаження фільтрів використовують пісок з крупністю зерна $0,5\text{-}1,2 \text{ мм}$ при висоті фільтрувального шару 1200 мм .

При швидкості фільтрування 6 м/год необхідна площа фільтрів:

$$\sum f = 380 : 6 = 63,3 \text{ м}^2.$$

Приймаємо сім робочих фільтрів і один резервний серійного виготовлення діаметром $D = 3,4 \text{ м}$ і площею кожного $9,07 \text{ м}^2$. Загальна робоча площа фільтрів $7 \times 9,07 = 63,49 \text{ м}^2$.

При застосуванні напорних фільтрів необхідно передбачувати введення повітря в прийомний трубопровід у кількості 2 дм^3 на 1 г феруму (II).

Знезалізнення води зі спрощеною аерацією допустимо при наступних показниках якості вихідної води: а) вміст феруму (загального) до 10 мг/дм^3 , у тому числі двовалентного не менше 70% ; б) рН води не менше $6,8$; в) лужність води більше $(1 + \frac{Fe^{2+}}{28}) \text{ мг-екв/дм}^3$; г) вміст сірководню не більше $0,5 \text{ моль/дм}^3$; д) перманганатна окиснюваність не більше $0,15(Fe^{2+}) + 5 \text{ мг/дм}^3 O_2$.

Якщо одна з цих умов не дотримується, необхідна попередня аерація води в аераторах з додаванням до неї у необхідних кількостях реагентів (перманганату калію, хлору і т.д.).

Конструкції фільтрів для знезалізнення води зі спрощеною аерацією аналогічні конструкціям фільтрів для освітлення та знебарвлення води, але з наступними розрахунковими параметрами: діаметр зерна фільтруючого шару – мінімальний 0,8 мм і максимальний 1,8 мм; еквівалентний діаметр 0,9-1,1 мм; коефіцієнт неоднорідності 1,5-2; висота шару 1000 мм; швидкість фільтрування при нормальному режимі 7 м/год, а при фіксованому 10 м/год.

Використання більш крупних зерен завантаження з діаметром 1-2 мм, з еквівалентним діаметром 1,2-1,3 мм і коефіцієнтом неоднорідності 1,5-2 при висоті фільтруючого шару 1200 мм дозволяє збільшити швидкість фільтрування при нормальному режимі до 10 м/год, а при форсуванні – 12 м/год.

Розрахункова тривалість фільтроциклу повинна бути не менше 12 год.

4.7 Фторування та знефторення води

Наявність чи відсутність фтору в організмі людини впливає на її здоров'я. За недостатньої кількості фтору розвивається карієс, а за занадто великої кількості — флюороз. Необхідність фторування води для господарсько-питних потреб визначає санепідемстанція. У практиці водопостачання використовують два методи фторування:

- цілорічний одною дозою;
- сезонний, зимовою чи літньою дозами.

Фторують воду розчинами реагентів, які вводять у чисту воду перед хлоруванням, дозволяється вводити реагенти перед фільтрами у двоступеневих схемах очистки. Реагентами є кремнефторид натрію (Na_2SiF_6), фторид натрію (NaF), кремнефторид амонію $((\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6)$, кремнефтороводнева кислота (H_2SiF_6). Кремнефторид натрію — це білий

негігроскопічний порошок, який погано розчиняється у воді й особливо при низьких температурах, містить до 98% основної речовини. Фторид натрію — білий порошок або кристали з вмістом основної речовини до 80%. Цей реагент непогано розчиняється у воді та використовується у вигляді розчину 1-2%-вої концентрації. При використанні твердої води для розчинення процес супроводжується утворенням малорозчинних солей, які осідають у комунікаціях і розчинних баках. Кремнефторид амонію — це кристалічна речовина білого кольору з рожевим чи жовтуватим відтінком без запаху, дуже злежується, містить до 86 % основної речовини, достатньо розчиняється у воді. Кремнефтороводнева кислота — це 20-35%-вий розчин, без кольору, димляча рідина з різким запахом, добре розчиняється у воді.

Дозу реагентів (мг/дм³) визначають за формулою:

$$D_{\text{ф}} = 10^4 \cdot (m_{\text{ф}} \cdot a_{\text{ф}} + \Phi) / K_{\text{ф}} \cdot C_{\text{ф}},$$

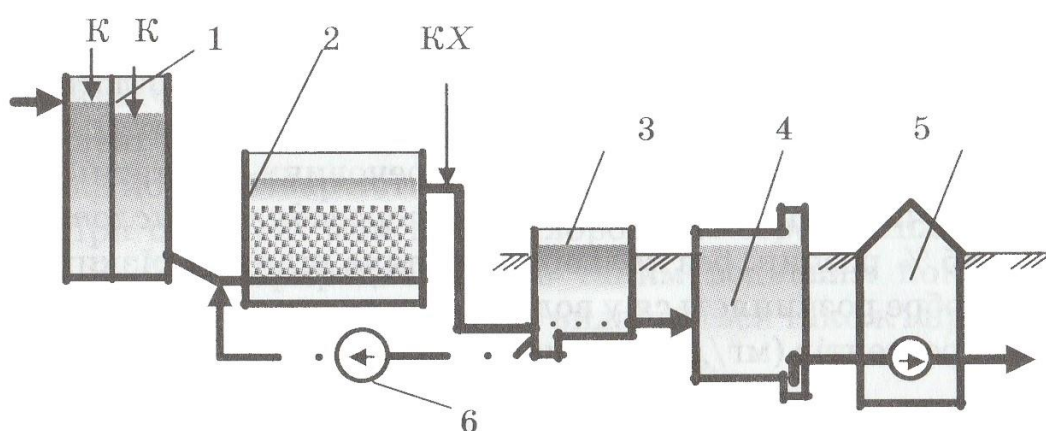
де $m_{\text{ф}}$ — коефіцієнт, який залежить від місця введення реагенту у воду (1 — у чисту воду, 1,1 — перед фільтрами); $a_{\text{ф}}$ — потрібний вміст фтору (0,7-1,5 мг/дм³), залежить від кліматичного району; Φ — вміст фтору у вихідній воді, мг/дм³; $K_{\text{ф}}$ — вміст фтору, % у чистому реагенті (кремнефторид натрію — 61, фторид натрію — 45 тощо); $C_{\text{ф}}$ — вміст чистого реагенту в товарному продукті, %.

Розчини фтористих реагентів готують, як і розчини коагулянтів. Для кремнефтористого натрію можна для виготовлення розчину використовувати сатуратори одинарного насичення. Концентрацію розчинів у витратних баках беруть для кремнефториду натрію — 0,25%, фториду натрію — 2,5%, кремнефториду амонію — 7%, кремнефтороводневої кислоти — 5%. Розчини реагентів перед використанням мають відстоюватися протягом двох годин. Дозують реагенти за допомогою насосів дозаторів. Порошкові реагенти можна вводити у воду сухим дозуванням. У цьому випадку передбачається спеціальна камера для змішування реагенту з водою. Перемішування

забезпечується гідравлічними або механічними пристроями з доведенням концентрації розчину до 25%.

Фторвмісні реагенти слід зберігати в заводській тарі. Так як реагенти токсичні, приміщення фтораторної установки повинно бути ізольоване від інших приміщень станції.

Для знефторення води із вмістом фтору до 5 мг/дм^3 рекомендується застосовувати метод контактно-сорбційної коагуляції, який полягає в сорбуванні солями сульфату алюмінію іонів фтору з наступним затриманням частинок зернистою засипкою (рис. 4.11).



1 — контактна камера (КК); 2 — контактний прояснювач;
3 — резервуар першого фільтрату; 4 — резервуар чистої води;
5 — насосна станція другого підняття; 6 — насос промивної води;
КХ — відповідно введення коагулянту та хлору в трубопроводи
Рисунок 4.11 — Схема установки для видалення фтору з води.

Перший фільтрат за цією схемою скидають у спеціальний резервуар, звідки його забирають промивним насосом для промивання засипки контактного прояснювача. Доза сульфату алюмінію (мг/дм^3) для зниження концентрації фтору до $1,2 \text{ г/дм}^3$ (це для II і III кліматичних районів) приймається:

$$D_k = 48(\Phi - 1,2),$$

де Φ — вміст фтору у вихідній воді, мг/дм^3 .

Місткість контактної камери розрахована на трихвилинне перебування води. При видаленні фтору з води можна використовувати метод осадження, який оснований на сорбції фтору гідроксидом алюмінію або магнію, фосфатом кальцію. Використовується схема в складі: вертикальний змішувач, прояснювач із завислим осадом, швидкий фільтр. Цей метод доцільний для знефторення поверхневих вод, коли одночасно потрібно прояснювати і знебарвлювати воду, а для підземних вод — при одночасному реагентному зм'якшенні.

Фільтрувальну засипку фільтра беруть 1,5-1,8 м завтовшки з крупністю зерен піску 0,5-1,8 мм (еквівалентний діаметр 0,7-0,8 мм, коефіцієнт неоднорідності 2-3). Для інтенсифікації процесу коагуляції слід після введення коагулянту через 0,5-1 хв дозувати флокулянти (наприклад, поліакриламід дозою 0,3-0,5 мг/дм³).

При вмісті фтору до 10 мг/дм³ застосовують сорбційний спосіб, який передбачає фільтрування води через активний оксид алюмінію. Крупність зерен активного оксиду алюмінію беруть 1-3 мм, товщину шару 2,5-3 м. Відносне розширення сорбенту під час розпушування і відмивання беруть 60%, розрахункова швидкість фільтрування приймається не більшою за 6 м/год, форсована — 8 м/год. Активний оксид алюмінію діє як аніоніт і обмінює іони SO_4^{2-} на іони фтору F^- . Дренаж фільтрів — трубчастий з корозійностійких матеріалів або щілин них ковпачків. На хибне дно з ковпачками слід класти пісок крупністю 3-4 мм і шаром завтовшки 0,15 м. Регенерують сорбент 1-1,5 % -вим розчином сульфату алюмінію, при цьому на 1 г поглинутого фтору витрачається 40-50 г сульфату алюмінію. Перед регенерацією шар сорбенту розпушують водою протягом 15-20 хв з інтенсивністю подавання води 4-5 дм³/с·м², після регенерації відмивають з такою самою інтенсивністю 30-45 хв. Для відмивання використовують вихідну воду. Регенеруючий розчин пропускають зі швидкістю 2-2,5 м/год крізь сорбент знизу догори. Перші 70-80% регенеруючого розчину скидають у каналізацію, решту можна використовувати для наступних регенерацій.

Тривалість робочого циклу між регенераціями (год) становить:

$$T_p = \frac{F_\phi \cdot H_{\text{cop}} \cdot E}{q_\phi (C_f - C_\phi / 3)},$$

де F_ϕ — площа фільтра, м^2 ; H_{cop} — висота шару сорбенту, м ; $E = 900\text{-}1000 \text{ год/м}^3$ — робоча ємність поглинання за фтором; q_ϕ — продуктивність фільтра, $\text{м}^3/\text{год}$; C_f — вміст фтору у вихідній воді, мг/дм^3 ; C_ϕ — вміст фтору у фільтраті, мг/дм^3 .

Місткість бака для регенерації розчину (м^3) визначається так:

$$W_p = \frac{E \cdot F_\phi \cdot H_{\text{cop}} \cdot D_{\text{ал}} \cdot n}{1000 \cdot \gamma},$$

де $D_{\text{ал}} = 40\text{-}50 \text{ г/г}$ фтору — витрати сульфату алюмінію на 1 г виділеного з води фтору; n — число регенерацій, на які розрахований бак (при кількості фільтрів менше 8 — $n = 1$); γ — густина розчину (для розчинних баків — $1,09 \text{ т/м}^3$, для витратних — $1,01 \text{ т/м}^3$).

4.8 Дегазація води

У природних водах найчастіше знаходяться такі гази, як вільна вуглекислота CO_2 , кисень O_2 , сірководень H_2S . Усі гази обумовлюють корозію металів, а вільна вуглекислота ще й агресивна до бетону. Комплекс заходів, які пов'язані з видаленням із води розчинених газів, називається дегазацією. Методи для дегазації води поділяються на фізичні і хімічні.

Фізичні методи передбачають контакт води з повітрям, в якому парціальний тиск цього газу наближений до нуля. Під час видалення вільної вуглекислоти та сірководню це забезпечується аеруванням води, а при видаленні кисню потрібне нагрівання або зниження тиску (вакуумні або термічні дегазатори).

Видалення з води газів здійснюється в дегазаторах таких типів:

- плівкові з різними типами насадок;
- струменево-плівкові (контактні градирні);
- барботажні;

- вакуумні;
- змішувальні.

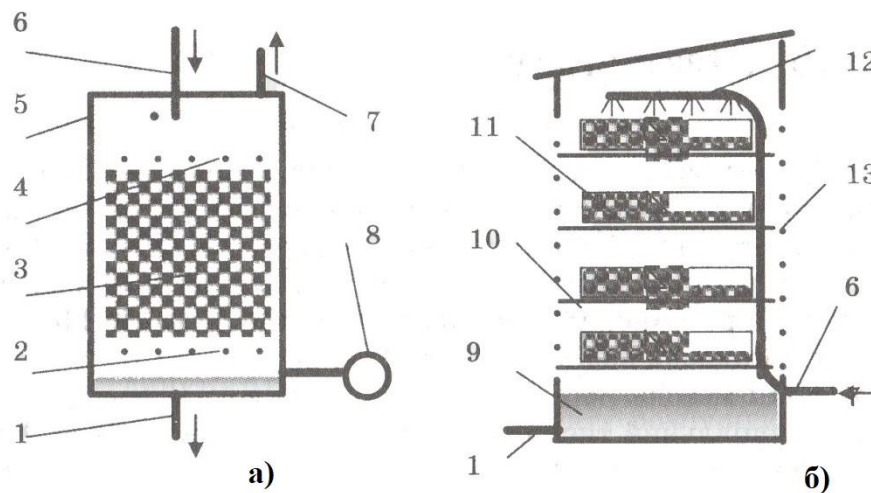
Основним елементом плівкових та струменево-плівкових дегазаторів є насадка. Насадка може бути:

- шматкова (пемза, гравій, кокс, подрібнений кварц);
- шахова (цегла, яка поставлена на ребро);
- хордова (дерев'яні щити з дощок, які вкладаються плазом із зазором між ними);
- керамічна зі складною геометричною формою;
- кільця Рашига (кільця з розміром 25 x 25 x 3 мм).

