

УДК 066.06+628.31
ББК 31.3
О 0244

АВТОРИ:

С.С.Рижков, д.т.н., професор (глава III), **К.В.Луняка**, д.т.н., професор (глава I, розділи 1-8, 12; глава II, розділ 13), **В.С.Самохвалов**, к.т.н, доцент (глава II, розділи 14-15), **С.М.Литвак**, к.т.н, доцент (глава I, розділи 9-11).

РЕЦЕНЗЕНТИ:

О.П. Воінов, д.т.н., професор кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій Одеського національного політехнічного університету,
В.І.Єзіков, д.х.н, професор, завідувач кафедрою органічної і біологічної хімії Херсонського державного університету;
С.І.Сербін д.т.н., професор, директор машинобудівного інституту НУК

*Рекомендовано вченою радою
Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова
(протокол № 6 від 30.06.2017)*

Рижков С.С., Луняка К.В., Самохвалов В.С.,
О 0244 Литвак С.М. Обробка технологічних рідин та стічних вод. Навчальний посібник. – Херсон: Олді-плюс, 2017. – 316 с.

ISBN 978-066-930-1999-4

Навчальний посібник призначений для вивчення курсу «Обробка технологічних рідин та стічних вод» студентами спеціальності «Теплоенергетика». У посібнику представлені відомі на сьогоднішній день методи обробки рідин – теорія, розрахункові формули, обладнання для проведення процесів, технологічні схеми. Особлива увага приділяється підготовці води для котелень, а також очищенню стічних вод підприємств теплоенергетики, побутових стоків та інших виробництв.

УДК 066.06+628.31
ББК 31.3

© Рижков С.С., Луняка К.В.,
Самохвалов В.С., Литвак С.М., 2017
© НУК ім. адм. Макарова, 2017

ISBN 978-066-930-1999-4

Вступ. Мета та задачі курсу. Структура дисципліни

Практично усі галузі виробництва пов'язані з використанням тих чи інших технологічних рідин. До них, по-перше, відноситься вода. Вода у промисловості виступає як сировина, хімічний реагент, дешевий, доступний, не горючий розчинник, тепло- і холодоагент. Дуже важлива роль води в енергетиці, так, з води отримують різними способами водень, який є основою водневої енергетики (наприклад, екологічно безпечне паливо для транспорту). Теплота фазового переходу рідина-пара води значно вища, ніж для інших речовин, тому пара води, що конденсується, є найбільш розповсюдженим теплоносієм. Водяна пара і гаряча вода мають значні переваги перед іншими теплоносіями: висока теплоємність, простота регулювання температури у залежності від тиску, висока термічна стійкість. Вода – охолоджувач для відведення теплоти в екзотермічних процесах. Для економії використовують оборотну воду (що використана і знову повертається у виробництво).

Вода широко застосовується у гальванічному виробництві, де вона виконує роль розчинника або хімічного реагенту, а також для проведення мийно-очисних операцій гідропіскоструминного очищення деталей від нагару і корозії, що проводяться при ремонтних роботах промислового обладнання.

Використання води у комунальному господарстві відоме всім і не потребує додаткових пояснень.

З розвитком названих сфер, а також сільськогосподарського використання води, утворюється величезна кількість рідких відходів, які являють собою різні за складом та станом водні системи, що потребують очищення.

Очищення стічних вод – складна задача сучасної технології, зважаючи на значні відмінності рідин, що скидають різні споживачі. Для очищення стічних вод розроблені сучасні та ефективні технології, але їх впровадженню перешкоджають економічні фактори, низька екологічна культура населення та керівників підприємств і відсутність жорстких вимог з боку держави за порушення законодавства у галузі охорони навколишнього середовища.

Забруднення водоймищ Землі промисловими викидами має багаторічну історію. У другій половині 20 ст. починається історія їх очищення. Можна навести приклади того, як жорсткі заходи щодо зменшення викидів та інтенсивна робота над очищення природних вод дають результати, що обнадіюють.

Така історія Великих Американських озер. За багато років інтенсивного розвитку промисловості та сільського господарства на їхніх берегах до 1970 р. ці водоймища виявились забрудненими багаточисельними шкідливими речовинами. Зниження забруднень та очищення озер стало важливою задачею урядів Канади і США. У 1972 р. ці держави почали систематичну роботу з очищення Великих озер, в результаті чого було різко знижене скидання з наземних точкових джерел. З 1972 р. приватний та суспільний сектори витратили більше 500 млрд. дол. на контроль та очищення стічних вод,

головним чином, комунальних та промислових джерел забруднення. У 1987 р. основними напрямками природоохоронної політики стали скорочення фосфатного навантаження, забруднень, що поступають з повітря та суші, а також рішення проблем, пов'язаних з забрудненням донних відкладень (для зниження вторинного забруднення і забруднення підземних вод). З 1980 р. вдалося досягти скорочення обсягу токсичних речовин до 82%. В результаті зменшення надходження фосфору та інших забруднень, знизився розвиток водоростей в озері Ері і знизився дефіцит кисню у придонному шарі. Об'явлене «мертвим» озеро стало найбільшим у світі районом добування окуня. Але у 1990-х у зв'язку з розвитком промисловості знову спостерігається збільшення промислових викидів. Тим не менш, зусилля США та Канади у справі очищення Великих озер дають надію на успіх цієї справи і в інших країнах.

Роботу над поліпшенням екологічної ситуації можна відмітити і для головної артерії Німеччини – р. Рейн, у яку довгий час скидалися промислові відходи. Треба зауважити, що й досі, незважаючи на вживані заходи, у р. Рейн купатися не можна. Але екологічна ситуація на р. Рейн значно поліпшилась у порівнянні з ХХ ст. Досягнуто це завдяки жорстким заходам щодо очищення стічних вод. Помітне покращення ситуації намітилося вже у 1997 р., коли у річці з'явилася риба лосось. Деякі підприємства важкої промисловості були закриті, а натомість отримала розвиток легка промисловість. До 2020 р. планується довести чистоту вод до екологічної норми, щоб вони були придатні для пиття та купання.

Зважаючи на досвід Канади, США, Німеччини та інших країн, маємо надію на покращення екологічної ситуації і нашої головної артерії – р. Дніпро. В наш час її стан визнаний критичним.

У Дніпро щорічно скидається від майже 10 тис. підприємств більш ніж 10 км^3 стічних вод, з яких $0,15 \text{ км}^3$ без будь-якого очищення – це небезпечні води. Вода Дніпра забруднена отруйними хімічними речовинами: сполуками важких та радіоактивних металів, особливо після Чорнобильської катастрофи, пестицидами. Внаслідок наявності крупних водосховищ швидкість течії зменшилась, що призвело до постійного цвітіння води – результат розмноження синьо-зелених водоростей, котрі виділяють токсичні речовини. Стан Дніпра відображений у затвердженій Верховною Радою України Національній програмі екологічного оздоровлення басейну Дніпра і поліпшення якості питної води, оскільки «Забруднення води в басейні Дніпра призвело до порушення природних процесів самоочищення водних об'єктів, що значно ускладнило проблему отримання якісної питної води на водопровідних станціях, а середньорічна концентрація забруднюючих речовин досягла в Каховському водосховищі: фенолів (канцерогени) – 1-2 ГДК, сполук міді – 6-11 ГДК, цинку – 7-12 ГДК».

Далі відмічається: «Як показали дослідження, стан водогінних очисних споруд зараз такий, що більшість хімічних сполук з води практично не усувається, особливо коли їхній вміст перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК)». «Проблема посилюється тим, що існуючі технології питної води передбачають широке застосування хлору, зокрема для

знешкодження продуктів розпаду фітопланктону, внаслідок чого у питній воді утворюється велика кількість токсичних канцерогенних сполук, що мають кумулятивну дію. Нізьякiсна вода є однією з причин того, що останніми роками в Україні спостерігається зростання рівня таких захворювань, як хвороба язви шлунку, жовчнокам'яна хвороба, хворобі органів дихання і т.ін.».

Кроки до рішення цієї проблеми робляться. По-перше, прийнятий Водний кодекс України (від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР – Водне законодавство України), де прописані умови скидання оборотних вод у водні об'єкти. (Охорона вод від забруднень, засмічення та вичерпання.) Розроблена відповідальність за порушення водного законодавства.

Тепер перед державою стоїть головна задача – технічне рішення даної проблеми. Її вирішення можливе, у тому числі, шляхом надання фахівцям, що так чи інакше зв'язані з експлуатацією водних ресурсів, необхідних знань в області очищення стічних вод, тому значна частина пропонованого курсу присвячена цьому питанню.

Говорячи про обробку технологічних рідин та стічних вод, виділимо такі розділи:

1. Методи обробки рідин, їхня сутність та обладнання, що використовується при цьому.
2. Підготовка води для побутових та технологічних цілей.
3. Види інших технологічних рідин, їхня обробка.
4. Очищення стічних вод.

У кожному розділі розглядаються хімічні речовини, що застосовуються при обробці технологічних рідин, механізм їхньої дії та вплив на стан стічних вод.

Вивчення дисципліни сприятиме отриманню фактичних відомостей з вищезначених питань з метою правильного вибору способу обробки технологічних рідин та стічних вод і необхідного для цього обладнання.

Мета вивчення дисципліни – засвоєння знань про загальні процеси обробки технологічних рідин та стічних вод.

Завдання дисципліни – отримання знань про основні процеси обробки технологічних рідин та стічних вод. Вивчення конструкції апаратів та методики розрахунку основних елементів.

Після вивчення дисципліни студент повинен:

- знати – основні процеси обробки технологічних рідин та стічних вод; принципи дії, процеси, конструкцію та проектування апаратів, що використовуються у різних установках з обробки технологічних рідин, будову відстійників, фільтрів, циклонів, флотаторів, дегазаторів, екстракторів, адсорберів та мембранних апаратів;
- уміти – виконувати необхідні розрахунки при проектуванні апаратів обробки з урахуванням складу рідини, що оброблюється, і вимог відповідних ДБНУ, проводити аналіз ефективності прийнятих проектних рішень;
- мати уяву – про перспективи розвитку апаратів з обробки рідин для енергетичних, промислових та комунальних об'єктів.

Метою виконання курсового проекту з дисципліни "Обробка технологічних рідин та стічних вод" є закріплення набутих навичок та їхнє практичне застосування при виборі методів та обладнання для очищення рідин.

Курсовий проект включає такі розділи:

- аналіз існуючих методів підготовки технологічної рідини або очищення стічних вод певного підприємства (у відповідності із завданням);
- проектування технологічної схеми і вибір складу обладнання;
- розрахунки одного з апаратів, що входять у технологічну схему;
- висновки щодо доцільності вибраної схеми типу апарату.

Курсовий проект повинен бути представлений пояснювальною запискою, яка оформляється на аркушах формату А4 і містить оформлений згідно стандарту титульний аркуш, формулювання завдання на курсовий проект, постановку задачі, обґрунтування вибраної схеми обробки, результати, висновки, список використаних джерел. Графічну частину, яка складається з трьох креслень:

- Технологічна схема процесу.
- Конструкція апарату.
- План розташування апаратів у приміщеннях.

За необхідності в роботі наводяться діаграми, таблиці.

В процесі виконання курсового проекту студенти повинні показати, що вміють правильно застосувати знання, отримані при вивченні курсу "Обробка технологічних рідин та стічних вод".

Тема I. МЕТОДИ ОБРОБКИ РІДИН

Основною технологічною рідиною в енергетиці є *вода*. Крім того, у різних галузях виробництва використовують такі *технологічні рідини*, як нафтопродукти (палива, мастила, гідравлічні та мастильно-охолодні рідини), розчини миючих засобів, технологічні розчини гальванічних виробництв і т.ін. Їхні характеристики будуть наведені у відповідних розділах. До води, яка використовується як теплоносій, додаються інгібітори та пасиватори корозії, тому на практиці часто ми маємо справу не з чистою водою, а з технологічними розчинами. Після використання технологічних рідин утворюються рідкі відходи, які відрізняються природою та концентрацією реагентів, що входять до їхнього складу, а також вимогами щодо допустимого до скидання у природні водоймища вмісту шкідливих речовин. Це обумовлює різні підходи до обробки різних технологічних рідин та стічних вод, але з огляду на те, що ми маємо справу саме з рідкими системами, можна виділити загальні методи їхньої обробки, незважаючи на те, чи проводиться підготовка рідини до використання, чи здійснюється очищення стічних вод. Загальні методи обробки, по-перше, визначаються станом рідкої системи – чи є вона гомо- або гетерогенною.

Гомогенні – це однорідні системи. До них відносяться істинні розчини, як, наприклад, розчин у воді кухонної солі або цукру.

Гетерогенні – неоднорідні системи, як, наприклад, каламутна вода, що містить частинки глини, або молоко, яке являє собою емульсію, де частинки масла розподілені у воді.

Неоднорідна система складається щонайменше з 2-х фаз:

внутрішньої (дисперсна фаза), яка знаходиться у тонкоподрібненому стані – у нашому прикладі з каламутною водою це частинки глини;

зовнішньої (дисперсійне середовище), яка оточує частинки внутрішньої фази – у нашому прикладі це чиста вода.

Бувають такі рідкі неоднорідні системи:

Суспензії – системи, що складаються з рідини і твердих частинок. У залежності від розмірів частинок суспензії підрозділяються на

- грубі (>100 мкм) (1 мікромметр = 10^{-6} м);
- тонкі (100-0,1 мкм);
- колоїдні розчини ($<0,1$ мкм).

Емульсії – системи, що складаються з однієї рідини і краплин іншої рідини, що не змішується з першою.

Піни – складаються з рідини і бульбашок газу.

У більшості випадків розміри частинок дисперсної фази неоднакові – системи полідисперсні.

Крім названих компонентів технологічні рідини та рідкі відходи часто містять розчинені гази, наприклад повітря, які спричиняють корозію апаратури, а також зменшують тепловіддачу, тому у схему підготовки технологічних рідин включають дегазацію.

Для поділу неоднорідних систем широко використовуються методи осадження та фільтрування, однорідні системи розділяються екстракцією, адсорбцією та іншими методами. Якщо система однорідна (істині розчини), то для видалення небажаних компонентів їх у ряді випадів спочатку переводять у нерозчинні сполуки шляхом дії хімічних реагентів, а вже потім використовують методи очищення, притаманні неоднорідним системам.

Науковий підхід до обробки будь-яких систем передбачає їхню класифікацію. Існують різні підходи до цього питання, і різні автори пропонують дещо відмінні способи поділу процесів, що відбуваються при обробці рідин, на групи.

Наведемо один зі способів **поділу технологічних процесів на групи**:

- *Гідромеханічні процеси* – осадження (включаючи осаджувальне центрифугування), фільтрування (включаючи фільтрувальне центрифугування або сепарацію), перемішування та псевдозрідження*. Дуже часто ці методи поєднують з коагуляцією, флокуляцією та хімічним осадженням, спрямованими на отримання осадів та збільшення швидкості їхнього утворення.

- *Теплові процеси* – нагрівання, охолодження, випаровування, конденсація.

- *Масообмінні процеси* – абсорбція, адсорбція, перегонка, екстракція, сушіння, кристалізація та ін.

- *Хімічні та електрохімічні процеси*.

- *Механічні процеси* – подрібнення твердих матеріалів, їхня класифікація та сортування.

Остання група процесів не є предметом вивчення даного курсу. Теплові процеси детально розглядаються в інших навчальних предметах, і ми будемо їх згадувати лише у тій степені, у якій вони пов'язані з гідромеханічними та масообмінними процесами. Розглядаючи питання очищення стічних вод, треба обов'язково додати *біологічні процеси*. Інші групи процесів обробки рідин (наприклад, радіаційні) на сьогоднішній день є дещо екзотичними, вони потребують подальшої детальної розробки.

Саме пропонується класифікація дає змогу узагальнити методи розрахунку обладнання для здійснення окремих процесів, оскільки для опису кожної з груп використовуються притаманні саме цій групі рівняння та прийоми розрахунків.

Таким чином, основні процеси, які використовуються при обробці рідин, є гідромеханічні, масообмінні, хімічні та електрохімічні, а стосовно обробки стічних вод слід додати біологічні методи, причому одні з них (осадження, фільтрування, екстракція) використовуються при обробці будь-якої рідини, а інші притаманні тільки водним системам (іонообмінні методи, електрохімічні процеси тощо).

*Псевдозрідження – переведення твердого сипкого матеріалу у завислий стан під тиском рідини або газу.

Ви можете зустріти в літературних джерелах, а також і в даному конспекті, інший поділ на групи, що притаманний саме конкретній обробці, і які склалися історично, а також відображає певне відношення різних дослідників, працями яких ми скористалися для створення цього посібника, до даного питання, але перелік процесів від цього не змінюється.

Гортаючи сторінки посібника, Ви можете побачити, що різним процесам відводиться неоднакове місце. Це пояснюється, по-перше, широтою застосування даного способу обробки, а по-друге, професійною спрямованістю аудиторії.

Детальне викладення підготовки води для котелен, а також очищення стічних вод підприємств теплоенергетики допоможе студентам у написанні курсового проекту з дисципліни, оскільки цей розділ пропонує значну кількість технологічних схем. Наявність в посібнику чисельних видів обладнання зорієнтує у виборі того чи іншого апарату для проведення осадження чи фільтрування, або адсорбції чи екстракції.

Автори бажають своїм студентам успіхів у навчанні взагалі, засвоєнні конкретної дисципліни зокрема і успіхів у своїй професійній діяльності.

Розглянемо процеси, які застосовуються при обробці рідинних систем.

Примітка: текст, позначений сірим кольором, рекомендується для більш глибокого вивчення предмету і рекомендується тим студентам, які претендують на найвищу оцінку.

1. ОСАДЖЕННЯ

Осадженням називається процес видалення твердих частинок з потоку рідини під дією сили тяжіння (тоді цей процес називають відстоюванням) або відцентрової сили. Даний процес відносять до гідромеханічних процесів.

Осадження є загальним методом для очищення будь-яких технологічних рідин та стічних вод. Він або використовується самостійно, або у складі з іншими методами, такими як фільтрування, хімічне очищення тощо. Тому вивченню даного процесу ми приділяємо велику увагу.

1.1. Наукові підходи до вивчення процесів. Кінетика осадження

Щоб провести розрахунки апаратури для проведення будь-якого процесу спочатку проводять математичний аналіз процесу з отриманням відповідних рівнянь. Найчастіше таким є диференціальне рівняння. Розглянемо, як найпростіший приклад, отримання диференціального рівняння процесу осадження частинки під дією сили тяжіння. Для цього виділяємо у дисперсійному середовищі якусь частинку і розглядаємо сили, які діють на неї: це сила тяжіння G , сила тертя T і архімедова (підйомна) сила A (рис. 1.1).

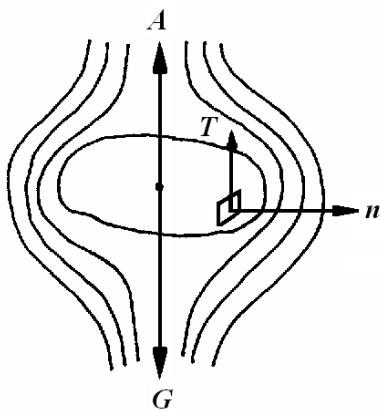


Рис. 1.1. До виведення диференціального рівняння осадження частинки під дією сили тяжіння.

Об'єм частинки пропорційний кубу її лінійного розміру (l):

$$V = C_1 \cdot l^3 \quad (1.1)$$

Площа поверхні частинки пропорційна квадрату її лінійного розміру:

$$S = C_2 \cdot l^2 \quad (1.2)$$

C_1, C_2 – коефіцієнти, які залежать від форми частинки.

Питома вага частинки – γ ; рідини – γ_c (середовище).

$$G = C_1 l^3 \gamma ; \quad (1.3)$$

$$A = C_1 l^3 \gamma_c ; \quad (1.4)$$

$$T = C_2 l^2 \mu \frac{\partial \omega}{\partial n} . \quad (1.5)$$

Згідно основному закону динаміки сума проєкцій сил дорівнює добутку маси на прискорення:

$$C_1 l^3 (\gamma - \gamma_c) - C_2 l^2 \mu \frac{\partial \omega}{\partial n} = C_1 l^3 \frac{\gamma_\tau}{g} \frac{d\omega}{d\tau} . \quad (1.6)$$

(1.6) – диференціальне рівняння осадження частинки під дією сили тяжіння.

Це рівняння, як і переважна кількість інших диференціальних рівнянь, що описують технологічний процес, не може бути вирішене у загальному вигляді. Тому для визначення швидкості осадження ω потрібні експериментальні дані, які подаються у вигляді критеріальних рівнянь.

Як диференціальні рівняння перетворюються на критеріальні, розглядається *теорією подібності*. Зараз ми на прикладі процесу осадження розглянемо елементи теорії подібності.

1.1.1. Подібність процесів. Критерії подібності. Критеріальні рівняння

1.1.1.1. Подібність процесів

Головною метою розрахунків технологічної апаратури є визначення її розмірів. Теорія постановки дослідів і обробки їхніх результатів вивчається теорією подібності. Вона відповідає на питання: як треба організувати дослід і обробити отримані дані, щоб їх можна було б обґрунтовано розповсюджувати на процеси, які протікають в умовах, що відрізняються від умов дослідів.

Уяви про теорію подібності дозволяють:

- 1) встановити умови експериментальних робіт, при яких кількість дослідів буде найменшою;
- 2) визначити найменшу кількість величин, які треба виміряти при проведенні дослідів;
- 3) встановити області, на які можна розповсюджувати дані, що отримані при досліді.

Висновки теорії подібності будуються на базі особливих форм дослідження диференціальних рівнянь, які описують перебіг процесу, що досліджується.

При складанні диференціальних рівнянь відволікаються від часткових особливостей процесу і тому вони описують цілий клас процесів, у межах яких діють певні фізичні закони.

Для описання одиничного процесу диференціальне рівняння доповнюється даними, які характеризують цей процес. Ці додаткові дані називають *умовами однозначності*. До умов однозначності відносяться:

- 1) геометричні умови, які характеризують розміри і форму об'єкту, в якому протікає процес;
- 2) властивості середовища (тиск, густина);
- 3) граничні умови, які характеризують взаємодію середовища з тілами, що обмежують об'єм, в якому протікає процес;
- 4) початковий стан системи.

Подібність умов однозначності включає:

- 1) геометричну подібність,
- 2) часову,
- 3) фізичних величин,
- 4) граничних та початкових умов.

1. *Геометрична подібність* - коли відношення всіх лінійних розмірів двох апаратів є сталою величиною

$$l_1''/l_1' = l_2''/l_2' = \dots K_1, \quad \text{або} \quad l_1'' = K_1 l_1'$$

2. Часова – відношення між інтервалами часу зберігає постійне значення

$$\tau_1''/\tau_1' = \tau_2''/\tau_2' = K_\tau, \quad \text{або} \quad \tau_1'' = K_\tau \tau_1'.$$

1.1.1.2. Критерії подібності

Їх можна отримати, якщо диференціальне рівняння, яке описує процес, перетворити таким чином:

1) поділити рівняння на ліву або праву частину. При цьому отримують безрозмірний комплекс;

2) замінити напрямлені параметри (x, y, z, n, ω_x) на не напрямлені (їх часто помічають буквою Γ);

3) відкинути символи диференціалу або прирощення.

Критерії, які являють собою відношення двох однойменних величин, називаються параметричними критеріями, або симплексами подібності.

Лінійний розмір, який входить у критерії подібності і який є найбільш характерним для даної системи, називається визначальним.

Критерії бувають:

- визначальні,
- невизначальні.

Визначальні – складаються тільки з фізичних величин, які входять в умови однозначності.

Невизначальні – у склад яких входять хоча б одна фізична величина, яка не входить в умови однозначності.

Функціональна залежність, котра розповсюджується на всю групу процесів і являє собою залежність невизначальних критеріїв від визначальних, називається критеріальним рівнянням.

Отримаємо критеріальне рівняння осадження частинки під дією сили тяжіння. Рівняння (1.6) ділимо на праву частину

$$g \frac{\partial \tau}{\partial \omega} \frac{\gamma - \gamma_c}{\gamma} - \frac{C_2}{C_1} \frac{g}{\gamma} \frac{\mu}{l} \frac{\partial \omega}{\partial \pi} \frac{d\tau}{d\omega} - 1 = 0, \quad (1.7)$$

помножимо на $\frac{\gamma}{\gamma_c}$ (для того, щоб у знаменнику були властивості середовища – газу або рідини) :

$$g \frac{\partial \tau}{\partial \omega} \frac{\gamma - \gamma_c}{\gamma_c} - \frac{C_2}{C_1} \cdot \frac{g}{\gamma_c} \frac{\mu}{l} \frac{\partial \omega}{\partial \pi} \frac{d\tau}{d\omega} - \frac{\gamma}{\lambda_c} = 0. \quad (1.8)$$

1
2
3

Виконуємо операції п.п. 2)-3) для 2 складової (1.8):

$$\frac{C_2}{C_1} \frac{g}{\gamma_c} \frac{\mu}{l} \frac{\omega}{l} \frac{\tau}{\omega} \rightarrow \frac{C_2}{C_1} \frac{\mu}{\rho_c \cdot l \cdot \omega} \rightarrow \Psi \frac{1}{Re}. \quad (1.9)$$

$$\text{Коефіцієнт форми} \quad \psi = \frac{C_2}{C_1}. \quad (1.10)$$

Для 1 складової:

$$\frac{g \cdot \tau}{\omega} \frac{\gamma - \gamma_c}{\gamma_c} \cdot \frac{l}{l} \rightarrow \frac{g \cdot l}{\omega^2} \frac{\gamma - \gamma_c}{\gamma_c}$$

помножимо на Re^2 і отримаємо критерій Архімеда

$$Ar = \frac{gl^3}{\nu^2} \left(\frac{\rho - \rho_c}{\rho_c} \right) = \frac{l^3 (\rho - \rho_c) \rho_c g}{\mu^2}. \quad (1.11)$$

Критерій Архімеда характеризує відношення різниці сил тяжіння і підйомної сили до підйомної.

Складова 3 – параметричний критерій, він не враховується в критеріальному рівнянні окремо, оскільки входить в Ar.

Як бачимо з рівнянь (1.9) – (1.11), процес осадження визначається критеріями Re і Ar, тобто

$$Re = a (\psi Ar)^n. \quad (1.12)$$

(1.12) – критеріальне рівняння осадження під дією сили тяжіння. У залежності від характеру процесу воно набуває конкретних форм:

Ламінарний процес (Re < 0,2)

$$Re = \frac{1}{18} \psi Ar; \quad (1.13)$$

Перехідний процес

$$Re = 0,152 (\psi Ar)^{0,715}; \quad (1.14)$$

Турбулентний процес (Re > 500)

$$Re = 1,74 (\psi Ar)^{0,5}. \quad (1.15)$$

Зважаючи на те, що

$$Re = \frac{\omega \rho d}{\mu}, \quad (1.16)$$

і порівнюючи (1.13) з (1.16), отримують рівняння для швидкості осадження частинок сферичної форми під дією сили тяжіння:

$$\omega_o = \frac{1}{18} \cdot \frac{d^2 (\gamma - \gamma_c)}{\mu} = \frac{1}{18} \cdot \frac{d^2 (\rho - \rho_c)}{\mu} g. \quad (1.17)$$

(1.17) – формула закону Стокса: *При ламінарному русі швидкість осадження сферичних частинок пропорційна квадрату їхнього діаметру, різниці густин частинок і середовища і обернено пропорційна в'язкості середовища.*

Швидкість осадження частинки неправильної форми менша.
Більш зручною формою критеріальної залежності вважають:

$$Ly=f(Ar). \quad (1.18)$$

Критерій Лященко

$$Ly = \frac{Re^3}{Ar} = \frac{\omega_o^3 \rho_c^2}{\mu_c (\rho - \rho_c) g}. \quad (1.19)$$

За критерієм Лященко знаходять швидкість осадження:

$$\omega_o = \sqrt[3]{\frac{Ly \mu_c (\rho - \rho_c) g}{\rho_c^2}}. \quad (1.20)$$

Провівши експерименти по визначенню Re , Ar , Ly , побудували залежність між ними (рис. 1.2). За цією залежністю визначають критерій Лященко, а по ньому – швидкість осадження, яка потім враховується при розрахунку площі виробничого апарату.

Розглянемо приклади розрахунків, пов'язаних з кінетикою процесу осадження.

1.1.2. Розрахунки, пов'язаних з кінетикою осадження

Приклад 1.1. Визначити швидкість осадження у воді частинок кварцового піску кульоподібної форми діаметром 0,9 мм, якщо густина піску 2650 кг/м³, а температура води 20 °С.

Рішення. Визначаємо критерій Ar :

$$Ar = \frac{d^3 (\rho - \rho_c) \rho_c g}{\mu_c^2} = \frac{0,9^3 \cdot 10^{-9} (2650 - 1000) 1000 \cdot 9,81}{1^2 \cdot 10^{-6}} = 1,18 \cdot 10^4,$$

де для води динамічний коефіцієнт в'язкості $\mu_c = 1 \text{ сП} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ (довідник).

За знайденим значенням $Ar = 1,18 \cdot 10^4$ з рис. 1.2 знаходимо $Re = 140$.

Швидкість осадження частинок кварцового піску кульоподібної форми діаметром 0,9 мм визначаємо з рівняння:

$$\omega_{oc} = \frac{Re \mu_c}{d \rho_c} = \frac{140 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{0,0009 \cdot 1000} = 0,15 \text{ м/с}.$$

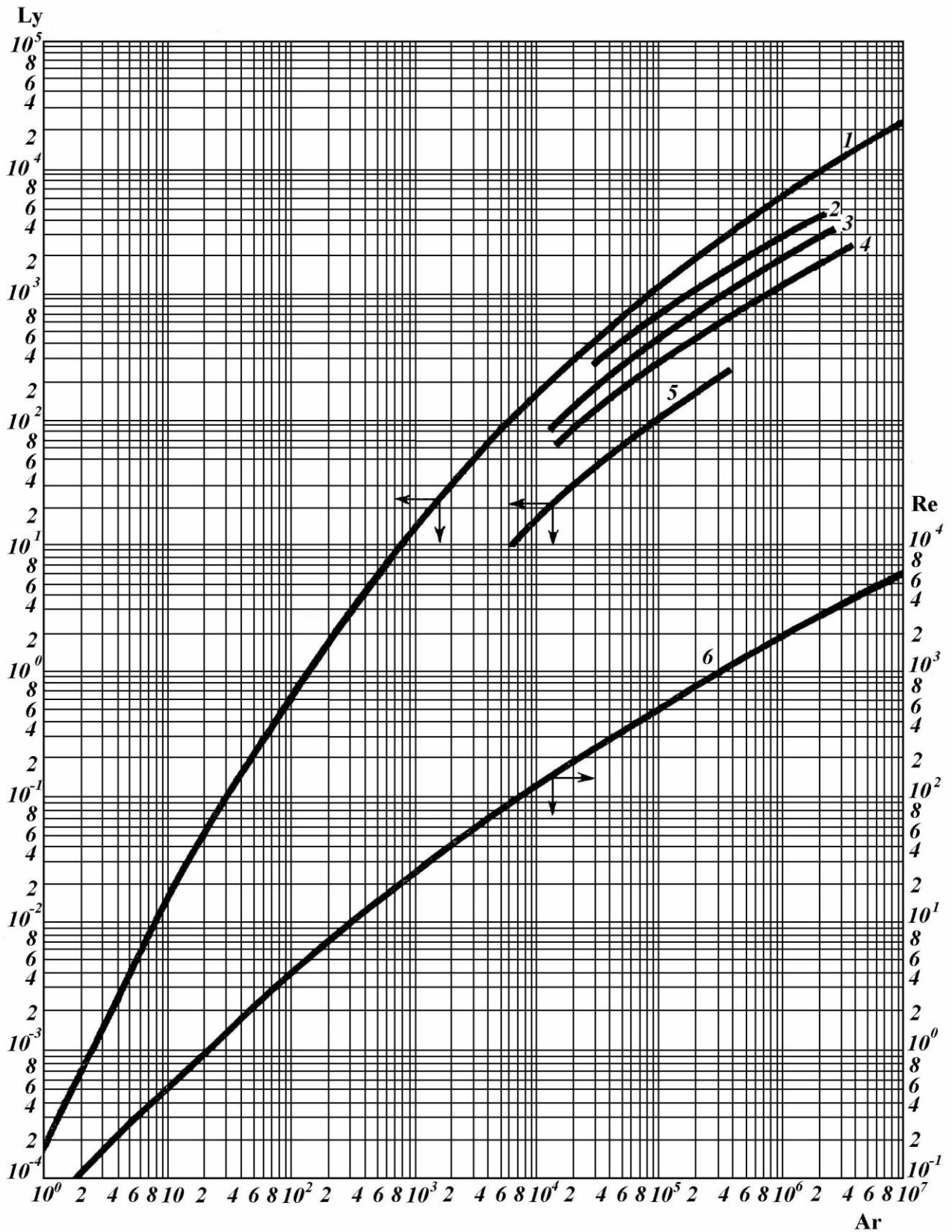


Рис. 1.2. Залежність критеріїв Re та Ly від критерію Ar для осадження поодинокі частинки у нерухомому середовищі:

1 та 6 – кулеподібні; 2 – округленні; 3 – кутасті; 4 – продовгуваті; 5 – пластинчаті.

Приклад 1.2. Визначити розмір найбільших кульоподібних частинок крейди, що будуть виноситися потоком води, що йде зі швидкістю 0,5 м/с. Температура води 10°C, густина крейди 2710 кг/м³.

Р і ш е н н я. Визначаємо критерій Lu за формулою (1.19):

$$Lu = \frac{\omega_{oc}^3 \rho_c^2}{\mu_c (p - p_c) g} = \frac{0,5^3 \cdot 1000^2 \cdot 10^3}{1,3(2710 - 1000)9,81} = 5,72 \cdot 10^3;$$

де для води при 10°C $\mu_c = 1,3$ сП = $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па·с (довідник).