Насадка повинна мати по можливості найбільшу поверхню контакту та найбільшу поруватість, малу масу, повинна бути дешевою, мати хімічну стійкість і механічну міцність та малий опір для проходження повітря.

Плівкові дегазатори працюють в умовах протитоку дегазованої води й повітря, яке подається вентилятором, або без примусової подачі повітря. На рис. 4.12 а, зображено плівковий дегазатор, який завантажений кільцями Рашига.

Вихідна вода по трубопроводу 6 потрапляє у верхній відсік дегазатора, рівномірно розподіляється по площі плитою 4 з короткими 48 патрубками зливу води на насадку, проходить її і зливається в піддон, з якого відводиться через гідрозатвор. Гідрозатвор не дає можливості виходити повітрю разом із водою. Повітря подається в піддон вентилятором 8. Над піддоном на висоті 600 мм знаходиться дірчаста перегородка, на якій і розташовані кільця Рашига. Повітря після проходження насадки проходить крізь 8 патрубків у плиті 4 і через трубу 7 виходить назовні. Патрубки для проходження повітря перекриваються зверху ковпачками, що попереджає винос водяних бризок. Такі дегазатори використовуються за будь якої продуктивності для глибокої очистки від вільної вуглекислоти, сірководню, часткового видалення вільної вуглекислоти при знезалізованні води.



1 — відведення дегазованої води; 2 — дірчаста перегородка; 3 — насадка;
 4 — плита з патрубками; 5 — корпус; 6 — подача води на дегазацію;
 7 — відведення повітря; 8 — вентилятор; 9 — резервуар; 10 — підтримуючі
 конструкції; 11 — коробки з насадкою; 12 — трубчатий розподільник води;
 13 — жалюзійна решітка

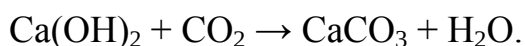
Рисунок 4.12 — Схема дегазаторів: а) плівкового з примусовою подачею повітря; б) струменево-плівкового без примусової подачі повітря.

Замість кілець Рашига може використовуватись дерев'яна хордова насадка. Проте дегазатори з хордовою насадкою використовуються за продуктивності до $150 \text{ м}^3/\text{год}$. У струменево-плівкових дегазаторах (рис. 4.12 б) насадкою є шматки гравію, коксу, шлаку з розмірами шматків 30-50 мм, які вкладаються в ящики з дірчастим дном. Висота шару насадки в кожному ящику 300-400 мм, проміжок між ними 600 мм. Вода зверху розподіляється по площі розподільною, дірчастою системою 12 і вільно стікає через насадку в резервуар. Одночасно вода продувається повітрям через жалюзійні стінки. Такі дегазатори використовуються для часткового видалення вільної вуглекислоти при продуктивності установки до $50 \text{ м}^3/\text{год}$. У барботажних дегазаторах вода в об'ємі барботується повітрям. Ці дегазатори використовуються при продуктивності установки до $20 \text{ м}^3/\text{год}$ для глибокого видалення вільної вуглекислоти. У вакуумних дегазаторах проходить відсмоктування газу вакуумним пристроєм з верхньої частини

герметичного апарата завантаженого кільцями Рашига. Вони використовуються для видалення кисню або спільно кисню і вільної вуглекислоти. Площа дегазатора визначається на основі допустимої щільності зрошення, яка залежно від глибини дегазації й типу насадки коливається від 40 до 60 м³/(м²·год). Питомі витрати повітря становлять 15-20 м³/м³ води.

Сірководень із води з рН 6-8 можна видаляти біохімічним методом із використанням тіонових бактерій типу *Thiobacillus thioparus*. Вихідна вода подається в нижню частину реактора біохімічного окиснення, проходить знизу до гори шар гравію або щебеню крупністю 5-30 мм і товщиною 1 м. Одночасно знизу подається повітродувкою повітря в кількості 2-5 м³/м³ води. Над засипкою повинен бути шар води в 1 м, із верхньої частини якого вода перетікає на швидкий фільтр. Вода в реакторі перебуває 0,5-1 год. Додатково у воду перед реакторами можна вводити до 3 мг/дм³ азоту й фосфору, а перед фільтрами — 25-35 мг/дм³ сульфату алюмінію.

Хімічний метод передбачає зв'язування розчинених газів хімічними елементами. Так, для видалення вільної вуглекислоти можна використати вапно:



Дозу вапна призначають за формулою:

$$D_B = 2800 [\text{CO}_2] / 22 C_B,$$

де [CO₂] — вміст у воді вільної вуглекислоти мг/дм³; C_B — вміст СаО у вапні, %.

Прояснення здійснюють у відстійниках або прояснювачах із завислим осадом і фільтрах.

Кисень видаляється обробкою води сульфідом натрію, гідразиним, фільтруванням крізь легкоокиснюючі речовини, наприклад, металева стружка оброблена сульфідом натрію або оксидом сірки, фільтруванням крізь

електронообмінні або електроноіонообмінні смоли. Так, при обробці сульфітом натрію відбувається така реакція:

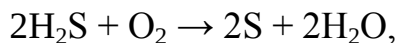


Доза сульфіту натрію розраховується за формулою:

$$Д = 1,1 \cdot \beta \cdot [\text{O}_2],$$

де $[\text{O}_2]$ — концентрація розчиненого кисню у воді, мг/дм^3 ; β — теоретичні витрати реагенту на зв'язування 1 мг розчиненого кисню, мг .

Сірководень окислюють киснем повітря, хлором, озоном, перманганатом калію, оксидом хлору, зв'язують гідроксидом заліза. При аеруванні води відбувається реакція:



при цьому воду попередньо слід підкислити хлоридною або сульфатною кислотою до $\text{pH } 5,5$, а після видалення сірководню необхідно стабілізувати воду шляхом підлугування.

Приклад розрахунку дегазатора наведено у підрозділі 4.9.3 як частина двоступеневої схеми знесолення води.

4.9 Установки демінералізації води

4.9.1 Пом'якшення води за допомогою вапняно-содового методу

Пом'якшення — це видалення з води катіонів кальцію та магнію, які обумовлюють твердість води. Для пом'якшення води використовують наступні методи:

- реагентний;
- термохімічний;
- катіонітовий.

Реагентний метод полягає у зв'язуванні іонів кальцію та магнію хімічними речовинами в малорозчинні та осідаючі — карбонат кальцію і гідроксид магнію. Залежно від використаної хімічної речовини він поділяється на вапняний, содовий, їдконатрійовий, фосфатний.

Термохімічний ґрунтується на нагріванні води до температури 100-165°C разом із реагентом — вапном, содою.

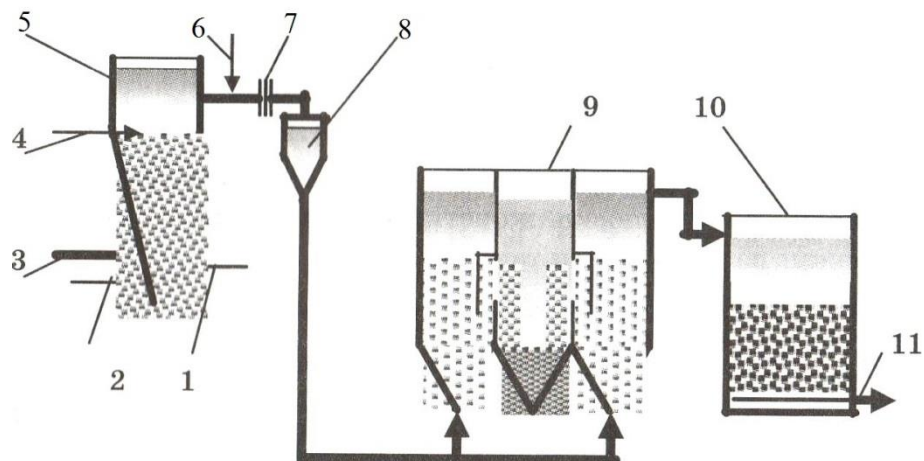
Катіонітовий метод передбачає обмінювання іонообмінними матеріалами (катіонітами) катіонів натрію або водню на катіони кальцію та магнію (Na-катіонування, H-катіонування).

Перший спосіб застосовують для часткового пом'якшення поверхневих вод одночасно з проясненням та знебарвленням, другий — для глибокого пом'якшення невеликих кількостей підземних вод, третій, як правило, для підготовки води котелень, де потрібне глибоке пом'якшення. Для пом'якшення води на господарсько-питні потреби рекомендується використовувати реагентний вапняний або вапняно-содовий метод.

Реагентне пом'якшення води здійснюють на установках, до складу яких належить реагентне господарство, змішувач або вихоревий реактор, прояснювачі із завислим осадом або відстійники з камерами утворення пластівців, швидкі фільтри, пристрої для стабілізаційної обробки пом'якшеної води. При вапняному або вапняно-содовому пом'якшенні (рис. 4.13) вихідна вода надходить у вихровий реактор або змішувач, у нижню частину якого вводяться реагенти. Вихровий реактор завантажується кварцовим піском або мармуровою крихтою крупністю 0,1-0,3 мм, які виконують функції контактної маси.

Карбонат кальцію відкладається на зернах контактної маси. Вона періодично видаляється. Вода подається в реактор по дотичній зі швидкістю 0,8-1 м/с і підтримує контактну масу в завислому стані. У вихрових реакторах гідроксид магнію практично не затримується, а тому при невеликій його кількості прояснювач можна не встановлювати ($0,05\text{Ca}^{2+}$ більше карбонатної твердості, а концентрація магнію не перевищує 15 мг/дм^3). Для видалення зависі використовуються прояснювачі із завислим осадом при швидкості руху води в осаді 1,3-1,6 мм/с. Кількість завислих речовин на виході з прояснювача повинна становити не більше 15 мг/дм^3 . Швидкість

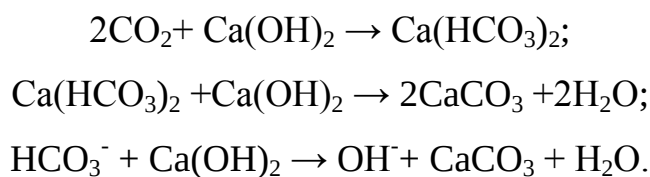
фільтрування на фільтрах приймається до 6 м/год за крупності зерен 0,5-1,25 мм та товщині шару засипки 0,8-1 м.



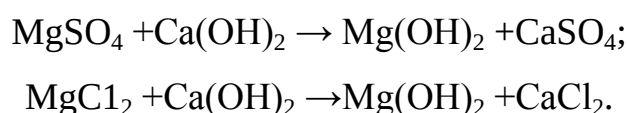
1 — введення вапна; 2 — введення соди; 3 — подача вихідної води;
4 — подача контактної маси; 5 — вихровий реактор; 6 — введення коагулянту; 7 — шайбовий змішувач; 8 — повітрявідділювач;
9 — прояснювач із завислим осадом; 10 — фільтр; 11 — відведення води

Рисунок 4.13 — Схема вапняно-содового пом'якшення води.

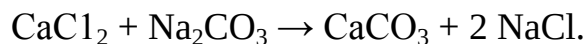
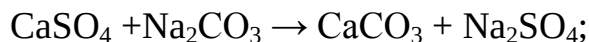
Хімізм процесу при зниженні карбонатної твердості описується такими рівняннями:



За вапняного способу (декарбонізації води) знижується лужність води та еквівалентно знижується твердість води. Паралельно магній осаджується у вигляді гідроксиду магнію. Додатково для покращення очищення вводиться коагулянт, найчастіше використовується залізний купорос — $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (при високих рН сульфат алюмінію дає розчинні у воді алюмінати). Вапно осаджує магній, але замінює магнієву жорсткість на кальцієву:



Некарбонатна твердість знижується кальцинованою содою:



Доза (мг/дм³) приймається для вапна з розрахунку на СаО:

$$D_{\text{в}} = 28[(\text{CO}_2)/22 + J_{\text{к}} + (\text{Mg}^{2+})/12 + D_{\text{к}}/E_{\text{к}} + 0,5];$$

для соди з розрахунку на Na₂CO₃:

$$D_{\text{с}} = 53 (J_{\text{нк}} + D_{\text{к}}/E_{\text{к}} + 1),$$

де (CO₂) — концентрація у воді вільного оксиду карбону (IV), мг/дм³; J_к — карбонатна твердість, мг-екв/дм³; (Mg²⁺) — вміст магнію, мг/дм³; D_к — доза коагулянту, мг/дм³; E_к — еквівалентна маса коагулянту, мг/мг-екв (для хлориду феруму — 54); J_{нк} — некарбонатна твердість, мг-екв/дм³.

Фосфатування використовується для глибокого пом'якшення води (до 0,04-0,05 мг-екв/дм³) із попередньою обробкою іншими способами та температурі води не більше 100 °С. При введенні тринатрійфосфату або динатрійфосфату утворюються важкорозчинні сполуки Са₃(РО₄)₂ та Mg₃(РО₄)₂, які добре випадають в осад.

Термохімічний метод використовується при обробці підігрітої води парових котлів. При більш гарячій воді утворюються великі і важкі пластівці, які краще затримуються у відстійниках або прояснювачах із шаром завислого осаду та фільтрах. Витрати вапна значно зменшуються через видалення вільної вуглекислоти під час підігріву.

Приклад. Визначити дози та добові потреби реагентів для реагентного вапняно-содового пом'якшення води при продуктивності $Q = 5000 \text{ м}^3/\text{добу}$, у воді міститься CO_2 - 95,5 мг/дм³, Ca^{2+} - 154,5 мг/дм³, Mg^{2+} - 18,2 мг/дм³, HCO_3^- - 409,5 мг/дм³, каламутність – $M = 336 \text{ мг/дм}^3$.