За знайденим значенням $Lu = 5,72 \cdot 10^3$ із рис. 1.2 знаходимо $Re = 1750$; потім з формули (1.17) визначаємо максимальний діаметр частинок крейди, що будуть виноситися водою:

$$d = \frac{Re \mu_c}{\omega_{oc} \rho_c} = \frac{1750 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 1000} = 4,55 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4,55 \text{ мм}.$$

1.2. Процеси осадження

Процеси осадження можуть відбуватися під дією сили тяжіння (гравітаційне) і під дією відцентрової сили.

Відстоювання – це процес осадження, що відбувається під дією сили тяжіння; використовується для поділу суспензій та емульсій.

Відстоювання є найпростішим способом видалення з рідинних систем грубодисперсних нерозчинених домішок, які під дією гравітаційної сили осідають на дно відстійника. Відстоюванням також називають процес поділу неоднорідних систем, коли нерозчинні домішки під дією підйомної сили спливають на поверхню.

Взагалі, цей процес не забезпечує витягання тонкодисперсних частинок і характеризується невеликою швидкістю, тому використовують його для часткового, або попереднього, поділу. Процес відстоювання можна поділити на згущення та освітлення. Основною метою *згущення* є збільшення концентрації твердої фази, а *освітлення* – видалення твердої речовини з відносно розведеного потоку.

Перевагами процесу відстоювання є:

- простота обладнання,
- невеликі енергетичні затрати.

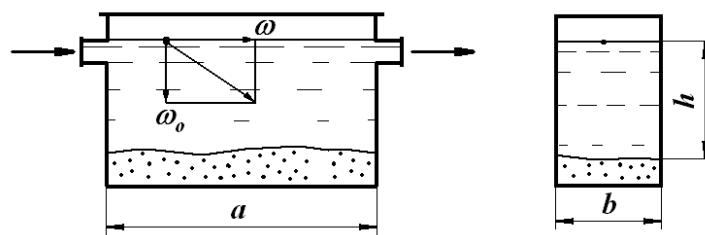


Рис. 1.3. Будова найпростішого відстійника.

При відстоюванні повинні дотримуватися дві основні умови:

- 1) час перебування елементу потоку в апараті повинен дорівнювати або бути більшим за час осадження;
- 2) лінійна швидкість (ω) повинна бути меншою за ω_0 , щоб вихрові потоки не підіймали частинок.

Швидкість осадження частинок у відстійній камері пов'язана з продуктивністю співвідношенням

$$V_{сек} = \omega'_0 \cdot F, \quad (1.21)$$

де ω'_0 – дійсна швидкість осадження, $\omega'_0 \approx 0,5\omega_0$;

ω_0 – теоретична швидкість осадження, розраховується за (1.17);

$$F = a \cdot b.$$

Стосовно відстійника безперервної дії для відстоювання суспензій формула (1.21) набуває вигляду:

$$F_{ос} = \frac{G_{поч} \left(1 - \frac{c_{поч}}{c_{зг}} \right)}{\rho_c \omega'_0}, \quad (1.22)$$

де $G_{поч}$ – початкова масова витрата суспензії, кг/с;

$c_{поч}$ – початкова концентрація твердої фази у суспензії, %;

$c_{зг}$ – концентрація твердої фази у згущеній суспензії, %;

ρ_c – густина дисперсійного середовища, наприклад, води, кг/м³.

1.3. Обладнання для відстоювання

Відстійники для суспензій

Відстоювання є невід'ємною складовою технологічних схем очищення водних систем. Першими за рухом водного потоку встановлюють відстійники, які називають **пісכולовки**, призначення яких – звільнити водні системи (технологічні або стічні води) від важких домішок мінерального походження з розміром частинок 0,25-1 мм. Якщо об'єм води, що очищується, більше 100 м³/доб., то пісכולовки встановлюються обов'язково, оскільки абразивні властивості піску призводять до руйнування механізмів і бетонних споруд. Крім того, пісок може накопичуватися в каналах, аеротенках*, метантенках** і знижувати робочий об'єм споруд.

За напрямом руху води пісכולовки поділяються на горизонтальні, вертикальні та з гвинтовим рухом води. Останні бувають: тангенціальні (див.

* Аеротенк (від аеро- і англ. tank – резервуар, бак) – споруда для біологічного очищення стічних вод за допомогою аеробних бактерій;

** Метантенк (від метан- і англ. tank – резервуар, бак) – споруда для біологічного очищення стічних вод за допомогою анаеробних бактерій.

далі – «Осадження під дією відцентрової сили») і такі, що аеруються (проводиться насичення рідини повітрям, як в акваріумі). Встановлено, що при горизонтальному русі води в пісколовці швидкість повинна бути від 0,3-0,15 м/с для звичайних пісколовок, і від 0,08-0,12 м/с – для аерованих пісколовок. При швидкості, що перевищує максимально допустиму, пісок не встигає осісти в пісколовці, при швидкості меншій за мінімальну в пісколовці осідатимуть органічні домішки, що призведе до зайвого вилучення живильних речовин зі стічної води і до погіршення якості піску, що видаляється, що має значення для його подальшого використання або заховання.

Залежно від призначення відстійників вони поділяються на **первинні** й **вторинні**. Первинними називають відстійники, що входять до складу споруд механічного очищення, вони затримують набагато дрібніші суспензії, ніж пісколовки, вторинними – відстійники, які розташовують у складі споруд біологічного очищення для відділення активного мулу від біологічно очищеної стічної води.

За напрямом руху основного потоку води у відстійниках вони діляться на два основні типи: горизонтальні, вертикальні та радіальні.

Горизонтальні відстійники є прямокутними залізобетонними резервуарами, що складаються з декількох відділень. Їх застосовують при продуктивності комплексу понад 15 тыс.м³/доб. При хорошій роботі вони затримують до 60% зважених речовин.

Вертикальні відстійники є циліндричними залізобетонними резервуарами з конусним або пірамідальним днищем. Вони простіші за конструкцією і в експлуатації, ніж горизонтальні, і знаходять широке застосування як первинні й вторинні відстійники. Проте ефект освітлювання в них на 25-30% нижчий, ніж в горизонтальних і на 10-15% нижчий, ніж у радіальних. При задовільній роботі вертикальних відстійників видаляється не більш 40% зважених речовин.

Радіальні відстійники є циліндричними залізобетонними резервуарами великого діаметру (від 16 до 60 м) глибиною 0,1-0,15 діаметри. Їх застосовують при продуктивності очисних споруд більше 20 тыс.м³/доб. Вони забезпечують 50% видалення зважених речовин і не мають недоліків горизонтальних і вертикальних відстійників.

Використовуються також відстійники більш складної конструкції, схеми яких наведені на рис. 1.4-1.6.

Типовий **одноярусний відстійник** для суспензій (рис. 1.4) являє собою циліндричну ємність із гребками, призначеними для вивантаження осаду.

З метою заощадження виробничої площі встановлюють **дво- або багатоярусні відстійники** (рис. 1.5 і 1.6).

При розрахунках відстійників визначають критичний розмір частинок, які осідають у відстійниках, з (1.17).

Згідно з (1.21) інтенсифікація процесу відстоювання досягається збільшенням площі осадження F . При розрахунках відстійників задаються ступенем очищення. Виходячи зі ступеня очищення і фракційного складу частинок, знаходять мінімальний розмір частинок, які повинні осісти у

відстійнику. Цей розмір береться за вихідний при обчисленні швидкості осадження, а потім – площі осадження і габаритів апарату.

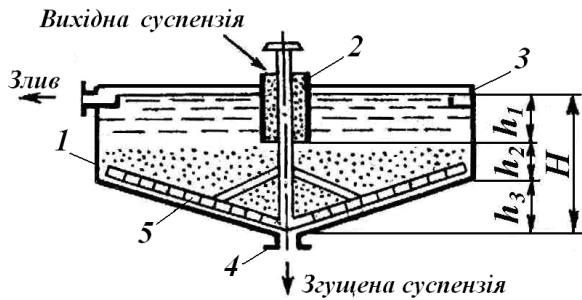


Рис. 1.4. Одноярусний відстійник:

1 – корпус; 2 – трубопровод подачі суспензії;
3 – кільцевий жолоб; 4 – мішалка;
5 – патрубок виведення осаду.

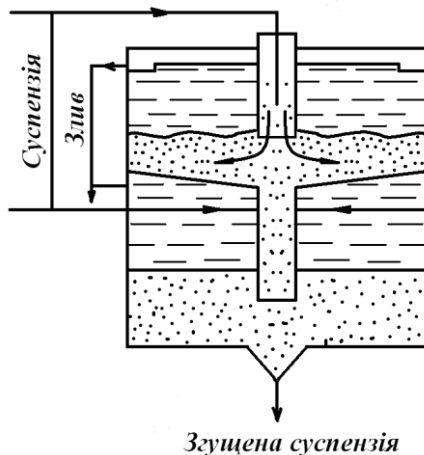


Рис. 1.5. Двоярусний відстійник.

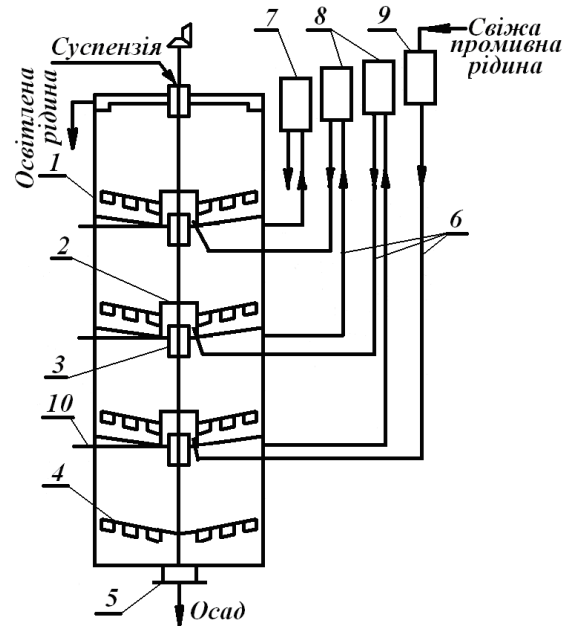


Рис. 1.6. Багатоярусний відстійник:

1 – корпус; 2 – пастка; 3 – перехідна труба;
4 – гребкова мішалка; 5 – патрубок виведення
осаду; 6 – трубопроводи;
7, 8, 9 – бачки; 10 – трубопроводи виведення
суспензії.

Як **приклад (1.3)**, визначимо діаметр відстійника (рис. 1.4) для безперервного осадження грубодисперсних частинок, що містяться у воді. Продуктивність відстійника 80 т/год. початкової суспензії, що містить 8% (мас.) твердих частинок густиною 2710 кг/м³. Діаметр найменших частинок, які підлягають осадженню, 35 мкм. Температура суспензії 15°C. Вологість шламу 70%.

Р і ш е н н я. Щоб визначити діаметр відстійника, треба обчислити необхідну площу осадження за формулою (1.22), для чого попередньо знаходять швидкість осадження:

$$\omega_{oc} = \frac{d^2(\rho - \rho_c)g}{18\mu_c} = \frac{3,5^2 \cdot 10^{-10} (2710 - 1000) 9,81}{18 \cdot 1014 \cdot 10^{-3}} = 0,001 \text{ м/с};$$

де $\mu_c = 1,14 \text{ сП} = 1,14 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ (довідкові матеріали).

Перевіримо значення критерію Re:

$$\text{Re} = \frac{\omega_{oc} d \rho_c}{\mu_c} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 10^3}{1,14 \cdot 10^{-3}} = 0,0307 < 0,2.$$

Дійсна швидкість осадження:

$$\omega'_{oc} = 0,5 \cdot 0,001 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}.$$

Площа відстійника:

$$F_{oc} = \frac{G_H \left(1 - \frac{c_H}{c_K}\right)}{3600 \rho_c \omega'_{oc}} = \frac{80 \cdot 10^3 \left(1 - \frac{8}{30}\right)}{3600 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}} = 32,5 \text{ м}^2.$$

Відстійники для емульсій. Схема відстійника для емульсій наведена на рис. 1.7. Емульсія, наприклад, нафтопродукту у воді, подається у відстійник, де розділяється на легку фракцію і важку.

Рівень відведення важкої фракції з відстійника визначається положенням поверхні поділу в апараті і розраховується за формулою:

$$a \rho_{\text{важ.}} + (b - a) \rho_{\text{легк.}} = c \rho_{\text{важ.}}, \quad (1.23)$$

де $\rho_{\text{важ.}} > \rho_{\text{легк.}}$ – густина рідин, кг/м³.

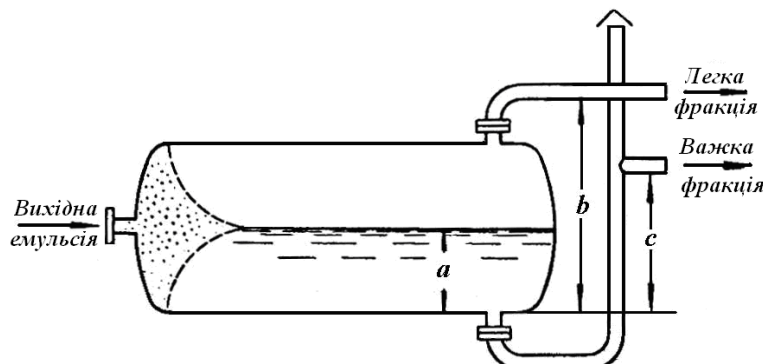


Рис. 1.7. Схема відстійника для емульсії.

1.4. Осадження під дією відцентрової сили

1.4.1. Основні розрахункові формули

Для створення поля відцентрової сили використовуються два способи:

- 1) створюють обертання потоку, що рухається в нерухомому апараті – циклонний процес;
- 2) потік направляють в апарат, що обертається; таким чином, потік обертається разом з апаратом – відстійне центрифугування.

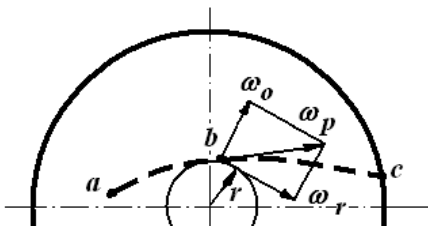


Рис. 1.8. До питання про сили, що діють при відцентровому осажденні:

ω_r – окружна (лінійна) швидкість, м/с;

ω_p – результуюча швидкість, м/с.

□□ На частинку діють сили: відцентрова ($G_{вц}$) і сила тертя, яка мала у порівнянні з $G_{вц}$.

$$G_{\text{вц}} = \frac{m\omega_r^2}{r} = mW^2r, \quad (1.24)$$

де $\omega_r = Wr$; W – кутова швидкість, $\text{рад/с} = \text{с}^{-1}$;

$$\frac{\omega_r^2}{r} = W^2r \text{ – відцентрове прискорення.}$$

Порівнюємо $G_{\text{вц}}$ з силою тяжіння (G_T):

$$G_T = mg \rightarrow m = G_T / g \text{ підставляємо в (1.24)}$$

$$G_{\text{вц}} = G_T \cdot \frac{\omega_r^2}{g \cdot r}. \quad (1.25)$$

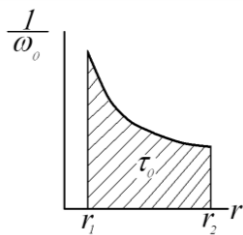
З (1.25): Відцентрова сила більша за силу тяжіння у ω_r^2/rg разів. У виробничих апаратах співвідношення між ω_r і r таке, що відцентрова сила не менш як на 2 порядки перевищує силу тяжіння.

Швидкість осадження частинок у полі відцентрових сил:

$$\omega_o = \frac{dr}{d\tau_o}. \quad (1.26)$$

$$d\tau_o = \frac{dr}{\omega_o} \quad (1.27)$$

$$\tau_o = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{\omega_o} \quad (1.28)$$



Інтеграл знаходять графічним способом як площу під кривою, зображеною на рис. 12.

Швидкість осадження ω_o знаходять з (1.17), замінивши прискорення сили тяжіння g на відцентрове прискорення W^2r :

Рис. 1.9. До розрахунку часу осадження.

$$\omega_o = \frac{1}{18} \cdot d^2 \frac{(\rho - \rho_c)}{\mu} W^2r \quad (1.29)$$

Циклонний процес використовують для поділу газових і рідинних (гідроциклони) систем (рис. 1.10). За таким принципом працюють тангенціальні пісколовки. Потік, який несе тверді частинки, вводять в апарат тангенціально крізь вхідну трубу зі швидкістю:

для газів 10-40 м/с,

для рідин 5-25 м/с.

Мінімальний діаметр частинок, які осідають у циклоні:

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{\mu R}{2\pi n \rho \omega_r}}, \quad (1.30)$$

де n – кількість обертів потоку навколо центральної труби циклону ($n = 1,5$).

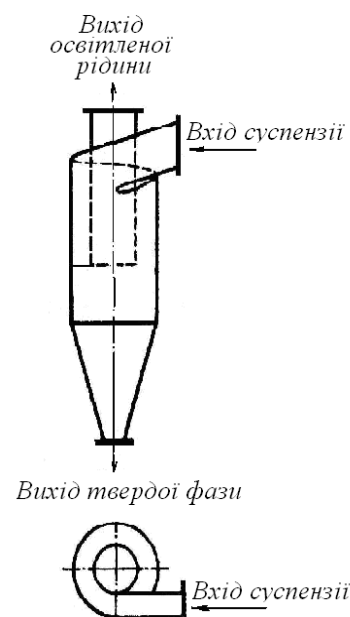


Рис. 1.10. Будова гідроциклону.

Відстійне центрифугування – це відстоювання під дією відцентрових сил. Напруженість відцентрового поля, що створюється у центрифугі, характеризується чинником поділу Φ , який показує, у скільки разів прискорення відцентрових сил перевищує прискорення сили тяжіння.

$$\Phi = \frac{W^2 r}{g}, \quad (1.31)$$

де r – радіус барабану.

Існують номограми для визначення Φ і ω_r .

1.4.2. Види і будова центрифуг

У залежності від Φ центрифуги підрозділяються:

- на нормальні ($\Phi < 3500$) і
- надшвидкісні, або ультрацентрифуги ($\Phi > 3500$).

Ротори нормальних центрифуг мають відносно великі розміри, і часто вони використовуються як фільтрувальні. У цьому разі ротори повинні бути сітчасті, і їх вкривають шаром фільтрувального матеріалу.

Надцентрифуги мають суцільні ротори невеликих розмірів і використовуються як відстійні.

Таким чином, центрифугування проводиться з метою відокремлення твердих частинок від рідини як шляхом осадження, так і шляхом фільтрування.

Центрифуги поділяються

- 1) за принципом дії (на періодичні і безперервні);
- 2) за способом вивантаження матеріалу (з ручним і механічним);
- 3) за розташуванням валу (вертикальні, горизонтальні, нахилені).

Як приклад, розглядаємо роботу безперервнодіючої горизонтальної центрифуги з механізованим вивантаженням осаду (рис. 1.11). Вихідна суспензія уводиться по трубці усередину шнеку і під дією відцентрової сили відкидається крізь вікна 3 у внутрішню порожнину барабану 1. В барабані відбувається відстоювання суспензії. Освітлена рідина під дією відцентрової сили переміщається до вікон 5, перетікає в кожух 4 і видаляється через нижній патрубок. Осад безперервно переміщається у барабані наліво за допомогою шнеку, який обертається зі швидкістю, дещо меншою, ніж швидкість барабану. Через вікна 2 осад викидається в кожух і відводиться через розташований внизу патрубок.

При проектуванні або при оцінці ефективності роботи центрифуги визначають час осадження τ_0 і найменші розміри частинок $d_{\min}$, що можуть осідати у даній центрифугі.

Для визначення τ_0 користуємося (1.28) і (1.30):

$$d\tau_0 = \frac{18\mu}{(\rho - \rho_c)d^2W^2} \cdot \frac{dr}{r}, \quad (1.32)$$

$$\tau_0 = \frac{18\mu}{(\rho - \rho_c)d^2W^2} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (1.33)$$

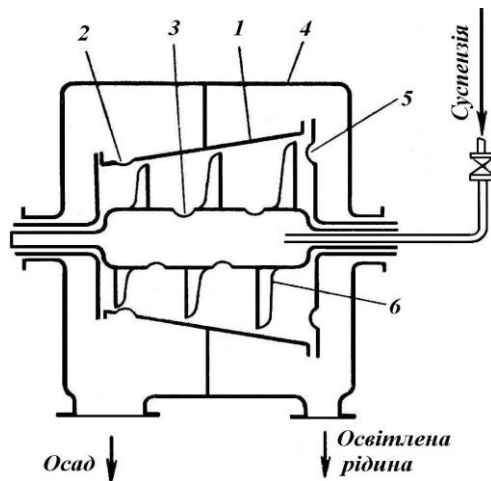


Рис. 1.11. Схема безперервнодіючої горизонтальної відстійної центрифуги з механічним вивантаженням осаду:

1 – ротор; 2, 3, 5 – отвори (вікна); 4 – кожух;
6 – розвантажувальний шнек.

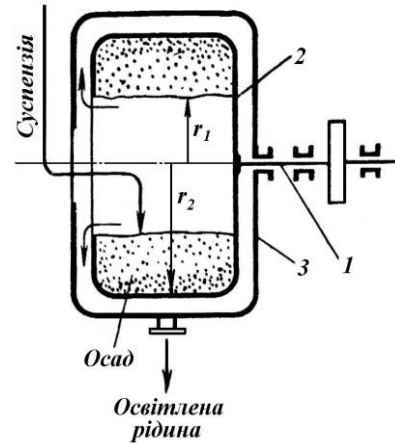


Рис. 1.12. Схема відстійної центрифуги періодичної дії з ручним вивантаженням осаду:

1 – вал; 2 – барабан; 3 – кожух.

Мінімальний діаметр частинок, які осідають у відстійній центрифугі:

$$d_{\min} = 3 \sqrt{\frac{2\mu}{W^2(\rho - \rho_c)} \cdot \frac{V}{L} \cdot \frac{\ln(r_2/r_1)}{\pi(r_2^2 - r_1^2)}} \quad (1.34)$$

Позначення до рівнянь показані на рис. 1.12.

Основною величиною при розрахунках центрифуги є її продуктивність причому, є відмінності в розрахунках центрифуг різного типу.

Продуктивність V (об'ємна витрата суспензії, що надходить, м³/с) відстійної центрифуги з ножовим зніманням осаду типу АОГ при ламінарному режимі осадження визначається за рівнянням (1.21) з урахуванням відмінності між дійсною та теоретичною продуктивністю:

$$V = F' \omega \eta, \quad (1.35)$$

де $F' = 2\pi R_0 L$ - поверхня дзеркала суспензії в барабані, м²;

R_0 – внутрішній радіус кільцевого прошарку суспензії, м;

L – довжина барабану, м;

$\omega = \omega_{oc} \Phi$ – швидкість осадження частинок під дією відцентрової сили, м/с;

ω_{oc} – швидкість осадження часток під дією сили тяжіння, м/с;

Φ – чинник поділу, який визначається за радіусом R_0 ;

η – коефіцієнт, що враховує відношення дійсної і теоретичної продуктивності центрифуги, який при відсутності дослідних даних можна прийняти рівним 0,4-0,5; він залежить від ковзання рідини відносно барабану, а також враховує наявність вихорів, що утруднюють осадження.

Формулу (1.35) можна привести до зручного для розрахунків вигляду:

$$V_{\text{ч}} = 25,3 \eta L n^2 R_0^2 \omega_{oc} k, \quad (1.36)$$

де k – відношення часу подачі суспензії (час центрифугування) до загального часу роботи центрифуги.

Продуктивність V (у $\text{м}^3/\text{год}$) за суспензією центрифуги НОГШ (безперервнодіючої відстійної горизонтальної зі шнековим вивантаженням осаду) визначається за рівнянням:

$$V = 3,5 \frac{D_{\text{зл}}^2 L_{\text{зл}} (\rho - \rho_c) d^2 n^2}{\mu}, \quad (1.37)$$

де $D_{\text{зл}}$ і $L_{\text{зл}}$ – діаметр і довжина “зливного циліндру”, м;

ρ і ρ_c – густина частинок і середовища, $\text{кг}/\text{м}^3$;

d – крупність розподілу (діаметр найменших частинок, що осаджуються), м;

n – частота обертання ротору, $\text{об.}/\text{хв.}$;

μ – динамічний коефіцієнт в’язкості середовища, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

k – відношення часу подачі суспензії (час власне центрифугування) до загального часу роботи центрифуги.

Продуктивність V (у $\text{м}^3/\text{с}$) трубчастої надцентрифуги (за живленням) визначається за рівнянням:

$$V \leq \frac{\omega V_{\text{ж}}}{h} \quad (1.38)$$

де ω – швидкість осадження частинок у відцентровому полі, $\text{м}/\text{с}$;

$V_{\text{ж}} = 0,785 (D^2 - D_0^2) L$ – об’єм рідини в барабані, м^3 ;

h – глибина потоку в барабані, м;

L – довжина робочої частини барабану, м;

D – внутрішній діаметр барабану, м;

D_0 – діаметр зливного порогу, м.

Умовою нормальної роботи надцентрифуги (без виносу частинок) розрахункового діаметру є наявність ламінарного режиму руху потоку в барабані ($Re \leq 350$). При великих значеннях критерію Re необхідно збільшувати довжину барабану.

1.4.3. Приклад розрахунку, пов’язаного з роботою центрифуги

Визначити годинну продуктивність (по живленню) автоматичної осаджувальної центрифуги АОГ-800 при роботі її на водній суспензії, що утворюється при зм’якшенні води вапняним способом (суміш гідроксидів магнію та заліза, карбонату та сульфату кальцію). Густина частинок $\rho = 2525 \text{ кг}/\text{м}^3$. Температура суспензії 30°C . Найменший діаметр частинок 3 мкм . Характеристика центрифуги: діаметр барабану 800 мм , довжина барабану 400 мм , діаметр борта 570 мм , частота обертання $1200 \text{ об.}/\text{хв.}$. Цикл роботи центрифуги складає 20 хв. ; з них 18 хв. – подача суспензії, 2 хв. – розвантаження осаду.

Р і ш е н н я. Продуктивність визначаємо за формулою (1.37).

Швидкість осадження часток знаходимо за формулою Стокса (1.17):

$$\omega_{oc} = \frac{d^2(\rho - \rho_c)g}{18\mu_c} = \frac{3^2(2525 - 1000)9,81}{10^{12} \cdot 18 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}} = 0,935 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}.$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості води при 30°C $\mu_c = 0,8 \cdot 10^{-3}$ Па·с.
Визначаємо швидкість осадження під дією відцентрової сили:

$$\omega = \omega_{oc} \frac{R_0 n^2}{900} = 0,935 \cdot 10^{-5} \frac{0,285 \cdot 1200^2}{900} = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}.$$

Перевіряємо режим осадження:

$$Re = \frac{\omega d \rho_c}{\mu_c} = \frac{4,26 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 1,6 \cdot 10^{-2},$$

тобто, режим ламінарний.

Далі знаходимо:

$$k = \frac{18}{20} = 0,9.$$

Продуктивність центрифуги, приймаючи к.к.д. $\eta = 0,45$:

$$V_{год.} = 25,3 \cdot 0,45 \cdot 0,4 \cdot 1200^2 \cdot 0,285^2 \cdot 0,935 \cdot 10^{-5} \cdot 0,9 = 4,46 \text{ м}^3/\text{год}.$$

1.4.4. Сепаратори

Сепараторами називають осаджувальні надцентрифуги, призначені для розділення стійких емульсій і освітлювання тонких низькоконцентрованих суспензій з розмірами частинок $d < 0,1$ мкм. Сепаратори можна використовувати для відокремлення від водної фази домішок нафтопродуктів, що присутні у міських стоках.

Сучасні конструкції сепараторів мають гнучкі вали, які спираються на пружні опори, тому їхні ротори є такими, що самобалансуються, а це дозволяє збільшити частоту обертання.

Розрізняють роздільні й освітлювальні сепаратори: перші призначені для розділення стійких емульсій і мають пристрої для відведення легкої і важкої рідини; другі використовують для освітлювання суспензій, осад при цьому видаляється при зупинці сепаратору, або автоматично на ходу. За внутрішньою будовою їх поділяють на однокамерні, тарілчасті й багатокамерні. Для сепараторів фактор поділу $\Phi = 6000 - 10000$.

Розглянемо будову однокамерних сепараторів.

Однокамерний освітлювальний сепаратор (рис.1.13). Барабан складається з циліндричної основи 7 з увігнутим днищем і внутрішньою маточиною; він закривається конічною кришкою 3. Розведена суспензія поступає по трубі 1 в завантажувальну лійку, а потім в нижню периферійну частину робочої порожнини барабану. Заповнивши порожнину до краю отвору в конічній кришці, рідина переливається через борт і відцентровою силою

викидається у вловлювач 2, звідки самопливом через патрубок 12 виводиться з сепаратору. Тверді частинки під дією відцентрових сил утворюють осад на поверхні барабану (частково на кришці), після його накопичення сепаратор зупиняють і осад видаляють. Для полегшення складання і розбирання деталі барабан скріплюють різьбовим затяжним кільцем 5 (гайка), герметичність з'єднання забезпечується кільцем ущільнювача 4. Маточина барабану встановлена на верхній конічний кінець валу 8 і закріплена глухою гайкою 6. Обертання рідини забезпечується ребрами 10. Однакові частоти обертання рідини і барабану забезпечують радіальні перегородки 9.

Однокамерний поділяючий сепаратор (рис. 1.14.). Емульсія по трубі 1 поступає в завантажувальну лійку 5, а потім між лійкою і днищем основи барабану – в середню частину простору сепарації. При обертанні в барабані утворюються два шари рідини з поверхнею поділу між ними. Біля стінки барабану розташовується шар важкої рідини, яка по кільцевому каналу між кришкою 3 і розділовою тарілкою 4 поступає в нижню порожнину збірника 2 і через штуцер 7 виводиться з сепаратору. Ближче до осі обертання розташовується шар легкої рідини, яка по горловині розділової тарілки поступає в її циліндричну частину і через отвори (сопла) витікає у верхню частину збірника 2 і видаляється через штуцер 8. Радіуси зливу розраховують для відцентрових екстракторів, з урахуванням того, що поверхня розділу *a* розташовується в середній частині простору сепарації. Тверда фаза поступово осідає на стінці барабану. Осад видаляють після зупинки і розбирання сепаратору. До поверхні конічної кришки 3 кріпляться ребра 6, які забезпечують обертання важкої рідини.

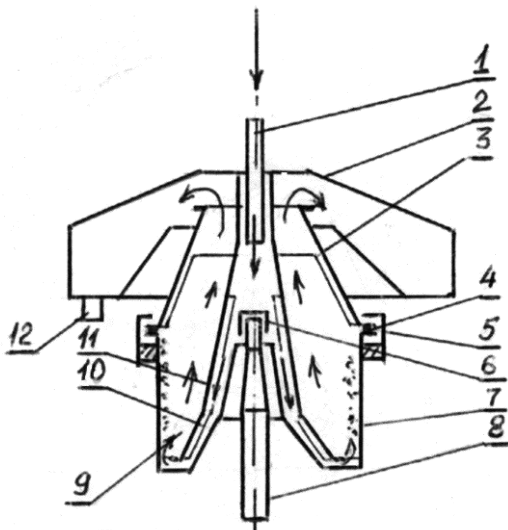


Рис. 1.13. Однокамерний освітлювальний сепаратор:

1 – завантажувальна труба; 2 – вловлювач;
3 – конічна кришка; 4 – ущільнююче кільце;
5 – різьбове затяжне кільце; 6 – глуха гайка;
7 – циліндрична основа; 8 – вал; 9 – радіальні
перегородки; 10 – ребра; 11 – завантажувальна
лійка; 12 – патрубок.

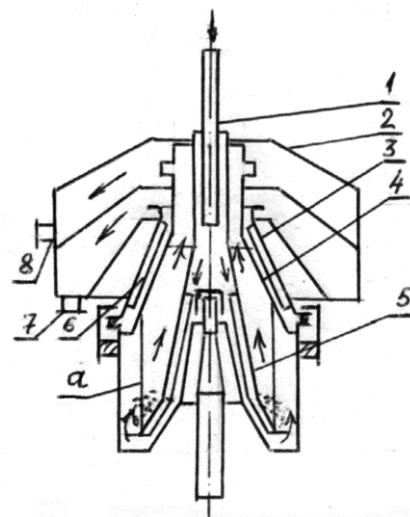


Рис. 1.14. Однокамерний поділяючий сепаратор:

1 – завантажувальна труба; 2 – збірник;
3 – конічна кришка; 4 – тарілка;
5 – завантажувальна лійка; 6 – ребра;
7, 8 – патрубки;
a – поверхня поділу рідин.

2. ФІЛЬТРУВАННЯ

2.1. Класифікація методів фільтрування

Одним з основних за значущістю та широтою застосування у практиці очищення технологічних рідин та стічних вод є процес фільтрування. Він може використовуватись як самостійно, або поєднуватись, наприклад, з процесом осадження. Апарати, що застосовуються для фільтрування – фільтри – можна назвати універсальними, оскільки вони використовуються не тільки для проведення власне фільтрування, а й для здійснення процесів адсорбції, іонного обміну та ін.

На відміну від осадження фільтрування забезпечує майже повне звільнення рідин від зважених частинок.

Процеси фільтрування і фільтри можуть бути класифіковані за кількома ознаками.

1. За рушійною силою процесу. Рушійною силою процесу фільтрування є різниця тисків. Її створюють двома шляхами:

а – збільшенням тиску над осадом (робота під тиском) або зменшенням тиску під осадом (робота під вакуумом), такий спосіб називається *фільтрування під дією різниці тисків*;

б – за допомогою відцентрової сили (*відцентрове фільтрування*).