Загальна твердість води дорівнює:

$$J_3 = \frac{\text{Ca}^{2+}}{20,04} + \frac{\text{Mg}^{2+}}{12,16} = \frac{154,5}{20,04} + \frac{18,2}{12,16} = 9,2 \text{ мг - екв/дм}^3.$$

Карбонатна твердість:

$$\mathcal{J}_K = \frac{\text{HCO}_3^-}{61,02} = \frac{409,1}{61,02} = 6,7 \text{ мг-екв/дм}^3.$$

Некарбонатна твердість становить:

$$\mathcal{J}_{HK} = \mathcal{J}_3 - \mathcal{J}_K = 9,2 - 6,7 = 2,5 \text{ мг-екв/дм}^3.$$

Приймаємо дозу коагулянту (хлорне залізо): $\mathcal{D}_K = 35 \text{ мг/дм}^3$, дозу вапна визначаємо за формулою:

$$\mathcal{D}_B = \left(\frac{95,5}{22,01} + \frac{409,1}{61,02} + \frac{18,2}{12,16} + 0,5 \right) = 381 \text{ мг/дм}^3.$$

При вмісті СаО в технічному вапні $m = 70\%$ загальна кількість зависі:

$$\begin{aligned} C &= M + 50 \left(\mathcal{J}_3 + \mathcal{J}_K + \frac{\text{CO}_2}{22,01} + 0,5 \right) + 29 \frac{Mg^{2+}}{12,16} + \mathcal{D}_B \frac{100 - m}{100} = \\ &= 336 + 50 \left(9,2 + 6,7 + \frac{95,5}{22,01} + 0,5 \right) + 29 + 381 \frac{100 - 70}{100} = \\ &= 1529 \text{ мг/дм}^3. \end{aligned}$$

Розрахункова доза соди за формулою становитиме:

$$\mathcal{D}_C = 53 \left(2,5 + \frac{35}{54} + 1 \right) = 217 \text{ мг/дм}^3.$$

При вмісті реагентів в товарному продукті вапна $m = 70\%$, соди $m_C = 95\%$, коагулянту $m_K = 98\%$ добові потреби реагентів становлять:

- вапна $M = \frac{5000 \cdot 381 \cdot 100}{70 \cdot 1000} = 2722 \text{ кг};$
- соди $M_C = \frac{5000 \cdot 217 \cdot 100}{95 \cdot 1000} = 1144 \text{ кг};$
- коагулянту $M_K = \frac{5000 \cdot 35 \cdot 100}{98 \cdot 100} = 179 \text{ кг}.$

4.9.2 Пом'якшення води за допомогою іонообмінного методу

Для пом'якшення води найчастіше використовують сильно кислотні катіоніти в Na-формі. Якщо вихідна вода характеризується високим солевмістом, процес може бути реалізовано у дві стадії – спочатку на слабкокислотному, а потім на сильнокислотному катіоніті. Слабкокислотні катіоніти також використовують для зниження твердості та лужності у водах із високим вмістом гідрокарбонат-іонів HCO_3^- .

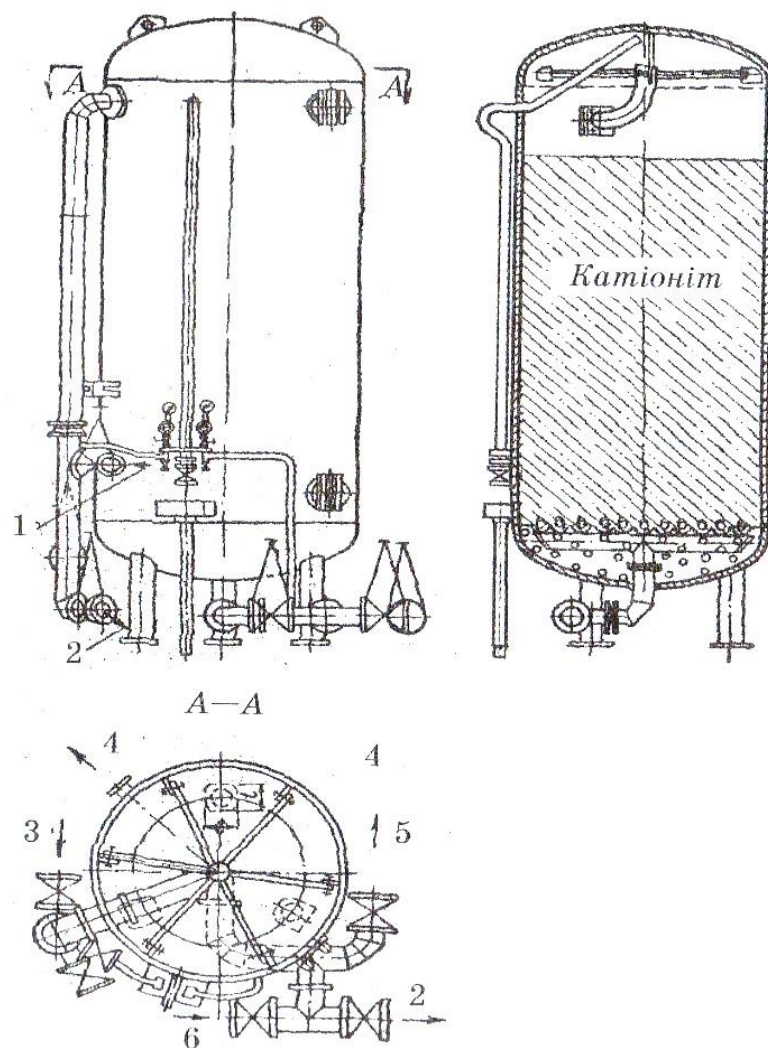
Найчастіше у промисловості використовують апарати – іонообмінні фільтри.

Фільтри можуть бути вертикальними, горизонтальними, двокамерними. Вертикальні фільтри мають діаметр від 1 до 3,4 м та висоту 3,7-5,3 м, горизонтальні – діаметром 3 м мають довжину 5,5 м. Вертикальні фільтри (рис. 4.14) можуть бути двох типів: Na-катіонітовий та H-катіонітовий. Останні відрізняються антикорозійним покриттям внутрішньої поверхні, виготовленням арматури та розподільних систем із нержавіючої сталі, верхньою розподільною системою у вигляді зірочки.

Розрахунок установок починається з визначення діаметра стандартних фільтрів (добуток їх площі фільтрування на кількість робочих фільтрів має бути менший від ділення продуктивності в $\text{м}^3/\text{год}$ на нормальну швидкість фільтрування) і перевіркою за максимальною швидкістю, коли один фільтр знаходиться на регенерації. крім того, слід передбачити один резервний фільтр.

Загальна твердість води після Na-катіонітових фільтрів може становити 0,05-0,1 г-екв/ м^3 . Такого ступеня пом'якшення достатньо для систем гарячого водопостачання. Проте для багатьох котлів, насамперед екранованих, потрібен вищий ступінь обробки води, тому використовується послідовне натрій-катіонування на двох ступенях, яке забезпечує зниження загальної твердості води до 0,01 г-екв/ м^3 . На очищення повинна поступати вода після попереднього очищення, з каламутністю не більше 5-8 $\text{мг}/\text{дм}^3$, окислюваністю не більше 15 $\text{мг}/\text{дм}^3$.

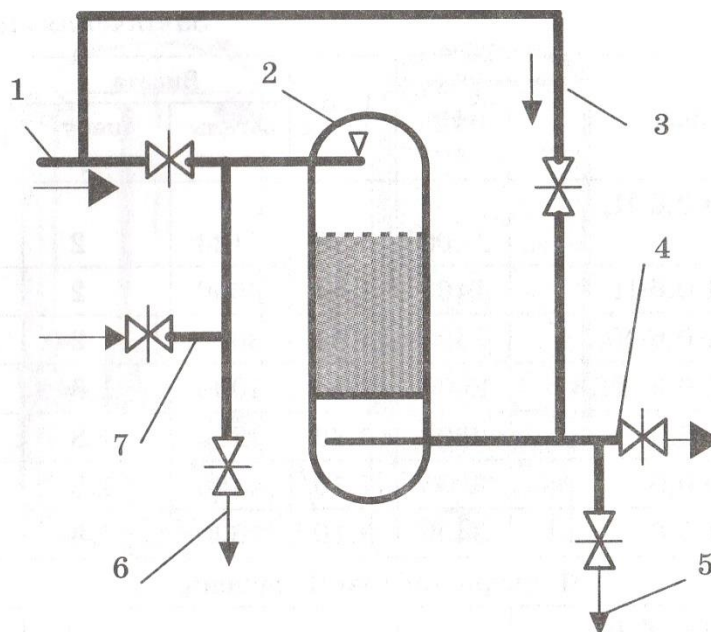
На фільтри II ступеня в розрахунку поступає вода твердістю 0,1 $\text{мг-екв}/\text{дм}^3$. Швидкість фільтрування на них приймається до 40 $\text{м}/\text{год}$, висота шару катіоніту – 1,5 м, робоча ємність поглинання – 250-300 г-екв/ м^3 , питомі витрати солі на регенерацію катіоніту – 300-400 г/г-екв при концентрації розчину солі 8-11%, втрати напору – 13-15 м. Встановлюється, звичайно, два фільтра.



1 – подача регенеруючого розчину; 2 – скид; 3 – подача вихідної води;
4 – гідроперевантаження; 5 – відведення обробленої води; 6 – підведення
промивної води

Рисунок 4.14 – Вертикальний катіонітовий фільтр.

Технологічна схема Na-катіонування з напірними фільтрами передбачає (рис. 4.15) подачу вихідної води трубопроводом 1 у верхню частину фільтра. Вода проходить крізь катіоніт зверху донизу, збирається дренажною системою і вже пом'якшеною відводиться трубопроводом 4. Дренаж фільтрів – трубчастий з корозійних матеріалів. Швидкість фільтрування приймається 10 м/год при загальній твердості води 10-15 г-екв/дм³, та 25 м/год при загальній твердості до 5 г-екв/дм³.



1 – подача вихідної води; 2 – катіонітовий фільтр; 3 – подача розпушувальної води; 4 – відведення зм'якшеної води; 5 – відведення регенеруючого розчину; 6 – відведення води в каналізацію; 7 – подача регенеруючого розчину

Рисунок 4.15 – Принципова схема Na-катіонітового пом'якшення води.

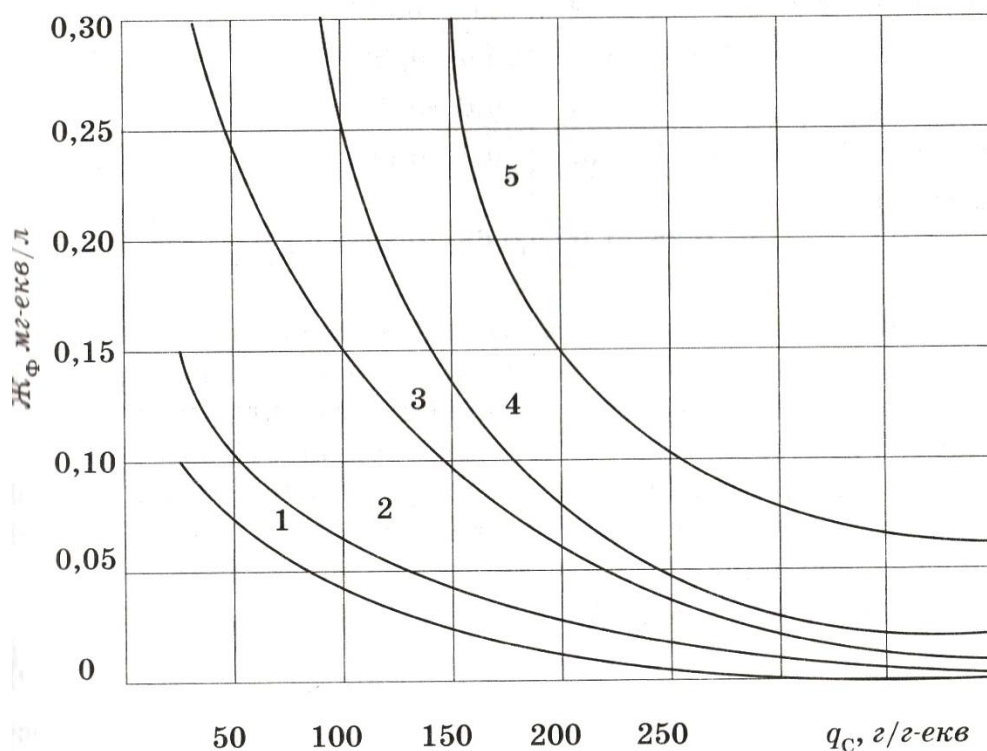
Мірою вичерпання робочої обмінної ємності катіоніту проводять регенерацію. При регенерації виконують такі операції:

- розпушують катіоніт вихідною водою, подаючи її трубопроводом 3 і відводячи трубопроводом 6, інтенсивність подачі води приймається $3-4 \text{ дм}^3/\text{с} \cdot \text{м}^2$, тривалість розпушування – 20-30 хв;
- регенерують 5-8% розчином солі, який подається із солерозчинника трубопроводом 5, швидкість фільтрування розчину приймається 3-4 м/год;
- відмивають катіоніт вихідною водою, подаючи її трубопроводом 1 і скидаючи трубопроводом 5, швидкість фільтрування призначається 6-8 м/год, питомі витрати відмивочної води – $5-6 \text{ м}^3/\text{м}^3$ катіоніту, відмивка закінчується при зниженні твердості відмитої води до $0,1 \text{ мг-екв}/\text{дм}^3$.

Витрати солі (кг) на одну регенерацію фільтра визначаються за формулою:

$$P = fHE_{\text{роб}}a/1000,$$

де f – площа фільтра, м^2 ; H – висота шару катіоніту (2 – 2,5 м); $E_{\text{роб}}$ – робоча обмінна ємність катіоніту, г-екв/м^3 ; a – питомі витрати солі на 1 г-екв робочої обмінної ємності (рис. 4.16).



1 – при твердості вихідної води до 5 мг-екв/дм^3 ; 2 – при твердості до 7 мг-екв/дм^3 ; 3 – при твердості до 10 мг-екв/дм^3 ; 4 – при твердості до 15 мг-екв/дм^3 ; 5 – при твердості до 20 мг-екв/дм^3

Рисунок 4.16 – Графік для визначення питомих витрат солі на регенерацію залежно від потрібної твердості фільтрату $\mathcal{J}_\phi$ та твердості вихідної води.

Об'єм катіоніту, м^3 , у фільтрах визначається за формулою:

$$W = 24q\mathcal{J}_B/nE_{\text{роб}},$$

де q – витрати пом'якшеної води, $\text{м}^3/\text{год}$; $\mathcal{J}_B$ – загальна твердість вихідної води; г-екв/дм^3 , n – кількість регенерацій у добу (1-3).

Н-катіонітові фільтри подібні до Na-катіонітових за принципом роботи, але регенеруються 1-1,5% розчином сульфатної кислоти з швидкістю пропуску її через катіоніт не меншою 10 м/год .

Для отримання води необхідної твердості й лужності використовується Н-Na-катіонування, яке може бути паралельним або послідовним. Таке катіонування ґрунтується на змішуванні двох потоків води – кислої після водень-катіонування та лужної після натрій-катіонування.

За паралельного Н-Na-катіонування частина вихідної води проходить Н-катіонітові фільтри, а частина Na-катіонітові. Обидва фільтри змішуються у певній пропорції та подаються на дегазатор для видалення вільної вуглекислоти, яка утворюється при Н-катіонуванні й змішуванні Н- та Na-катіонованих вод. За такою схемою можна отримати воду із загальною жорсткістю 0,1 г-екв/м³ і залишковою лужністю 0,4 г-екв/м³, у вихідній воді повинен бути сумарний вміст хлоридів до 4 мг-екв/м³ і сульфатів до 2 г-екв/м³.

Послідовне Н-Na-катіонування використовується при високих значеннях твердості та солевмісту вихідної води. Суть цього способу полягає в тому, що частина води проходить через Н-катіонітові фільтри і змішується потім з іншою частиною води, проходить дегазатор і наприкінці Na-катіонітовий фільтр, а при необхідності й другий ступінь Na-катіонітових фільтрів. Цей спосіб використовується за потреби отримання пом'якшеної води 0,01 г-екв/м³ і лужністю 0,7 г-екв/м³.

Кількість води яка повинна проходити через Н-катіонітові фільтри, дорівнює:

$$Q_3 = \frac{J_K - a}{J_0 - A} Q ,$$

де J_K – карбонатна твердість вихідної води, г-екв/м³; J_0 – загальна твердість вихідної води, г-екв/м³; Q – загальні витрати води, які поступають на очищення; a – залишкова лужність фільтрату, г-екв/м³; A – сумарний вміст аніонів сильних кислот.

Приклад. Розрахувати натрій-катіонітову установку продуктивністю $Q=90 \text{ м}^3/\text{год}$, яка завантажена катіонітом КУ-2, вихідна вода має твердість 7 мг-екв/дм^3 , співвідношення катіонів натрію та твердості води – $0,5$, твердість фільтрату повинна становити $0,05 \text{ мг-екв/дм}^3$.

Відповідно до рис. 4.16 при вихідній твердості 7 та фільтраті $0,05 \text{ мг-екв/дм}^3$ для регенерації питомої витрати солі становлять 125 г/г-екв , а коефіцієнт ефективності регенерації $\alpha=0,68$. Коефіцієнт зниження ємності катіоніту через вплив катіонів натрію $\beta=0,7$, повна обмінна ємність катіоніту становить 1700 г-екв/м^3 , питомі витрати води на його відмивку приймаємо $6 \text{ м}^3/\text{м}^3$ катіоніту.

Робоча обмінна ємність за формулою:

$$E_{\text{роб}} = 0,68 \cdot 0,7 \cdot 1700 - 0,5 \cdot 67 = 788 \text{ г-екв/дм}^3.$$

Визначають потрібний об'єм катіоніту:

$$W = \frac{24 \cdot 90 \cdot 7}{1 \cdot 788} = 19,2 \text{ м}^3.$$

Прийнято два фільтри ФИПа-1-2,6-0,6, кожний з яких має об'єм катіоніту $9,6 \text{ м}^3$, діаметр фільтра $2,6 \text{ м}$, висота шару катіоніту – $1,8 \text{ м}$, площа фільтрування $F = 5,3 \text{ м}^2$. Витрати солі:

$$Q_c = 5,3 \cdot 1,8 \cdot 788 \cdot 125 / 1000 = 945,6 \text{ кг}.$$

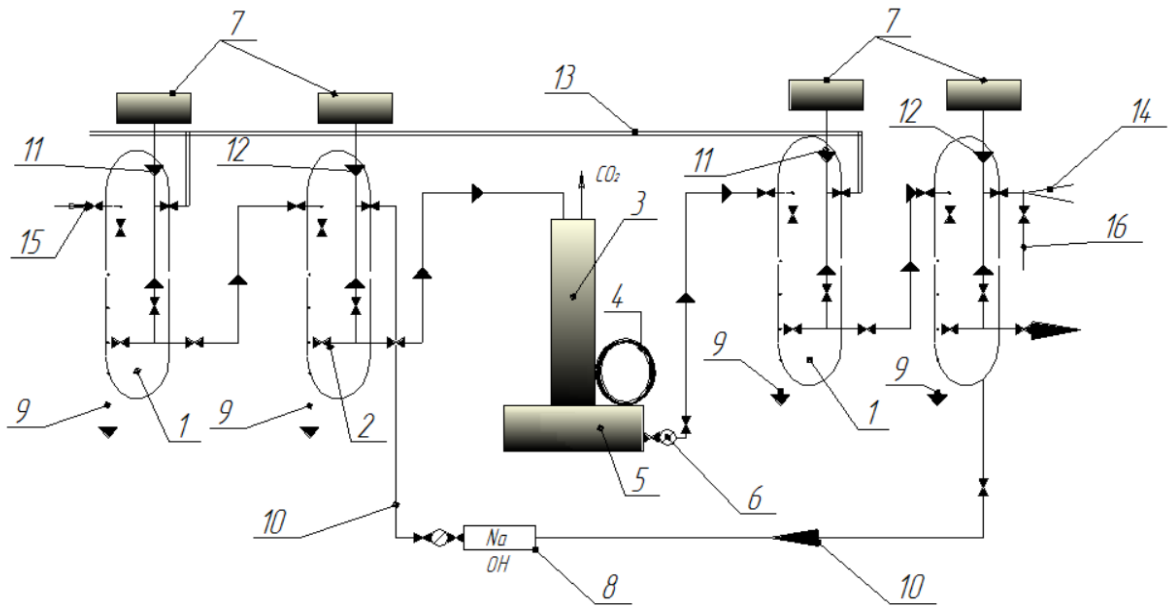
Тривалість фільтроциклу:

$$T = \frac{9,6 \cdot 788 \cdot 2}{90 \cdot 7} = 24 \text{ год}.$$

4.9.3 Розрахунок установки двоступеневої схеми знесолення води

Іонообмінне знесолення використовується при загальному солемісті не більше 2 мг/дм^3 . Знесолення за цим способом передбачає послідовне проходження вихідної води через Н-катіонові й аніонові фільтри (рис. 4.17).

Залежно від ступеня знесолення таких спарених фільтрів може бути або один, або два, або три. Так, для знесолення солемісту до $0,5 \text{ мг/дм}^3$ можна використовувати двоступеневі установки.



- 1 – Н-катіонітові фільтри I,II ступенів; 2 – аніонітові фільтри I,II ступенів;
3 – декарбонізатор; 4 – вентилятор; 5 – проміжний резервуар; 6 – насос;
7 – баки з водою для спущування іонітової засипки; 8 – бак для збирання розчину NaOH для повторного використання; 9 – трубопровід скиду у каналізацію; 10 – трубопровід NaOH для потворного використання;
11 – трубопровід подавання води на розпушування Н-катіонітових фільтрів;
12 – трубопровід подавання води на розпушування аніонітових фільтрів;
13 – трубопровід подавання розчину кислоти на регенерацію катіонітових фільтрів; 14 – трубопровід подавання NH_3 ; 15 – трубопровід подавання вихідної води; 16 – трубопровід подавання розчину NaOH на регенерацію аніонітових фільтрів; 17 – трубопровід знесоленої води

Рисунок 4.17 – Схема двоступеневої установки знесолення води.

Приклад. Запроектувати двоступеневу установку для знесолення води, схема якої наведена на рис. 4.17. Продуктивність – 3600 м³/добу, тривалість роботи на добу – 20 год., сума катіонів у вихідній воді – 27,7 мг-екв/дм³.

Таблиця 4.2 – Склад вихідної води

Катіони				Аніони			
	мг/дм ³		мг-екв/дм ³		мг/дм ³		мг-екв/дм ³
Na ⁺	190	23	8,27	Cl ⁻	92	35,5	2,61
Ca ²⁺	236	20,04	11,80	SO ₄ ²⁻	694	48	14,46
Mg ²⁺	90	12,16	7,40	HCO ₃ ⁻	604	61,02	9,91
K ⁺	10,5	39	0,27	SiO ₃ ²⁻	28,5	38,04	0,76
$\sum K$	526,5		27,74	$\sum A$	1418,5		27,74
Загальний солевміст		1945				мг/дм ³	
Залишковий солевміст		0,4				мг/дм ³	
Загальна лужність		9,9				мг-екв/дм ³	
Середня концентрація SiO ₃ ²⁻ у знесоленій воді		0,11				мг-дм ³	
Сума катіонів у фільтраті аніонітових фільтрів I ступеня		0,33				г-екв/м ³	

Катіонітові фільтри (I ступінь). Об'єм катіоніту, м³, у фільтрах розраховується за формулою:

$$W_{KI} = \frac{\alpha_1 \cdot Q_{\text{доб}} \cdot \sum K}{2 \cdot E_{\text{роб}}} = \frac{1.1 \cdot 3600 \cdot 27.74}{2 \cdot 284} = 193 \text{ м}^3,$$

де $\alpha_1 = 1.1$ – коефіцієнт, що враховує витрати води для власних потреб установки; $Q_{\text{роб}}$ – продуктивність установки, м³/добу; $\sum K$ – сума катіонів у вихідній воді; $E_{\text{роб}}$ – робоча обмінна здатність катіоніту, г-екв/м³.

$$E_{\text{роб}} = \alpha_E^H \cdot \gamma \cdot E_{\text{повн}} - 0.5 \cdot q^I \cdot \sum K = 0,85 \cdot 0,8 \cdot 500 - 0,5 \cdot 4 \cdot 27,74;$$

$$E_{\text{роб}} = 284 \text{ г-екв/м}^3,$$

де α_E^H – коефіцієнт ефективності регенерації, який приймаємо відповідно до питомих витрат H_2SO_4 , приймаємо $q_{\text{пит}} = 100 \text{ г/г-екв}$; γ – коефіцієнт, що враховує зниження обмінної здатності Н-катіоніту за катіоном Na^+ порівняно з обмінною здатністю за катіонами твердості; q^I – питомі витрати проясненої води м^3 на відмивку 1 м^3 Н-катіоніту – 4.

При висоті засипки $h = 2,5 \text{ м}$, сумарна площа катіонітових фільтрів (м^2) становить:

$$\sum F_{KI} = \frac{W_{KI}}{h} = \frac{193}{25} = 77,2 \text{ м}^2.$$

Приймається діаметр катіонітового фільтра $D_{KI} = 3400 \text{ мм}$. Кількість робочих фільтрів:

$$N_{KI} = \frac{\sum F_{KI} \cdot 4}{\pi \cdot D_{KI}} = \frac{77,2 \cdot 4}{3,14 \cdot 3,4^2} \approx 9 \text{ шт.}$$

Фактична сумарна площа робочих фільтрів:

$$\sum F_{KI\Phi} = N_{KI} \cdot \frac{\pi \cdot D_{KI}^2}{4} = 9 \cdot \frac{3,14 \cdot 3,4^2}{4} = 82 \text{ м}^2.$$

Приймається два резервних. Таким чином, загальна кількість фільтрів катіонітових фільтрів I ступеня = 11.

Швидкість фільтрування через Н-катіонітові фільтри I ступеня при нормальному режимі V_n не повинна перевищувати 25 м/год .

$$V_{\text{н.ф.}} = \frac{Q_{\text{роб}}}{20 \cdot \sum F_{KI\Phi}} = \frac{3600}{20 \cdot 82} = 2,2 \text{ м/год} < 25 \text{ м/год}.$$

Об'єм катіоніту у фільтрах II ступеня (г-екв/м^3) визначається за формулою, при цьому слід врахувати, що замість суми катіонів підставляємо $C_{\text{Na}^+} = 7/40 \text{ мг-екв/дм}^3$ – вміст натрію у воді, що надходить до Н-катіонітових фільтрів II ступеня внаслідок проникнення натрію у фільтрат I ступеня, приймається рівним концентрації Na^+ у вихідній воді, мг-екв/м^3 , а робочу обмінну ємність сульфовугілля 200 мг-екв/м^3 . Питомі витрати води на відмивку катіоніту прийнято $q_{\text{пит}} = 10 \text{ м}^3/\text{м}^2$ води.

Визначають об'єм катіоніту (м^3):

$$W_{KH} = \frac{1,1 \cdot 3600 \cdot 7,4}{2 \cdot 200} = 73,3 \text{ м}^2.$$

При висоті засипки 1,5 м, сумарна площа катіонітових фільтрів:

$$F_{KH} = \frac{73,3}{1,5} = 48,9 \text{ м}^2.$$

Діаметр катіонітового фільтру II ступені $D_{KH} = 3000$ мм.

Таким чином, кількість фільтрів становить:

$$N_{KH} = \frac{48,9 \cdot 4}{3,14 \cdot 3^2} \approx 7 \text{ шт.}$$

Фактична сумарна площа робочих фільтрів:

$$\sum F_{KH\Phi} = 7 \cdot \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} = 49,5 \text{ м}^2.$$

Прийнято 2 резервних фільтри, таким чином маємо загальну кількість катіонітових фільтрів II ступеня у 9 одиниць. Швидкість фільтрування води через катіонітовий фільтр II ступеня при нормальному режимі V_n становить:

$$V_{н.ф.} = \frac{3600}{20 \cdot 49,5} = 3,6 \text{ м/год} < 25 \text{ м/год.}$$

Аніонітові фільтри (I ступені). Тривалість роботи кожного фільтра між регенераціями, год:

$$T = \frac{20}{n} - t_1 - t_2 - t_3 = 10 - 0,25 - 1,5 - 3 = 5,25 \text{ год,}$$

де n – число регенерацій за добу ($n = 1 - 2$); t_1 – час розпушення аніоніту; t_2 – тривалість пропуску через аніоніт регенераційного розчину луку; t_3 – тривалість відмивки аніоніту після регенерації.

Сумарна площа аніонітових фільтрів при швидкості фільтрування 10 м/год:

$$\sum F_{AI} = \frac{Q_{роб}}{n \cdot T \cdot V_{PA}} = \frac{3600}{2 \cdot 5,25 \cdot 10} = 34 \text{ м}^2.$$

Об'єм аніоніту:

$$W_{AI} = \frac{1,1 \cdot 3600 \cdot 26,98}{2 \cdot 600} = 89 \text{ м}^3.$$

За висоти $h = 2,5$ м, потрібна площа фільтрування:

$$F_{AI} = \frac{89}{2,5} = 35,6 \text{ м}^2,$$

що трохи більше за площу, визначену за швидкістю фільтрування. За діаметр аніонітового фільтру прийнято величину $D_{AI} = 3000$ мм. Кількість робочих фільтрів:

$$N_{AI} = \frac{35,6 \cdot 4}{3,14 \cdot 3^2} \approx 5 \text{ шт.}$$

Прийнято, що резервних фільтрів – 1 шт. Таким чином, загальна кількість аніонітових фільтрів I ступені – 6 шт.