2. За механізмом фільтрування. Теорія приводить до двох моделей процесу фільтрування: а) тверді частинки затримуються на поверхні фільтрувальної перегородки, поступово утворюючи осад зростаючої товщини (*фільтрування з утворенням осаду*); б) тверді частинки затримуються в порах фільтрувальної перегородки, не утворюючи помітного осаду на ній (*фільтрування із закупоренням пор*).

3. За призначенням процесу. Розділення суспензії можна проводити для отримання *сухої твердої речовини* (цінним продуктом є осад, тобто тверда фаза), або *освітленої рідини* (цінним продуктом є фільтрат, тобто рідка фаза), а також для *одночасного отримання твердої й рідкої фаз*. У першому випадку фільтрування завжди супроводжується утворенням осаду, освітлювання ж рідини може бути досягнуте як фільтруванням із закупоренням пор, так і фільтруванням з утворенням осаду. Фільтрування з метою збільшення концентрації суспензії називається *згущенням*.

4. За властивостями осаду. Осад, що накопичується на фільтрі, може бути як тим, що стискається, так і таким, що майже не стискається. У порах перегородки затримуються тверді частинки, що деформуються. Розмір твердих частинок або їхніх агломератів може бути того ж порядку, що й мінімальна величина пор більшості фільтрувальних перегородок (1-10 мкм і більше), або менше (від 1 мкм до розмірів бактерій). У більшості процесів фільтрування відбувається відокремлення твердих частинок розміром більше 1-10 мкм; тверді частинки розміром менше 1 мкм можна відділити тільки фільтруванням із закупоренням пор або ультрафільтруванням.

5. За способом здійснення процесу. Фільтри бувають періодичної і безперервної дії. Перші можуть працювати як при постійних, так і при змінних різницях тиску і швидкості процесу протягом одного циклу.

Як бачимо з п.п. 1-5, даний конкретний процес фільтрування може одночасно включати різні ознаки.

В першу чергу фільтри зазвичай поділяють на дві групи – для фільтрування з утворенням осаду і з закупоренням пор, потім – на групи апаратів, що використовують різну рушійну силу процесу, і, нарешті, на апарати періодичної та безперервної дії.

В залежності від взаємного розташування перегородки і суспензії рух фільтрату може бути направлений вниз – за силою тяжіння, вгору – проти сили тяжіння, і по нормалі до сили тяжіння (рис. 2.1).

Якщо суспензія містить невеликі й легкі тверді частинки, то зазвичай застосовують фільтрацію вгору. При цьому суспензія знаходиться нижче перегородки. Під час проходження через перегородку частинки осідають на ній. Для запобігання осіданню крупних частинок на дно суспензії збовтують мішалкою.

Якщо в суспензії переважають крупні й важкі частинки, то застосовують фільтрацію вниз. Частинки, що осідають на перегородці, утворюють грубозернистий шар з каналами і невеликим гідравлічним опором. Дрібні частинки забивають пори незначно.

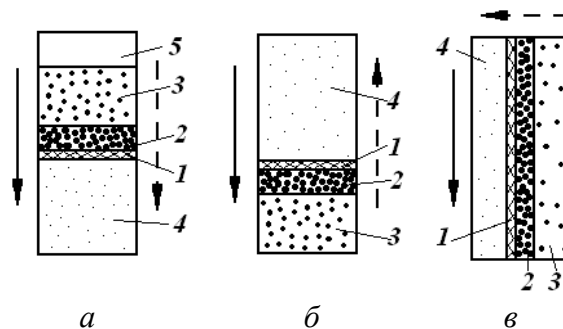


Рис. 2.1. Взаємні напрями дії сили тяжіння та руху фільтрату у фільтрах:

a – напрями співпадають; *б* – напрями протилежні; *в* – напрями перпендикулярні;
суцільні стрілки – напрям дії сили тяжіння; пунктирні стрілки – напрям руху фільтрату;
1 – фільтрувальна перегородка; 2 – осад; 3 – суспензія; 4 – фільтрат; 5 – чиста рідина.

Фільтрування убік через вертикальну перегородку застосовується для створення фільтрів з великою робочою поверхнею, і для липких міцних осадів, що не сповзають з поверхні.

Продуктивність фільтру може бути збільшена підвищенням різниці тисків, застосуванням перегородки з меншим опором, зменшенням в'язкості фільтрату шляхом його підігрівання.

2.2. Фільтрувальні перегородки

До фільтрувальних перегородок пред'являються такі вимоги: перегородка повинна пропускати з фільтратом можливо меншу кількість дрібних частинок твердої фази; повільно забиватися; бути корозійностійкою, температуростійкою, зносостійкою, механічно міцною, пожежобезпечною.

2.2.1. Перегородки з каміння й керамічних матеріалів

Поширені перегородки з **обпаленої пористої кераміки**, азбестового порошку, інфузорної землі, зі сплавленої суміші шамоту або кварцу зі зв'язуючою речовиною. Суміш пресується у форму, сушиться, прожарюється при температурі 1200°C. Такий фільтр затримує частинки до 1мк і навіть деякі види бактерій.

Сплавлені фільтри виготовляються з піску, ебоніту, металокераміки, частинок обпаленої порцеляни. Частинки нагріваються до початку розм'якшення і зв'язуються між собою. Скляні сплавлені фільтри виготовляються з частинок подрібненого скла, які злипаються при температурі в декілька сотень градусів. Фільтри виготовляються з розмірами пор від 1,5 до 230 мк, $d=600$ мм.

Перегородки зі скляної, паперової і вовняної вати застосовуються переважно при лабораторних дослідженнях.

2.2.2. Перегородки з тканин

Бавовняні тканини: полотно фільтрувальне, фільтродіагональ, фільтромиткаль, бязь та ін. Тканини мають хорошу фільтруючу здатність, міцні, недорогі. При правильному виборі вони стійкі до хімічних речовин і до дії температури.

Вовняні тканини: повсть, сукно, діагональ, застосовуються для фільтрування суспензій, що містять до 10-20% мінеральних кислот. Повсть добре працює в гарячих розчинах, але малозносостійка.

Паперові й шовкові тканини: застосовуються для фільтрування мінеральних і органічних кислот, ці тканини вогнебезпечні.

Металеві сітки виготовляються зі сталевого, мідного, нікелевого і мідно-нікелевого дроту, застосовуються для сильно лужних рідин.

Перегородки з гуми виготовляються трьох типів: з м'якої або чистої гуми, з гуми з наповнювачем і з гнучкої твердої гуми. Перші два типи підбиваються бавовняною тканиною і застосовуються для фільтрування оцтової, соляної кислот і вуглеводнів, тверда гума використовується для фільтрування кислих і лужних розчинів.

Синтетичні тканини: лавсанові, поліхлорвінілові та ін.

2.2.3. Використання наливних шарів як додаткових фільтрувальних матеріалів

З метою створення більш сприятливих умов фільтрування на фільтрувальну тканину наносять шар пористого матеріалу, як, наприклад, деревного борошна. Таким чином, фільтрування суспензії ведеться через подвійний шар тканина – борошно. Тверді частинки суспензії, що осідають, утворюють шар на поверхні деревного борошна, а також займають проміжки між його частинками. Після закінчення фільтрування осад та частина шару деревного борошна зрізають ножом, частина шару залишається і бере участь у

фільтруванні. Коли шар борошна стає тонким, його наминають знову. Завдяки цьому запобігають збільшенню гідравлічного опору фільтрувальної перегородки, що призводить до зниження швидкості фільтрування. Зрізана частина містить речовину, що відфільтровується, та частинки деревного борошна. Її піддають обпалюванню, якщо речовина являє цінність, або просто спалюють. Таким фільтрувальними матеріалами постачаються барабанні вакуум-фільтри.

2.2.4. Допоміжні речовини, що використовуються при фільтруванні

Іноді швидкість фільтрування можна збільшити, додаючи у вихідну суспензію фільтрувальну допоміжну речовину, яка складається з відносно крупних часток, що не стискаються. Як допоміжні речовини використовуються діатоміт (діатомітова земля, інфузорна земля, кізельгур), а також деревне вугілля, перліт, азбест, тирса, гіпс та ін. Кількість допоміжної речовини невелика, тому додаткові витрати компенсуються збільшенням продуктивності.

2.3. Фільтрування під дією перепаду тисків з відкладенням осаду

2.3.1. Кінетика фільтрування

Використовуючи теорію подібності для описання технологічного процесу, для фільтрування отримане таке критеріальне рівняння:

$$Eu = C Re^n \left(\frac{l}{d_e} \right)^m, \quad (2.1)$$

де:

$$\frac{p}{\rho \omega^2} = Eu; \quad (2.2)$$

Eu – критерій Ейлера; характеризує відношення сили тиску до сили інерції;

p – перепад тиску, Па;

ρ – густина рідини, кг/м³;

l – товщина шару осаду, м;

d_e – еквівалентний діаметр шару зернистого матеріалу (фільту).

$$d_e = 4\varepsilon/\sigma, \quad (2.3)$$

де ε – частка порожнин у шарі;

σ – питома поверхня зерен (поверхня в одиниці об'єму).

d_e – можна виразити через d_z частинок (зерен).

Для частинок сферичної форми

$$d_e = \frac{2}{3} \cdot \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} d_z. \quad (2.4)$$

Для частинок неправильної форми

$$d_e = \psi \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} d_3, \quad (2.5)$$

де ψ – коефіцієнт форми.

Для ламінарного руху ($Re \leq 35$) критеріальне рівняння має вигляд:

$$Eu = \frac{110}{Re} \cdot \frac{l}{d_e}. \quad (2.6)$$

2.3.2. Розрахункові рівняння процесу фільтрування

Для виведення розрахункового рівняння процесу фільтрування розглядаємо найпростіший фільтр (рис. 2.2). Суспензія подається зверху, на фільтрувальній перегородці товщиною l_ϕ відкладається шар осаду товщиною l , перепад тиску на фільтрувальній перегородці p_1 , на шарі осаду – p_2 .

Фільтрування проводять:

- 1) при постійному перепаді тисків,
- 2) при постійній швидкості.

Перший випадок більш поширений, тому розрахункові формули розглядаємо для нього.

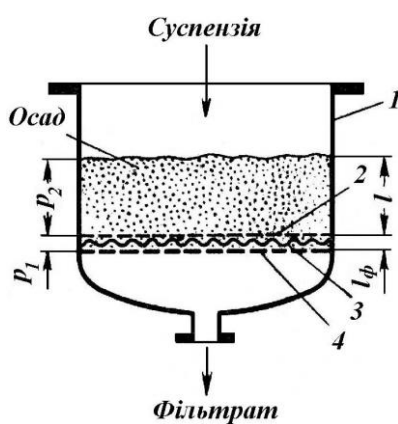


Рис. 2.2. Схема фільтру:

- 1 – ємність; 2 – фільтрувальний матеріал; 3 – опорна решітка; 4 – дренажна сітка.

Розрахунковим рівнянням є:

$$V^2 x r + 2R_\phi V F = 2p F^2 \tau, \quad (2.7)$$

де τ – час фільтрування, F – поверхня фільтру.

(2.7) записують у вигляді:

$$V^2 + 2VC = K \tau, \quad (2.8)$$

де C – константа фільтрування, яка характеризує гідравлічний опір фільтрувальної перегородки ($\text{м}^3/\text{м}^2$);

K – константа фільтрування, яка враховує режим процесу і фізико-хімічні властивості осаду і рідини ($\text{м}^2/\text{с}$);

V – об'єм фільтрату, отриманий з 1 м^2 поверхні фільтру за час τ .

(2.7), (2.8) використовують для розрахунку **площі фільтрування**, за якою у відповідності з каталогами та технічними характеристиками здійснюють вибір фільтру.

2.4. Відцентрове фільтрування (з відкладенням осаду)

Барабанні фільтрувальні центрифуги мають сітчасті стінки, які обкладаються пористими матеріалами. Швидкість фільтрування залежить від часу. На кривій залежності швидкості фільтрування від часу можна виділити 3 періоди (рис. 2.2):

Для цього випадку тиск, що діє на стінки центрифуги:

$$p_{\text{вц}} = \frac{W^2 \rho}{2} (r_2^2 - r_1^2). \quad (2.9)$$

Знаючи тиск, з 2.7 і 2.8 розраховують час фільтрування.

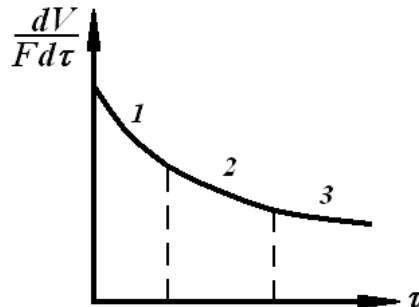


Рис. 2.3. Зміна швидкості фільтрування у часі:

1 – утворення осаду; 2 – ущільнення осаду; 3 – механічне “сушіння”.

2.5. Фільтрування із забиванням пор фільтру

Усі реальні процеси фільтрування відбуваються з забиванням пор фільтру. Це супроводжується збільшення гідравлічного опору фільтру та часу фільтрування. Однак рівнянь для опису цього випадку фільтрування не запропоновано.

2.6. Фільтрувальна апаратура

Існує дуже багато різноманітних конструкції фільтрів, які обирають в залежності від властивостей осадів, умов роботи (температура, тиск), забезпечення потрібної продуктивності.

Фільтрувальна апаратура для рідких систем підрозділяється на:

- рідинні фільтри,
- фільтрувальні центрифуги.

За режимом роботи фільтри поділяють на апарати періодичної та апарати безперервної дії. Рідинні фільтри працюють під тиском і під вакуумом.

Серед розмаїття конструкцій рідинних фільтрів у процесах підготовки технологічної води та очищення стічних вод найбільше використання отримали фільтри з насипним або наливним шаром фільтруючої маси, а також напірні фільтри з плаваючою фільтрувальною масою. Як фільтрувальний матеріал у насипних (засипних) фільтрах використовують пісок, антрацит, дроблений мармур, керамзит, перліт, а для наливного шару – перліт, у фільтрах з плаваючим завантаженням – поролоніву крихту, пінополістірол.

Разом з волокнами для виготовлення фільтрувальних матеріалів застосовують різноманітні порошки – металеві, мінеральні, пластмасові, скляні тощо. Їх використовують при виготовленні матеріалів з кераміки, металокераміки, пористих пластмас, а також у незв'язаному вигляді в насипних і наливних фільтрах.

2.6.1. Фільтри періодичної дії

Названі вище фільтри для підготовки технологічної води та очищення стічних вод відносяться до апаратів періодичної дії, що працюють під тиском.

Засипні фільтри

Для водопідготовки (очищення) великих об'ємів води служать так звані засипні фільтри (фільтри із зернистим завантаженням). Вони є основними елементами систем очищення води від заліза і солей жорсткості, а також для освітлювання води. Вони розрізняються за використанням в них фільтруючим матеріалом, кількістю шарів завантаження (зазвичай один або два) і загальним об'ємом завантаження (розміру бака). Фільтри являють собою баки (як правило, досить великого об'єму) з сипкими фільтрувальними матеріалами. Їхня перевага полягає у тому, що вони можуть не тільки вловлювати велику кількість домішок, але і – на відміну від картриджних і сітчастих фільтрів – працювати цілими роками без заміни, піддаючись періодичній регенерації (промивці).

За допомогою регенерації (з використанням спеціальних хімічних речовин) або зворотної промивки водою фільтрувальні властивості засипних фільтрів можуть відновлюватися, причому, як правило, в автоматичному або напівавтоматичному режимі, з мінімальною участю користувача. Завдяки регулярній промивці також значно знижується ступінь їхнього біологічного "заростання", яке властиве картриджним фільтрам.

Всі фільтри для очищення води засипного типу незалежно від компанії-виробника і свого призначення мають практично однакову конструкцію і складаються з (рис. 2.4):

- корпусу у вигляді балона (бака, мінерального бака) з корозійностійкого матеріалу (склопластика, неіржавіючої сталі і т.ін.);
- блоку управління (контролера, клапана управління) для автоматичної регенерації фільтру;
- вхідного і вихідного патрубків, а також дренажного патрубка для зливу промивної води;
- центрального розподільного стояка (водопідіймальної труби);
- нижнього розподільника (щільної екрануючої фільтру);
- гравієвої підкладки (підтримуючого шару з гравію);
- фільтрувального середовища (зернистого завантаження, засипки).

Принцип дії такого фільтру простий: неочищена вода через вхідний патрубок поступає всередину фільтру, проходить зверху вниз через шар фільтруючого середовища і, очистившись, через нижню фільтру потрапляє у водопідіймну трубу, по якій вже рухається вгору до вихідного патрубка.

В процесі роботи фільтри для очищення води засипного типу засмічуються, тому періодично їх необхідно промивати фільтрованою водою або відновлювати (регенерувати). При цьому розрізняють як зворотну, так і пряму промивку, а також реагентну регенерацію, коли фільтруюче середовище промивається спеціальним реагентом, наприклад, перманганатом калію.

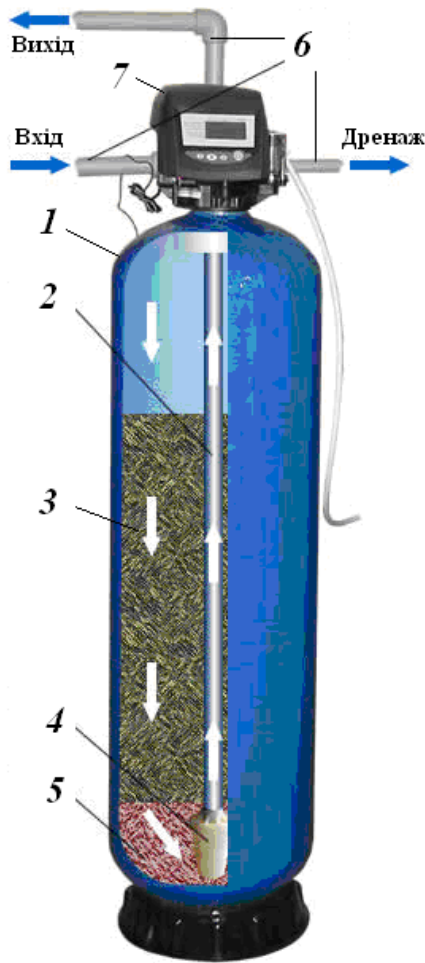


Рис. 2.4. Засипний фільтр:

1 – корпус; 2 – водопідйомна труба (центральный розподільний стояк); 3 – фільтрувальне середовище; 4 – гравієві підкладка; 5 – нижній розподільник (щільна екрануюча фільтра); 6 – патрубки; 7 – блок управління (контролер, клапан управління) для автоматичної регенерації фільтра.

У зв'язку з цим фільтри засипного типу підрозділяються на два підтипи:

1. *Фільтри засипного типу з безреагентною регенерацією.*

Найчастіше технологічний цикл регенерації такого фільтра складається з двох ступенів:

а) Зворотна промивка.

Полягає у тому, що неочищена вода з вхідного патрубку подається відразу у водопідйомальну трубу (стояк). Через нижній розподільник вода проходить від верху до низу крізь фільтрувальне середовище, розпушує його, вимиває всі частинки, що засмічують фільтр, і через дренаж зливається в каналізацію. Таким чином, напрям потоку води тут міняється на зворотний, звідки і назва – зворотна промивка.

б) Пряма промивка.

Тут вода тече в тому ж напрямку, що і при нормальному циклі фільтрації, проте очищена вода поступає не у вихідний патрубок, а скидається в дренаж. Значення її в тому, щоб скинути через дренаж залишки забруднюючих частинок і ущільнити фільтруюче завантаження після циклу зворотної промивки.

Слід зазначити, що засипні фільтри з безреагентною регенерацією для видалення з води заліза повинні застосовуватися в поєднанні з попередньою підготовкою води за допомогою аераційної, дозуючої або аераційно-дозуючої системи.

Вибір методу попередньої підготовки води залежить від низки умов, пов'язаних з якістю початкової води та інших особливостей конкретного вододжерела.

2. *Фільтри засипного типу з реагентною (хімічною) регенерацією фільтруючого середовища.*

Даний вид регенерації використовується, в основному, для іонообмінних або багатофункціональних фільтрів засипного типу, оскільки дозволяє якнайповніші відновити окислювальну здатність каталітичного завантаження (наприклад, Manganese Greensand). Технологічний цикл регенерації цих фільтрів, як правило, включає три ступені:

а) Зворотна промивка (опис див. вище).

б) Промивка фільтруючого середовища реагентом.

Концентрат регенеруючого розчину (сіль, перманганат калію) знаходиться в спеціальній місткості, розташованій поряд з баком фільтру і сполучений з порожниною фільтру окремим трубопроводом. За сигналом з контролера розчин починає засмоктуватися в клапан управління і змішуватися в певній пропорції з водою, що поступає на фільтр, при цьому вихідний патрубок перекривається і відкривається дренаж. Проходячи через шар фільтруючого завантаження, розчинений реагент відновлює його фільтруючу здатність і потім скидається в дренаж. Напрямок потоку води такий само, як і в циклі нормальної фільтрації.

в) Пряма промивка (опис див. вище).

На практиці при хімічній регенерації фільтруючого середовища ступенів цієї регенерації може бути більшим, оскільки додаються допоміжні процеси: поповнення реагентного бака водою, додаткове розпушування фільтруючого шару та інші.

Засипні фільтри з реагентною регенерацією для очищення води від заліза можуть в деяких випадках (за відсутності у воді сірководню) застосовуватися без попередньої підготовки води, проте краще завжди аерувати воду зі свердловин.

Залежно від вимог до води, засипні фільтри можуть використовуватися з різними типами фільтруючих матеріалів:

- Видалення мутності (зважених частинок) – піски різних фракцій, алюмосилікати («FILTER AG», «Сорбент АС»), керамічні матеріали (наприклад, «MICROLITE CERAMIC»)
- Видалення заліза, марганцю та сірководню – матеріали каталітичної дії (напр. «BIRM», «FILOX», «PYROLOX», «МЖФ» та ін.) в чистому вигляді, в сумішах з піском або гідроантрацитом.
- Видалення кальцію та магнію (зниження жорсткості) – іонообмінні смоли (наприклад, «Purolite», «Lewatit» та ін.)
- Видалення нафтопродуктів, хлора, поверхнево активних речовин, гербіцидів, кольоровості, пахоців та присмаків – активоване вугілля (кам'яновугільне, деревне, кокосове та ін.).

Намивні фільтри

Намивний фільтр має циліндричний корпус з конічним дном (рис. 2.5). У верхній частині кріпиться колектор 2, від якого вниз йдуть фільтруючі елементи (свічки). Свічка складається з шести фільтруючих перфорованих трубок, зібраних навколо центральної труби виведення фільтрату. На кожну свічку надягається фільтрувальна тканина, яка під час фільтрації обтискається навколо трубок тиском рідини. Намивні фільтри мають широкий спектр фільтрувальної тканини: радіально сплетена фільтрувальна тканина, фетр і мікропористі мембрани з діаметром аж до 1 мкм.

Фільтрація проводиться під тиском, який необхідний для продавлювання рідини через фільтрувальну тканину. На поверхні фільтрувальної тканини утворюється однорідний осад (кек), який утримується на поверхні свічки за

рахунок угнутоопуклої форми і постійного перепаду тиску по всій довжині свічки. Відфільтрована рідина (фільтрат) стікає по шести перфорованих трубках вниз і по центральній трубці підіймається в колектор, а далі виводиться з фільтру в приймальну ємність.

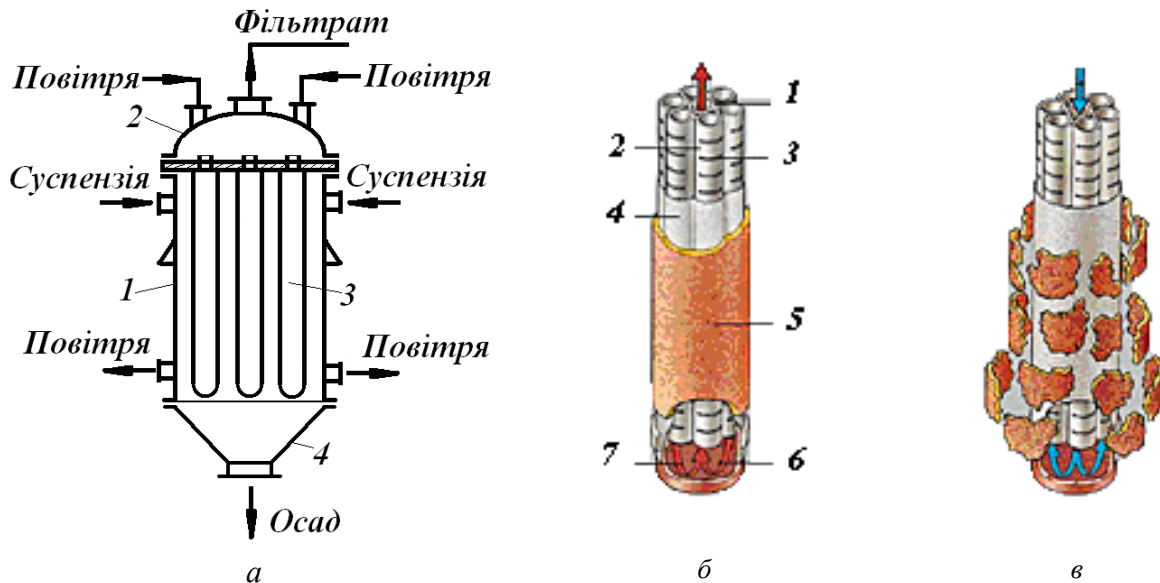


Рис. 2.5. Намивний фільтр:

- а* – загальний вид фільтру: 1 – корпус; 2 – колектор; 3 – свічки; 4 – нижня кришка;
б – свічка: 1 – центральна труба для виведення фільтрату; 2 – фільтрувальні трубки;
 3 – перфорація; 4 – фільтрувальний матеріал; 5 – осад (кек); 6 – колекторна камера свічки;
 7 – напрям руху фільтрату в колекторній камері;
в – зворотне продування газу крізь центральну трубу.

У кінці циклу фільтрації невідфільтровану суспензію можна повернути назад у сировинну місткість. Якщо за технологією це неприпустимо, то її сировинним насосом подадуть на розпилювальні форсунки, розташовані під кришкою фільтру. Суспензія, що розпилюється, рівномірно розподіляється на фільтрувальних елементах, а рідина проходить через осад (кек) за допомогою тиску газу.

Після спустошення апарату осад на фільтрі можна промити за допомогою розпилювання відповідної рідини. Розпилювання невідфільтрованої суспензії значно скорочує об'єм промивальної рідини. Осад може бути висушений за допомогою холодних або гарячих газів або пари до залишкового вмісту вологи менше 20%. Осад весь час залишається на фільтрувальній тканині завдяки унікальній геометрії фільтруючих трубок.

Вивантаження відфільтрованого і зневодненого осаду в моделях FUNDABAC здійснюється зворотним продуванням газом. Унаслідок газового удару (подача газу під тиском) фільтрувальна тканина різко роздувається, на осаді утворюються тріщини і він відділяється в конусну частину апарату (залишок завтовшки 3-50 мм видаляється повністю). Так само можливе повторне розрідження кеку в суспензію (фільтри CONTIBAC).

Шляхом незначної модифікації фільтр FUNDABAC перетворюється на наливний фільтр CONTIBAC, що дозволяє одержати загущений продукт. У напівбезперервному режимі потік припиняється на короткий час для промивки і

вивантаження осаду (без звільнення апарату від рідини). У безперервному режимі роботи один з фільтруючих елементів знаходиться в режимі промивки, при цьому осад з цього фільтру опускається на дно і швидко виводиться з системи. Після регенерації очищений фільтруючий елемент перемикається в режим фільтрації, а процес промивки і регенерації починається на наступному елементі-свічці.

Переваги наливних фільтрів:

- Безпечна робота з токсичними і вогненебезпечними речовинами;
- Фільтрація без втрат і "мертвого" залишку;
- Низькі експлуатаційні витрати;
- Відсутність рухомих частин;
- Повна автоматизація;
- Широкий вибір матеріалів.

Фільтри з плаваючим завантаженням.

Великий інтерес являє використання для доочищення фільтрів з плаваючим завантаженням (ФПЗ) (рис. 2.6).

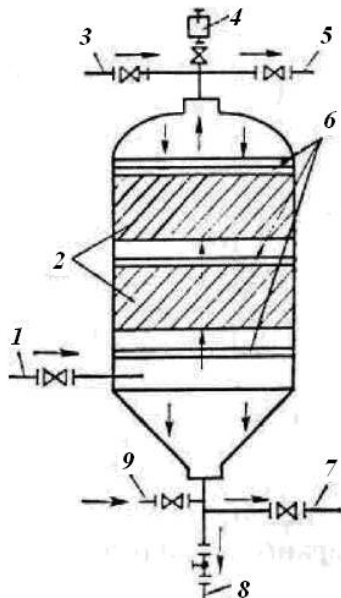


Рис. 2.6. Напірний фільтр з плаваючим завантаженням:

1 – трубопровід стічної води; 2 – плаваюче завантаження; 3 – трубопровід промивної води; 4 – вантуз; 5 – трубопровід очищеної води; 6 – решітки; 7 – трубопровід зливу промивної води; 8 – трубопровід зливу шламу; 9 – трубопровід стисненого повітря.

Як завантаження на цих фільтрах застосовується спінений полістирол, зерна якого легші за воду. Тому в таких фільтрах для підтримки завантаження в затопленому стані у верхній частині встановлюються ґрати або інші пристрої. Крупне завантаження складає від 0,3 до 8-12 мм. Напрямок фільтрації – зверху донизу у бік зменшення завантаження. Це дає можливість подавати на фільтр воду з підвищеною концентрацією забруднень. Особливість спіненого полістиролу полягає у тому, що густина зерен обернено пропорційна їхньому розміру. Тому завантаження під ґратами мимовільно сортується відповідно до зниження крупності зверху донизу. Такі фільтри промиваються нисхідним потоком води при інтенсивностях, що забезпечують розширення шару завантаження. При цьому напрям потоку води і вільного падіння співпадають.

Ці фільтри вбудовуються в первинні або вторинні відстійники і можуть бути одношаровими або двошаровими. При напрямку фільтрування знизу наверх частина зважених речовин випадає у відстійнику, а інша затримується плаваючим фільтром.

Фільтри з плаваючим завантаженням (ФПЗ) зі спіненого полістиролу застосовують як для глибокого очищення механічно очищених виробничих стічних вод металургійної, хімічної і легкої промисловості, так і для біологічно очищених стічних вод – міських або їхньої суміші з виробничими. Ефективність глибокого очищення на фільтрах з плаваючим завантаженням по зважених речовинах і БПК рівнозначна ефективності глибокого очищення на фільтрах з двошаровим зернистим завантаженням.

Фільтри – «теплі ящики»

Одним з прикладів раціональної організації процесу фільтрування, при якому здійснюється очищення води від механічних домішок і більшої частини масла, є організація так званих «теплх ящиків», які являють собою систему фільтрів і встановлюються на морських та річкових судах.

Масло, що знаходиться у вигляді крапель і плівок, видаляється з води шляхом фільтрування її через механічні фільтри, встановлені в теплому ящику і на напірній живильній магістралі. Емульговане масло, що становить близько 10-20% загального масловмісту конденсату, майже не затримується механічними фільтрами і може бути видалено з конденсату шляхом фільтрації його через сорбційні фільтри (наприклад, фільтри з активованим вугіллям, діатомітові фільтри та ін.). Правильна експлуатація механічних фільтрів дозволяє понизити вміст масла в живильній воді до встановленого нормою. Одночасно проводиться очищення конденсату від механічних домішок.

Існують різні конструкції теплих ящиків. Одна з найдосконаліших і найпростіших з класичною схемою розташування фільтруючих матеріалів (волоконні, зернисті, тканинні) наведена на рис. 2.7. У першому по ходу конденсату відсіку на грати укладається маніла, сизаль або люфа шаром 2-3 см, далі завантажуються деревна стружка або шматки поролону в сітках розмірами 15×20×20 мм і встановлюються залізні ґрати. На ґрати кладеться лист поролону завтовшки 15 мм, який збирає масло, що сплигло.

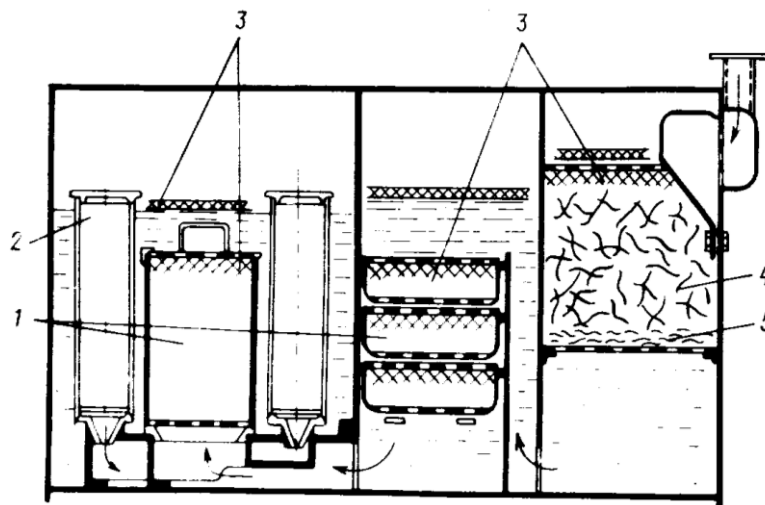


Рис. 2.7. Конструктивна схема теплового ящика:

1 – кокс; 2 – матерчатий фільтр; 3 – поролон; 4 – стружка деревна; 5 – маніла.

У другий відсік входять три ящики з решітчастими днищами, встановлені один на інший. У кожен ящик завантажуються шматки коксу розмірами 15×15 мм. Зверху коксу укладаються шматки поролону розмірами $15 \times 20 \times 20$ мм шаром 2-3 см. Ящик без зусилля (щоб не стиснути поролон) закривається ґратами. Для збирання плаваючого масла на поверхні води за розмірами відсіку укладається лист поролону завтовшки 25 мм.

Третій відсік містить матерчаті фільтри і ящик з коксом розмірами 15×15 мм. Зверху коксу укладаються шматки поролону розмірами $15 \times 20 \times 20$ мм шаром 8-10 см. Коксовий ящик закривається ґратами (не стискаючи поролону).

Матерчаті фільтри складаються з дванадцяти стаканів, на які одягаються мішки з махрової тканини, так звані панчохи. Кожна панчоха зшивається з одного боку і одягається на стакан вверх дном. Внизу стакана тканина для ущільнення закріплюється дротом або мотузкою. Зібрані таким чином стакани акуратно вставляються конусною частиною в гнізда теплового ящика. На поверхню конденсату вкладаються листи поролону для збирання плаваючого .

масла. Обслуговування теплового ящика полягає в періодичній зміні фільтруючих матеріалів

Періодичність зміни фільтрувальних матеріалів залежить від режиму роботи живильної системи і вмісту масла в конденсаті.

Розроблена схема заміни фільтрувальних матеріалів.

Фільтри, що встановлюються на напірній магістралі живильної води, також різноманітні за своєю конструкцією. Одна з найдосконаліших і простіших наведена на рис. 2.8. Зазвичай встановлюється по два фільтри, які можуть працювати паралельно й поодиночці. При експлуатації фільтрів заміну фільтрувальних матеріалів слід проводити у міру підвищення тиску перед фільтром до встановленої межі (що характеризує забруднення фільтруючих матеріалів). В цілому робота нагнітальних фільтрів не є ефективною.

До фільтрів періодичної дії відносяться також ціла група конструктивно відмінних між собою фільтрпресів (автоматичний фільтрпрес ФПАКМ, автоматизований вертикальний листовий фільтр та горизонтальний листовий фільтрпрес з круглими рамками), плиточно-рамний фільтрпрес, камерний фільтрпрес та інші.

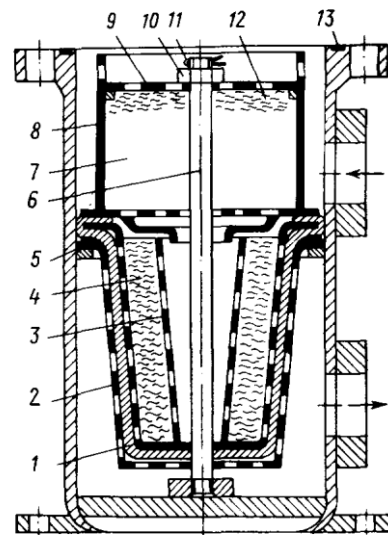


Рис. 2.8. Конструктивна схема напірного фільтра живильної води:

- 1 – махрова тканина; 2 – конусний стакан;
- 3 – підвідний конусний стакан;
- 4, 12 – маніла або поролон;
- 5, 13 – прокладка; 6 – стяжна шпилька;
- 7 – кокс; 8 – циліндричний стакан;
- 9 – решітка; 10 – гайка; 11 – шпінт.

Такі фільтрпреси успішно використовуються для обробки шламів різних виробництв з метою зменшення їхньої вологості, у тому числі, шламу комунального, шламу каналізаційної очисної станції, шламу розплідників (рос. – «питомників») та ін. Такі фільтри мають високу продуктивність, а, як випливає з назв фільтрів, частина з них автоматизована.

Розглянемо конструкцію одного з таких фільтрів.

Плиточно-рамний фільтрпрес (рис. 2.9).

Рамні фільтрпреси складаються з опорних стійок 1 і 10; на першій укріплена упорна плита 2, на другій – механізм затиску плити і стійки 7. Стійки зв'язані між собою прогонами 6, які спираються на шпренгельні ферми 11. Шток затискного механізму спирається у затискну плиту 5, яка вільно підвішена на прогонах. Кронштейни плити для полегшення переміщення її по прогонах постачені роликами. Між упорною і затискними плитами розташовані плити 3 і рами 4, які утворюють камери фільтрпресу.

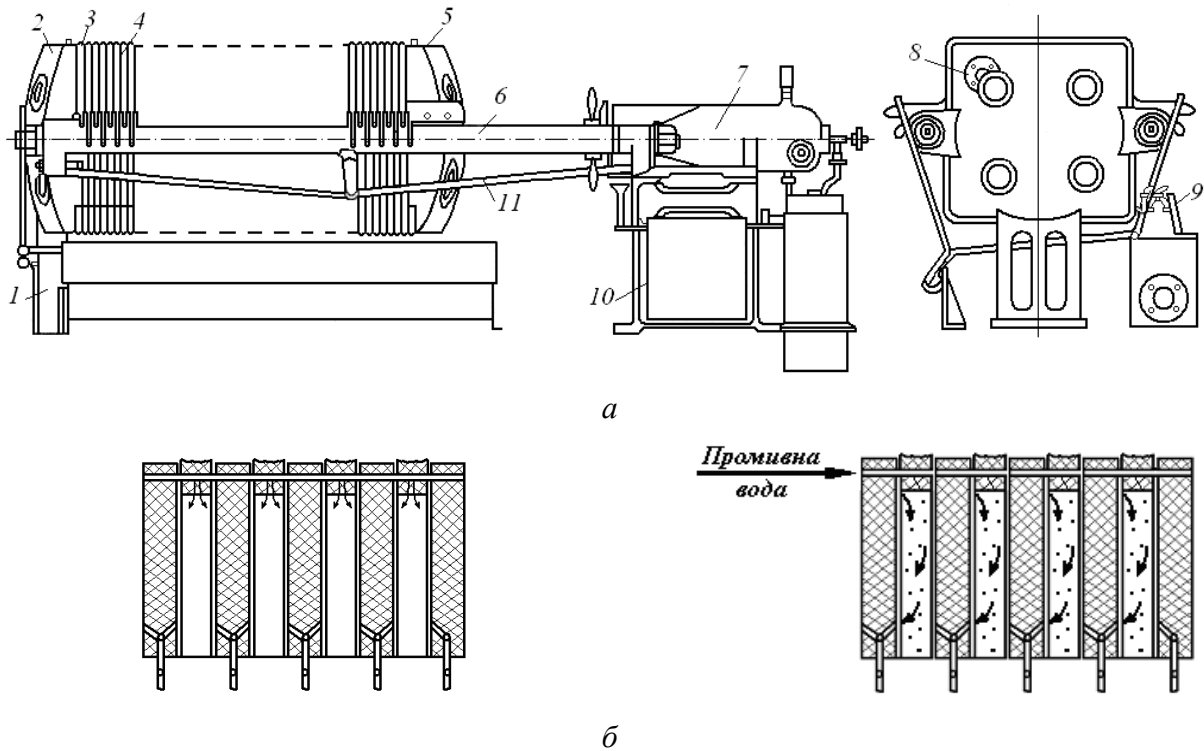


Рис. 2.9. Плиточно-рамний фільтрпрес:

а – конструкція фільтру: 1 і 10 – опорні стійки; 2 – упорна плита; 3 – фільтрувальні плити; 4 – фільтрувальні рами; 5 – затискна плита; 6 – прогоны; 7 – механізм затиску плит; 8 – штуцер для підведення суспензії; 9 – кран для відведення фільтрату; 11 – шпренгельна ферма;

б – схема фільтрування і промивки на рамному фільтрпресі.

Плити являють собою плоскі пластини, що мають внутрішню рифлену з обох боків поверхню. Рифлення плит має на меті створення каналів для стікання фільтрату і виконується у вигляді вертикальних борозен, у вигляді усічених пірамідок і похилих борозен, що сходяться до вивантажувального отвору. Окрім прямокутних плит, використовуються круглі плити. Їхні габаритні розміри дещо більші, ніж квадратні, але для їх затиску потрібні менші

зусилля, оскільки за інших рівних умов можна одержати меншу площу контакту між плитою і рамою.

Робота фільтрпресу відбувається так. Плити вкриваються з обох боків фільтрувальною тканиною (серветкою), у ній прорізаються отвори відповідно отворам в плитах і рамах. Після цього плити і рами стискаються за допомогою затискного пристосування. У праві живильні канали подається фільтрована рідина (рис. 2.9, б), яка поступає через отвори рам в камери, утворені плитами і рамами. Під тиском рідина проникає через тканину і через нижній отвір і кран стікає в корито. Фільтрування триває до заповнення осадом простору між плитами. Після фільтрування відбувається промивка.

2.6.2. Фільтри безперервної дії

Для видалення колоїдних частинок і муті зі стічних вод рекомендуються вакуум-фільтри безперервної дії. За конструкцією вакуум-фільтри діляться на групи: барабанні із зовнішнім живленням, барабанні з внутрішнім живленням, дискові, тарілчасті й стрічкові. Фільтри, що працюють під вакуумом, ще називають відсмоктувальними. Такі фільтри мають високу продуктивність [$1220\text{--}12200 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$], зневоднений осад легко видаляється з фільтрувального матеріалу, що дає можливість його збирати і утилізувати як тверді відходи.

Такі фільтри використовуються як для фільтрування, так і для зневоднення (просушування) осаду. Робочий цикл вакуум-фільтрів включає такі операції: фільтрування, зневоднення, видалення зневодненого осаду, регенерацію фільтрувальної тканини.

Фільтрування і зневоднення здійснюють під дією вакууму. При цьому на фільтрувальній тканині спочатку утворюється шар відфільтрованого осаду, який потім зневоднюється (просушується) атмосферним повітрям. Фільтрат (рідка фаза) віддаляється через вакуумну лінію.

Видалення зневодненого осаду з поверхні фільтрувальної тканини проводиться за допомогою різних механічних пристроїв або віддувкою стисненим повітрям. Регенерація тканини здійснюється з метою відновлення фільтруючої здатності продуванням стисненим повітрям або промивкою.

У деяких конструкціях фільтрів, що серійно випускаються, після здійснення першого просушування осадів передбачена можливість їхньої промивки і другого просушування. При обробці осадів стічних вод ці операції не виконуються.

Як приклад, розглянемо конструкцію і роботу стрічкового і барабанного вакуум-фільтрів.

Стрічковий вакуум-фільтр (рис. 2.10) складається з рухомої стрічки 7, натягнутої на приводний 2 і натяжний 6 барабани. Фільтруюча стрічка перфорована, зверху вкривається фільтруючою тканиною. По краях стрічки встановлені борти й огорожі. Посередині стрічка забезпечена поперечними ребрами, що розділяють фільтр на низку секцій. Під стрічкою встановлений стіл 3 з вакуум-камерами. Фільтри забезпечені пристроями для згладжування тріщин і вібраторами для зменшення вологості осаду. Суспензія подається на

лоток 5, а потім на стрічку. Фільтрат поступає в стіл і з нього видаляється з фільтру по трубопроводу 8. Осад промивається водою з труби 4 і знімається із стрічки валом 1.

Продуктивні стрічкових фільтрів складає 100-600 т сухого осаду/год.

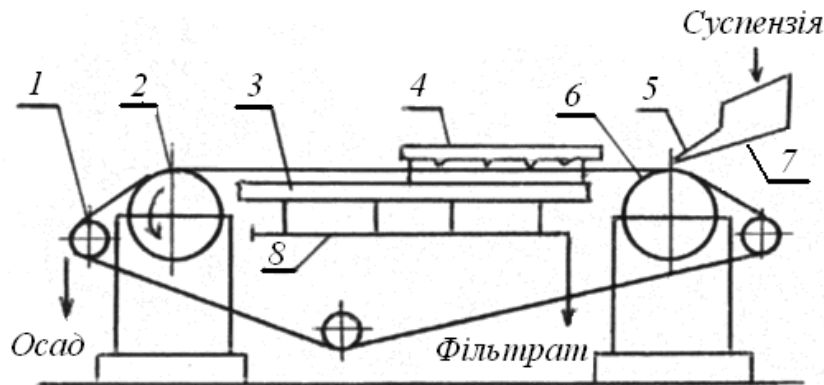


Рис. 2.10. Стрічковий вакуум-фільтр (стандартний):

1 – валик зняття осаду; 2 – приводний барабан; 3 – стіл з вакуум-камерою; 4 – труба для промивки; 5 – лоток для подачі суспензії; 6 – натяжний барабан; 7 – перфорована стрічка; 8 – трубопровід для відведення фільтрату.

Барабанні вакуум-фільтри.

Робочий орган – циліндричний барабан з подвійною стінкою, що поволі обертається. Простори між стінками розділено радіальними перегородками на ряд комірок 1 (рис. 2.11). Комірки закриті перфорованими листами, які вкриті

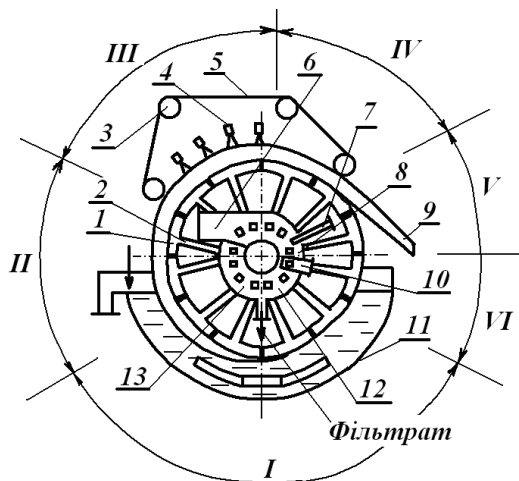


Рис. 2.11. Барабанний комірчастий вакуум-фільтр:

1 – комірка барабану; 2 – дренажні труби; 3 – ролики; 4 – форсунки; 5 – промивна тканина; 6 – канал розподільного пристрою; 7 – штуцер; 8 – розподільний пристрій; 9 – ніж; 10 – штуцер; 11 – корито; 12 – відсік розподільного пристрою; 13 – маятникова мішалка.
I – зона фільтрування; II – зона просушування; III – зона промивки; IV – зона другого просушування; V – зона видалення осаду; VI – зона регенерації тканини.

фільтрувальною тканиною в один або два шари. При використанні двох шарів нижній – більш рихлий, верхній – щільніший. Комірки сполучені дренажними трубками 2 з маточиною (рос. – ступица), до якої кріпляться порожнисті цапфи з розподільним пристроєм 8, що знаходиться під вакуумом. Барабан приводиться в обертання від приводу через зубчасте колесо. Розподільний пристрій складається з круглого корпусу, коміркової й розподільної шайб. Корпус розділений перегородками на відсіки з штуцерами. Коміркова шайба

має по колу отвори по кількості комірок фільтру, вона обертається разом з барабаном, а розподільна шайба закріплена на корпусі розподільного пристрою і має секторні вікна. Шайби пришліфовані й притиснені одна до одної вакуумом і пружиною. Суспензія подається в корито 11, що має маятникову мішалку 13, в корито занурена нижня частина барабана. У зоні I під дією вакууму відбувається фільтрування, при цьому на тканині утворюється осад. Фільтрат збирається в порожнині комірок 1, і через дренажні трубки 2 і відсік 12 відводиться в збірник фільтрату. У зоні II комірки вже не занурені в суспензію і під дією вакууму повітря витісняє рідину з пор осаду, зневоднюючи його. У зоні III осад зрошується рідиною з форсунок 4, через пори тканини 5, натягнутої на ролики 3. Тут комірки через канал 6 сполучені зі збірником промивного фільтрату. Під дією вакууму промивна рідина витісняє з пор осаду залишки рідкої фази. У зоні IV відбувається друге зневоднення (просушування), залишки промивної рідини поступають в збірник промивного фільтрату. У зоні V ножами 9 з тканини віддаляється осад. Через штуцер 7 в осередки подають стиснене повітря для відділення осаду від тканини. У зоні VI, через штуцер 10 у комірки подають стиснене повітря, яке проходить через тканину і барботується через суспензію, при цьому тканина відмивається від частинок, застряглих в її порах – відбувається регенерація тканини.

Такий фільтр має продуктивність 50-70 т сухого осаду/год.

Дискові фільтри.

Дискові фільтри (рис. 2.12) мають більшу поверхню фільтрування на одиницю об'єму й маси апарату в порівнянні з барабаними. Фільтрувальні диски 4 занурені в корито 1 з суспензією. У кориті суспензія збовтується маятиковою мішалкою 11. Диски зібрані з секторів 12 і насаджені на порожнистий вал 3 з комірками 13. Корито поділене на великі камери перегородками 10. Мішалка приводиться в рух приводом 8, а вал барабана – приводом 9 через зубчате колесо 6. Вал встановлено на підшипниках 7. Сектори дисків складаються з рамки, вкритої перфорованим листом, вони

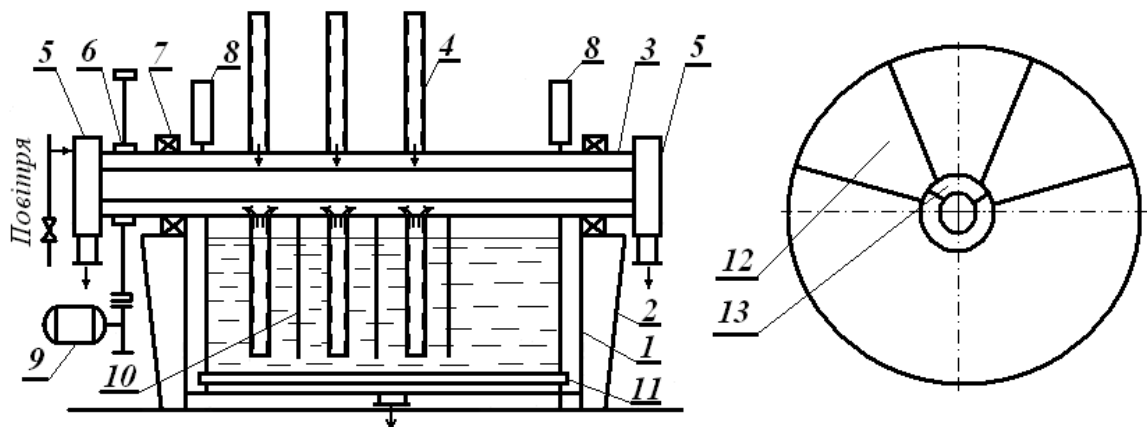


Рис. 2.12. Дисковий вакуум-фільтр:

- 1 – корито; 2 – рама; 3 – порожній вал; 4 – фільтрувальні диски; 5 – розподільна голівка; 6 – зубчате колесо; 7 – підшипники; 8 – привод маятикової мішалки; 9 – привод валу; 10 – перегородки; 11 – маятикова мішалка; 12 – сектори дисків; 13 – комірка валу; 14 – перфоровані листи секторів.

вставляються у мішок з фільтрувальної тканини. Фільтрування відбувається на секторах, занурених в суспензію, за рахунок вакууму, який утворюється в порожньому валу. Фільтрат проходить через тканину, перфорований лист і поступає в комірки валу, а з них – через розподільну голівку 5 надходить в збірник фільтрату. На незанурених секторах відбувається осушення осаду. Осад відділяється від тканини при імпульсній подачі стисненого повітря у відповідний сектор диска через спеціальний клапан. Тривалість імпульсу 2 с. Стисненим повітрям здійснюється і регенерація тканини. Осад знімається ножами з обох боків диска. Промивка осаду не проводиться. Діскові фільтри використовуються у великотоннажних виробництвах гірничорудної, вугільної і металургійної промисловості; в останній час їх стали використовувати в системах водопідготовки (див. розділ 13.4).

Таким чином, ми розглянули два методи очищення неоднорідних систем – відстоювання та фільтрування. Ці методи поєднуються у фільтрі-відстійнику. Працює фільтр за схемою висхідного фільтрування. У верхню частину відстійника вбудовується фільтр з плаваючим завантаженням – спіненим полістиролом.

2.7. Мікрофільтрація, ультрафільтрація, нанофільтрація

В останні час в технології очищення води все більше місце займають мембранні процеси низького тиску: мікрофільтрація, ультрафільтрація, нанофільтрація.

Процес мікрофільтрації полягає в проціджуванні стічної води через шар сіток з отворами розміром від 40 до 70 мкм. Барабанні сітки мають розмір осередків від $0,3 \times 0,3$ до 5×5 мм. Мікрофільтри застосовують для очищення стічних вод від твердих і волоконних матеріалів.

Серед мембранних методів найстрімкіше розвивається і впроваджується ультрафільтрація – 74% всіх мембранних методів. Ультрафільтраційна технологія використовується в світовій практиці для очищення води з різних поверхневих вододжерел. Залежно від складу води ультрафільтраційна технологія застосовується в чистому вигляді або в комбінації з іншими методами.

2.8. Розрахунки фільтрів

Як вже відмічалось, фільтрування може вестися у періодичному або безперервному режимі. В залежності від цього розрахунки фільтрів проводяться по-різному. Розглянемо такі розрахунки для фільтрів періодичної та безперервної дії.

Розрахунок рідинних фільтрів періодичної дії. Визначають продуктивність одного фільтру з заданою поверхнею, або кількість фільтрів, що забезпечує продуктивність усієї установки. Загальна тривалість процесу фільтрування складається з тривалості власне фільтрування τ і тривалості допоміжних операцій (промивка, продувка осаду) – τ_d .

На практиці час фільтрування τ , як правило, визначається необхідністю отримання заданої раціональної товщини шару осаду:

- для фільтрів з плоскою горизонтальною перегородкою – 50-250 мм,
- для наливних батарейних фільтрів – 10-40 мм,
- для багатокамерних – 20-80 мм.

Час, потрібний для утворення осаду товщиною l (час фільтрування), визначають за (2.7) і (2.8). Час, потрібний для проведення допоміжних операцій, визначають за виробничими даними. $\tau_{\text{заг.}} = \tau + \tau_{\text{д.}}$

Середня продуктивність фільтру дорівнює

$$V_{\tau \text{ сер}} = \frac{V_{\tau a}}{Fl} \cdot \quad (2.9)$$

За заданою продуктивність фільтрувального агрегату $V_{\tau a}$ знаходять по таблицях (нормах) фільтрувальну поверхню одного фільтру. Далі розраховують кількість циклів фільтрування, котрі треба здійснити за добу:

$$a = \frac{V_{\tau a} \times 24}{Fl} \cdot \quad (2.10)$$

Кількість циклів фільтрування, які можна провести на одному фільтрі за добу:

$$b = \frac{24}{\tau + \tau_{\text{д.}}} \cdot \quad (2.11)$$

а необхідна кількість фільтрів

$$n = \frac{a}{b} \cdot \quad (2.12)$$

Розрахунок фільтрів безперервної дії. За заданою продуктивністю визначають довжину і площу фільтрувальної поверхні, швидкість її руху. А у випадку установки кількох фільтрів розраховують їхню кількість.

Вводимо позначення:

L – загальна робоча довжина стрічки,

$L_{\text{ф}}, L_{\text{пр}}, L_{\text{д}}$ – довжини ділянок фільтрування, промивки, допоміжних операцій,

$F_{\text{ф}}, F_{\text{пр}}, F_{\text{д}}$ – площі цих ділянок,

b – ширина стрічки.

Експериментально визначають товщину шару осаду. Кількість осаду за одиницю часу:

$$V_x = Bl\omega. \quad (2.13)$$

Час фільтрування визначається з (2.7) або (2.8).

Довжина ділянки фільтру

$$L_{\text{ф}} = \omega\tau. \quad (2.14)$$

Її площа

$$F_{\phi} = \omega \tau_{\phi}. \quad (2.15)$$

Для ділянки промивки

$$F_{\text{пр}} = \frac{V_{\tau_{\text{пр}}} \cdot R_{\text{заг}}}{\Delta p}, \quad (2.16)$$

$$L_{\text{пр}} = L_{\phi} \frac{F_{\text{пр}}}{F_{\phi}}. \quad (2.17)$$

τ_d визначається експериментально.

$$L_d = \omega \cdot \tau_d, \quad (2.18)$$

$$L = L_{\phi} + L_{\text{пр}} + L_d. \quad (2.19)$$

Зі співвідношення

$$\frac{\pi D_n \cdot n}{60} = \omega \quad (2.20)$$

визначають діаметр привідного барабану D_n за заданим числом його обертів, або число обертів барабану за його заданим діаметром:

$$n = \frac{60\omega}{\pi D}. \quad (2.21)$$

Фільтрувальні центрифуги

За своєю будовою вони подібні осаджувальним, але, як уже відмічалось раніше, як фільтрувальні використовуються нормальні центрифуги, ротори яких мають достатньо великі розміри і виготовляються з перфорованих листів або сіток.

Фільтрувальні центрифуги поділяються:

- 1) *За режимом дії:*
 - а) періодичні,
 - б) безперервнодіючі.
- 2) *За способом вивантаження осаду:*
 - а) з ручним вивантаженням,
 - б) автоматичні,
 - в) гравітаційні,
 - г) з пульсуючим поршнем,
 - д) з відцентровим вивантаженням.

При розрахунках центрифуг визначають тиск фільтрування, що розвивається. Для наближених розрахунків користуються формулою:

$$\Delta p_{\text{вц}} = \frac{C}{F}, \quad (2.22)$$

де C – відцентрова сила (Н), що розвивається при центрифугуванні, визначається за рівнянням:

$$C = \frac{Mu^2}{R} = M\omega^2 R \approx 40Mn^2 R \approx 20Mn^2 D; \quad (2.23)$$

де M – маса осаду і рідини, що знаходяться в барабані центрифуги, кг;

u – лінійна швидкість, м/с;

ω – кутова швидкість, 1/с;

$D = 2R$ – діаметр барабану, м;

n – частота обертання центрифуги, 1/с.

$F = \pi DH$ – середня поверхня фільтрування, м²;

D – внутрішній діаметр барабану центрифуги, м;

H – висота барабану (у центрифугах періодичної дії) або довжина зони фільтрування (у центрифугах безперервної дії), м;

Для більш точних розрахунків використовують формулу:

$$\Delta p_{\text{вц}} = 20\rho_c n^2 (R_2^2 - R_1^2) = 5\rho_c n^2 (D_2^2 - D_1^2), \quad (2.24)$$

де ρ_c – густина суспензії, кг/м³;

$D_1 = 2R_1$ – діаметр внутрішнього шару рідини, м;

$D_2 = 2R_2$ – внутрішній діаметр барабану, м;

2.9. Приклади розрахунків фільтрувальної апаратури

Приклад 2-1. Необхідно відфільтрувати суспензію на рамному фільтрпресі і за 3 год. одержати 6 м³ фільтрату. Дослідне фільтрування цієї суспензії на лабораторному фільтрпресі при тому ж тиску і тій же товщині прошарку осаду показало, що константи фільтрування, віднесені до 1 м² площі фільтра, мають такі значення: $K=20,7 \cdot 10^{-4}$ м²/год. і $C=1,45 \cdot 10^{-3}$ м³/м². Визначити необхідні розміри фільтрпресу.

Решеніє. Знаходимо за рівнянням фільтрування (2.8) продуктивність 1 м² фільтрпресу:

$$V^2 + 2 \cdot 0,145 \cdot 10^{-2} V = 20,7 \cdot 10^{-4} \cdot 3,$$

звідки

$$V = -0,145 \cdot 10^{-2} + \sqrt{(0,145 \cdot 10^{-2})^2 + 62,1 \cdot 10^{-4}} = -0,145 \cdot 10^{-2} + 7,88 \cdot 10^{-2} = 7,73 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 / \text{м}^2$$

за цикл фільтрування, тобто за 3 год.

Отже, для заданої продуктивності необхідна поверхня фільтрування:

$$F = \frac{6}{0,0773} = 77,5 \text{ м}^2.$$

За каталогом вибираємо найближчий більший фільтрпрес з $F=83$ м², що має 42 рами розміром 1000×1000 мм.

Поверхню фільтрування можна визначити також безпосередньо з рівняння (2.8), складеного для усього фільтра с поверхнею F і продуктивністю VF м³ фільтрату за цикл фільтрування:

$$V_F^2 + 2V_F FC = KF^2 \tau$$

$$6^2 + 2 \cdot 6 \cdot 1,45 \cdot 10^{-3} F = 20,7 \cdot 10^{-4} \cdot 3F^2,$$

звідки $F=77,4$ м².

Приклад 2.2. Вибрати тип фільтрувального апарату і визначити необхідну кількість апаратів на підставі таких даних:

- 1) початкова концентрація твердої фази в суспензії 4,7%, відносна густина суспензії 1,1;
- 2) добове завдання 9 т вологого осаду;
- 3) осадок повинний мати найменшу вологість, оскільки надалі йде на сушіння;
- 4) осадок аморфний, що погано фільтрується.

Попередні досліді фільтрування суспензії на лабораторному відсмоктувальному фільтрі і на центрифугі дали результати, наведені в табл. 2.1.

Барабан центрифуги мав $D = 400$ мм, $H = 250$ мм, $n = 800$ об./хв.

Таблиця 2.1

Результати попередніх дослідів зі зневоднення осаду

Характеристика	Фільтр	Центрифуга
Площа фільтрування, м ²	1	0,3
Товщина прошарку осаду, мм	60	30
Тривалість:		
фільтрування	1 год.	45 хв.
промивання	2 год.	33 хв.
загальна	3 год.	1,3 год.
Профільтровано суспензії, дм ³	170	108
Залишкова вологість осаду, %	85	78
Тиск, мм рт. ст	400	-

Рішення. 1. Визначення тиску фільтрування.

Фільтр

$$\Delta p = \frac{400}{760} = 0,525 \text{ ат} = 5,15 \cdot 10^4 \text{ Па}.$$

Центрифуга

При коефіцієнті заповнення барабану центрифуги під час її роботи $\varphi = 0,5$ маємо об'єм суспензії (робочий об'єм барабану):

$$V_c = 0,785D^2H\varphi = 0,785 \cdot 0,4^2 \cdot 0,25 \cdot 0,5 = 0,0157 \text{ м}^3.$$

Тиск фільтрування при центрифугуванні визначаємо за формулою:

$$\Delta p = \frac{\pi^2 MRn^2}{900F} = \frac{0,011MRn^2}{F} = \frac{0,011 \cdot 0,0157 \cdot 1100 \cdot 0,2 \cdot 800^2}{0,3} = 8,1 \cdot 10^4 \text{ Па або } 0,83 \text{ ат}$$

Отже, тиск при центрифугуванні був у півтора рази більший, ніж при фільтруванні на відсмоктувальному фільтрі.

2. Визначення питомої продуктивності.

Відсмоктувальний фільтр

Профільтровано 170 дм³ суспензії з початковою концентрацією 4,7%, тобто зібрано осаду, рахуючи на суху речовину:

$$G = 0,170 \cdot 1100 \cdot 0,047 = 8,8 \text{ кг.}$$

Тривалість всієї операції 3 год. (без урахування часу на розвантаження), отже, питома продуктивність:

$$\frac{G}{F\tau} = \frac{8,8}{3 \cdot 1} = 2,94 \text{ кг сухого осаду}/(\text{м}^2 \cdot \text{год.}).$$

Рахуючи на вологий осад (при вологості 85%):

$$\frac{2,94}{0,15} = 19,5 \text{ кг вологого осаду}/(\text{м}^2 \cdot \text{год.})$$

Центрифуга

Профільтровано 108 дм³ суспензії, отже, отримано осаду, рахуючи на суху речовину:

$$G = 0,108 \cdot 1100 \cdot 0,047 = 5,54 \text{ кг.}$$

Відповідно, питома продуктивність:

$$\frac{G}{F\tau} = \frac{5,54}{0,3 \cdot 1,3} = 14,3 \text{ кг сухого осаду}/(\text{м}^2 \cdot \text{год.}).$$

Рахуючи на вологий осад (при вологості 78%)

$$\frac{14,3}{0,22} = 65 \text{ кг вологого осаду}/(\text{м}^2 \cdot \text{год.}).$$

3. Зіставимо, наскільки більше треба видалити води при сушінні вологого осаду після відсмоктувального фільтра в порівнянні з осадом, віджати на центрифугу.

Вологість осаду на відсмоктувальному фільтрі 85%, а на центрифугу 78%, отже, центрифуга видаляє води більше, ніж відсмоктувальний фільтр, на 2120 кг:

$$\frac{1000}{0,15} - \frac{1000}{0,22} = 2120 \frac{\text{кг води}}{\text{т сухого осаду}}.$$

Зіставляючи дослідні й розрахункові дані з фільтрування осаду, можна **констатувати таке.**

Центрифуга, працюючи із тиском фільтрування в $\frac{0,83}{0,525} = 1,6$ рази більшим і при товщині шару осаду в 2 рази меншій, ніж у випадку відсмоктувального фільтру, дає продуктивність у $\frac{14,3}{2,94} \approx 5$ разів більшу, ніж відсмоктувальний фільтр (рахуючи на сухий осад; у перерахунку на вологий осад продуктивність центрифуги більша в $\frac{65}{19,5} = 3,3$ рази).

Центрифуга, у порівнянні з відсмоктувальний фільтром, дає меншу залишкову вологість і тим самим полегшує роботу сушарки, звільняючи її від випару 2,12 т води (рахуючи на 1 т сухого осаду).

При добовій продуктивності 9 т осаду з вологістю 78% і питомій витраті пари на сушіння, що дорівнює 1,5 кг/кг випареної вологи, економія пари за добу складе:

$$D_n = 9 \cdot 0,22 \cdot 2,12 \cdot 1,5 = 6,3 \text{ т.}$$

Велика питома продуктивність центрифуги, менша залишкова вологість осаду і, отже, істотна економія пари при сушінні осаду змушують у даному випадку віддати перевагу центрифугі, незважаючи на її більш високу вартість.

4. Визначимо орієнтовно кількість промислових центрифуг, необхідних для виконання добового завдання (9 т вологого осаду).

При такому порівняно великому завданні доцільно зупинитися на центрифугі напівперіодичної дії з механічним вивантаженням осаду й автоматичним керуванням. За каталогом вибираємо горизонтальну центрифугу з такою характеристикою: $D = 1600$ мм, $H = 700$ мм, $n = 500$ об./хв., корисний об'єм 500 дм³.

Поверхня фільтрування цієї центрифуги: $F = 3,14 \cdot 1,6 \cdot 0,7 = 3,5$ м².