Аніонітові фільтри II ступені. Робоча об'ємна здатність аніонітових фільтрів з аніонітом АВ-17 (г-екв/м³) обчислюється так:

$$E_{AII}^{\text{розп}} = 420 - 0,5 \cdot 0,76 = 416 \text{ г-екв/м}^3.$$

Об'єм аніоніту за одної регенерації на одну добу дорівнює:

$$W_{AII} = \frac{1,1 \cdot 3600 \cdot 0,76}{1 \cdot 416} = 7,3 \text{ м}^3.$$

Прийнято діаметр аніонітового фільтру II ступені рівним 2000 мм. Кількість робочих фільтрів:

$$N_{AII} = \frac{7,3 \cdot 4}{1,5 \cdot 3,14 \cdot 3^2} \approx 2 \text{ шт.}$$

Швидкість фільтрування води через аніоніти II ступеня:

$$V = \frac{3600 \cdot 1,1}{20 \cdot 2 \cdot 3,14} = 31,5 \text{ м/год} > 25 \text{ м/год.}$$

Тому, прийнято 3 робочих фільтри та швидкість фільтрування 21 м/год. Прийнято 1 резервний фільтр, тому загальна кількість аніонітових фільтрів II ступеня = 4 шт.

Для декарбонізації води (видалення з води вільного CO_2) найбільш доцільними є плівкові дегазатори, завантажені насадками й обладнані вентиляторами для примусової подачі повітря знизу, тобто на зустріч води, що подається зверху. Насадкою прийняті керамічні кільця Рашига розміром 25x25x3 мм. Площа поперечного перерізу декарбонізатора (м²) становить:

$$F_{\text{декарб}} = \frac{Q_{\text{год}}}{P_0} = \frac{180}{60} = 3 \text{ м}^2,$$

де $Q_{\text{год}}$ – продуктивність установки, м³/год; P_0 – площа зрошення на 1 м² площі декарбонізатора (для кілець Рашига становить 60 м³/м²·год).

Висота шару насадки в декарбонізаторі $H = 5,7$ м.

Вентилятор декарбонізатора повинен забезпечувати подачу питомих витрат повітря $q_{\text{пит}} = 20 \text{ м}^3 / 1 \text{ м}^3$ води, що подається у декарбонізатор, тобто:

$$Q_{\text{п}} = q_{\text{пит}} \cdot q_{\text{год}} = 180 \cdot 20 = 3600 \text{ м}^3/\text{год},$$

де $q_{\text{год}}$ = годинні витрати установки, $\text{м}^3/\text{год}$.

Необхідний напір, що розвиває вентилятор, визначається з урахуванням втрат напору у насадці, приймаємо за 30 мм вод. ст. на 1 м висоти шару насадки, а також інших величин втрат напору ($h_{\text{W}} = 30\text{-}40$ мм вод. ст.), тобто:

$$\sum h = 30 \cdot h_{\text{нас}} + h_{\text{W}} = 30 \cdot 5,7 + 30 = 201 \text{ мм вод. ст.}$$

4.9.4 Опріснення води за допомогою електродіалізу

Електродіалізом називають процес видалення з розчинів іонів розчинних речовин шляхом вибіркового переносу крізь мембрани, які є селективними до цих іонів, у постійному електричному полі.

Метод електродіалізу ґрунтується на декількох явищах фізичної хімії: електролітичній дисоціації, тобто розчиненні солей у воді з утворенням іонних пар; спрямованому русі іонів у електричному полі; а також селективності іонообмінних мембран по відношенню до іонів, які мають заряди різних знаків.

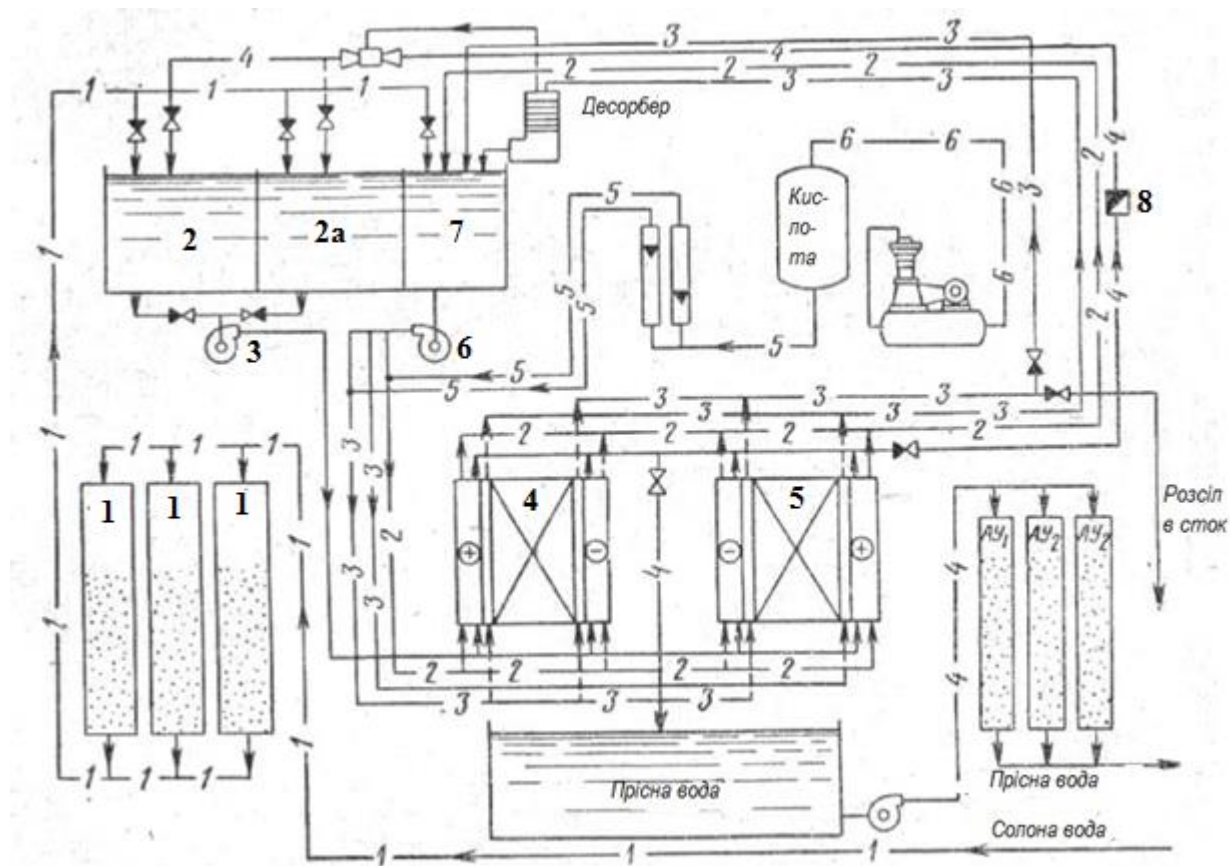
Найпростіша схема установки являє собою ванну з двома йонселективними мембранами у вигляді мікропористих перегородок. Ванна розділена на три камери з електродами, зануреними в крайні комірки. Після включення струму відбувається перенесення йонів у крайні комірки – катіонів до катоду, а аніонів до аноду та опріснення води в середній камері.

Матеріалом для мембран слугує перхлорвінілова тканина, мікропористий вініпласт. Катод виготовляється з нержавіючої сталі, а анод – з магнетиту.

Метод електродіалізу слід застосовувати при опрісненні води з солевмістом від 3000 до 10 000 $\text{мг}/\text{дм}^3$ для отримання води зі вмістом солей не нижче 500 $\text{мг}/\text{дм}^3$. Вихідна вода, що надходить на електродіалізу

установку, може містити завислих речовин не більше 2 мг/дм^3 , заліза не більше $0,1 \text{ мг/дм}^3$, сполук бору не більш $0,1 \text{ мг/дм}^3$ та мати кольоровість не вище 20 град., окиснюваність не більше $5 \text{ мг/дм}^3 \text{ O}_2$.

Опріснювальні електродіалізнi установки можуть бути проточнi, циркуляцiйнi порцiйнi та неперервної дiї. Схема циркуляцiйної порцiйної установки приведена на рис. 4.18.



- 1 – солонa вода; -2 – частково опріснена вода; -3 – розсіл; -4 – аноліт для підкислювання; -5 – кислота; -6 – стиснене повітря;
- 1 – фільтр; 2, 2a – баки; 3, 6 – насоси; 4, 5 – електродіалізнi ванни;
- 7 – розсолний бак; 8 – солемір

Рисунок 4.18 - Схема опріснювальної електродіалізнi установки.

Після проходження крізь фільтр 1 солонa вода направляється в баки 2, звідки насос 3 прокачує її крізь дві паралельно діючі електродіалізнi ванни 4 та 5. Проходячи крізь ванни, частково знесолена вода (ділюат) знову

поступає в бак 2. Одночасно насос 6 забезпечує циркуляцію розсолу по етапу: розсольний бак 7 – ванни 4 та 5 – розсольний бак 7. Між тим вихідна солена вода заповнює сусідній бак 2а.

Тривалість циркуляції опріснюваної води по етапу циркуляції бак 2 - ванни 4 і 5 - бак 2 залежить від значень солеміра 8, змонтованого на виході опріснюваної води з ванн. Як тільки вміст солей знижується до 1 г/дм^3 , датчик солеміра 8 подає імпульс автоматичній системі управління. Засувка на трубопроводі, що подає опріснену воду з бака 2 споживачеві, відкривається; засувка на всмоктуючому трубопроводі з бака 2 до насоса 3 закривається.

Одночасно відкривається засувка на всмоктуючій лінії з бака 2а, де до початку другого циклу вже накопичилась вода, що опріснюється. Таким чином насос 3 переключається на подачу води до ванни з баку 2а, тоді як спорожнілий бак 2 наповнюється наступною порцією вихідної солоної води. Засувки на трубопроводах, що подають солону воду до баків 2 та 2а, також мають автоматичне керування. Імпульси на відкриття засувок подають реле рівня, які розміщені на висоті 100 мм від дна бака. Імпульси на закривання засувок подають реле рівня, змонтовані у верху бака, після заповнення його солоною водою.

Продування розсольного тракту здійснюється безперервно; скидаємий розсіл слугує для промивання анодного і катодного просторів ванн. Після промивання анодного простору в розсолі міститься вільний хлор. Його можна вилучити у вакуумному десорбері і застосовувати для знезараження води. Щоб уникнути відкладень карбонату кальцію та гідроксиду магнію в катодному просторі і в розсольних камерах здійснюється підкислення розсолу до величини рН 4.

Приклад. Розрахувати електродіалізну опріснювальну установку. Основним завданням розрахунку електродіалізної установки є визначення: 1) напруги і сили постійного струму, що підводиться до ванн; 2) площі мембран і їх кількості.

Витрата води: $Q_{\text{добу}} = 165 \text{ м}^3/\text{добу}$ або $Q_{\text{год}} = 7 \text{ м}^3/\text{год}$. Хімічний склад солоної води наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Хімічний склад вихідної води

Катіони:	Склад іонів:	
	мг/дм ³	мг-екв/дм ³
Ca^{2+}	370	18,5
Mg^{2+}	715	58,5
Na^+	2985	128,6
K^+	730	18,7
Всього:	4773	224,6
Аніони:	Склад іонів:	
	мг/дм ³	мг-екв/дм ³
Cl^-	5455	153,8
SO_4^{2-}	3130	65,2
HCO_3^-	341	5,6
Всього:	8926	224,6

Загальна мінералізація води складає $P=13699 \text{ мг/дм}^3$ або $13,7 \text{ г/дм}^3$; рН 7,2.

Йонна сила розчину буде:

$$\begin{aligned} \mu &= [(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}) + 0,5 \cdot (\text{Na}^+ + \text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-)] \cdot 10^{-3} = \\ &= [(18,5 + 58,8 + 65,2) + 0,5 \cdot (128,6 + 5,6 + 153,8)] \cdot 10^{-3} \approx \\ &\approx 0,3. \end{aligned}$$

Перевіряємо значення йонної сили розчину за емпіричною формулою:

$$\mu = 0,000022 P,$$

де P – загальна мінералізація вихідної води.

Тоді $\mu = 0,000022 \cdot 13\,699 \approx 0,3$.

Середнє значення солевмісту:

$$C_{\text{сер}} = 13\,699 : 224,6 \approx 61 \text{ мг/мг-екв.}$$

Коефіцієнт допустимого концентрування солей в розсольних камерах:

$$K = \frac{19 \cdot \mu \cdot 10^{-4}}{[Ca^{2+}][SO_4^{2-}]}$$

Отже, для даного прикладу при двократному перенасиченні розсолу гіпсом:

$$K = \frac{19 \cdot 0,3 \cdot 10^{-4}}{9,3 \cdot 10^{-3} \cdot 32,6 \cdot 10^{-3}} \approx 2.$$

Таким чином, концентрацію солей в розсолі можна довести до $224,6 \cdot K \approx 450$ мг-екв/дм³.

Кількість солей, які видаляються за одну годину, для зниження загального солевмісту води з 13699 до 1000 мг/дм³ буде складати:

$$Q_{\text{год}}(C_{\text{вих}} - C_{\text{зал}}) = 7 \left(224,6 - \frac{1000}{61} \right) \approx 1460 \text{ г-екв/год.}$$

Кількість електрики, яку необхідно пропустити крізь електродіалізу ванну для видалення з воду солей:

$$[I\tau]_{\text{факт}} = \frac{26,8 \cdot (C_{\text{вих}} - C_{\text{зал}}) \cdot Q_{\text{год}}}{\eta_e}, \text{ А} \cdot \text{год},$$

де $C_{\text{вих}}=224,6$ мг-екв/дм³; $C_{\text{зал}}=1000$ мг/дм³; $C_{\text{сер}}=1000: 61=16,4$ мг-екв/дм³; I – сила струму, А; τ – час його протікання, год; $\eta_e=0,82$ – коефіцієнт виходу за струмом для води, яка опріснюється із солевмістом 0,225 г-екв/дм³ (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 - Залежність коефіцієнту виходу за струмом від солевмісту води при електродіалізі

Солевміст води, яка опріснюється, г-екв/дм ³	0,02	0,03	0,04	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Коефіцієнт виходу за струмом, η_e	0,88	0,87	0,863	0,858	0,84	0,823	0,815	0,805	0,8

Тоді

$$[I\tau]_{\text{факт}} = \frac{26,8 \cdot (224,6 - 16,4) \cdot 7}{0,82} \approx 47630 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Оптимальна густина струму при солевмісті води 13,7 г/дм³ складає $j = 0,0117 \text{ А/см}^2$ (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 - Оптимальна густина струму для електродіалізних установок

Склад вихідної води, г/дм ³	Розрахункова оптимальна густина струму j , А/см ²	
	для циркуляційної установки	для 1 ступеня прямотечійної багатоступеневої установки
15	0,008	0,032
	0,012	0,042
	0,006	0,028
	0,008	0,032
7,5	0,007	0,022
	0,009	0,031
	0,005	0,016
	0,007	0,022
2,5	0,005	0,032
	0,008	0,015
	0,004	0,011
	0,006	0,015
Примітка. Величини j дані для камер з сепараторами із полівінілхлориду. Для сепараторів із капрону (плетених) величину j потрібно зменшувати на 10%.		