Тиск фільтрування, що розвивається, розраховуємо за формулою (2.22):

$$\Delta p = \frac{0,011 \cdot 0,5 \cdot 1100 \cdot 0,8 \cdot 500^2}{3,5} = 34,6 \cdot 10^4 \text{ Па або } 3,5 \text{ ат.}$$

Таким чином, промислова центрифуга розвиває тиск фільтрування у $\frac{3,5}{0,83} = 4$ рази більший, ніж дослідна центрифуга.

Орієнтовно продуктивність фільтрів пропорційна $\sqrt{\Delta p}$, отже, очікується збільшення питомої продуктивності центрифуги майже в 2 рази, тобто до $65 \cdot 2 = 130$ кг вологого осаду/(м²·год.).

Оскільки фільтрування і промивання осаду займають близько 75% загального часу роботи центрифуги напівбезперервної дії, то середня годинна продуктивність її дорівнює $130 \cdot 0,75 = 97 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год.})$.

Отже, добова продуктивність однієї центрифуги, приймаючи для неї 20 робочих годин на добу, складе $97 \cdot 3,5 \cdot 20 = 6800 \text{ кг}$ вологого осаду.

Для забезпечення всієї заданої добової продуктивності необхідно встановити $\frac{9000}{6800} = 1,32$, тобто дві центрифуги, а з резервом – три.

3. КОАГУЛЯЦІЯ І ФЛОКУЛЯЦІЯ

3.1. Коагуляція

Після попереднього відстоювання для досягнення повного освітлення декантовану (зливу через верх) з відстійника воду піддають коагуляції.

Коагуляція (від лат. *coagulatio* – згортання, згущення) – це злипання частинок колоїдної системи при їхніх зіткненнях в процесі теплового руху, перемішування або направленого переміщення в зовнішньому силовому полі. В результаті коагуляції утворюються агрегати – більш крупні (вторинні) частинки, що складаються зі скупчення дрібних (первинних). Первинні частинки в таких агрегатах з'єднані силами міжмолекулярної взаємодії безпосередньо або через прошарок навколишнього (дисперсійного) середовища. Коагуляція супроводжується прогресуючим укрупненням частинок і зменшенням їхньої загальної кількості в об'ємі дисперсійного середовища (у нашому випадку – рідині). Злипання однорідних частинок називається гомокоагуляцією, а різнорідних – гетерокоагуляцією. При коагуляції з природної води можна виділити колоїдно-дисперсні частинки глини, піску, карбонатних та інших порід, а також речовин органічного походження, наприклад, білків. Цього досягають при введенні у воду коагулянтів, найчастіше – різних електролітів.

Іон-коагулянт, який має заряд, протилежний зарядові колоїдної частинки, адсорбується на її поверхні. При цьому знижується заряд частинки і стискається гідратна оболонка навколо неї. Це призводить до того, що окремі частинки об'єднуються з утворенням частинок більшого розміру (*седиментація*) (рис. 3.1) і випадають в осад. Мінімальна концентрація електроліту, яка призводить за певний проміжок часу до явної коагуляції, називається порогом коагуляції. Зі збільшенням заряду іону-коагулянту (катіонів – Na^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} ; аніонів – Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) поріг коагуляції знижується. Наприклад, природні глинисті колоїдно-дисперсні системи мають від'ємний заряд, тому для їхньої коагуляції використовують сульфат алюмінію або алюмінієвий галун (квасці).

Окрім агрегатів, що включають частинки забруднень, молекули води та іони-коагулянти, про додаванні солей алюмінію (або Fe^{3+}), внаслідок гідролізу (взаємодія з водою) цих солей утворюються різні продукти, кінцевим з яких є гідроксид алюмінію $\text{Al}(\text{OH})_3$, який теж утворює рихлий осад. Тому одночасно з коагуляцією відбувається процес адсорбції утвореним рихлим осадом різних органічних забарвлених сполук, в результаті чого вода знебарвлюється.

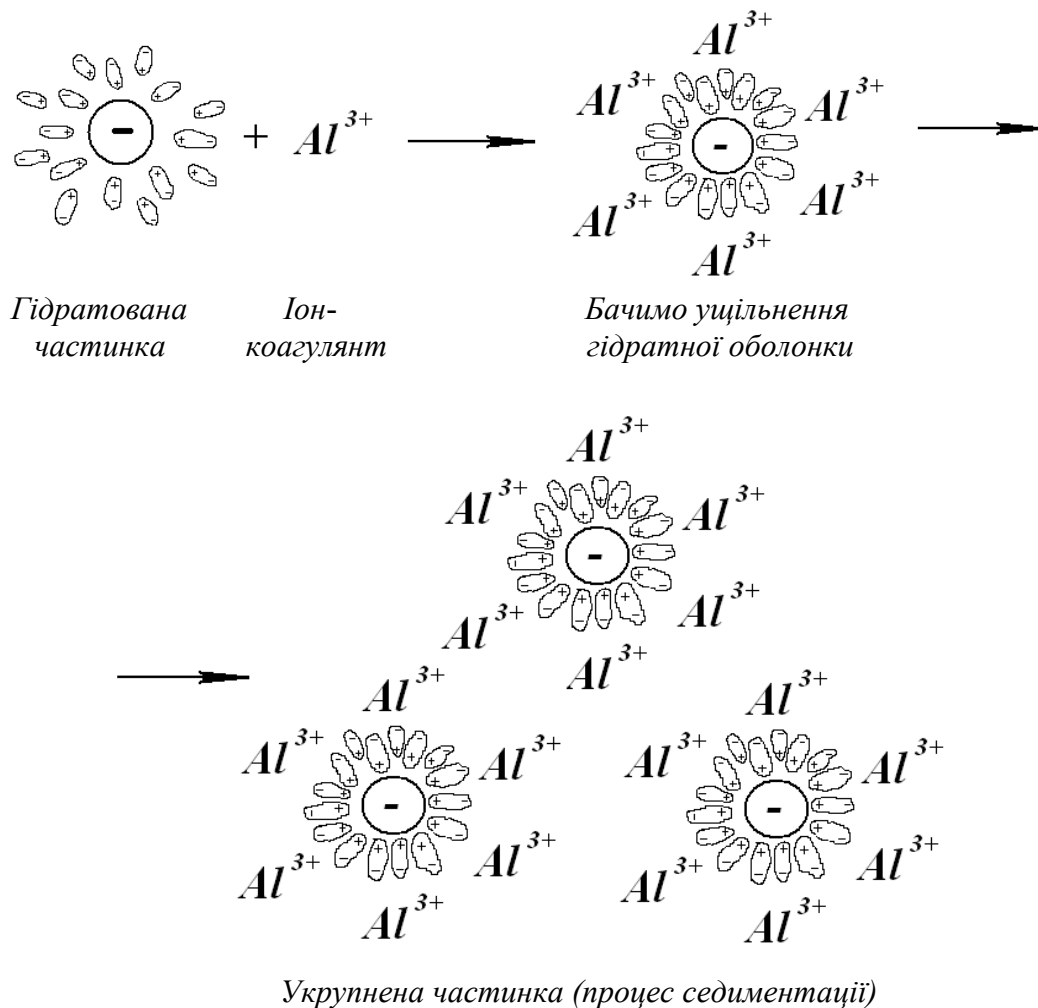
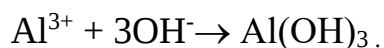


Рис. 3.1. Укрупнення частинок забруднень під дією коагулянтів:

⊖ - заряджена частинка;  - молекула води.

Для сучасного процесу підготовки води значний інтерес являє використання електрохімічних методів, зокрема, електрокоагуляції. Цей спосіб здійснюється в електролізерах з алюмінієвими електродами, що розчиняються; при цьому утворюється гідроксид алюмінію $Al(OH)_3$, який має високу сорбційну властивість по відношенню до шкідливих домішок.

На алюмінієвому аноді (A^+), що розчиняється, відбуваються два процеси – анодне і хімічне розчинення алюмінію з наступним утворенням $Al(OH)_3$:



На катоді (K^-) відбувається виділення бульбашок водню, які підіймають частинки на поверхню води:



Перевагами електрокоагуляції є висока сорбційна здатність електрохімічного $\text{Al}(\text{OH})_3$, можливість механізації і автоматизації процесу, малі габарити очисних споруд.

3.2. Флокуляція

Вода часто містить тонкодисперсні частинки, які мають дуже слабкий заряд. До таких частинок іони протилежного знаку не приєднуються, тому в цьому випадку для підготовки води використовують **флокуляцію** (від флокула, лат. *flocculus* – клаптик, пушинка). Флокуляція є одним з видів коагуляції, при якій дрібні частинки, що знаходяться у зваженому стані, під впливом речовин (флокулянтів), що спеціально додаються, утворюють інтенсивно осідаючі рихлі подібні до пластивців скупчення (рис. 3.2).

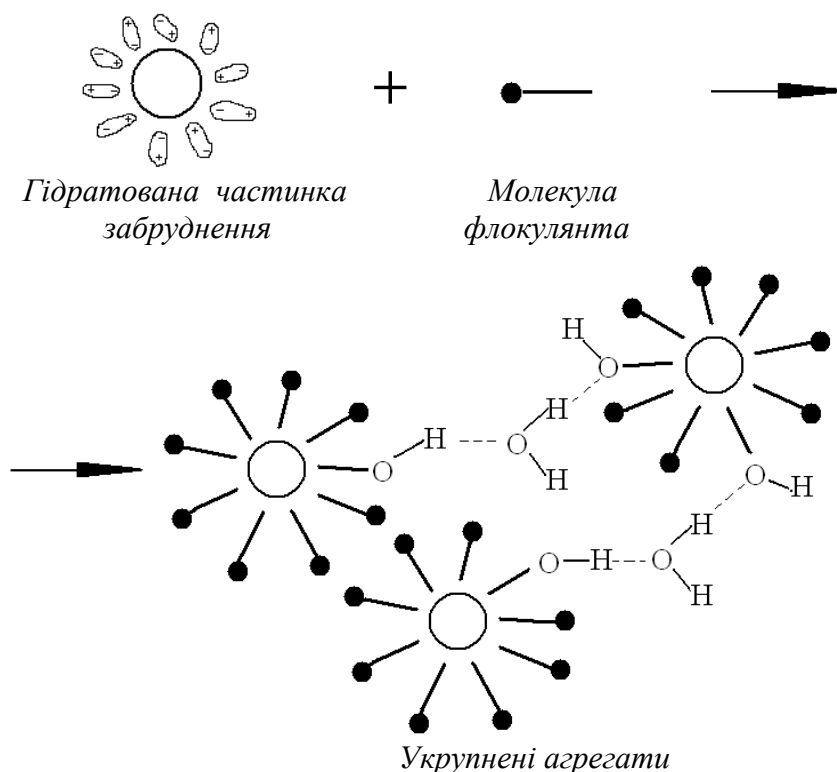
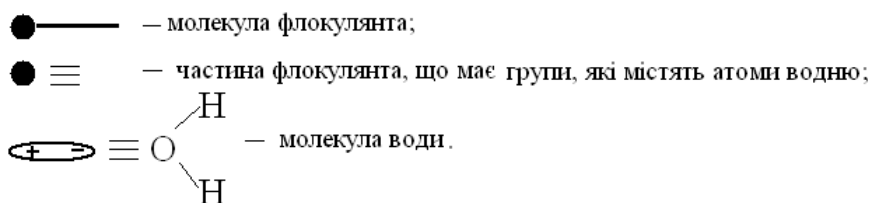


Рис. Схема дії флокулянта (частинки забруднення мають гідрофобну поверхню):



Флокулянти являють собою високомолекулярні сполуки, які розчиняються у воді (карбоксиметилцелюлоза – КМЦ (згадайте клей для шпалер), поліакриламід – ПАА, поліоксиетилен – ПОЕ, крохмаль і т.ін.). Вони мають поверхнево-активні властивості, тобто здатні концентруватися на поверхні поділу фаз, і утворюють місткові зв'язки між окремими частинками дисперсної фази (на рис. показані штриховою лінією), після чого важкі агрегати, які при цьому утворюються, *седиментують* (осаджуються). Флокуляція відбувається дуже швидко, а витрата флокулянту незначна. Тому,

незважаючи на високу вартість флокулянтів, їхнє використання економічно доцільне.

Осад, що утворюється при флокуляції або коагуляції, видаляється з води відстоюванням або фільтруванням.

Як нам вже зрозуміло, методи коагуляції та флокуляції спрямовані на укрупнення колоїдно-дисперсних частинок забруднень до таких розмірів, щоб їх можна було б відокремити від розчину шляхом осадження або фільтрування. Якщо ж у розчині присутні сполуки, що мають істинну розчинність (наприклад, солі), то їх можна перевести в осад шляхом дії хімічних реагентів, які з певними іонами солі утворюють нерозчинні сполуки. У цьому полягає метод хімічного осадження.

4. ФЛОТАЦІЯ

Флотація (франц. flottation, англ. floatation, – букв. плавання на поверхні води) є складним фізико-хімічним процесом, що полягає у створенні комплексу частинка–бульбашка повітря або газу, спливанні цього комплексу і видаленні пінного шару, що утворився. Процес флотації широко застосовують при збагаченні корисних копалин, а також при очищенні стічних вод.

Флотація використовується для поділу неоднорідних систем *тверда речовина – рідина* (суспензії) і *рідина – рідина* (емульсії, наприклад, нафтопродукти у воді).

При потраплянні, приміром, твердої частинки у рідину можуть мати місце два випадки – змочення рідиною твердої поверхні й незмочення. Спостерігати взаємодію рідини з твердою поверхнею можна на такому прикладі. Візьміть прозору скляну ємність невеликого діаметру, краще лабораторну піпетку або бюретку, налейте туди води і розгляньте місце контакту води зі стінкою. Ви побачите картинку (рис. 4.1, *а*) – криволінійна поверхня (меніск) води вогнута. Це добре знають хіміки-експериментатори – вони вимірюють об'єм рідини у піпетці за нижнім краєм меніска. І другий випадок – якщо дуже уважно під лупою розглянути поверхню ртутного стовпчика у термометрі, то побачимо картинку *б* (рис. 4.2). Таким чином, можна сказати, що водою скло змочується, а ртуттю – не змочується. Якщо

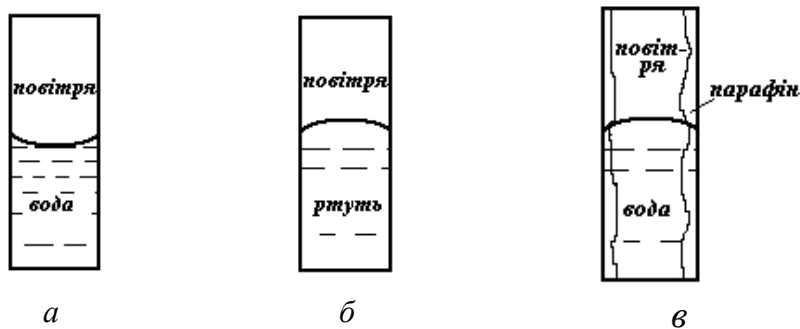


Рис. 4.1. Взаємодія рідин з поверхнею:

а – поверхня скла змочується водою (меніск вогнутий); *б* – поверхня скла не змочується водою (меніск випуклий); *в* – поверхня скла, вкритого парафіном, не змочується водою.

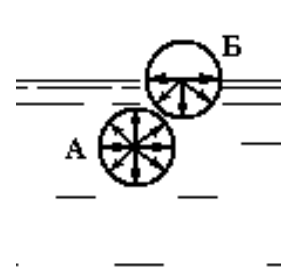


Рис. 4.2. Схема виникнення поверхневого натягу.

вкрити поверхню скла парафіном, то побачимо картинку *в*, тобто скло, вкрите парафіном, втрачає здатність змочуватись водою, тобто, можна змінювати поверхню, що контактує з рідиною, у бажаному напрямку.

Прилипання частинки, що знаходиться у рідині, до поверхні газової бульбашки можливе тільки тоді, коли спостерігається незмочування або погане змочування частинки рідиною.

Між молекулами рідини існують сили міжмолекулярної взаємодії. Усередині об'єму рідини вони врівноважені (молекула **А**) (рис. 4.2). Молекули, що знаходяться на поверхні рідини, відчувають дію міжмолекулярних сил з боку таких само молекул тільки зсередини рідкої фази, а з боку газу діють інші сили (молекула **Б**) – виникає *поверхневий натяг*.

Частинки твердої речовини, що знаходяться на поверхні рідини, вклинюються між її молекулами, що призводить до порушення рівноваги між силами, що діють на поверхні та всередині рідини, а сили поверхневого натягу намагаються відновити цю рівновагу, внаслідок чого гідрофобна частинка намагається виштовхнутися з рідини на поверхню, а гідрофільна занурюється у рідину (рис. 4.3).

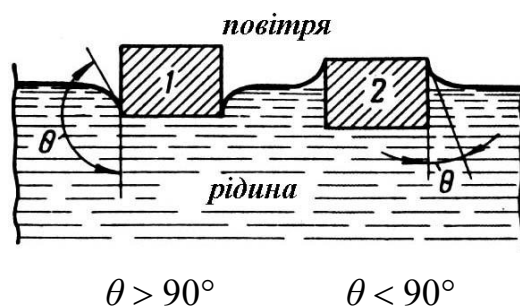


Рис. 4.4. Крайові кути змочування θ :

1 – частинка не змочується водою (гідрофобна); 2 – частинка змочується водою (гідрофільна).

Ступінь змочуваності водою твердих або газових частинок, зважених у воді, характеризується величиною крайового кута змочування θ (рис. 4.4). Чим більший цей кут, тим більша гідрофобна поверхня частинки, тобто збільшується ймовірність прилипання до неї і міцність утримання на її поверхні повітряних бульбашок. Такі частинки мають малу змочуваність і легко флотують.

Зовнішнім проявом здатності рідини до змочування є величина поверхневого натягу її на межі з газовою фазою, а також різниця полярностей на межі рідкої та твердої фаз. Процес флотації йде ефективно при поверхневому натягу води σ не більше 60-65 мН/м. (Величини поверхневого натягу є табличними. Для води при температурі 20°C $\sigma=72,8$ мН/м, при 60°C $\sigma=66,2$ мН/м).

Для спливання гідрофобної частинки треба зменшити її питому вагу. Це відбувається, коли вона прилипає до бульбашок повітря.

Таким чином, першою і головною стадією процесу флотації є створення комплексу *частинка–бульбашка повітря*. Злипання бульбашок повітря

відбувається тільки з гідрофобними частинками (які не змочуються водою) або частинками, що мають гідрофобні ділянки поверхні.

Залежно від способу утворення бульбашок газу розрізняють такі види флотації:

- напірну,
- пневматичну,
- механічну,
- електрофлотацію,
- пінну,
- хімічну,
- вібраційну,
- біологічну та ін.

В даний час на станціях очищення широко використовують напірну, пневматичну і електрофлотацію.

Вид забруднень, що містяться у воді, визначає характер флотаційної обробки: одним повітрям або повітрям у поєднанні з різними реагентами, перш за все коагулянтами. Використання коагулянтів дозволяє значно підвищити ефективність флотаційного очищення і видаляти забруднення, що знаходяться у воді у вигляді стійких емульсій і суспензій, а також у колоїдному стані.

Важливе значення мають також умови і способи видалення піни.

Піна утворюється на поверхні води в результаті спливання бульбашок повітря, які несуть на собі домішки, що видаляються з води. Вона повинна бути достатньо міцною, щоб не допускати попадання забруднень у воду. Крім того, піна повинна мати певну рухливість при переміщенні її до скидних пристроїв. Стійкість і рухливість піни залежать від властивостей і кількості реагентів та забруднень, що вносяться у пінний шар. Стабілізації піни сприяє наявність у воді пластівців коагулянтів, дрібних частинок суспензії і поверхнево-активних речовин (ПАР). Як правило, видалення піни з флотатора проводять або короткочасним підйомом рівня води з відведенням її через лотки, розташовані рівномірно за площею камери, або за допомогою скребкових механізмів (піногонів), що переміщують піну до збірних лотків.

Метод пневматичної флотації. Даний метод заснований на подачі стисненого газу (повітря) в аераційно-розподільну систему флотокамери.

Аераційна система являє собою дрібнобульбашкові аератори різних типів – мембранні дискові аератори, перфоровані гумові шланги, пористі труби й пластини і т.ін. Газ під тиском проходить через отвори аераторів і у вигляді бульбашок однакового діаметру виходить у рідину, що очищується. Бульбашки під дією архімедової сили спливають, зустрічаючи на своєму шляху частинки забруднень і утворюючи з ними досить стійкі комплекси.

За рахунок рівномірної подачі повітря й утворення бульбашок з однаковими розмірами обстановка у флотаційній камері спокійна, що забезпечує надійний підйом флотокомплексів і отримання стійкого пінного продукту.

Метод напірної флотації. Сутність цього методу полягає у виділенні бульбашок газу з пересиченого розчину при перепаді тиску. Газ виділяється у

вигляді мікробульбашок, що зароджуються безпосередньо на частинках забруднення, утворюючи міцні флотокомплекси. В даному методі у флотаційну камеру подається два потоки води: вода, що очищується, і робоча рідина (вода, насичена розчиненим газом в кількості 10% від загального потоку). Робоча рідина готується в сатураторі – апараті, де відбувається розчинення газу. Робочий тиск у сатураторі складає 0,3-0,9 МПа, час розчинення не більше 5 хв. Як робоча рідина може використовуватися або початкова вода, але при цьому ускладнюється експлуатація, або очищена вода.

Вода, що очищується, рівномірно вводиться у флотокамеру. Потік робочої рідини входить через форсунки з високою швидкістю – 15-20 м/с. В результаті різкого зниження тиску на частинках забруднень виділяється газ і протікає флотаційний процес.

Спосіб напірної флотації дозволяє шляхом регулювання тиску легко змінювати кількість розчиненого повітря і розмір бульбашок, що вводяться в оброблювану воду, залежно від складу суспензії у початковій воді.

Основні переваги й недоліки методу напірної флотації.

Процес напірної флотації відрізняється високою ефективністю захоплення найдрібнішими бульбашками повітря частинок забруднень за рахунок того, що бульбашки виділяються з розчину безпосередньо на забрудненнях, утворюючи стійкі флотокомплекси. Міцність флотокомплексів забезпечується за рахунок дрібних розмірів бульбашок, а також за рахунок того, що на одній частинці може закріпитися декілька бульбашок. Проте швидкість підйому таких флотокомплексів досить низька, а інколи найдрібніші бульбашки не можуть підняти частинку і комплекс знаходиться у зваженому стані. Таким чином, при напірній флотації забезпечується міцне злипання бульбашок із забрудненнями, але при цьому спостерігається невелика швидкість підйому утворених флотокомплексів

Метод механічної флотації.

Основним елементом в даному методі є імпелерний блок, що включає електродвигун і імпелер в обсадній трубі.

За рахунок високої швидкості обертання створюється воронка і розрідження в нижній частині, через отвори обсадної труби підсмоктується повітря і потрапляє під лопатки, що обертаються, які його дроблять на дрібні бульбашки. Саме ці бульбашки й розподіляються по об'єму рідини і завдяки ним протікає процес флотації. Дрібні флотокомплекси, що не встигли піднятися, затримуються в тонкошаровому освітлювачі.

На рис. 4.5 наведена схема пневмомеханічної флотаційної машини. В такій машині перемішування пульпи здійснюється одночасно імпелером і стисненим повітрям.

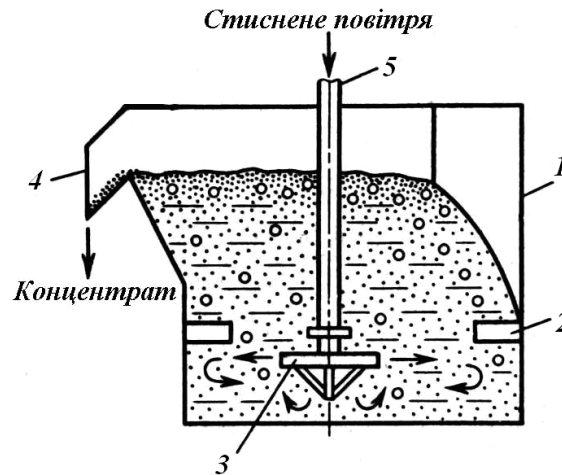


Рис. 4.5. Принципова схема пневмомеханічної флотаційної машини:

1 – камера машини; 2 – пластинчасті заспокоювачі; 3 – імпелер; 4 – зливний поріг;
5 – порожнистий вал (обсадна труба).

Метод електрофлотації.

В даний час на станціях очищення широко використовують електрофлотацію, оскільки електрохімічні процеси, що протікають при цьому, забезпечують додаткове знезараження стічних вод. Крім того, застосування для електрофлотації алюмінієвих або сталевих електродів обумовлює перехід іонів алюмінію або заліза в розчин, що сприяє коагуляції найдрібніших частинок механічних домішок стічної води.

Сутність цього методу полягає у виділенні газових бульбашок на електродах при проходженні електричного струму.

Для очищення стічних вод електрофлотацією розроблені промислові апарати з вертикальним і горизонтальним розташуванням електродів. Апарат з вертикальним розташуванням електродів складається з корпусу і електродів, простір між якими заповнений рідиною, що очищується. При підключенні електродів до джерела живлення відбувається виділення газів на електродах: на аноді – кисню, на катоді – водню. Разом з цим відбувається розчинення анода, виготовленого з дюралюмінію (або сталі) – отримують гідроксид алюмінію (заліза), який сорбує частинки забруднень з утворенням пластівців. З цими пластівцями одночасно злипаються бульбашки кисню і водню. Флотокомплекси пластівці – бульбашки газів підіймаються вгору і утворюють пінний шар.

Флотацію можна використати для вибіркового поглинання певних компонентів стічних вод, наприклад, таких, які можуть мати цінність для подальшого використання.

Але слід відмітити, що більшість твердих речовин мало відрізняються за здатністю змочуватися одні від одних. Щоб досягти хорошого поділу, цю різницю потрібно збільшити, а для цього використовуються різноманітні хімічні сполуки – флотаційні агенти. Ці сполуки (їх ще називають колекторами) адсорбуються поверхнею даного мінералу, утворюючи гідрофобний адсорбований шар. До цього шару прилипають бульбашки повітря і підіймають агрегат на поверхню.

Як колектори використовуються *поверхнево-активні речовини* (ПАР). Це органічні речовини, які містять полярну, або гідрофільну, (О) і неполярну, або гідрофобну (—) групи. Неполарні групи утворені від жирних кислот та їхніх солей (мил). У відповідності з правилом: *подібне притягує подібне* – молекули ПАР орієнтуються відносно частинок забруднень. На рис. 4.6 показано, що молекули ПАР своїми гідрофільними частинами взаємодіють з гідрофільною частинкою забруднення, тобто такою, котра змочується водою. До гідрофобних частин молекул ПАР приєднуються бульбашки повітря. При цьому питома вага частинки зменшується і вона спливає на поверхню.

Спливаючи на поверхню, агрегати утворюють мінералізовану піну (*пінний продукт*) – флотаційний концентрат. Частинки іншої речовини, котрі внаслідок відмінних фізико-хімічних властивостей за цих умов не утворюють аналогічних агрегатів, залишаються в пульпі, утворюючи *камерний продукт*.

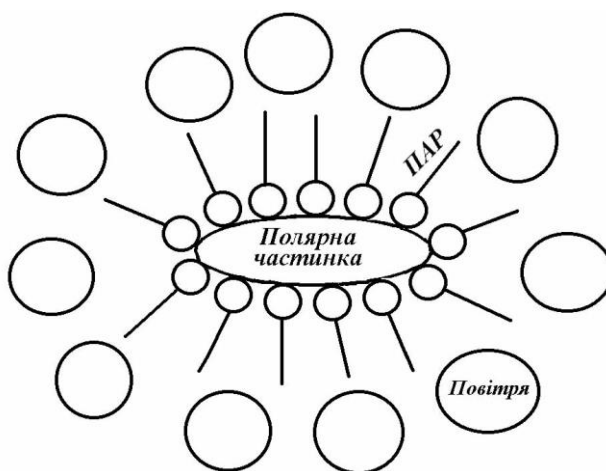


Рис. 4.6. Схема орієнтації молекул ПАР відносно полярної частинки твердої речовини і неполярних бульбашок повітря.

Крім колекторів, при флотації використовуються й інші речовини – піноутворювачі (ПАР – соснове масло та інші), реагенти-модифікатори, до яких відносяться:

- депресори – для підвищення здатності частинок змочуватися (вапно, ціаніди, цинковий купорос, силікат і сульфат натрію);
- активатори – для активації поверхні (мідний купорос, сірчана кислота, сульфід натрію);
- регулятори середовища – вапно, сода, сірчана кислота.

Велике значення при флотації має розмір, кількість і рівномірність розподілу повітряних бульбашок у стічній воді. Оптимальні розміри повітряних бульбашок 15-30 мкм, а максимальні 100-200 мкм..

У практиці очищення виробничих стічних вод розроблені різні конструктивні схеми, прийоми і методи флотації.

Флотаційні установки можуть складатися з одного або двох відділень (камер). В однокамерних установках в одному і тому ж відділенні відбувається одночасно насичення рідини бульбашками повітря і спливання забруднень, що флотують. У двокамерних установках, що складаються з приймального і

відстійного відділень, в першому відділенні відбувається утворення бульбашок повітря і агрегатів бульбашка – частинка, а в другому – спливання шламу (піни) і освітлювання рідини.

Загалом, перевагами флотації є безперервність процесу, широкий діапазон застосування, невеликі капітальні й експлуатаційні затрати, проста апаратура, селективність виділення домішок. В порівнянні з відстоюванням велика швидкість процесу, а також можливість отримання шламу нижчої вологості (90-95%), високий ступінь очищення (95-98%), можливість рекуперації речовин, що видаляються.

5. ІОНООБМІННИЙ МЕТОД

Цей метод використовується як при підготовці технологічної води, так і при очищення промислових та побутових стічних вод.

Відомо, що природна вода містить солі жорсткості – це солі магнію і кальцію, крім того, проходячи по залізних (сталевих) трубах водогонів вода набуває деяку кількість іонів заліза (див. розділ «Водопідготовка»). Ми знаємо про шкідливий вплив таких сполук – достатньо заглянути у наш чайник або усередину відпрацьованої труби (див. рис. 9.1).

Виявилось, що існують нерозчинні у воді сполуки, які мають на своїй поверхні рухомий іон, що входить у склад так званої функціональної групи, який за певних умов вступає в реакцію обміну з іонами того ж знаку, що містяться у воді. При цьому вода, втрачаючи солі жорсткості, пом'якшується. Такі сполуки мають назву іоніти (катіоніти та аніоніти), а метод виділення з водного розчину певних іонів зветься іонообмінним методом. Сутність іонного обміну полягає у здатності іонообмінних матеріалів забирати з розчинів електроліту іони в обмін на еквівалентну кількість іонів іоніту.

Іонообмінний метод застосовується переважно для очищення води при її підготовці для використання у виробництві.

Іоніти підрозділяються на природні та штучні, або синтетичні. Практичне значення мають неорганічні природні та штучні алюмосилікати, гідроксиди і солі багатовалентних металів; застосовуються також іоніти, одержані хімічною обробкою вугілля, целюлози і лігніну. Проте провідна роль належить синтетичним органічним іонітам – іонообмінним смолам.

Іоніти випускають у вигляді гранул розміром 0,2-2 мм. Розрізняють сильно- і слабокислотні катіоніти (у H^+ або Na^+ формі) і сильно- та слабоосновні аніоніти (в OH^- або сольовій формі, або такі, що містять первинні NH_2 і вторинні NH аміногрупи), а також іоніти змішаної дії, що виявляють властивості суміші сильних і слабких кислот або основ.

При контакті з водою іоніти набухають, їхній об'єм зазвичай збільшується в 1,2–2 рази, і в такому стані вони вступають в обмін своїх іонів на іони сполук, присутніх у воді.

Кожний іоніт має певну обмінну місткість, яка виражається кількістю іонів, які іоніт може обміняти протягом фільтроциклу. Обмінну місткість іоніту вимірюють в грам-еквівалентах затриманих катіонів на 1 м^3 іоніту, що

знаходиться в набряклому (робочому) стані після перебування у воді, тобто в такому стані, в якому іоніт знаходиться у фільтрі. Розрізняють повну і робочу обмінну місткість іоніту.

Повною обмінною місткістю називають ту кількість іонів, яка може затримати одним м³ іоніту, що знаходиться в робочому стані, до того моменту, коли жорсткість фільтрату порівнюється з жорсткістю початкової води.

Робочою обмінною місткістю іоніту називають ту кількість іонів, яка затримує одним м³ іоніту до моменту «проскакування» у фільтрат іонів. Робоча обмінна місткість іоніту залежить від виду іонів, що вилучаються з води, співвідношення солей у зм'якшуваній воді, значення рН, висоти шару іоніту, швидкості фільтрування, режиму експлуатації іонітових фільтрів, питомої витрати регенеруючого реагенту і від інших чинників.

Обмінну місткість, віднесену до всього об'єму іоніту, завантаженого у фільтр, називають *місткістю поглинання*.

З часом кількість активних іонів на поверхні іоніту зменшується, оскільки вини заміщуються на іони сполук, присутніх у воді, і робоча обмінна місткість виснажується – іоніт втрачає свою активність і його необхідно регенерувати.

Регенерація (відновлення активності) іоніту поводить насиченими розчинами, вибір яких залежить від типу іонообмінної смоли. Процеси відновлення, як правило, протікають в автоматичному режимі. На регенерацію зазвичай витрачають близько 2 год., з них на розпушування – 10-15 хв., на фільтрування регенеруючого розчину – 25-40 хв., на відмивання – 30-60 хв.. Іонообмінне очищення реалізують послідовним фільтруванням води через катіоніти й аніоніти.

Залежно від виду і концентрації домішок у воді та необхідної ефективності очищення використовують різні схеми іонообмінних установок.