Тоді площа мембрани:

$$F_m = [I\tau]_{\text{факт}} \cdot j = 47630 : 0,0117 \approx 40,7 \cdot 10^5 \text{ см}^2.$$

Приймаємо мембрани розмірами 0,7х500х1500 мм.

Площа одної мембрани:

$$f = K_m(50 \times 150) = 0,75(50 \times 150) = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2,$$

де $K_m = 0,75$ – коефіцієнт екранування мембрани із пароніту.

Потрібне число парних мембран n в ванні:

$$n = \frac{F_m}{f} = \frac{40,7 \cdot 10^5}{5,6 \cdot 10^3} \approx 730 \text{ шт.}$$

Приймаємо чотири паралельно діючих ванни з числом камер $n=730/4 \approx 160$ в кожній.

Джерело постійного струму, який подається в ванни, - випрямляч на кремнієвих діодах.

Необхідна напруга на клеммах випрямляча електричного струму залежить від питомої електропровідності.

Для води, яка опріснюється, питома електропровідність дорівнює:

$$\lambda_B = k_e \cdot C^{1-n},$$

де λ_B - питома електропровідність опрісняємої води; $k_e=1/8300$; C - еквівалентна концентрація розчину, тобто кількість мг-екв розчиненої речовини в 1 дм³ розчину.

Значення $(1 - n)$ складають: для солоної морської води 0,905, для підземних вод з солевмістом 6,1 г/дм³ 0,875 і з солевмістом 3 г/дм³ 0,89.

Тоді відповідно на початку і наприкінці циклу:

$$\lambda_B = \frac{C_{\text{вих}}^{0,905}}{8300} = \frac{224,6^{0,905}}{8300} \approx 0,016 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1} = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1};$$

$$\lambda'_B = \frac{C_{\text{кін}}^{0,905}}{8300} = \frac{16,4^{0,905}}{8300} = 0,00151 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1} = 0,151 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}.$$

Для розсолу при двократній його концентрації питома електропровідність дорівнює:

$$\lambda_p = K_e (2C)^{0,905} = \frac{450^{0,905}}{8300} \approx 0,03 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}.$$

Внутрішній електричний опір одної камери ванни складає:

$$R = \frac{1}{f} \cdot \left[\frac{d \cdot (1 + k_c)}{\lambda_B} + \frac{d \cdot (1 + k_c)}{\lambda_p} + \rho_K + \rho_A \right],$$

де d - відстань між мембранами, см; k_c - коефіцієнт збільшення електричного опору камери, $k_c = 0,34 \div 0,71$ у залежності від типу сітки

сепаратора турболізатора (приймаємо $k_c = 0,54$); λ_b та λ_p – питомі електропровідності ділюата і розсолу в камерах; ρ_K та ρ_A – питомий поверхневий опір катіонітової та аніонітової мембран, Ом·см².

Тоді відповідно на початку і в кінці циклу:

$$R_{\text{вих}} = \frac{1}{5,6 \cdot 10^3} \cdot \left[\frac{0,08 \cdot (1 + 0,54)}{1,6 \cdot 10^{-2}} + \frac{0,08 \cdot (1 + 0,54)}{3 \cdot 10^{-2}} + 30 + 40 \right] \approx \\ \approx 1,46 \cdot 10^{-2} \text{ Ом};$$

$$R_{\text{кін}} = \frac{1}{5,6 \cdot 10^3} \cdot \left[\frac{0,08 \cdot (1 + 0,54)}{0,151 \cdot 10^{-2}} + \frac{0,08 \cdot (1 + 0,54)}{3 \cdot 10^{-2}} + 35 + 45 \right] \approx \\ \approx 3 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}.$$

Мембранний потенціал дорівнює:

$$E_M = \frac{0,1lgC_p}{C_d},$$

де C_p та C_d – концентрація солей в розсолі та ділюаті.

Тоді:

на початку циклу:

$$E'_M = 0,1lg \frac{2 \cdot 13,7}{13,7} \approx 0,03 \text{ В};$$

в середині циклу:

$$E''_M = 0,1lg \frac{2 \cdot 13,7}{6,5} \approx 0,06 \text{ В};$$

в кінці циклу:

$$E'''_M = 0,075lg \frac{2 \cdot 13,7}{1} \approx 0,33 \text{ В}.$$

Опір на ванну, необхідний для підтримки середньої розрахункової густини струму:

$$U = j \cdot f \cdot n \cdot R_{cp} + C_{сер} + 2n C_M^{cp},$$

де $j = 0,0117 \text{ А/см}^2$ – густина струму; $f = 5,6 \cdot 10^3 \text{ см}^2$ – площа одної мембрани; n - число мембран в ванні;

$$R_{\text{cp}} = \left(\frac{1,46 + 3}{2} \right) \cdot 10^{-2} = 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ Ом};$$

$E_e = 3 \div 4 \text{ В}$ – падіння опору на електродах (на аноді та катоді).

Отже,

$$U = 0,0117 \cdot 5,6 \cdot 10^3 \cdot 160 \cdot 2,3 \cdot 10^{-2} + 4 + 2 \cdot 160 \cdot 0,06 \approx 264 \text{ В}.$$

Для такої напруги опір густини потоку:

$$j = \frac{U - (E_e + 2nE_M)}{f \cdot nR}.$$

Тоді відповідно на початку та в кінці циклу:

$$j_{\text{поч}} = \frac{264 - (4 + 2 \cdot 160 \cdot 0,03)}{5,6 \cdot 10^3 \cdot 1,46 \cdot 10^{-2}} = 0,019 \text{ А/см}^2;$$

$$j_{\text{кін}} = \frac{264 - (4 + 2 \cdot 160 \cdot 0,33)}{5,6 \cdot 10^3 \cdot 160 \cdot 3 \cdot 10^{-2}} = 0,0057 \text{ А/см}^2.$$

В середньому за цикл при припущенні, що сила струму знижується протягом циклу за лінійним законом, густина струму буде:

$$j_{\text{ср}} = \frac{j_{\text{поч}} + j_{\text{кін}}}{2} = \frac{0,019 + 0,0057}{2} = 0,0124 \frac{\text{А}}{\text{см}^2},$$

що тільки на 6% вище оптимальної величини $j = 0,0117$.

Поляризуюча швидкість руху води та розсолу в камерах ванн:

$$v_{\text{к.д.}} = B \cdot \frac{j_{\text{кін}}^{1/p}}{C^{1/p} \cdot d_{\text{екв}}},$$

де $v_{\text{к.д.}}$ - критична швидкість руху води через камери, при зниженні якої виникає жорстка концентраційна поляризація мембран, см/с; $j_{\text{кін}}$ – густина струму, А/см²; C – середня концентрація розчинених солей в опрісненій воді в камері, мг-екв/дм³; B та p – параметри, що залежать від конструкції камери, типу турбулізатора-сепаратора, співвідношення коефіцієнтів дифузії розчинених у воді солей і її температури; можна прийняти $B = 2,5$; $p = 0,67$ і $1/p = 1,493$; $d_{\text{екв}}$ – еквівалентна відстань між мембранами, см.

Тоді

$$v_{\text{к.д.}} = 2,5 \cdot \frac{0,0057^{1,493}}{0,02^{1,493} \cdot 0,0114} = 3,3 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Продуктивність циркуляційних насосів для перекачки опрісненої води та розсолу:

$$Q_H = n \cdot t \cdot d \cdot b \cdot v_{\text{к.д.}},$$

де d – відстань між мембранами, дорівнює $0,8 \cdot 10^{-3}$ м; b – ширина проходу води в камері, дорівнює 0,42 м.

Отже, $Q_H = 160 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,42 \cdot 0,033 = 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ або $25 \text{ м}^3/\text{г}$.

Приймаємо два робочих кислотостійких насоса та один резервний марки 1,5X-9Д-1-41 продуктивністю по 14 $\text{м}^3/\text{год}$ для напору 14 м з електродвигуном потужністю по $N = 4,5$ кВт.

Витрата електроенергії на опріснення води:

а) постійного струму – власне на електродіаліз

$$W_{\text{пост}} = \frac{j_{\text{ср}} \cdot f \cdot U \cdot m}{1000};$$

тоді

$$W_{\text{пост}} = \frac{0,0124 \cdot 5,6 \cdot 10^3 \cdot 264 \cdot 4}{1000} \approx 73,3 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

б) змінного струму – на циркуляцію ділюата та розсолу

$$W_{\text{зм}} = 2N = 2 \cdot 4,5 = 9 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Витрата електроенергії на опріснення 1 м^3 води:

$$\frac{W_{\text{пост}} + W_{\text{зм}}}{Q_{\text{год}}} = \frac{73,3 + 9}{7} \approx 11,8 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^3}.$$

4.9.5 Опріснення води за допомогою електродеіонізації

Процес безперервної електродеіонізації передбачає три стадії, що відбуваються одночасно:

- іонний обмін, при якому іони, проходячи крізь шари іонообмінних смол, сорбуються на зернах катіоніту та аніоніту;
- безперервне відведення іонів крізь шари іонітів та іоноселективні мембрани в зону утворення концентрату;

- безперервна регенерація іоніту іонами H^+ та OH^- , одержаними в результаті електролізу молекул води під впливом постійного електричного струму.

Для реалізації цих процесів використовують спеціальні модулі електродеіонізації. В таких модулях є два типи проточних каналів: канал демінералізації (D-канал) та канали або камери концентрату (С-канали).

Один D-канал, одна катіонна мембрана, один С-канал та одна аніонна мембрана разом утворюють ЕДІ-комірку (рис. 4.19).

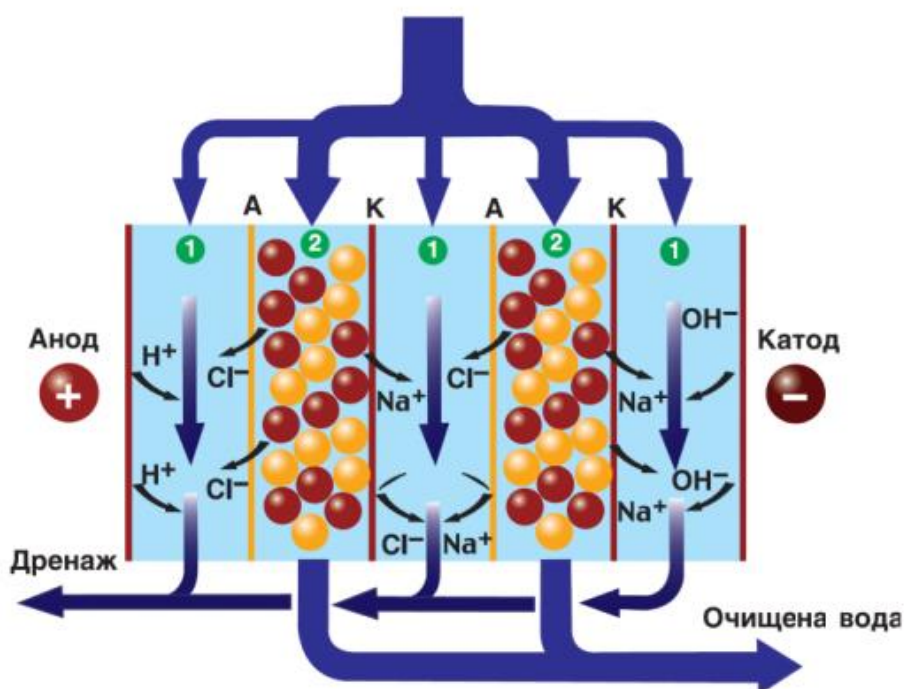


Рисунок 4.19 – Комірка електродеіонізації.

На практиці найчастіше використовують рулонні ЕДІ-елементи (рис. 4.20), але існують також і плоскорамні елементи.

Ступінь очищення цим методом залежить від солевмісту вихідної води та може досягати 99,9%.

Електродеіонізація є безреагентною технологією, тому сьогодні цей метод вважається найбільш перспективним у виробництві високоомної води.

Рулонні CEDI-елементи

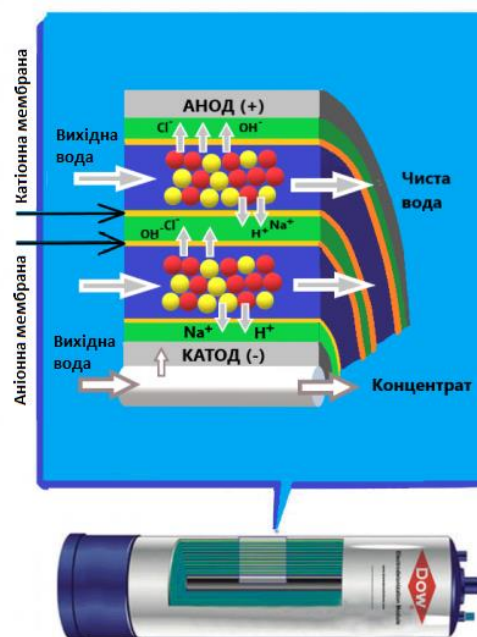
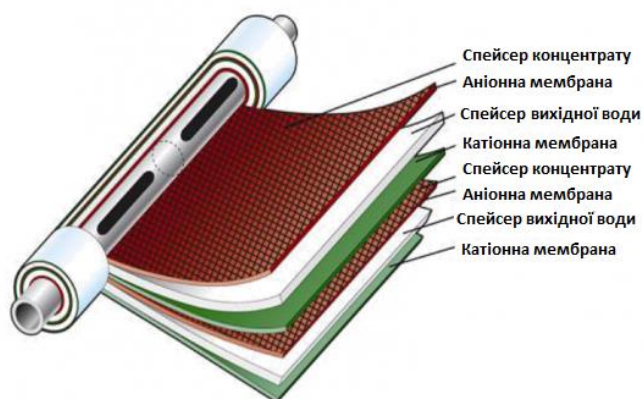


Рисунок 4.20 – Будова рулонного ЕДІ-елементу.

Приклади апаратного оформлення електродеіонізаційного процесу наведено на рис. 4.21.

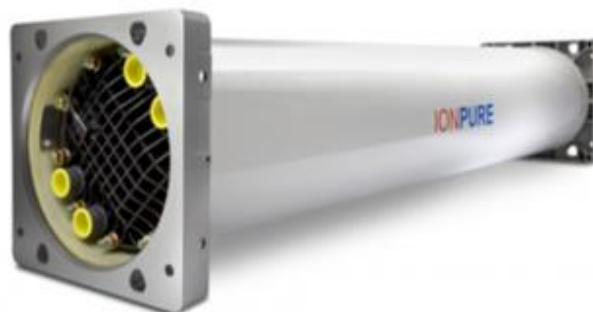
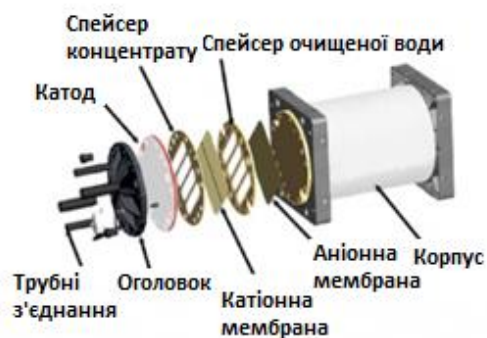
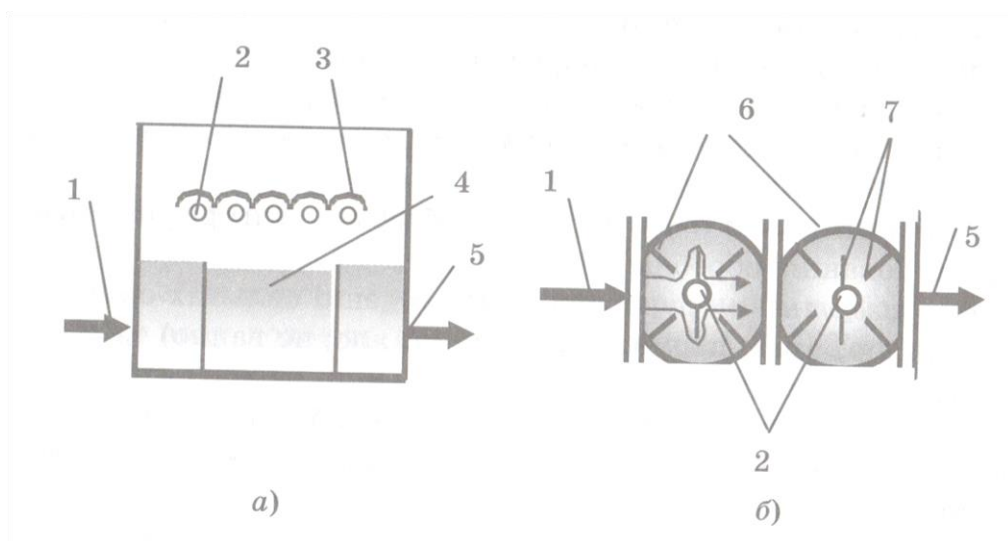


Рисунок 4.21 – Обладнання для електродеіонізації.

4.10 Розрахунок установок знезараження води

4.10.1 Установки УФ випромінювання

До знезаражування ультрафіолетовим випромінюванням за допомогою бактерицидних ламп піддають води підземних водних джерел, які мають колі-індекс не більше 1000 од./дм³, вміст заліза – не більше 0,3 мг/дм³. Довжина хвилі променів повинна становити 200-295 нм (оптимальна 260). Бактерицидні установки встановлюють на всмоктувальних і напірних лініях насосів другого підняття в окремих будівлях або приміщеннях. Робочих установок має бути не більше п'яти, резервних – одна. При продуктивності станції до 30 м³/год. застосовують установки з незануреним джерелом випромінювання у вигляді аргоно-ртутних ламп низького тиску. Якщо продуктивність станції 30-150 м³/год, то застосовують установки із зануреними ртутно-кварцовими лампами високого тиску (рис. 4.22).



а) із незануреними лампами; б) із зануреними лампами: 1 – подача вихідної води; 2 – лампи; 3 – відбивачі; 4 – лоток; 5 – відвід води; 6 – корпус із фланцями; 7 – спрямовуючі перегородки

Рисунок 4.22 — Установки для знезаражування води бактерицидним опроміненням.

В установках із незануреними лампами вода проходить горизонтальним потоком по лотках, над якими розташовані лампи з

відбивачами на висоті 124 мм над дном лотка. Довжина робочої частини лотка, м, дорівнює:

$$L_{\text{кан}} = l n_l,$$

де $l = 0,2-0,4$ м — відстань між касетами; n — кількість ламп.

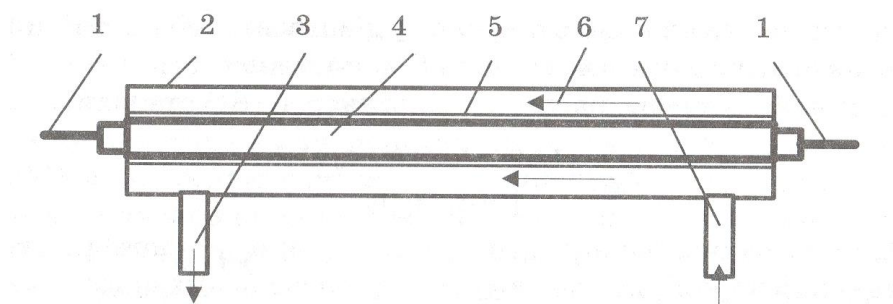
Вихід бактерицидної енергії дорівнює 11% за оптимальної довжини більшої частини випромінюваних хвиль. Установки з зануреними лампами є напірними (рис. 4.23) і, зазвичай, складаються з 3-5 камер, які з'єднуються одна з одною фланцевим з'єднанням. У середині кожного блоку знаходиться лампа, яку обтікає потік води.

Лампи дають промені в широкому діапазоні. А на потрібний діапазон використовується тільки 5% потужності.

Потужність потоку бактерицидної енергії (Вт) становить:

$$F_{\text{бак}} = \frac{Q_p \alpha_{\text{пог}} k l g\left(\frac{P}{P_0}\right)}{1563.4 \eta_{\text{л}} \eta_0},$$

де Q_p — розрахункові витрати води, м³/год; $\alpha_{\text{пог}}$ — коефіцієнт поглинання опромінюваної води, см⁻¹ (для глибоких підземних вод — 0,1 см⁻¹, для інших — 0,15 см⁻¹); $k = 2500$ мкВт·с/см² — коефіцієнт опірності бактерії; $\eta_{\text{л}}$ — коефіцієнт використання бактерицидного потоку ламп (для занурених ламп — 0,9, не занурених — 0,75); $\eta_0 = 0,9$ — коефіцієнт використання бактерицидного опромінення; P/P_0 — ступінь знезараження.



1 — електричний кабель; 2 — корпус; 3 — відвідний патрубок; 4 — бактерицидна лампа; 5 — кварцовий чохол; 6 — напрямок потоку води; 7 — підвідний патрубок

Рисунок 4.23 — Принципова схема напірної бактерицидної установки.

Приклад. Розрахувати бактерицидну установку для водозабору.
 Продуктивність – $q_p = 150 \text{ м}^3/\text{год}$, коли-індекс 1000 од./дм^3 , вода ґрунтова.
 Коли-індекс очищеної води приймаємо 3 од./дм^3 .

Потрібний бактерицидний потік:

$$F = \frac{150 \cdot 0,15 \cdot 2500 \lg\left(\frac{3}{1000}\right)}{1563,4 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 133,26 \text{ Вт.}$$

Потрібна кількість ламп ПКР-7:

$$n_{\text{л}} = \frac{133,26}{35} = 3,8 = 4 \text{ шт.}$$

Прийнято дві установки ОВ-АКХ-1 по 3 лампи в кожній.

Витрати електроенергії:

$$E = \frac{1000 \cdot 2 \cdot 3}{150} = 40 \text{ Вт} \cdot \frac{\text{год}}{\text{м}^3}.$$

Втрати напору в установці:

$$H = 0,000022 \cdot 3 \left(\frac{150}{2}\right)^2 = 0,37 \text{ м.}$$

Передбачається ще одна резервна установка.

Приклад. Розрахувати бактерицидну установку. Продуктивність $q_p = 30 \text{ м}^3/\text{год}$, інфільтраційна вода, $\alpha_{\text{ноз}} = 0,15 \text{ см}^{-1}$, коли-індекс – 1000 од./дм^3 .
 Коли-індекс очищеної води – 3 од./дм^3 .

Потрібний бактерицидний потік

$$F_{\text{бак}} = - \frac{30 \cdot 0,15 \cdot 2500 \lg\left(\frac{3}{1000}\right)}{1563,4 \cdot 0,75 \cdot 0,9} = 32 \text{ Вт.}$$

Кількість ламп БУВ-60П для установки ОВ-ЗН:

$$n_{\text{л}} = 32/4 = 8 \text{ шт.}$$

Витрати електроенергії:

$$E = 60 \cdot 8/30 = 16 \text{ Вт} \cdot \text{год}/\text{м}^3.$$

Довжина каналу:

$$L_{\text{кан}} = 0,2 \cdot 8 = 1,6 \text{ м.}$$

Ширина каналу $B = 0,88$ м (трохи менша довжини лампи, яка дорівнює $0,91$ м). Для покращення циркуляції потік розбивається на три секції, шириною $(1,6/3) 0,53$ м.

Висота шару – $0,12$ м, загальна висота корпусу – $0,37$ м.

4.10.2 Установки використання гіпохлориту натрію

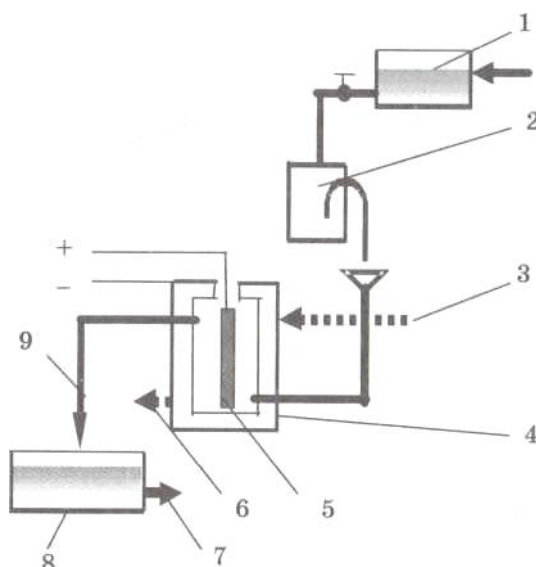
Приклад. *Розрахувати бактерицидну установку для водозабору. Продуктивність $q_p = 150$ м³/год, коли-індекс 1000 од./дм³, вода ґрунтова. Коли-індекс очищеної води – 3 од./дм³.*

Використовуємо установку 2В75А14, продуктивністю 150 м³/год, потрібна потужність $1,4$ кВт, кількість ламп – 14 , розміри $1450 \times 800 \times 1500$ мм, кількість установок – дві (одна робоча, одна резервна).

Хлор найчастіше використовується на станціях водоочищення для знезараження. При цьому може використовуватись рідкий хлор, хлорне вапно, гіпохлорит натрію. Доза хлору для знезаражування підземних вод призначають $0,7-1$ мг/дм³ активного хлору, для поверхневих вод – $2-3$ мг/дм³. Тривалість контакту хлору і гіпохлориту натрію з водою має бути $30-60$ хв.

На станціях із витратами хлору до 50 кг/добу можна використовувати для знезаражування води гіпохлорит натрію, який готують із розчину кухонної солі електролітичним способом. Установки поділяються на проточні та порційні. До їх складу входять електролізери, різнотипні баки. Принципова схема порційної установки зображена на рис. 4.24.

Розчин солі 10% концентрації подають у бак постійного рівня звідки він витікає з постійними витратами. Після наповнення бачка-дозатора спрацьовує сифон і зливає певний об'єм розчину в електролізер. Під дією електричного струму в електролізері утворюється гіпохлорит натрію. Нові порції розчину солі виштовхують гіпохлорит натрію у витратний бак, з якого він дозується насосом-дозатором, дозатором Хованського тощо.



1 – бак постійного рівня; 2 – бачок-дозатор із сифоном; 3 – подача охолоджуючої води; 4 – електролізер; 5 – анод; 6 – відведення охолоджуючої води; 7 – до насоса-дозатора; 8 – бак-накопичувач; 9 – зливна трубка
Рисунок 4.24 – Установка КГ-13 для приготування гіпохлориту натрію.

Електролізери розміщують у сухому опалюваному приміщенні. їх має бути не більше трьох, один із яких резервний. На приготування 1 кг активного хлору витрачають 15-8 кг кухонної солі. Слід передбачати вологе зберігання солі. Об'єм баків для зберігання солі становить $1,5 \text{ м}^3$ на 1 т солі. Кількість баків – не менше двох. На складі зберігають 30-добовий запас. Бак-накопичувач має вміщати об'єм гіпохлориту натрію не менше, ніж на 12 год.

У промисловості гіпохлорит натрію (NaOCl) отримують методом хлорування каустичної або кальцинованої соди. Постачають його замовнику в бочках, місткістю $50\text{-}60 \text{ дм}^3$ у вигляді розчинів із концентрацією приблизно 15 % активного хлору, тобто $140\text{-}160 \text{ г/дм}^3$, густиною розчину $\gamma = 1,2 \text{ кг/дм}^3$. Найбільшим постачальником гіпохлориту натрію є Дніпродзержинське ВО “Азот”. У вихідну воду гіпохлорит натрію вводять за допомогою ежектора. Гіпохлорит натрію подається у вихідну воду ежектором або насосом-дозатором.

Витрати гіпохлориту натрію ($\text{дм}^3/\text{год}$) дорівнюють:

$$q_{\text{хл}} = \frac{(0,3 - L^{0,3}) \cdot Q_p}{1000 \cdot K_{\text{хл}} \cdot \gamma},$$

де L – довжина шляху (км), транспортування води до найвіддаленішого споживача при швидкості транспортування в межах 1 м/с; $K_{\text{хл}}$ – концентрація активного хлору в розчині гіпохлориту (0,15); Q_p – розрахункові витрати води, м³/год.