5.1. Зм'якшення води катіонітами

Катіонування – процес обробки води методом іонного обміну, в результаті якого відбувається обмін катіонів. Залежно від виду іонів (H^+ або Na^+ – такі іони у складі катіонітів зустрічаються найчастіше), що знаходяться в об'ємі катіоніту, розрізняють два види катіонування: H (аш)-катіонування і Na (натрій)-катіонування.

Натрій-катіонітовий метод застосовують для зм'якшування води із вмістом зважених речовин у воді не більше 8 мг/л і кольоровістю води не більше 30 град. Жорсткість води знижується при одноступінчастому натрій-катіонуванні до значень 0,05-0,1 мекв/л, при двоступінчастому – до 0,01 мекв/л.

Процес Na -катіонування схематично можна представити рівнянням:

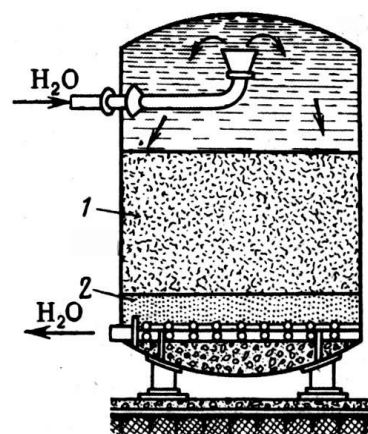
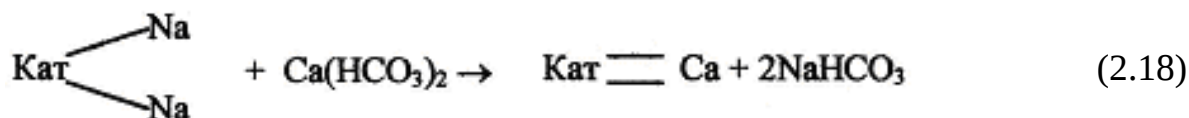


Рис. 5.1. Катіонітовий фільтр:

1 – катіоніт; 2 – пісок.

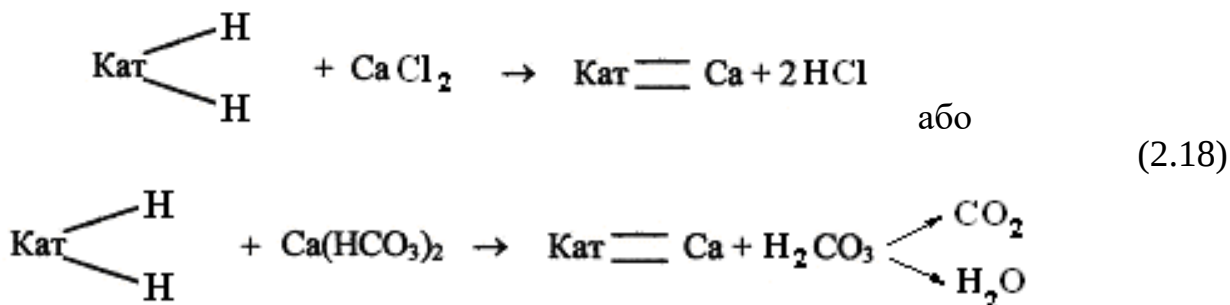


Регенерація Na-катіоніту досягається фільтруванням через нього зі швидкістю 3-4 м/год. 5-8%-ного розчину NaCl.

Переваги методу:

- дешевизна;
- доступність;
- продукти регенерації (доберозчинні CaCl_2 і MgCl_2) легко утилізуються.

Н-катіонітовий метод застосовують для глибокого зм'якшування води. Цей метод заснований на фільтруванні оброблюваної води через шар катіоніту, що містить як обмінні іони катіони водню:



В результаті Н-катіонування води значно знижується рН фільтрату за рахунок кислот, що утворюються в ході процесу (у даному випадку виділяється соляна кислота HCl і вугільна кислота H_2CO_3). Вуглекислий газ, що виділяється при реакціях зм'якшування (коли у воді присутні гідрокарбонати металів), можна видалити дегазацією.

Регенерація Н-катионіту в цьому випадку проводиться 4-6%-ним розчином кислоти (HCl, H_2SO_4).

5.2. Обробка води аніонами

Аніоніти мають на своїй поверхні як функціональні групи аніони OH^- , HCO_3^- або первинні NH_2 і вторинні NH аміногрупи.

Схема аніонування:



Регенерація аніонітів досягається фільтруванням через шар аніоніту 2-4%-них водних розчинів NaOH, Na_2CO_3 і NH_4OH .

5.3. Знесолення води іонообмінним методом

Різні катіоніти мають відмінну кислотність – бувають сильнокислотні (функціональна група $\text{—SO}_3\text{H}$) і слабокислотні (функціональна група —COOH), так само й аніоніти бувають сильно- (група —OH) і слабоосновні (містять групу —HCO_3 або первинні NH_2 чи вторинні NH аміногрупи). В

залежності від природи присутніх у воді іонів і з метою досягнення потрібного ступеню очищення використовують різні комбінації іонітів.

Для очищення стічних вод від аніонів сильних кислот застосовують технологічну схему одноступінчатого Н-катіонування і ОН-аніонування з використанням сильнокислотного катіоніту і слабоосновного аніоніту.

Для глибшого очищення стічних вод, зокрема від солей, застосовують одно- або двоступінчасте Н-катіонування на сильнокислотному катіоніті з подальшим двоступінчастим ОН-аніонуванням на слабо-, а потім на сильноосновному аніоніті.

При вмісті у стічній воді великої кількості діоксиду вуглецю і його солей відбувається швидке виснаження місткості сильноосновного аніоніту. Для зменшення виснаження стічну воду після катіонітового фільтру дегазують в спеціальних дегазаторах з насадкою з кілець Рашига або в інших апаратах (будову апаратів див. у розділі 6.1.4). При необхідності забезпечувати значення $pH \sim 6,7$ і очищення стічної води від аніонів слабких кислот замість аніонітових фільтрів другого ступеня використовують фільтр змішаної дії, який завантажений сумішшю сильнокислотного катіоніту і сильноосновного аніоніту.

Метод **знесолення** води іонним обміном заснований на послідовному фільтруванні води через Н-катіонітовий, а потім ОН-, HCO_3^- або інший аніонітовий фільтр.

У Н-катіонітовому фільтрі катіони, що містяться у воді, головним чином Ca^{2+} , Mg^{2+} і Na^+ , обмінюються на водень-катіони.

В ОН-аніонітових фільтрах, які проходить вода після Н-катіонітових, аніони кислот, що утворилися, обмінюються на іони OH^- . Відбувається процес нейтралізації ($H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$), в результаті чого у воді, яка поступає у збірник, практично відсутні будь-які солі (знесолення води).

Спрощена схема знесолення води іонообмінним способом наведена на рис. 5.2

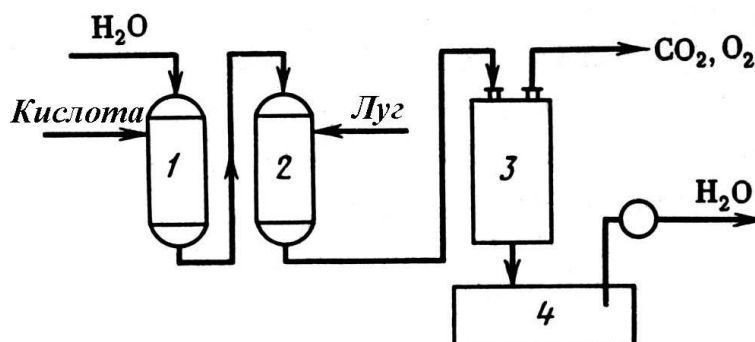


Рис. 5.2. Схема установки для знесолення води іонітами:

1 – катіонітовий фільтр; 2 – аніонітовий фільтр; 3 – дегазатор; 4 – збірник води.

CO_2 , що утворюється в процесі розкладання гідрокарбонатів, видаляється в дегазаторі.

Вимоги до води, що подається на Н- і ОН-фільтри:

- зважені речовини – не більше 8 мг/л;

- загальний солевміст – до 3 г/л;
- сульфати і хлориди – до 5 мг/л;
- кольоровість – не більше 30 градусів;
- окислюваність перманганатна – до 7 мг O_2 /л;
- залізо загальне – не більше 0,5 мг/л;
- нафтопродукти – відсутні;
- вільний активний хлор – не більше 1 мг/л.

Якщо початкова вода не відповідає даним вимогам, то необхідно провести попередню підготовку води.

Відповідно до необхідної глибини знесолення води проектують одно-, дво- і триступінчаті установки, але в усіх випадках для видалення з води іонів металів застосовують сильнокислотні Н-катионіти з великою обмінною здатністю.

Одноступінчаті іонообмінні установки застосовують для отримання води з солевмістом до 1 мг/л, це може бути:

- отримання питної води;
- отримання води для використання в деяких технологічних процесах;
- підготовка води перед стадією глибокого знесолення;
- деякі випадки при доочищенні стічних вод.

Очищення виробничих стічних вод методом іонного обміну дозволяє витягувати й утилізувати цінні домішки (сполуки миш'яку, фосфору, а також хром, цинк, свинець, мідь, ртуть та інші метали), поверхнево-активні й радіоактивні речовини, очищати стічну воду до гранично допустимих концентрацій з подальшим її використанням в технологічних процесах або в системах оборотного водопостачання.

6. СОРБЦІЙНІ ПРОЦЕСИ

До сорбційних процесів відносяться абсорбція і адсорбція.

Абсорбція – це поглинання газів рідинами (система газ–рідина Г–Р).

Адсорбція – поглинання компонентів рідини, пари або розчину твердими пористими поглиначами (системи газ–тверда речовина Г–Т, рідина–тверда речовина Р–Т).

Зворотній процес, тобто вилучення газу з рідини (дегазація), або газу чи компонентів рідкої фази з твердої речовини, в обох випадках називають **десорбцією**.

Речовина, яка поглинається рідкою або твердою фазами, називається **сорбтивом**, а та, що поглинає – **сорбентом**. У разі абсорбції сорбент ще називається поглиначем.

Відмінність між собою названих процесів полягає у тому, що при абсорбції відбувається поглинання абсорбтиву усім об'ємом абсорбента, а при адсорбції адсорбтив знаходиться у приповерхневому шарі адсорбента.

Абсорбція і адсорбція відносяться до групи масообмінних процесів, для розрахунку яких (а також апаратури для їхнього проведення) притаманні власні підходи.

6.1. АБСОРБЦІЯ

6.1.1. Використання абсорбції при обробці води та водних стоків

При обробці рідин з процесом абсорбції (лат. absorption, від absorbeo – поглинаю) ми зустрічаємось при аерації, озонуванні, хлоруванні води та ін. Абсорбцію водою газів-окислювачів можна розглядати як першу стадію подальшого хімічного очищення води, оскільки названі гази вступають у реакцію з молекулами забруднень і таким чином руйнують їх.

Аерація води – це її насичення киснем повітря; проводиться з метою окислення розчинених у ній речовин – наприклад, органічних сполук, заліза, марганцю, сірководню та вуглекислоти.

Ця ж технологія застосовується в процесі біологічного очищення стоків з метою забезпечення можливості життєдіяльності аеробних мікроорганізмів, що беруть участь у процесі.

Озонування полягає в насиченні оброблюваної води озоном. Цей процес можна віднести до високоефективних сучасних методик, які використовують при водопідготовці. Під впливом озоноповітряної суміші всі розчинені у воді домішки переходять у тверду фазу і випадають в осад. З подальшою фільтрацією на механічних фільтрах тонкого очищення або фільтрів із зернистим завантаженням осад повністю видаляється. Після того, як в реакторній місткості очисних споруд завершиться процес окислення, залишок озону виділяється на спеціальних деструкторах. Така обробка відповідає екологічним вимогам, і в багатьох країнах Західної Європи озонування давно використовується замість обробки води хлором та його сполуками (наприклад, гіпохлоритом).

Перспективність застосування озонування як окислювального методу обумовлена також тим, що воно не призводить до збільшення сольового складу стічних вод, що очищуються, не забруднює воду продуктами реакції, а сам процес легко піддається повній автоматизації.

Хлорування води служить для її знезараження, також при цьому відбувається знебарвлення органічних сполук, що можуть бути присутні у воді. Знешкодження стічних вод хлором або його сполуками – один з найпоширеніших способів їхнього очищення від отруйних ціанідів, а також від таких органічних і неорганічних сполук, як сірководень, гідросульфід, сульфід, метилмеркаптан та ін.

6.1.2. Фізичні основи абсорбції

Говорячи про абсорбцію, згадуйте пляшку з газованою водою. Газована вода являє собою розчин вуглекислого газу (вугільної кислоти). CO_2 присутній і у воді (розчині), і у газовій фазі, що знаходиться над розчином. Між розчиненою частиною газу та тією, що присутня у газовій фазі, встановлюється рівновага. Подивіться на закриту пляшку. В рідкій фазі ми не спостерігаємо бульбашок – при певних тиску газу у пляшці та температурі встановилася рівновага, при якій скільки молекул CO_2 покидає газову фазу, стільки ж

переходить у рідку. Коли ми відкриваємо пляшку, тиск газу над рідиною зменшується, частина вуглекислого газу покидає замкнений простір. Концентрація CO_2 у газовому середовищі зменшується – рівновага порушується. При цьому ми спостерігаємо, як у рідині утворюються бульбашки і як вони підіймаються на поверхню, тобто, відбувається десорбція вуглекислого газу. При низьких концентраціях речовини, що розподіляється, рівновага описується законом Генрі:

Парціальний тиск p_A розчиненого газу пропорційний його мольній частці у розчині x_A :

$$p_A^* = E x_A, \quad (6.1)$$

або: розчинність газу (компоненту A , що поглинається) у рідині при даній температурі пропорційна його тиску над рідиною:

$$x_A = p_A^*/E, \quad (6.2)$$

де E – коефіцієнт Генрі, залежить від природи речовини і температури.

$$\ln E = -\frac{q}{RT} + B, \quad (6.3)$$

де q – теплота розчинення газу, кДж/моль (довідкова);

B – константа, залежить від природи газу й рідини і визначається експериментально.

Зі зростанням температури розчинність газу в рідині зменшується, тобто абсорбція – *екзотермічний* процес (відбувається з виділенням теплоти).

Кількість теплоти, що виділяється при абсорбції

$$Q = q_d L(x_1 - x_2), \quad (6.4)$$

де q_d – диференціальна теплота розчинення у межах зміни концентрації від x_1 до x_2 (довідкова);

L – кількість абсорбенту, кг.

Якщо абсорбція ведеться без відведення теплоти, то можна припустити, що все тепло, яке виділяється, йде на нагрівання рідини і температура її підвищується на

$$\Delta t = (q_d/c)(x_1 - x_2), \quad (6.5)$$

де c – теплоємність розчину, кДж/(кг·K).

Оскільки з підвищенням температури поглинання газів рідинами зменшується, абсорбційні апарати повинні мати охолоджуючу частину (теплообмінник).

6.1.3. Швидкість масопередачі

Як вже відмічалось, процеси сорбції (і десорбції) відносяться до групи масообмінних процесів.

Масопередача – це складний процес, який включає перенесення речовини у межах однієї фази, крізь поверхню поділу фаз, у межах другої фази. Перенесення речовини з фази до границі поділу фаз або у зворотному напрямку називається **масовіддачею**.

Швидкість масопередачі пов'язана з механізмом перенесення речовини у фазах, між якими відбувається масообмін. Перенесення речовини всередині фази може відбуватись або тільки шляхом *молекулярної дифузії*, або шляхом *конвекції і молекулярної дифузії одночасно*. Конвективне перенесення речовини називається турбулентною дифузією.

Молекулярна дифузія описується І законом Фіка:

Кількість речовини, що переходить з однієї фази в іншу (dM), прямопропорційна градієнту концентрацій $\frac{dc}{dn}$, площі контакту фаз dF і часу $d\tau$

$$dM = -D \frac{dc}{dn} dF d\tau, \quad (6.6)$$

де D – коефіцієнт дифузії, м²/с; залежить від агрегатного стану, температури і умов.

Розглядаючи в масі речовини елемент об'єму (довжини ребер dx, dy, dz), в якому відбувається зміна концентрації речовини, що розподіляється, аналогічно диференціальному рівнянню теплопровідності виводиться диференціальне рівняння молекулярної дифузії (II закон Фіка). Воно має вигляд:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right), \quad (6.7)$$

Згідно з законом масовіддачі, або конвективної дифузії, кількість речовини, що переноситься від поверхні поділу фаз у сприймаючу фазу, пропорційна різниці концентрацій біля поверхні поділу фаз (C_n) і в ядрі потоку (C_j), поверхні фазового контакту і часу:

$$dM = \beta(C_{\Pi} - C_{\text{Я}}) d\tau = \beta \Delta C dF d\tau, \quad (6.8)$$

де β – коефіцієнт масовіддачі, м/с.

Для сталого потоку:

$$dM = \beta \Delta C dF. \quad (6.9)$$

Якщо $\beta = \text{const}$, тоді:

$$M = \beta \Delta CF. \quad (6.10)$$

Як бачимо, рівняння, що описують процеси масовіддачі, за формою цілком аналогічні рівнянням теплових процесів.

На основі розглянутих законів і відповідним їм диференціальним рівнянням отримані *основні критерії процесів масообміну*:

1. Дифузійний критерій Нусельта Nu_d

$$Nu_d = \frac{\beta l}{D}, \quad (6.11)$$

тут і далі D – коефіцієнт дифузії.

Nu_d характеризує інтенсивність масообміну на границі поділу фаз.

2. Дифузійний критерій Фур'є:

$$Fo_d = \frac{D\tau}{l^2} \quad (6.12)$$

характеризує зміну швидкості потоку маси у часі. Використовується для описання нестационарних процесів.

3. Дифузійний критерій Пекле:

$$Pe_d = \frac{\omega l}{D} = Re \cdot Pr_d, \quad (6.13)$$

де Re – критерій гідродинамічної подібності;

Pr_d – характеризує подібність полів фізичних величин,

$$Pr = \frac{\nu}{D} = \frac{\mu}{D\rho} \quad (6.14)$$

Критеріальне рівняння масообмінних процесів має вигляд:

$$Nu_d = f(Fo_d, Re, Pr_d, Gr). \quad (6.15)$$

6.1.4. Абсорбційні апарати

Змішування води з газами може здійснюватися різними способами: пропусканням води крізь фільтри, дірчасті (пористі) труби, змішуванням за допомогою ежекторів, мішалок і т.ін. Для проведення процесів масопередачі, до яких відносяться сорбційні процеси, а також екстракція і ректифікація, створені так звані **колонні апарати**. У разі абсорбції їх називають абсорбційними колонами, або абсорберами. Розглянемо коротко основні конструкції абсорбційних апаратів.

Абсорбери являють собою колонні апарати, в яких відбувається контактування газової та рідкої фаз. Для забезпечення контактування газової та рідкої фаз колони постачені пристроями, які називаються контактними – це різноманітні насадки, тарілки різних конструкцій або безпосередньо тонка плівка рідини.

В залежності від виду контакту потоків газу й рідини розрізняють: насадкові, розпилювальні, поверхневі й барботажні (тарілчасті) абсорбери. Найбільш розповсюджені насадкові (скрубери) та тарілчасті колони.

6.1.4.1. Насадкові абсорбери (скрубери)

Являють собою колони 1, заповнені насадкою 2, укладеною в один або кілька шарів (рис. 6.1, а). Насадка виступає в ролі контактної пристрою. Рідина поступає через розподільний пристрій 3, стікає по насадці у вигляді плівки, газ рухається протитечією. Як насадки використовують кільця, сидла, шматки коксу або кварцу, бруски дерева, поліетиленові розетки і т. ін. Вибір насадки визначається її хімічною і механічною стійкістю, а також характеристиками насадки: питомою поверхнею σ ($\text{м}^2/\text{м}^3$) і вільним об'ємом $V_{\text{вільн.}}$ ($\text{м}^3/\text{м}^3$). У промисловості використовуються колони з діаметром 1000÷3000 мм. До речі, апарати, які використовуються для приготовування газованої води і називаються сатуратори, за своєю суттю є абсорберами.

6.1.4.2. Барботажні тарілчасті абсорбери

Це колонні апарати 1 з тарілками 2 різної конструкції (рис. 6.1 б). Працюють в протитечії газу з рідиною, яка переливається з тарілки на тарілку по зливних патрубках. Контактними пристроями тут служать тарілки різної конструкції. Газ проходить через ковпачки і барботує через шар рідини на тарілці. Діаметр колон від 1000 до 3600 мм. Розподіл газу по перерізу колони здійснюється розподільним пристроєм 3. Вибір матеріалу колони визначається технологічними вимогами. Колони виготовляються зі сталі (ст. 3, Х18Н10Т), кераміки, чавуну, титану і графіту. В тарілчастих колонах легше відводити тепло, що виділяється при абсорбції.

6.1.4.3. Поверхневі абсорбери

Зазвичай виконуються з кераміки і використовуються при виділенні розчинних компонентів і одночасному відведенні теплоти (рис. 6.1 в). Застосовуються обмежено. Контактуювання рідини й газу відбувається на поверхні плівки рідини.

6.1.4.4. Плівкові абсорбери

Працюють при протитечії і прямотечії газу й рідини (рис. 8.1 г). Рідина подається зверху, розподіляється по трубах або вертикальних пластинах і стікає вниз тонкою плівкою. Назустріч рухається потік газу, взаємодія газу і рідини відбувається в тонкому шарі. Абсорбери відрізняються малим незначним гідравлічним опором, особливо при низхідній плівці і значною поверхнею контакту фаз. У них зручно відводити теплоту, що виділяється.

6.1.4.5. Розпилювальні абсорбери

У таких абсорберах поверхня контакту фаз утворюється при розпилюванні рідини в газі на дрібні краплини за допомогою форсунок, за

рахунок кінетичної енергії рухомого потоку, або за рахунок деталей, що обертаються. Газ рухається в протитечії з падаючими краплинами рідини і через патрубок виходить з абсорберу; рідина зливається з нижнього патрубка. Апарати прості за будовою, відрізняються малим гідравлічним опором, можуть працювати із забрудненими газами. Їхня ефективність невисока, особливо при малих навантаженнях по рідині. Для підвищення інтенсивності застосовують швидкісні проточні абсорбери.

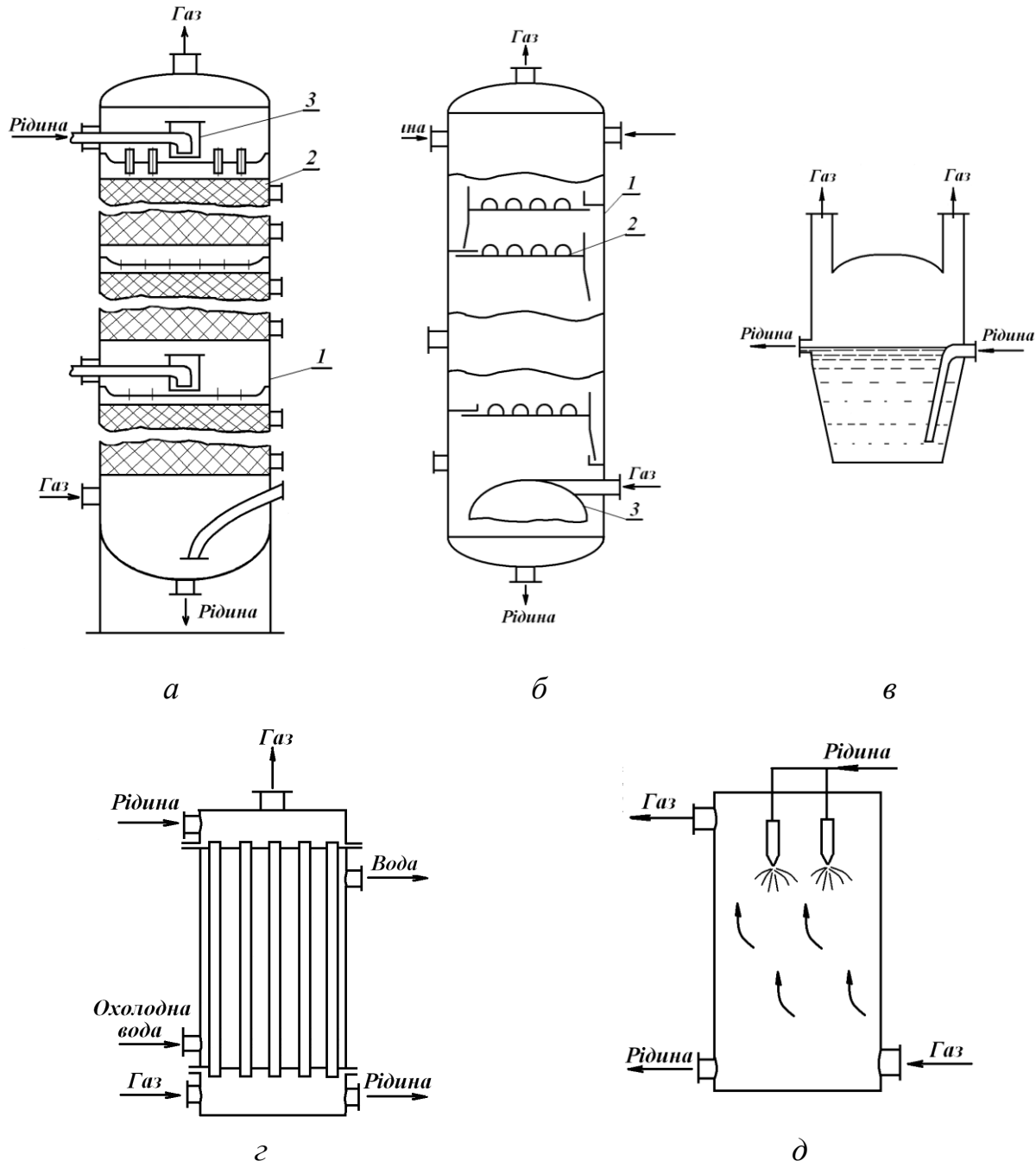


Рис. 6.1. Типові конструкції абсорберів:

- а) насадковий: 1 – корпус; 2 – насадка; 3 – розподільний пристрій для рідини;
 б) тарільчастий (барботажний): 1 – корпус; 2 – тарілки; 3 – розподільний пристрій;
 в) поверхневий; г) плівковий; д) розпилювальний.

6.1.4.6. Розрахунок абсорберів

Розрахунок абсорберу – досить складна задача і в даному курсі з урахуванням професійної спрямованості аудиторії не розглядається. Відмітимо тільки, що метою розрахунку колонних абсорберів є визначення габаритів (висоти та діаметру апарату), кількості тарілок для тарілчастих, висоту шару насадки та її масу для скрубєрів. Названі величини визначаються на основі потрібної продуктивності апаратів (м^3 рідини/год.) та заданої концентрації (парціального тиску) газу, що розчиняється, у вихідній газовій фазі й у рідині. При розрахунках використовуються спеціальні методи, зокрема, елементи теорії подібності.

6.2. АДСОРБЦІЯ

6.2.1. Роль процесу адсорбції в обробці рідинних систем

Адсорбцією (від лат. ad – на і sorbeo – поглинаю) називається процес вибіркового поглинання домішок з рідин або газів поверхнями твердих матеріалів – адсорбентів. Особливістю адсорбційних методів уловлювання домішок є їхня відносно висока ефективність в області малих концентрацій домішок при значних витратах потоків, що переробляються.

Сорбція є одним з найефективніших методів глибокого очищення від розчинених органічних речовин стічних вод цілої низки промислових підприємств (целюлозно-паперової, хімічної, нафтохімічної, текстильної, інших галузей промисловості), а також житлово-комунального господарства. Сорбційне очищення може застосовуватися самостійно і сумісно з біологічним очищенням як метод попереднього або глибокого очищення. Перевагами цього методу є можливість вилучати речовини з багатокомпонентних сумішей і, крім того, висока ефективність очищення слабokonцентрованих стічних вод.

Сорбційні методи вельми ефективні для витягання зі стічних вод цінних розчинених речовин з їхньою подальшою утилізацією і використанням очищених стічних вод в системі оборотного водопостачання промислових підприємств.

В процесах підготовки води для технологічних цілей, а також очищенні стічних вод адсорбцію використовують для видалення речовин, що обумовлюють запахи й присмаки води, а також органічних забруднень неприродного походження – різних детергентів (поверхнево-активні речовини, входять у склад пральних порошків), пестицидів, нафтопродуктів та інших токсичних речовин, що потрапляють у відкриті водоймища зі стічними водами міст і промислових підприємств.

Сорбційне очищення стічних вод найбільш раціональне, якщо в них містяться переважно ароматичні сполуки, не електроліти або слабкі електроліти, барвники, неорганічні сполуки або гідрофобні (наприклад, що містять хлор або нітрогрупи) аліфатичні сполуки. При вмісті у стічних водах тільки неорганічних сполук, а також нижчих одноатомних спиртів цей метод не придатний.

Розрізняють два види адсорбції:

- фізична адсорбція, протікає за рахунок сил молекулярної взаємодії;
- хімічна адсорбція (хемосорбція), протікає за рахунок вступу до хімічної реакції молекули речовини, що поглинається, з молекулами поверхні адсорбенту.

Процес фізичної адсорбції зворотний, тому на практиці після стадії адсорбції часто проводять зворотний процес – десорбцію. Необхідність десорбції обумовлена або вимогою *регенерації адсорбенту* для його подальшого використання в процесі адсорбції, або необхідністю *виділити цільовий компонент* в чистому або концентрованому вигляді.

6.2.2. Адсорбенти

Як поглиначі (адсорбенти) застосовуються пористі речовини, що мають велику питому поверхню. Найпоширеніші адсорбенти – активоване вугілля (вугілля рослинного або тваринного походження, що піддалося спеціальній обробці), силікагель (зневоднений гель кремнієвої кислоти), алюмогель (активний окисел алюмінію), цеоліти (алюмосилікати), глини, активовані сірчаною кислотою. Слід мати на увазі, що активоване вугілля використовують переважно для адсорбції з водних розчинів органічних речовин; силікагель і алюмогель – в основному для поглинання вологи з газових середовищ (в процесах адсорбції з рідин алюмогель використовується лише у разі поглинання одних вуглеводнів з інших); цеоліти мають досить широке застосування (нафтопереробна промисловість, очищення питних і технічних вод, витягання радіонуклідів, тощо).

Загальним для усіх адсорбентів є розвинена внутрішня поверхня, що досягається за рахунок пористої структури.

Характеристикою адсорбентів є активність, або адсорбційна ємність, яка визначається масою речовини, що поглинається одиницею маси або об'єму адсорбенту.

Статична активність $[a_0^*]$ – це максимальна кількість речовини, яка адсорбується до моменту досягнення рівноваги одиницею об'єму або маси адсорбенту при даній температурі й концентрації речовини, що адсорбується, у паровій, газовій або рідинній суміші. Пориста структура адсорбенту дає можливість поглинати значні кількості компоненту, що адсорбується (до 0,3 кг компоненту/кг адсорбенту).

Динамічна активність $[a_d]$ – це маса речовини, яка адсорбується масовою або об'ємною одиницею адсорбенту за час від початку адсорбції до початку проскакування сорбтиву, тобто коли в рідині, що очищується, з'являється забруднювач, який треба видалити, $a_d = (0,85-0,90) a_0^*$.

Іноді динамічна активність характеризується часом від початку адсорбції до початку проскакування.

Адсорбційна ємність адсорбенту залежить від його природи. Вона зростає зі збільшенням поверхні, пористості, зниженням розмірів пор адсорбентів, а також з підвищенням концентрації абсорбтиву у вихідній рідині. Із збільшенням температури адсорбційна ємність знижується.

Пори адсорбентів утворюються за рахунок пусток між частинками, з яких складаються пористі тіла. Об'єм, форма й розміри пор залежать від розмірів, взаємного розташування і щільності упаковки частинок, з яких побудований каркас пористого тіла. Ці частинки можуть мати форму кулі, еліпса, конуса, циліндра, волокон і т.ін. Пори в твердих тілах підрозділені на макропори з радіусом більш за 1000Å ($1\text{Å}=10^{-9}\text{м}$), перехідні (мезопори) з радіусом від 15 до 1000Å і мікропори з радіусом до 15Å . Макропори з розмірами пор більше 1000Å незначно впливають на статистику адсорбції, але є транспортними каналами для підведення молекул, що адсорбуються, до мезопор і мікропор. У макропорах і мезопорах спостерігається пошаровий механізм адсорбції, тоді як в мікропорах, розмір яких близькі до розмірів молекул, що адсорбуються, адсорбція має характер об'ємного заповнення. Тому для мікропористих адсорбентів саме об'єм пор, а не поверхня адсорбенту, має вирішальне значення в адсорбційних процесах.

Адсорбент з крупними порами краще адсорбує речовини з великими розмірами молекул і при великому тиску (для газів). Енергія адсорбції в мікропорах значно вища, ніж в макропорах і перехідних порах. Це пояснюється тим, що адсорбовані молекули, розмір яких близькі до розмірів пор адсорбенту, взаємодіють з обома стінками пори, виділяючи при цьому більше тепла, ніж при адсорбції молекул однією стороною стінки. Питомий об'єм мікропор в адсорбентах досягає $0,2\text{--}0,6\text{ см}^3/\text{г}$, а питома поверхня – до $500\text{ м}^2/\text{г}$ і більше. У зв'язку з цим мікропори виконують основну роль при розділенні газових і рідинних сумішей.

Розрізняють зовнішню і внутрішню поверхню адсорбенту. Величина зовнішньої поверхні залежить від кількості макропор. Вона невелика і складає $0,5\text{--}2\text{ м}^2/\text{г}$, тобто $0,2\text{--}0,5\%$ від загальної поверхні адсорбенту. Внутрішня поверхня утворюється за рахунок стінок мікропор і середніх пор і залежно від їхнього об'єму і розмірів може досягати $500\text{--}1000\text{ м}^2/\text{г}$.

Від розміру пор залежить здатність адсорбентів поглинати молекули різної величини, тобто їхню *вибірковість*. Вибірковість адсорбентів – це здатність адсорбувати з газових або рідинних сумішей індивідуальні речовини з певними фізико-хімічними властивостями. Якщо середній радіус пор менше радіусу молекул, що адсорбуються, то такі пори не здатні адсорбувати молекули даного розміру. Якщо ж радіус пор значно більший за радіус молекул, що адсорбуються, то такі пори можуть лише частково адсорбувати такі молекули. Ефективна адсорбція може бути лише у тому випадку, коли середній радіус пор і молекули, що адсорбуються, близькі між собою.

Адсорбційна здатність, або маса речовини, поглинена одиницею маси адсорбенту в довільний момент часу, залежить від концентрації речовини (для газового або парового середовища – парціального тиску p), що адсорбується, у поверхні адсорбенту, загальної площі цієї поверхні, фізичних, хімічних і електричних властивостей адсорбуючих речовин і адсорбенту, температурних умов і присутності інших домішок.

Промислові адсорбенти повинні задовольняти таким вимогам:

- мати велику адсорбційну ємність;

- мати високу селективність;
- бути хімічно інертними по відношенню до компонентів суміші, що розділяється;
- мати високу механічну міцність;
- мати здатність до регенерації.

Найбільш поширене як адсорбент при очищенні технологічної води та водних стоків активоване вугілля, тому більш детально зупинимось на його властивостях та використанні.

Активоване вугілля одержують термічною обробкою дерева, кам'яного та бурого вугілля, антрациту та інших вуглецевомістких речовин. Активоване вугілля, яке використовується у вигляді зерен ($d \approx 1 \div 7$ мм) і у вигляді порошку, має найбільшу активну питому поверхню (поверхня 1 г вугілля складає від 600 до 1700 м²).

Залежно від переважаючого розміру пор активоване вугілля ділиться на крупно- й дрібнопористе та змішаного типу. Пори за своїми розмірами підрозділяються на три види: макропори розміром 0,1-2 мкм, перехідні розміром 0,004-0,1 мкм, мікропори – менше 0,004 мкм. Макропори і перехідні пори виконують, як правило, роль транспортуючих каналів, а сорбційна здатність активованого вугілля визначається в основному мікропористою структурою. Розчинені органічні речовини, що мають розміри частинок менше 0,001 мкм, заповнюють об'єм мікропор сорбенту, повна місткість яких відповідає поглинальній здатності сорбенту.

Адсорбційна здатність є функцією структури мікропор. Подрібнення вугілля може лише трохи підвищити його поглинальну здатність. Кращі сорти вугілля мають площу питомої поверхні близько 1000 м²/г, ефективний радіус адсорбційних пор коливається в межах 0,8-5 нм, причому 70-75% поверхні містить пори діаметром менше 2 нм.

Цеоліти

Цеоліти є алюмосилікати і відрізняються регулярною пористою структурою. З дрібних кристалів природних або синтетичних цеолітів за допомогою зв'язуючого або без нього формуються гранули розміром 2,4 мм. Цеоліти широко застосовуються для уловлювання пари води, а також у нафтопереробній промисловості для очищення й регенерації масел, підвищення ступеня очищення та якості рідких палив. Як і інші адсорбенти, цеоліти використовуються для очищення продуктів харчової промисловості, стічних вод і промислових газових викидів від органічних домішок. Цеоліти мають іонообмінні властивості і широко використовуються в промисловості й сільському господарстві. Вони застосовуються в нафтохімії, як осушувач газів, для очищення питних і технічних вод, для витягання радіонуклідів, як каталізатор, в будівництві, для поліпшення ґрунту, як добриво і т.ін. Судячи з переліку областей використання цеолітів, вони можуть використовуватись для очищення технологічних і стічних вод від масляних домішок.

Проте в порівнянні з іншими типами промислових адсорбентів вони мають відносно невеликий об'єм адсорбційних порожнин, унаслідок чого характеризуються порівняно невеликими граничними величинами адсорбції.

Магнітні адсорбенти

У портових містах, де можливе забруднення акваторії нафтопродуктами, має перспективу використання методу *магнітної сепарації*. Так називають метод виділення рідких вуглеводнів з поверхні води, хоча за суттю він являє собою процес адсорбції. Для реалізації цього методу інститутом колоїдної хімії і хімії води АН України розроблене отримання адсорбентів з високими адсорбційними і магнітними характеристиками. Розміри частинок адсорбентів, одержаних за різних умов, знаходяться в межах 0,05-0,1 мк. Поглинальна здатність по відношенню до дизельного палива і магнітна сприйнятливість визначаються складом адсорбентів і знаходяться відповідно в межах 3-3 г/г і 0,06-1,0 од. Адсорбент розсипається по воді в районі масляної плями, і після поглинання ним масла збирається за допомогою магнітів.

6.2.3. Використання активованого вугілля при очищенні стічних вод

Найбільш універсальним способом очищення стічних вод є адсорбція домішок активованим вугіллям та іншими адсорбентами. Адсорбція може здійснюватися шляхом фільтрації води крізь шар адсорбенту або змішуванням гранульованого адсорбенту з водою і подальшим відділенням його у відстійниках, гідроциклонах або на фільтрах. Регенерація адсорбента відбувається при продуванні гарячим повітрям або парою. Активоване вугілля регенерується прожаренням при 600°C. Очищення методом адсорбції при правильному виборі адсорбенту може виявитися вельми досконалим. Так, вміст фенолу в 1 л очищеної води вдається понизити до 0,001 мг.

При відносно невисокому вмісті органічних речовин у стічній воді та їхній обмеженій розчинності застосування для цієї мети адсорбентів, перш за все активового вугілля, у багатьох випадках дає найвищий ефект. У таких локальних адсорбційних установках, розміщуваних безпосередньо на тих ділянках виробництва, де утворюються стоки, поєднується повернення витягнутих зі стічних вод продуктів із регенерацією поглинальної здатності адсорбенту. Регенерація адсорбенту створює можливість його багаторазового використання, іноді протягом кількох років, що істотно підвищує економічність процесу очищення.

Оскільки вміст у питній воді органічних речовин природного походження нормований тільки побічно (за кольоровістю, запахам і присмакам води), а кольоровість води зазвичай достатньо добре знижується коагуляцією і хлоруванням, активоване вугілля, що є дорогим матеріалом, застосовується на комунальних водогонах головним чином для видалення речовин, що обумовлюють запахи й присмаки води, а також для видалення з води органічних забруднень неприродного походження – різних детергентів, пестицидів, нафтопродуктів та інших токсичних речовин, що потрапляють у відкриті водоймища зі стічними водами міст і промислових підприємств.

При видаленні з води речовин, що додають їй запахи й присмаки, їхню концентрацію потрібно понизити до дуже малих величин, при яких запах і присмак вже не відчуються.

Концентрації різних речовин, при яких відчуваються їхні запахи або присмак у воді, неоднакові. Сірководень відчувається при концентрації його у воді більше 0,2-0,3 мг/л, хлор – при концентрації більше 0,3 мг/л, хлорфенол – при концентрації більше 0,02 мг/л, продукти життєдіяльності актиноміцетів, що додають воді землистий запах, відчуваються при концентрації більше $1 \cdot 10^{-8}$ мг/л.

Природно, що при таких низьких залишкових концентраціях речовини, що видалається, ступінь використання сорбційної місткості активованого вугілля в статичних умовах при введенні у воду вугілля у вигляді порошку буде мала. Як вже відмічалось, адсорбція відбувається на поверхні адсорбенту, причому, в процесі бере участь не тільки зовнішня, а й внутрішня поверхня (поверхня пор, тріщин тощо), тому головним чином сорбційна здатність адсорбенту залежить від його питомої активної поверхні. Але, оскільки час контакту вугілля з водою, що очищається, невеликий, речовина, що сорбується, зазвичай не встигає проникнути вглиб частинки вугілля, тому сорбційна здатність сорбенту зростає зі збільшенням ступеня його подрібнення. Тут треба зауважити, що зі зменшенням розмірів частинок адсорбенту зростає гідравлічний опір апаратів, що потребує використання більш потужних насосів для прокачування рідини крізь шар сорбенту. Тому вибору марки адсорбенту приділяють серйозну увагу.

Велике значення має динамічна активність вугілля, оскільки його поглинальна здатність визначається не тільки рівноважною ємністю, але й здатністю використовувати якомога більшу частину її при малому часі контакту рідини з адсорбентом. Вугілля, яке використовується в локальних адсорбційних установках, повинне мати не тільки високу ємність, але й низьку утримуючу здатність. Це значить, що, переходячи від адсорбції до регенерації, вугілля повинне легко і якнайповніше віддавати всю поглинену в процесі адсорбції речовину. Інакше витрати на реагенти для регенерації вугілля виявляться надмірно великими або повна регенерація вугілля без руйнування адсорбованих речовин взагалі буде неможливою.

Кращими адсорбентами є освітлююче активне вугілля марки ОУ.

В процесі очищення використовують дрібнозернисті адсорбенти з частинками розміром 0,25-0,5 мм і високодисперсне вугілля з частинками розміром менш за 40 мкм.

При адсорбційному очищенні стічних вод, що містять суміш декількох речовин, здатних витягуватися активованим вугіллям, найбільше використання місткості вугілля досягається за таких умов, коли всі присутні в розчині речовини практично одночасно насичують адсорбент.

Активоване вугілля, крім сорбційної дії, сприяє розвитку на поверхні біологічної плівки, що впливає на ефективність роботи фільтрів, збільшуючи тривалість їхньої роботи. Більш того, у відповідних умовах при утворенні на поверхні сорбенту біоплівки мікроорганізмів не тільки підвищується ефект очищення стічних вод, але може відпасти необхідність в регенерації адсорбенту.

6.2.4. Фізичні основи адсорбції

Адсорбція розчинених речовин – результат переходу молекули розчиненої речовини з розчину на поверхню твердого сорбенту під дією силового поля поверхні. При цьому спостерігається два види міжмолекулярної взаємодії: молекул розчиненої речовини з молекулами (або атомами) поверхні сорбенту і молекул розчиненої речовини з молекулами води в розчині (гідратація). Різниця цих двох сил міжмолекулярної взаємодії і є тією силою, з якою утримується витягнута з розчину речовина на поверхні сорбенту. Чим більша енергія гідратації молекул розчиненої речовини, тим більшу протидію відчують ці молекули при переході на поверхню сорбенту і тим слабкіше адсорбується речовина з розчину.

В процесі адсорбції граничним станом для кожної речовини, що поглинається, є стан рівноваги між вмістом в адсорбенті (статична активність) a_0^* і концентрацією C речовини, що адсорбується, у рідкій фазі.

Між кількостями речовини, адсорбованої сорбентом і тією, що залишилася у розчині, в розведених розчинах настає рівновага, що підкоряється закону розподілу.

Крива рівноваги при постійній температурі $a_0^* = f(C)$ (рис. 6.3) має назву ізотерми адсорбції і служить основною характеристикою статистики процесу.

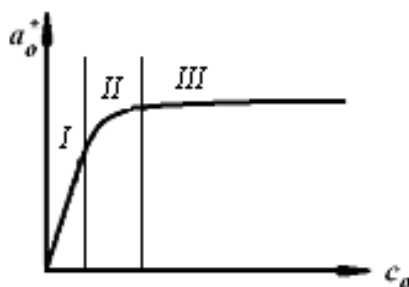


Рис. 6.3. Вигляд ізотерми адсорбції.

Сорбція – процес зворотній, тобто адсорбована речовина (сорбат) може переходити з сорбенту назад в розчин. За інших рівних умов швидкості протікання прямого (сорбція) і зворотного (десорбція) процесів пропорційні концентрації речовини в розчині і на поверхні сорбенту. Тому в перші моменти сорбції, тобто при максимальній концентрації речовини в розчині, швидкість сорбції також максимальна (ділянка I на кривій рівноваги – рис. 6.3). У міру підвищення концентрації розчиненої речовини на поверхні сорбенту збільшується число сорбованих молекул, що переходять назад в розчин, швидкість адсорбції зменшується (ділянка II). З моменту, коли кількість молекул, які сорбуються з розчину (в одиницю часу), стає рівною кількості молекул, що переходять з поверхні сорбенту в розчин, концентрація розчину стає постійною; ця концентрація називається рівноважною (ділянка III).

Досить ґрунтовно вивчено адсорбцію компонентів з газових (парових) фаз. Для таких випадків існують методи розрахунку ізотерм адсорбції, отримані рівняння для визначення теплоти процесу, виведені критеріальні рівняння для розрахунку дифузійного критерію Нуссельта, з якого розраховують коефіцієнт

масопередачі, потрібний для визначення висоти шару адсорбенту. Розроблені методики дають можливість розраховувати час, потрібний для проходження періодичного процесу адсорбції, а для безперервної адсорбції – розрахувати швидкість руху адсорбенту. Аналогічних даних для адсорбції з рідкої фази в літературних джерелах не наводиться. Стосовно цього випадку користуються експериментальними даними щодо визначення розмірів пор адсорбентів у залежності від їхньої природи та марки, а також розмірів шматків матеріалу. Такі дані наведені у довідниках і дозволяють орієнтуватися при виборі адсорбенту.

Адсорбційна здатність зростає з пониженням температури, а також зі збільшенням молекулярної маси і з підвищенням температури кипіння речовини, що адсорбується.

6.2.5. Масопередача в системах з твердою фазою

Процеси, які здійснюються за участі твердої фази, і до яких відносяться адсорбція і десорбція, є особливо складними. Масопередача в системах з твердою фазою складається з двох стадій:

- 1) масовіддача від (до) поверхні поділу фаз у потік рідини;
- 2) переміщення речовини в твердій фазі масопровідністю.

Процес описується рівнянням:

$$dM = -K \frac{\partial c}{\partial x} dF \quad (6.16)$$

де K – коефіцієнт масопровідності, $\text{м}^2/\text{с}$, залежить від природи процесу, структури твердого тіла, умов.

Основними критеріями подібності для даного випадку є: критерій Bi_0 , аналогічний Nu_d :

$$Bi_d = \frac{\beta l}{K} \quad (6.17)$$

і критерій масопровідності E :

$$E = \frac{C - C_p}{C_n - C_p} = f\left(Bi_d, Fo_d, \frac{x}{\delta}\right), \quad (6.18)$$

де C – концентрація речовини, що розподіляється, у будь-який час;

C_p – рівноважна концентрація;

C_n – початкова концентрація;

E – параметричний критерій, який являє собою безрозмірну концентрацію речовини в твердій фазі в точці з координатою x в момент часу τ , яка відповідає певному значенню Fo_d ;

δ – визначальний розмір тіла (твердої фази);

$\frac{x}{\delta}$ – безрозмірна координата точки, в якій концентрація дорівнює δ .

6.2.6. Обладнання для адсорбції

Для адсорбції з газової (парової) фази розроблені спеціальні конструкції адсорберів. Що стосується рідких систем, то для проведення адсорбції використовують різні види фільтрів. Їхній вибір залежить від області застосування процесу очищення, складу середовища, вигляду й крупності сорбенту тощо. Так, перед спорудами біологічного очищення застосовують **засипні фільтри** з діаметром зерен сорбенту 3-5 мм або **адсорбер з псевдозрідженим шаром сорбенту** з діаметром зерен 0,5-1 мм. При глибокому очищенні виробничих стічних вод з поверненням їх у систему оборотного водопостачання застосовують **апарати з мішалкою** і **намівні фільтри** з крупністю зерен сорбенту 0,1 мм і менше. Вибір обладнання для адсорбції тісно пов'язаний з визначеним місцем розташування адсорберів у загальному комплексі очисних споруд, тобто від обраної технологічної схеми процесу очищення.

Фільтрування часто поєднується з відстоюванням.

Фільтрування води через шар гранульованого вугілля або введення у воду порошкоподібного активного вугілля є найбільш універсальними методами видалення з води розчинених органічних речовин природного і неприродного походження.

Порошкоподібне активоване вугілля (ПАВ) можна водити безпосередньо у середовище, яке обробляється. ПАВ, що застосовується для видалення з води речовин, які додають їй присмаки й запахи, може вводитися як перед відстійниками, так і після них, перед фільтрами. Проте введення адсорбенту у воду перед фільтрами можливе тільки в тих випадках, коли концентрація речовини, яку треба видалити, не перевершує 5-7 мг/л при тривалому застосуванні вугілля і 10-12 мг/л при короткочасному. При потраплянні на фільтри великої кількості активованого вугілля втрата напору в них зазвичай швидко зростає і різко збільшується витрата промивної води. Адсорбент, як правило, укладають в один або два шари. Двошарові фільтри краще за звичайні пристосовані до освітлювання води. При низькому вмісті домішок активоване вугілля доцільно вводити у воду після відстійників; у цьому випадку сорбційна здатність вугілля використовується більш повно, ніж при введенні його у воду перед відстійниками, в яких вугілля швидко осідає, не встигнувши сорбувати органічні речовини, що містяться у воді.

Процес адсорбції при підготовці технологічної води або при очищенні стічних вод проводять на засипних або намівних фільтрах. Ці конструкції розглянуті у розділі «Фільтрування». Замість фільтрувальних матеріалів, що використовуються для відокремлення твердої фази від суспензій, тут використовуються виключно сорбенти – активовані вугілля або інші.

Швидкість фільтрування залежить від концентрації розчинених в стічних водах речовин і при адсорбції вона складає 1-6 м/год.; крупність зерен сорбенту – 1,5-5 мм. Найраціональніший напрям руху рідини – від низу до верху, оскільки в цьому випадку відбувається рівномірне заповнення всього перерізу

колони і відносно легко витісняються мішури повітря або газів, що потрапляють у шар сорбенту разом зі стічною водою.

У колоні шар зерен сорбенту укладають на безпровальну решітку з отворами діаметром 5-10 мм і кроком 10-20 мм, на якій попередньо розміщують підтримуючий шар дрібного щебеня і крупного гравію заввишки 400-500 мм, що оберігає зерна сорбенту від провалення в передрешітчастий простір і забезпечує рівномірний розподіл потоку рідини по всьому перерізу. Зверху шар сорбенту для запобігання винесенню закривають спочатку шаром гравію, потім шаром щебеня і покривають решітками (тобто в зворотному порядку).

6.2.7. Регенерація адсорбенту

В процесі адсорбції пори адсорбенту заповнюються адсорбованою речовиною. Оскільки кожен адсорбент має обмежену адсорбційну ємність, яка характеризується величиною статичної активності, з часом здатність адсорбенту до поглинання речовин зменшується – адсорбція припиняється. В такому разі адсорбент або заміняють, або регенерують (реактивують), тобто, поновлюють його активність. У разі заміни адсорбенту відпрацьоване активоване вугілля можна спалювати, використовуючи тепло.

Регенерація адсорбенту є найважливішою стадією адсорбційного очищення. Метою регенерації є: з одного боку – десорбція адсорбованих з води домішок або деструктивне їхнє руйнування, і, з другого – відновлення адсорбційної здатності сорбенту. Застосовують рекуперативні та деструктивні методи регенерації. До перших відносяться десорбція насиченою або перегрітою водяною парою, нагрітим інертним газом, екстракція органічними розчинниками, до других – термічні й хімічні окислювальні процеси. Розробляються біологічні методи регенерації вугілля.

Рекуперативні методи

Десорбція адсорбованих речовин надає можливість вловлювати цінні продукти (якщо такі є) з метою їхнього подальшого використання. Її можна здійснювати методом екстрагування, тобто, обробкою сорбенту разом з адсорбованою речовиною органічним розчинником. Оскільки, як було вказано раніше, активоване вугілля поглинає переважно органічні речовини, то останні, слідує принципу «подібне прагне до подібного», переходять у розчинник. Далі, для вилучення адсорбованої речовини, її суміш з розчинником переганяють, а сорбент для видалення з нього розчинника нагрівають, або витісняють розчинник парою з наступним сушінням сорбенту.

Десорбцію можна проводити, безпосередньо обробляючи сорбент гострою водяною парою. При цьому пара витісняє адсорбовану речовину, яка переходить у газову (парову) фазу. Конденсація з наступним поділом двох рідин (адсорбована речовина і розчинник) дозволяє виділити сорбовану речовину. Сорбтив можна також виділити шляхом нагрівання (термічна обробка без доступу повітря) з наступним уловлюванням. Ці способи використовують при відносно невисокій температурі кипіння органічних речовин та їхній стійкості до дії температур.

Як бачимо з переліку операцій, рекуперативні методи відновлення активності адсорбенту дорогі – вартість розчинника, теплоти на проведення процесів, використання додаткового обладнання та виробничих площ. Тому такий метод придатний для вилучення дорогих та цінних продуктів у тих випадках, коли їхня кількість досить велика, і більш раціональний для певних виробництв (добувної, хімічної промисловості тощо).

У разі водопідготовки або очищення стічних вод такий метод не є виправданим, тому більш придатними вважаються деструктивні методи.

Деструктивні методи передбачають руйнування адсорбованої речовини в результаті дії високих температур та хімічних реагентів.

Адсорбовані органічні речовини розкладаються при температурах 700-1000°C. Оскільки в атмосфері печей присутні окислювачі – кисень та водяна пара, – продукти розкладу окислюються до вуглекислого газу і води.

Для термічного регенерування активованого вугілля після адсорбційного очищення побутових стічних вод достатньо нагріти адсорбент до 400-450°C. Як теплоносії використовують перегріту водяну пару або реакційну суміш продуктів горіння газоподібного або карбюрованого рідкого палива з водяною парою, вміст якої становить 45-60 %.

У разі термічного регенерування активованого вугілля за наявності водяної пари або домішок кисню одночасно з деструктивним окисленням адсорбованих речовин і продуктів їхнього розкладання окислюється також саме активоване вугілля. Втрати вугілля внаслідок окислення, або так званого "обгару", зростають зі збільшенням тривалості процесу і підвищенням температури прожарювання адсорбенту. У більшості промислових установок ці втрати становлять від 5-6 до 10-15 % за операцію. Незважаючи на відносно великі втрати адсорбенту і витрати палива (природного газу, рідкого палива), метод термічного високотемпературного регенерування активованого вугілля дістав найбільшого поширення.

Високотемпературне регенерування активованого вугілля здійснюють у печах різних конструкцій. Тривалість регенерації гранульованого активованого вугілля становить від 15-20 хв. до 1 год. Схема печі для регенерування зерен вугілля у киплячому шарі наведена на рис. 6.4.

Піч являє собою циліндричну шахту заввишки близько 2 м, відокремлену від топки жароміцними ґратами. У топці розміщений пальник для спалювання природного газу при надлишку кисню не більше 0,3%. У тунель пальника підводиться пара, за рахунок якої температура реакційної суміші продуктів горіння знижується до 700-750°C. У шахту печі через бункер шнеком безперервно подається відпрацьований адсорбент з вологістю не більше 25% (вивантажене з адсорбційної колони вугілля відділяється від надлишку води на стрічковому вакуум-фільтрі або віброситі). Напором газоподібних продуктів згоряння адсорбент утримується у зваженому стані.

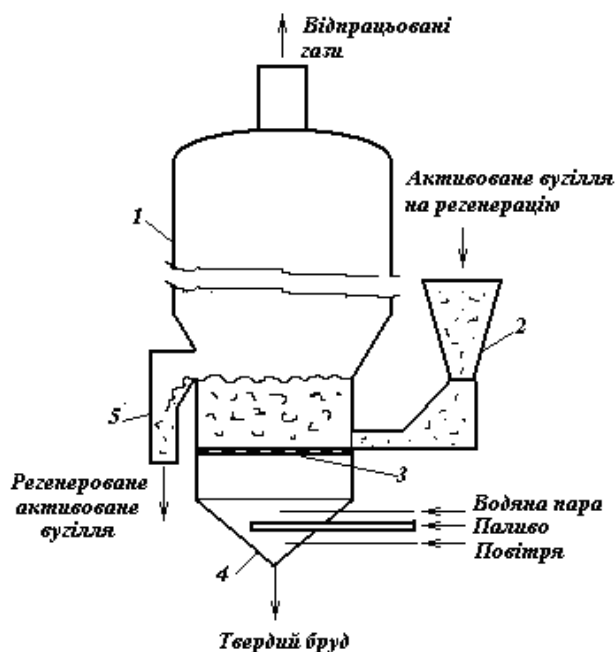


Рис. 6.4. Піч киплячого шару:

1 – корпус печі; 2 – живильний бункер;
3 – опорна решітка; 4 – топка; 5 – патрубок для
відведення регенованого сорбенту.

Потрапляючи в гарячі продукти згоряння палива, адсорбент практично миттєво висушується і відводиться через трубу з шахти в теплообмінник, а потім в бункер-приймач. Регенерація вугілля в киплячому шарі при 700-750°C продовжується близько 20 хв. Втрати активованого вугілля від стирання і обгорання складають 5-10%.

Активоване вугілля зберігає високу адсорбційну активність в результаті багаторазової регенерації, тому процес адсорбційного очищення може мати змінно-циклічний характер /адсорбція-регенерація і т.д./.

Регеноване вугілля знову завантажують в колонки і відмивають проточною водою до рН початкової води.

6.2.8. Принципові схеми адсорбції

Адсорбцію можна проводити згідно з однією зі схем – рис. 6.5. Через адсорбент *L* пропускають суміш, з якої поглинається певний компонент, – відбувається адсорбція. З плином часу адсорбент насичується адсорбтивом і активність адсорбенту знижується. Для його регенерації через шар адсорбенту пропускають речовину *B*, яка витискує речовину, котра поглинулася, або нагрівають адсорбент. Такою речовиною *B* зазвичай є водяна пара, яка витискує сорбат з пор сорбенту і, конденсуючись, займає його місце. Для видалення води з пор сорбенту останній висушують. Адсорбція за схемою *a* – періодичний процес; схеми *б* і *в* дозволяють проводити процес безперервно.

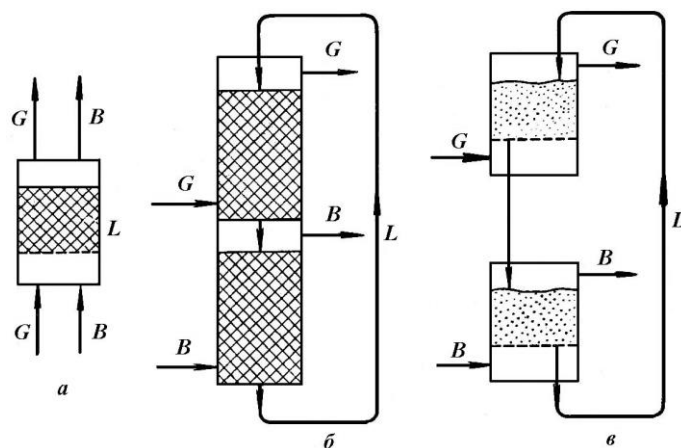


Рис. 6.5. Принципові схеми адсорбції:

a – з нерухомим шаром зернистого адсорбенту; *б* – з шаром адсорбенту, який рухається і циркулює в замкненій системі; *в* – з циркулюючим псевдорозрідженим шаром адсорбенту.

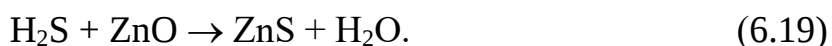
6.2.9. Хемосорбція

Хемосорбція, інакше, хімічна адсорбція – адсорбція, при якій між адсорбентом та адсорбатом у моношарі на поверхні відбувається утворення хімічного зв'язку.

Хемосорбція відбувається практично миттєво і веде до утворення звичайних хімічних сполук, теплота хемосорбції вища за теплоту активованої адсорбції, виділення поглиненої речовини практично неможливе.

В процесах очищення стічних вод використання хемосорбції можливо для поглинання сірководню, який утворюється в результаті гниття органічних сполук. Це отруйний газ з запахом тухлих яєць. Його накопичення в каналізаційній системі часто призводить до отруєння людей, які займаються очищенням та контролем каналізації.

Для хемосорбційного поглинання сірководню розроблені спеціальні поглиначі (ГІАП-10), які містять оксид цинку. При цьому відбувається реакція:



Процес відбувається на такому ж обладнанні, як і фізична адсорбція.

6.3. ДЕСОРБЦІЯ

Дегазація (Деаерація)

6.3.1. Значення процесу та принципи, на яких він заснований

Важливою частиною комплексного технологічного процесу водопідготовки – видалення з води розчинених газів. Наявність газів у воді пояснюється як їхньою сорбцією і протіканням хімічних реакцій в процесі утворення домішок у природній воді, так і появою їх в процесі різних стадій очищення. Ці гази можна розділити на такі, що хімічно не взаємодіють (H_2 , O_2 , CH_4) і хімічно взаємодіють з водою та її домішками (NH_3 , CO_2 , Cl_2), а також на корозійно-активні (O_2 , CO_2 , NH_3 , Cl_2 , H_2S) й інертні (N_2 , H_2 , CH_4).

Концентрація газів у воді залежить від багатьох чинників, основні з них – фізична природа газу, ступінь насичення, тиск в системі і температура води.

Основний спосіб видалення з води розчинених газів процесі водопідготовки – десорбція (термічна деаерація). Принцип її полягає в створенні контакту води з парою, в якій парціальний тиск газу, що видаляється з води, близький до нуля, що є необхідною умовою процесу десорбції. Цей процес здійснюється, в основному, в *деаераторах* (вакуумних, атмосферних, постійного тиску), які за способом розподілу води і пари розділяють на струменеві, плівкові і барботажні. Інтервал робочого тиску у вакуумних деаераторах складає 0,0075-0,05 МПа.

Особливу увагу приділяють видаленню з води кисню, який входить у склад повітря. При *фізичних* методах деаерації кисень видаляється разом з іншими компонентами повітря, головним чином, азотом. При *хімічних* методах зв'язується тільки певний газ (у залежності від реагентів, що використовуються, – кисень, вуглекислий газ тощо).

Кисень є агресивним компонентом середовища. Наявність кисню у гріючій паровій системі призводить до корозії котлів, теплових мереж, а також знижує ефективність перенесення тепла з парою.

В 1 л аерованої води при атмосферному тиску розчиняється близько 7 мг O_2 . Розрахунок показує, що ця кількість кисню може прореагувати з 16 мг заліза:



перетворюючи метал на іржу [$Fe(OH)_3$ та інші сполуки тривалентного заліза].

У першій половині минулого століття іржа «з'їдала» до 40% вироблюваної сталі. Незважаючи на величезні зусилля учених і інженерів щодо захисту металоконструкцій, за сто років цю цифру вдалося знизити лише до 20%.

У системі теплопостачання проблема корозії стоїть особливо гостро, адже комунікації проходять в основному під землею, і навіть при незначних аваріях витрати на ремонт перевищують прямі витрати на їхню профілактику в 5–20 разів. Зменшити шкідливу дію води можна, видаливши з неї розчинені гази.

Труби і деталі водонагрівальних котлів особливо страждають від корозії, оскільки висока температура води збільшує швидкість хімічних реакцій. Перш ніж направити воду в систему теплопостачання, її необхідно деаерувати – видалити з неї розчинені гази, в першу чергу кисень O_2 і вуглекислий газ CO_2 . Деаерацію проводять на завершальній стадії підготовки води, коли вона очищена від механічних домішок і знесолена.

У спорудах, по яких тече холодна вода, допустима концентрація кисню у воді не повинна бути вищою за 0,2 мл/л. Якщо вимагається досягти параметра меншого, ніж це можливо при звичайній деаерації, необхідна додаткова обробка води. Для цього можуть використовуватися допоміжні хімічні реагенти або ще одна процедура деаерації.

В основному системи постачання гарячою водою транспортують її при температурі 70°C. За цих умов з метою захисту елементів від корозії достатньо буде понизити концентрацію кисню до 0,07 мл/л.

При експлуатації парових систем опалювання, тиск в яких не перевищує 17,5 кг/см², граничний вміст кисню складає 0,02 мл/л. Якщо використовується устаткування з високим тиском або ж встановлені економайзери, бажано добитися практично повної відсутності кисню у воді – його концентрацію треба понизити до 0,0035 мл/л і нижче.

Існують хімічні і фізичні методи видалення кисню з живильної води.

Фізичні методи деаерації здійснюються вакуумним, термічним способом, азотною бульбашковою деаерацією. Усі названі способи засновані на явищах, які описуються законом Генрі. Згідно цього закону концентрація розчиненого газу пропорційна парціальному тиску газу над поверхнею рідини. Повітря є сумішшю газів, і загальний тиск складається з парціального тиску азоту, кисню, аргону та ін. Чим більше в повітрі міститься того чи іншого газу, тим вищий його парціальний тиск. Наприклад, для кисню він складає 20% атмосферного. При атмосферному тиску 750 мм рт. ст. ця величина приблизно дорівнює 150 мм рт.ст., а для азоту – близько 580 мм рт.ст.

Як впливає із закону Генрі, видалити з рідини розчинений в ній газ можна двома способами: понизити парціальний тиск газу над поверхнею рідини або підвищити її температуру.

Для зменшення парціального тиску знижують загальний тиск над поверхнею. Тоді рівновага в системі газ – рідина порушиться: з рідини йтиме більше молекул газу, ніж розчиняться в ній. Подібне явище знайоме всім, хто ставив пляшку з газованою водою і спостерігав за інтенсивним виділенням бульбашок. Можна змінити склад газової фази. Якщо замість повітря над поверхнею води буде, скажемо, водяна пара або азот, то і парціальний тиск решти газів суттєво знизиться і почнеться їхня інтенсивна десорбція.

Газ інтенсивно десорбується, тобто виходить з об'єму рідини при її нагріванні. Дійсно, зі зростанням температури кінетична енергія молекул збільшується і відповідно підвищується тиск. Рівновага порушується, і потік молекул з води стає більшим, ніж у зворотному напрямі.