Приклад. Визначити добові витрати бочок технічного гіпохлориту натрію. Повна продуктивність станції водопідготовки $q_e = 1000$ м³/год, шлях транспортування води до найвіддаленішого споживача – $L = 10$ км зі швидкістю 1 м/с, станція працює цілодобово.

Витрати гіпохлориту натрію:

$$Q_{\text{хл}} = \frac{(0,3 + 10^{0,3})1000}{1000 \cdot 0,15 \cdot 1,2} = 12,75 \text{ дм}^3/\text{год}.$$

За добу витрачається гіпохлориту натрію $Q_d = 24 \cdot 12,75 = 306 \text{ дм}^3$.

При використанні 60 літрових бочок на добу їх необхідно 6 шт.

Приклад. Розрахувати установку для знезаражування води поверхневого джерела гіпохлоритом натрію. Продуктивність очисної станції $Q_{oc} = 200$ м³/добу. Доза хлору – $D_{Cl} = 3$ мг/дм³.

Добові витрати хлору становитимуть:

$$Q_{Cl} = \frac{200 \cdot 3}{1000} = 0,6 \text{ кг/добу}.$$

Застосовуємо установку для приготування гіпохлориту натрію ЕА-1 (продуктивність 1 кг/добу). Передбачаються одна робоча й одна резервна установки. Потрібна кількість кухонної солі – $Q_c = 12 \cdot 0,6 = 7,2$ кг/добу. Передбачається мокре зберігання солі.

Об'єм баків Ж = $1,5 \cdot 7,2 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0,32$ м³. Кількість баків – 2 шт., об'єм кожного – 0,16 м³.

Об'єм баків-накопичувачів гіпохлориту:

$$W_{Б-Н} = \frac{200 \cdot 12 \cdot 3}{24 \cdot 10000 \cdot 1 \cdot 1} = 0,03 \text{ м}^3.$$

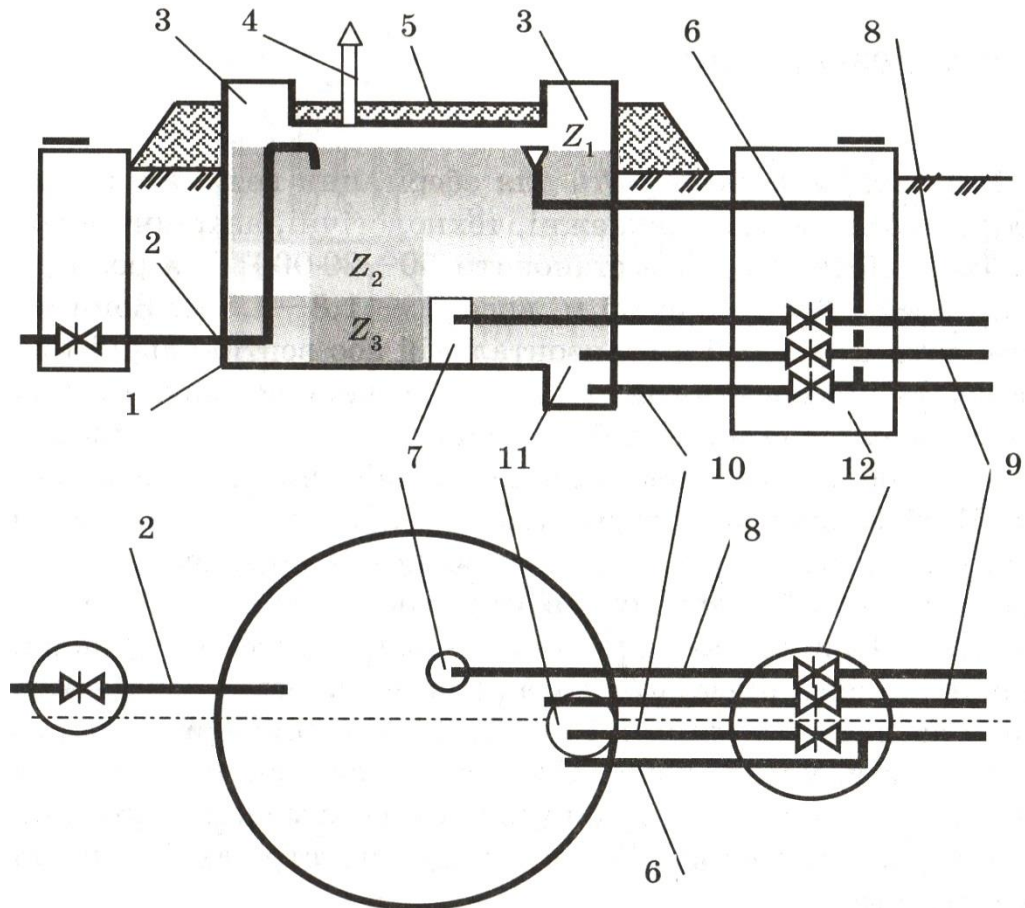
4.11 Резервуари

Резервуари застосовують для зберігання великих запасів води на господарські, пожежні, технологічні, аварійні потреби. Їхня місткість може становити 50-20 000 м³, а розмір у плані від 3×6 м до 66×66 м, висота – 1,8-4,8 м. Вони можуть бути круглими в горизонтальній або вертикальній площинах та прямокутними. Найчастіше використовуються закриті зверху, але можуть бути і відкритими. Резервуари роблять заглибленими в землю, напівзаглибленими або наземними. Щоб запобігти прогріванню води влітку, промерзанню взимку, резервуари обваловують місцевим ґрунтом. У цьому разі найменшу будівельну вартість мають напівзаглиблені резервуари. При високих рівнях ґрунтових вод та забруднених радіонуклідами підземних водах (Чорнобильська зона) резервуари роблять наземними. Резервуари виготовляють із залізобетону, буту, металу тощо. Найчастіше використовують залізобетонні, причому вони можуть бути як із монолітного, так і зі збірного залізобетону. Останні більш індустріальні, їх швидше будувати.

При очисних станціях будують резервуари чистої води. Принципову схему обладнання такого резервуара подано на рис. 4.25. Корпус резервуара напівзаглиблений у землю й обвалований ґрунтом 5.

Для того, щоб обслуговуючий персонал міг спускатися в резервуар, роблять кілька лазів. Вентиляційні труби забезпечують вентиляцію простору над поверхнею води. Нині такі труби обладнують ще спеціальними всмоктувальними фільтрами для очищення повітря від радіоактивного та інших забруднень. У резервуарі між позначками Z^3 і Z_2 зберігається непорушний пожежний запас, а між Z_1 і Z_2 — регульовальний і об'єм на власні потреби. Максимальний рівень води в резервуарі Z_1 , як правило,

перевищує позначку землі на 0,5-1 м, що забезпечує можливу фільтрацію з резервуара в ґрунт (а не навпаки) і сприяє збереженню високої якості води. Щоб вода в резервуарі не застоювалась, слід передбачити її перемішування. Для цього воду подають (трубопровід 2) з одного боку, а відбирають (трубопроводи 8, 9) з іншого.



- 1 – корпус резервуара; 2 – подавальний трубопровід; 3 – оглядові колодязі (лази); 4 – вентиляційна труба; 5 – обвалування; 6 – переливна труба;
 7 – колодязь для забезпечення непорушності пожежного запасу;
 8 – трубопровід для відбирання води для господарських потреб;
 9 – трубопровід для відбирання води на пожежні потреби; 10 – брудовідвідна труба; 11 – приямок; 12 – камера переключень

Рисунок 4.25 – Резервуар чистої води.

На трубопроводі відбирання води на господарські потреби обов'язково треба передбачити пристрій для збереження непорушності пожежного

запасу. Для цього використовують колодязь 7. Колодязь відкритий зверху, а позначка його верху перебуває на рівні пожежного запасу Z_2 . Тому коли при відбиранні води рівень зменшується до позначки Z_2 вода не потраплятиме до колодязя 7 і не надходитиме в трубопровід 8. Для забирання пожежного запасу на рівні дна резервуара передбачається трубопровід 9, до якого підключають пожежні насоси. З переповненням резервуара залишки води перетікають трубопроводом 6 у каналізацію. Періодично резервуари миють і дезінфікують. Брудну від миття і дезінфікуючого розчину воду відводять трубопроводом 10. Для того, щоб брудна вода повністю видалялася з резервуара, дно його має нахил у бік приямка. На всіх трубопроводах установлюють засувки, виведені або в окремі колодязі, або в загальну камеру керування роботою резервуара.

Непорушність пожежного запасу забезпечують (крім уже вказаного методу) установленням на трубопроводі 8 замість колодязя сифона, нижній зріз якого розміщують трохи вище дна, а перегин на рівні Z_2 . У вищій точці сифона роблять отвір діаметром 20 – 30 мм. Вода сифоном забирається з дна і подається трубопроводом 8. Це забезпечує обмін усього об'єму води, навіть пожежного. Коли рівень води доходить до отвору, повітря всмоктується в сифон, порушує вакуум і вода не потрапляє в трубопровід 8. Непорушності пожежного запасу можна досягти автоматизацією насосної станції. З цією метою в резервуар встановлюють датчики, і коли рівень води знижується до позначки Z_2 , господарські насоси відключаються і не всмоктують воду трубопроводом 8.

Щоб запобігти переповненню резервуара, на подавальному трубопроводі на рівні максимальної позначки встановлюють поплавковий клапан. Скидний трубопровід обов'язково підключають до каналізації через гідравлічний затвор, зворотний клапан і решітки. Його можна підключати до відкритої канами з розривом струменя.

У резервуарах із водою для питних потреб горловина люка повинна бути вищою за рівень засипки не менш ніж на 0,7 м. Висота засипки може

бути 0,5; 0,7; 1 м. Зараз практично всі резервуари забезпечуються показниками рівня і пристроями для передавання цих даних на насосні станції і диспетчерські пункти.

Для забезпечення надійності роботи потрібно, як мінімум два резервуари, що дає змогу виключати на ремонт, миття та дезінфекцію один із резервуарів. Резервуари можуть бути різних розмірів, проте пожежний запас повинен розподілятися між ними рівномірно. Повна місткість резервуарів чистої води становить:

$$W = W_{\text{рег}} + W_{\text{ВП}} + W_{\text{пож}},$$

де $W_{\text{рег}}$ – регулювальний об'єм, який визначається суміщенням графіка подавання води в резервуар від очисної станції і графіка роботи насосної станції другого підняття; $W_{\text{ВП}}$ – об'єм води на власні потреби очисної станції (дорівнює 3-14% кількості води, поданої споживачам); $W_{\text{пож}}$ – тригодинний пожежний запас, м³.

$$W_{\text{пож}} = W_{\text{год}} + 10,8(Q_{\text{пож}} - Q_{\text{НС-1}}),$$

де $W_{\text{год}}$ – об'єм води, яку споживає населений пункт за три суміжних години найбільших витрат; $Q_{\text{пож}}$ – витрати води на гасіння розрахункової кількості зовнішніх і внутрішніх пожеж, дм³/с; $Q_{\text{НС-1}}$ – подача насосної станції першого підняття, дм³/с.

Приклад. Визначити розміри резервуара чистої води при надходженні до нього води $Q_{\text{дmax}}=2447$ м³/добу; рівномірна подача протягом доби і відбір протягом 20 год. На власні потреби станція очистки потребує 10% витрат. Пожежогасіння: дві зовнішні пожежі по 10 дм³/с і внутрішня – $2 \times 2,5$ дм³/с. Відмітка майданчика 80 м.

Регулювальний об'єм у резервуарах обчислюється так:

$$W_{\text{рег}} = \frac{2447}{100} \left(\frac{100}{20} - \frac{100}{24} \right) (24 - 4) = 406 \text{ м}^3.$$

Об'єм води на власні потреби: $W_{\text{ВП}} = 0,1 \cdot 2447 = 245 \text{ м}^3$.

Пожежний запас:

$$W_{\text{НПЗ}} = (192,9 + 192,9 + 146,7) + 10,8 \left(2 \cdot 10 + 2 \cdot 2,5 - \frac{2447}{24 \cdot 3,6} \right) = 497 \text{ м}^3.$$

Потрібний повний об'єм:

$$W = 406 + 245 + 497 = 1148 \text{ м}^3.$$

Приймаємо три резервуари по 500 м^3 кожний, прямокутні в плані, розмірами $12 \times 12 \text{ м}$, площею 144 м^2 , при висоті пожежного запасу $h_{\text{НПЗ}} = \frac{497}{144 \cdot 3} = 1,15 \text{ м}$. Повна висота резервуара чистої води при повному наповненні $h_{\text{рез}} = 500/144 = 3,5 \text{ м}$.

Відмітка максимального рівня води: $Z_{\text{max}} = 80 + 0,5 = 80,5 \text{ м}$. Відмітка дна: $80,5 - 3,5 = 77 \text{ м}$. Відмітка верху пожежного запасу $77 + 1,15 = 78,15 \text{ м}$.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Фізико-хімічні методи очищення води. Управління водними ресурсами / Під редакцією І.М. Астреліна, Х. Ратнавіри. – К.: «Ніка-Центр», 2015. – 614 с.
2. Рябчиков Б.Е. Современная водоподготовка. – М.: Дели плюс, 2013. – 680 с.
3. Water Treatment: Principles and Design / John C. Crittenden, R. Rhodes Trussel, David W. Hand. – Printed the United States of America. – 2005. – 1948 p.
4. Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. К.: Аграрна наука, 2008. – 534 с.
5. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання: Підручник. – К.: Знання, 2009. – 735 с.
6. Обеззараживание воды смешанными оксидантами: преимущества и особенности / Научно-практический журнал Вода. Вода и водоочистные технологии, №64, 2012. – С. 58-61.
7. Технологія та обладнання одержання питної та технічної води: Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / уклад.: Мешкова-Клименко Н.А., Косогіна І.В., Толстопалова Н.М. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 141 с.
8. Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И. Примеры расчетов канализационных сооружений. – М.: Стройиздат, 1987. – 225 с.
9. Кожин В.Ф. Очистка питьевой и технической воды. – М.: Стройиздат, 1971. – 303 с.
10. Гончарук В.В., Страхов Э.Б., Волошинова А.М. Водно-химическая технология ядерных энергетических установок и экология. Справочник. – К.: Наукова думка, 1993. – 448 с.