Проте десорбції газів заважають два обмеження. Чим менше залишається у воді газу, тим менше перепад тиску розчиненого газу і газу над поверхнею і тим нижча швидкість деаерації. Крім того, в газову фазу йдуть молекули газу з приповерхневого шару. Їхнє місце займають молекули, які дифундують з глибини шару рідини. Але швидкість дифузії невелика, і це істотно уповільнює процес.

Підбираючи такі співвідношення температури і тиску, при яких гази стають практично нерозчинними, можна практично повністю видалити їх з води. За останні роки конструкція апаратури для видалення газів значно поліпшена. В даний час є декілька вданих типів деаераторів, кожний з яких пристосований для спеціальної мети. Існує установка і для видалення з води CO₂, H₂S і NH₃.

6.3.2. Фізичні методи деаерації і апарати для її проведення

6.3.2.1. Ізотермічна деаерація при атмосферному тиску. Будова і робота деаераційної колони

У промисловості використовують декілька способів деаерації. Найчастіше застосовують ізотермічну деаерацію при атмосферному тиску, що з'явилася ще на початку минулого сторіччя. Її ведуть в спеціальному пристрої – деаераційній колоні (рис. 6.6). Знизу в колону подають нагріту водяну пару, а зверху протитечією – воду.

Спочатку вода поступає у водозливну тарілку, що нагадує великий друшляк. Через отвори в днищі вона виливається у вигляді струменів і окремих крапель, як у звичайному душі. Потік пари, що рухається назустріч, нагріває воду майже до температури кипіння. Нагрівання супроводжується частковою десорбцією газів, молекули яких виносяться з парою.

Для підвищення ефективності в колоні встановлюють ще одну, проміжну водопереливну тарілку, через яку вода стікає в бак-акумулятор. Його дно також має перфорацію, як і водозливні тарілки, але вода не протікає крізь отвори, оскільки знизу подається пара під тиском. Вона барботує крізь шар води, перетворюючи її на піну і нагріваючи до 102–104°C, що вище за точку кипіння при атмосферному тиску і частина води випаровується, утворюючи так званий випар (до 2–3 кг на тонну води, що деаерується).

Традиційні термічні деаератори мають недоліки. Поділ процесу на дві стадії ускладнює конструкції устаткування і збільшує матеріалоємність апаратів. Використання протитечії рідини й газу хоча і підвищує ефективність деаерації, але ускладнює управління роботою апарату: при дуже високій швидкості потоку пари краплини води виносяться з парою на попередній стадії деаерації, а при дуже малій вода на барботажній стадії витікає через отвори в баку. Крім того, на струменево-краплинній стадії відбувається зворотне газонасичення води через її контакт у верхній частині колонки з випаром, що містить велику кількість газів.

Існують установки для деаерації води без нагрівання (деаерація холодної води), що дають 15000 м³ на добу і знижують вміст кисню до 0,22 мл/л, що визнано достатнім для попередження корозії і утворення горбиків в довгому сталевому трубопроводі. Вода в такому апараті розбризкується по спеціальних

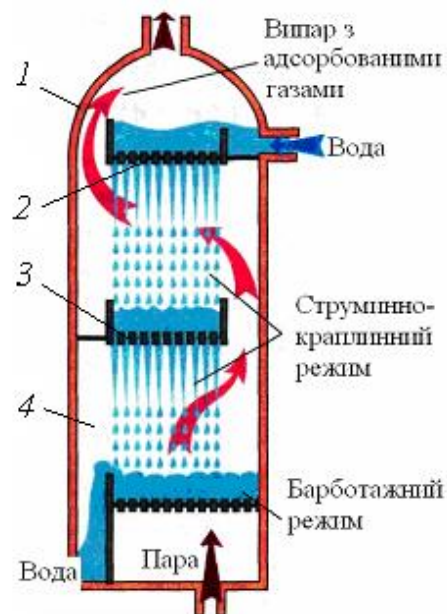


Рис. 6.6. Схема деаераційної колонки:

1 – корпус; 2 – водозливна тарілка;
3 – проміжна тарілка; 4 – бак-акумулятор.

лотках камери, що знаходиться під низьким тиском. Гази можуть віддалятися паровими ежекторами з холодильниками або вакуумними насосами.

Застосовуються вакуумні і безвакуумні деаератори, які одночасно є підігрівачами живильної води (деаерація гарячої води).

6.3.2.2. Схема безвакуумного одноступінчастого деаератора

Схема безвакуумного одноступінчастого деаератора зображена на рис. 6.7. Рівень води в деаераторі підтримується регулятором 1. Вода поступає по трубопроводу 9 до розбризкувальної головки 2 через охолоджувач випару 3, де вона трохи підігрівается. У розбризкувальну головку по трубопроводу 5 через регулятор 4 подається також гріюча пара. Для забезпечення швидкого нагріву поступаючої живильної води необхідно, щоб поверхня зіткнення парової і рідкої фаз була максимальною. У головці 2 це забезпечується за допомогою розбризкувальних пристроїв у вигляді форсунок або перфорованих тарілок, що збільшує поверхню контакту води і пари. У сучасній моделі деаератора відбувається розпилювання води в атмосферу пари при тиску приблизно $0,1 \text{ кг/см}^2$. Пара, рухаючись назустріч струменям води, нагріває воду до температури кипіння, що сприяє інтенсивному виділенню з неї газів. В процесі нагріву води значна частина гріючої пари конденсується. Суміш газів, що виділилися, і частини пари, що не сконденсувалася (так званий випар), йде в охолоджувач випару 3, де пара конденсується і стікає в бак-акумулятор 7, а гази відводяться в атмосферу.

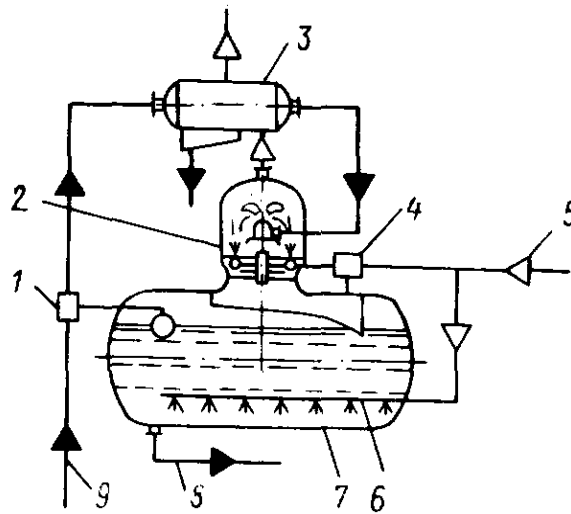


Рис. 6.7. Схема безвакуумного одноступінчастого деаератора:

- 1 – регулятор рівня води; 2 – розбризкувальна головка; 3 – охолоджувач випару; 4 – регулятор гріючої пари; 5 – трубопровід підведення пари; 6 – барботажний пристрій; 7 – бак-акумулятор; 8 – трубопровід подачі пари до живильного насоса; 9 – трубопровід подачі води на деаератор.

Час перебування води в розбризкувальній головці деаератора малий, тому стікаюча з неї в бак-акумулятор деаерована вода може містити деяку кількість розчиненого газу. Для його видалення через воду в баку за допомогою барботажного пристрою додатково пропускають пару, що сприяє повнішій деаерації.

Деаерована вода по трубопроводу 8 забирається живильним насосом котла. Для забезпечення надійної роботи насоса деаератор розташовують на 8-10 м вище всмоктуючого патрубку живильного насоса.

Головною умовою деаерації є підтримка води в тонкорозпиленому стані протягом достатнього часу при температурі кипіння, що відповідає тиску, при якому розчинені гази вільно виділяються. При простому типі відкритого нагрівача живильної води при її нагріванні до 88-93°C і вільному відведенні газів в атмосферу, деаератор знижує концентрацію кисню приблизно до 0,3 мл/л. Це значно зменшує корозію парових котлів низького тиску. Проте в економайзерах або котлах високого тиску корозія так сильно зростає з температурою, що необхідне повніше видалення кисню.

Існують спеціальні деаератори для гарячих систем водопостачання. Вони призначені переважно для великих будівель, наприклад, для лікарень, готелів і т.ін. Воду нагрівають під вакуумом так, щоб температура кипіння її не перевищувала 60-80°C. Гріюча пара проходить через змійовики і тому вода не стикається з нею і не забруднюється. Воду розбризкують вниз по тарілках і нагрівають два ряди парових змійовиків. Температура пари, що поступає в нижні змійовики, вища за температуру води, яка внаслідок цього випаровується; пара захоплює гази, що виділилися, через клапан, охолоджуваний вхідною холодною водою. Конденсат з клапана стікає назад, в камеру тарілки, тоді як гази викидаються вакуумним насосом або паровим ежектором.

Деаератор поміщається в підвалі будівлі і вимагає циркуляційного насоса для гарячої води; іноді його встановлюють на достатньо високому рівні, щоб була можлива подача води за рахунок природної циркуляції. У таких умовах досягається концентрація кисню 0,04 мл/л, що забезпечує захист системи від корозії при температурі нижче 70°C.

Найбільш потужні деаератори видаляють також весь вільний діоксид вуглецю і частково – напівзв'язану вуглекислоту та інші гази. При цьому внаслідок видалення діоксиду вуглецю рН води збільшується, що є позитивним з точки зору зменшення корозії сталевих деталей.

Вакуумна деаерація є найбільш універсальним методом видалення з води розчиненого кисню для обробки більшості водопровідних вод. До недоліків методу відносяться значні габарити апаратів, що вимушує збільшувати приміщення теплового пункту за площею і висотою і високі вартісні показники споруди установки.

Окрім деаерації (і, відповідно, деаераторів), заснованої на регулюванні тиску і температури, за останні роки створені апарати, які працюють на інших принципах. Прикладами таких деаераторів є вихровий, щілинний, а також мембранні контактори.

6.3.2.3. Вихровий аератор

У воді завжди є гідрофобні частинки, на яких утворюються міхури газу розмірами близько 0,1 мкм. Вони мають нікчемну підйомну силу, але саме ці міхури є центрами десорбції газів. Цю їхню властивість використовують в

різних модифікаціях вихрового деаератору. Заздалегідь нагріта вода подається в циліндричну камеру по дотичній до стінки і закручується в ній у вихровому русі. У радіальному напрямі з'являється градієнт швидкості, тиск у центральній частині вихору знижується пропорційно квадрату швидкості потоку і в деякій області стає нижче за тиск насичення водяної пари. В результаті термічної десорбції і доцентрової сили мішури повітря починають рухатися від периферії камери до центру, утворюючи парогазову порожнину (схожим чином працюють циклонні фільтри, що очищають повітря від пилу) (рис. 6.8). Парогазову фазу відсмоктують вакуумним насосом або відводять в атмосферу.

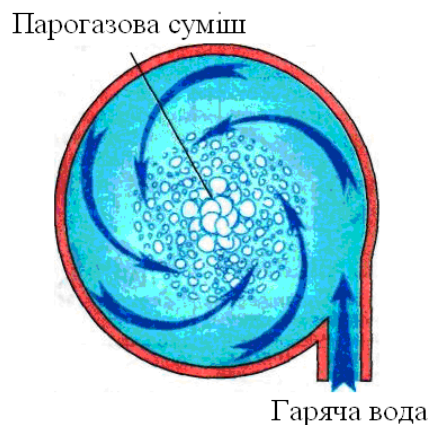


Рис. 6.8. Рух потоків у вихровому деаераторі.

6.3.2.4. Щілинний деаератор

Деаератор являє собою циліндричний корпус (рис. 6.9). Його внутрішній об'єм по осевій площині ділить стінка, трохи не доходячи до поверхні корпусу. У робочому стані від неї проходить труба з щілинними отворами (соплами). По ній під високим тиском подається заздалегідь нагріта рідина, і при виході з сопла вона дробиться на дрібні краплини. Завдяки великій питомій поверхні поділу фаз і малому дифузійному шляху, який повинні подолати молекули газу, десорбція відбувається з високою швидкістю.

Потім краплини рідини потрапляють на криволінійні направляючі і коагулюють у водну плівку. Поверхня поділу зменшується, і зворотне розчинення газів відбутися не встигає. Деаерована вода стікає в нижню частину корпусу і проходить через патрубок, а випар і десорбовані гази прямують в інше відділення.

Там встановлені форсунки, через які подається холодна вода. Пари води конденсуються і виходять через відповідний патрубок. Через інший патрубок у верхній частині гази віддаляються в атмосферу або відкачуються вакуумним насосом; така конструкція дозволяє утилізувати теплоту випару, а також додатково регулювати глибину деаерації за рахунок зміни витрати води. При випробуваннях вміст кисню в деаерованій воді не перевищував 20 мкг/л, вільного вуглекислого газу взагалі не спостерігалось, а вода мала слаболужну реакцію ($\text{pH} > 8,5$).

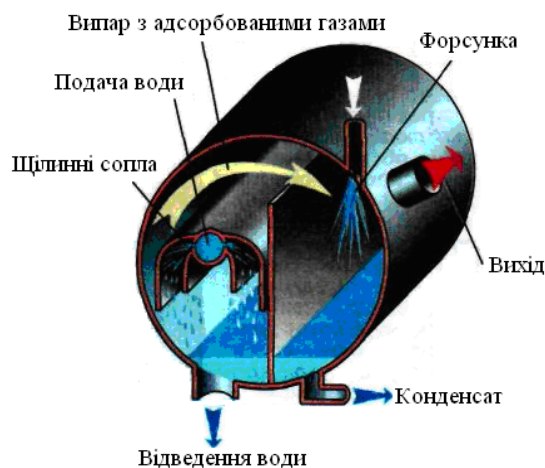


Рис. 6.9. Щілинний деаератор.

Щілинний деаератор не захлинається, оскільки виконаний ані за прямотечійною, ані за протитечійною класичною схемою. Цей пристрій стійко працює в широкому діапазоні продуктивності – від 0,5 до 600 т/год.

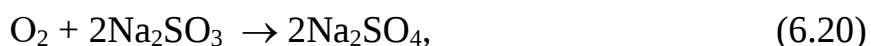
6.3.2.5. Мембранна дегазація для глибокого видалення кисню

До фізичних методів дегазації слід також віднести мембранну дегазацію. Її застосовують для глибокого видалення кисню з води для парових і водогрійних систем. Пропонується технологія даного процесу з використанням гідрофобних мембран в мембранних контакторах. Це дозволяє досягати глибокого ступеня очищення води до 1 мкг/л, а при необхідності видалення кисню менше 1 мкг/л проводити двоступінчасту дегазацію, з фізичною здувкою газом і вакуумуванням, при попередньому зниженні до 100 мкг/л. (устаткування серії «MWT MD»).

6.3.3. Хімічна деаерація

Як хімічні реагенти, для зменшення кількості розчиненого у воді кисню використовують деякі хімічні сполуки, здатні зв'язувати кисень. Їхній вибір залежить від умов роботи обладнання. Так, у котлах низького тиску (до 7,0 МПа) використовують сульфід або метабісульфід натрію, у котлах високого, надвисокого або зверхкритичного тиску – гідразингідрат, діетилгідроксиамін, ізоаскорбінова кислота, карбогідразин, гідрохінон, плівкоутворюючий амін – хеламін.

Як приклад, наводимо рівняння реакцій кисню з сульфідом натрію Na_2SO_3 і гідрaziном N_2H_2 :



Використання сульфід натрію може бути економічно виправданим тільки в тому випадку, якщо перед цим проводилася попередня деаерація, під час якої була видалена більша частина вільного кисню. При видаленні 1 кг розчиненого у воді кисню витрати Na_2SO_3 складуть більше 8 кг. З метою повного видалення кисню в опалювальних системах потрібно 30 мг надлишкового Na_2SO_3 на кожен літр.

Кращого результату можна досягти в поєднанні хімічної дії на воду з термічною, тобто, її необхідно нагрівати до 70°C і вище. Крім сульфід, можна використовувати бісульфід натрію (NaHSO_3).

При вступі реагенту до реакції з розчиненим киснем виникає надлишок сульфід-іонів, підтримуваний на рівні 2-3 мг/л.

Використання гідразину більш ефективно у порівнянні з використанням сульфід натрію, оскільки при цьому не відбувається зростання вмісту солей у воді, котре, як відомо, спричиняє підвищення електропровідності води, а значить, і підсилення корозії металу.

Витрата гідразину складає близько 0,1-0,2 г на 1 т деаерованої живильної води. Надлишкова концентрація його в котельній воді повинна знаходитися в

межах 0,02-0,03 міліграм/л. Гідразин токсичний і вогнєнебезпечний, тому поводитися з ним треба дуже обережно. Для введення гідразину в оброблювану воду застосовуються спеціальні герметичні пристрої, що забезпечують безперервну подачу його в трубопровід живильної води безпосередньо після деаератора.

6.3.4. Розрахунки в процесах сорбції і десорбції

Розрахунки сорбційно-десорбційних процесів мають на меті визначення геометричних розмірів апаратів, швидкості проходження крізь них матеріальних потоків, витрати сорбентів. Як було відмічено раніше, названі процеси супроводжуються певними тепловими ефектами. Так, для проведення десорбції потрібне нагрівання сорбенту.

Розглянемо, як приклад, розрахунки, пов'язані з регенерацією цеоліту.

Приклад 6.1. Цеоліт NaX піддається десорбції – нагріву в потоці гарячого повітря в безперервнодіючому апараті зі зваженим шаром цеоліту. Середня температура повітря 190°C. Цеоліт поступає в апарат з початковою температурою 20°C. Діаметр зерна цеоліту 4 мм, густина його 1100 кг/м³, питома теплоємність 870 Дж/(кг·К), коефіцієнт теплопровідності 0,24 Вт/(м·К). Число псевдозрідження* 4. Визначити час, потрібний для нагрівання зерна цеоліту від 20°C до середньої температури 185°C.

Рішення. Прогрівання зерна цеоліту являє собою нестационарний процес теплопровідності в твердому тілі. Рішення рівняння нестационарної теплопровідності (за умови сталості теплофізичних характеристик тіла, що нагрівається):

$$a \nabla^2 t = \frac{\partial t}{\partial \tau}$$

разом з граничними і початковими умовами приводить до рівняння:

$$\frac{t_k - t_n}{t_{o.c.} - t_n} = f(Bi, Fo), \quad (a)$$

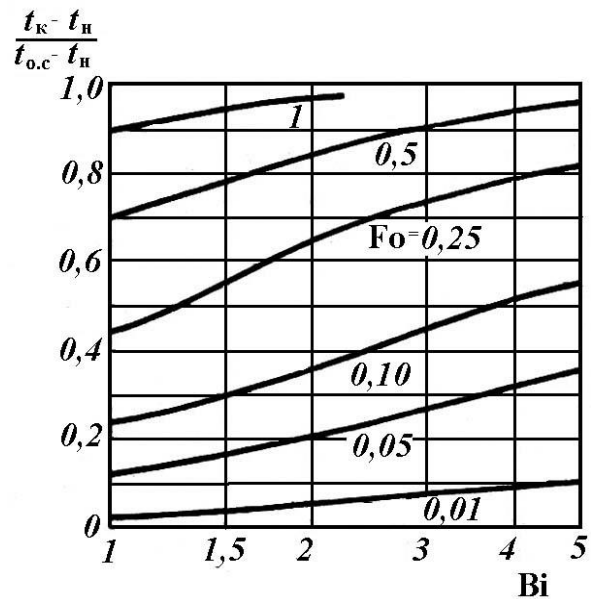


Рис. 6.10 (до прикладу 6.1).

права частина якого – складна функція критеріїв Біо (Bi) і Фур'є (Fo).

Для зерна, яке має форму кулі радіусом R :

$$Bi = \frac{\alpha R}{\lambda_t}; \quad Fo = \frac{a \tau}{R^2} = \frac{\lambda_t \tau}{c_t \rho_t R^2}.$$

В останніх рівняннях:

$t_n, t_k, t_{o.c.}$ – початкова і кінцева температури тіла, що нагрівається, температура оточуючого середовища;

α – коефіцієнт тепловіддачі від оточуючого середовища до поверхні

тіла, що нагрівається;

λ_t, c_t, ρ_t – коефіцієнт теплопровідності, питома теплоємність і густина твердого тіла.

На рис. 6.10 наведений графік рівняння (а) для кулі.

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі α від повітря до поверхні зерна цеоліту у зваженому шарі. Попередньо знайдемо значення критерію Архімеда за рівнянням:

$$Ar = \frac{d^3 \rho_t \rho_c g}{\mu_c^2} = \frac{0,004^3 \cdot 1100 \cdot 0,763 \cdot 9,81}{25,7 \cdot 10^{-12}} = 8 \cdot 10^5,$$

де $\rho_c = 0,763 \text{ кг/м}^3$ і $\mu_c = 25,7 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ – густина і динамічний коефіцієнт в'язкості середовища (повітря) при 190°C .

За графіком (рис. 6.11) знаходимо при $Ar=8 \cdot 10^5$ і $\varepsilon=0,4$ критерій Лященко $Lu_{кр}=2,75$. Звідси визначаємо критичну швидкість псевдозрідження за рівнянням:

* Відношення робочої швидкості повітря до критичної (швидкості псевдозрідження).

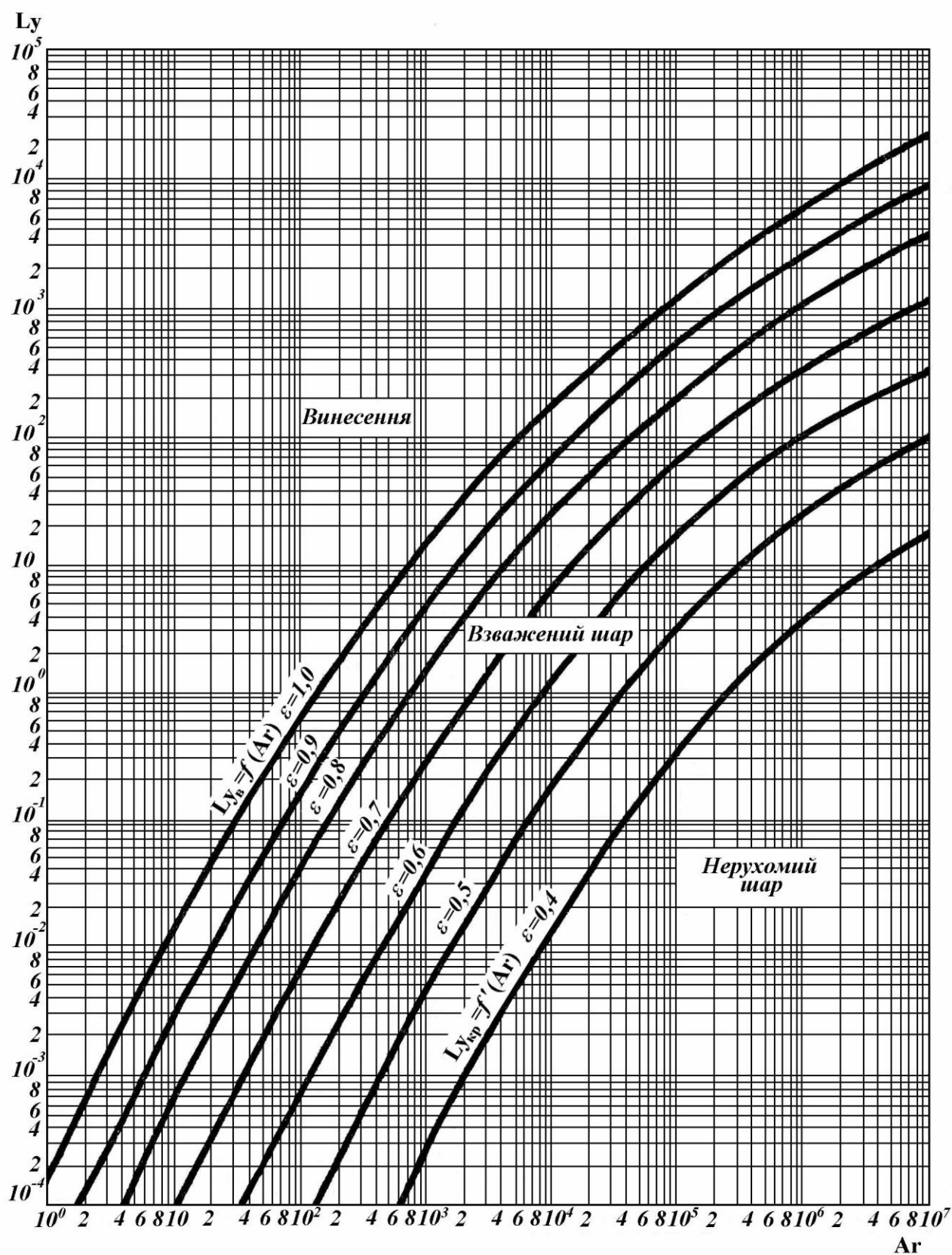


Рис. 6.11. Залежність критерію Ly від критерію Ar і порізності ε шару.

$$\omega_{кр} = \sqrt[3]{\frac{Ly_{кр} \mu_c g \rho_T}{\rho_c^2}} = \sqrt[3]{\frac{2,75 \cdot 25,7 \cdot 10^{-6} \cdot 9,81 \cdot 1100}{0,763^2}} = 1,09 \text{ м/с}.$$

Робоча швидкість (віднесена до повного поперечного перерізу апарату):

$$\omega = 4 \omega_{кр}.$$

За цією швидкістю розраховуємо критерій Ляшенко

$$Ly = \frac{\omega^3 \rho_c^2}{\mu_c \rho_T g} = \frac{4,36^3 \cdot 0,763^2}{25,7 \cdot 10^{-6} \cdot 1100 \cdot 9,81} = 174$$

і з рис. 6.11 при $Ag = 8 \cdot 10^5$ знаходимо порізність зваженого шару $\varepsilon = 0,67$.

Критерій Рейнольдса для потоку повітря:

$$Re = \frac{\omega d \rho_c}{\varepsilon \mu_c} = \frac{4,36 \cdot 0,004 \cdot 0,763}{0,67 \cdot 25,7 \cdot 10^{-6}} = 773.$$

Визначаємо критерій Нуссельта за рівнянням:

$$Nu = 0,4 Re^{0,67} Pr^{0,33} = 0,4 \cdot 773^{0,67} \cdot 0,681^{0,33} = 30,2.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря до поверхні зерна:

$$\alpha = \frac{Nu \lambda_c}{d} = \frac{30,2 \cdot 0,0385}{0,004} = 290 \text{ Вт/(м}^2\text{К)},$$

де $\lambda_c = 0,0385 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ – коефіцієнт теплопровідності повітря при 190°C .

Критерій Біо:

$$Bi = \frac{\alpha R}{\lambda_T} = \frac{290 \cdot 0,002}{0,24} = 2,42.$$

Симплекс різниць температур:

$$\frac{t_k - t_n}{t_{o.c.} - t_n} = \frac{185 - 20}{190 - 20} = 0,97.$$

За цими даними знаходимо по графіку (рис. 6.10) значення критерію $Fo=1$, звідки час прогрівання зерен цеоліту:

$$\tau = \frac{Fo \cdot c_T \rho_T R^2}{\lambda_T} = \frac{1 \cdot 870 \cdot 1100 \cdot 0,002^2}{0,24} \approx 16 \text{ с}.$$

7. ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ РІДИН, ПОВ'ЯЗАНІ ЗІ ЗМІНОЮ АГРЕГАТНОГО СТАНУ

7.1. ВИПАРЮВАННЯ

Випарювання здійснюється з метою концентрування рідких розчинів або для отримання розчинників у чистому вигляді (наприклад, опріснення морської води). В процесах обробки технологічних розчинів та стічних вод випарювання з метою концентрування розчинів може використовуватись у сукупності з мембранними процесами (див. розділ 11), електрохімічною обробкою стічних вод гальванічних виробництв тощо; при очищенні стічних вод випарювання доцільне при згущенні відходів для зменшення витрат на їхнє сушіння і отримання чистої води, яку можна повертати у виробництво.

Як теплоносієм зазвичай служить насичена або слабоперегріта пара (первинна пара), витрату якої зручно регулювати. Газове, електричне або нагрівання висококиплячим теплоносієм застосовують тільки при високій температурі кипіння розчинів, що виключає застосування водяної пари. Пара, яка утворюється при випаровуванні, має назву вторинної. Випарювання можна проводити під вакуумом, під атмосферним і підвищеним тиском. Є переваги й недоліки в кожному способі.

В промислових умовах випарювання ведуть в апаратах одно- або багаторазової дії. Процес найчастіше ведеться безперервно.

7.1.1. Однокорпусна випарна установка

7.1.1.1. Будова і робота однокорпусної випарної установки

Схема поодинокого випарного апарату зображена на рис. 7.1.

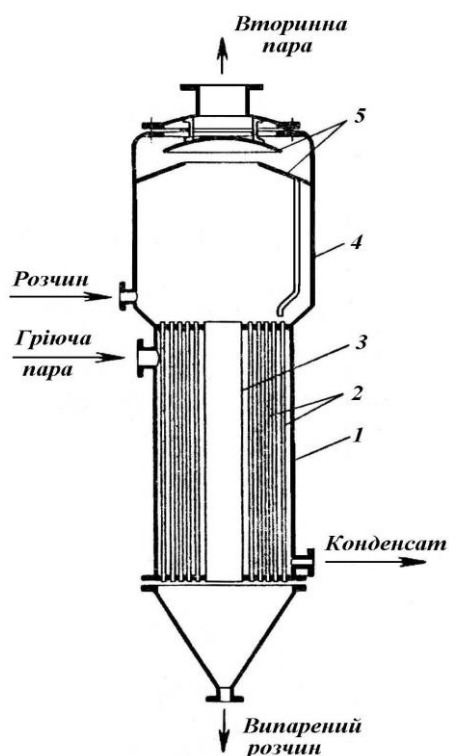


Рис. 7.1. Схема поодинокого безперервнодіючого апарату з природною циркуляцією розчину і з внутрішньою циркуляційною трубою:

- 1 – нагрівальна камера; 2 – кип'ятильні труби; 3 – циркуляційна труба;
- 4 – сепаратор; 5 – відбійні пристрої.

Розведений розчин уводиться в апарат і заповнює його нижню (теплообмінну) частину (нагрівальну камеру) 1. Підіймаючись по кип'ятільних трубах 2, розчин нагрівається, кипить і вода з нього випаровується з утворенням вторинної пари.

Відокремлення пари від рідини здійснюється в сепараторі 4. Сепаратор постачений відбивними пристроями 5, призначеними для повертання в апарат бризок води. Внаслідок різниці густин розчину в циркуляційній трубі 3 й парорідинної суміші в кип'ятільних трубах, рідина циркулює по замкненому контуру. Випарений розчин видаляється крізь нижній штуцер.

7.1.1.2. Матеріальний баланс однокорпусної випарної установки

Розглянемо визначення основних робочих характеристик процесу випарювання на прикладі однокорпусного випарного апарату.

При розрахунках випарних апаратів складають матеріальний баланс:

$$\text{- по усій речовині:} \quad G_{\text{п}} = G_{\text{к}} + W \quad \text{і} \quad (7.1)$$

$$\text{- по сухій речовині:} \quad G_{\text{п}} \epsilon_{\text{п}} = G_{\text{к}} \epsilon_{\text{к}}, \quad (7.2)$$

є: $G_{\text{п}}$, $G_{\text{к}}$ – витрати вихідного розчину і упареного;

$\epsilon_{\text{п}}$, $\epsilon_{\text{к}}$ – процентний вміст розчиненої речовини у вихідному і упареному розчинах.

Задані: $G_{\text{п}}$, $\epsilon_{\text{п}}$, $\epsilon_{\text{к}}$.

$$G_{\text{к}} = \frac{G_{\text{п}} \epsilon_{\text{п}}}{\epsilon_{\text{к}}}, \quad (7.3)$$

$$W = G_{\text{п}} - G_{\text{к}} = G_{\text{п}} [1 - (\epsilon_{\text{п}}/\epsilon_{\text{к}})]. \quad (7.4)$$

7.1.1.3. Тепловий баланс однокорпусної випарної установки

Позначення:

D – витрата гріючої пари;

$I_{\text{Г}}$ – ентальпія гріючої пари;

I – ентальпія вторинної пари;

$i_{\text{п}} = c_{\text{п}} t_{\text{п}}$ – ентальпія вихідного розчину;

$i_{\text{к}} = c_{\text{к}} t_{\text{к}}$ – ентальпія випареного розчину;

$i' = c' \theta$ – ентальпія конденсату гріючої пари;

$c_{\text{п}}$, $c_{\text{к}}$, c' , c'' – середні питомі теплоємності вихідного, кінцевого розчинів, гріючої пари і води;

$t_{\text{п}}$, $t_{\text{к}}$, θ – температури вихідного, кінцевого розчинів і насиченої гріючої пари (конденсату).

Прихід тепла

з вихідним розчином $G_{\text{п}} i_{\text{п}}$;

з гріючою парою $D I_{\text{Г}}$.

Витрата тепла

з випареним розчином $G_{\text{к}} i_{\text{к}}$;

з вторинною парою $W I$;

з конденсатом $D i'$;

концентрування розчину $Q_{\text{конц}}$;

втрати тепла $Q_{\text{втр}}$.

Рівняння теплового балансу має вигляд:

$$G_{\text{п}} i_{\text{п}} + D I_{\text{Г}} = G_{\text{к}} i_{\text{к}} + W I + D i' + Q_{\text{конц.}} + Q_{\text{втр.}} \quad (7.5)$$

Нескладні перетворення рівняння матеріального балансу з урахуванням теплового навантаження приводить до рівняння для розрахунку витрати сухої гріючої пари:

$$D = \frac{G_n c_n (t_k - t_n) + W(I - c'' t_k) + Q_{\text{конц.}} + Q_{\text{втр.}}}{I_{\text{Г}} - c' \theta} = \frac{Q}{r'} \quad (7.6)$$

Якщо знехтувати $Q_{\text{конц.}}$ і $Q_{\text{втр.}}$, і вважати, що розчин поступає в апарат нагрітим до t_k , то теоретична витрата пари на випаровування 1 кг води

$$D = \frac{W(I - c'' t_k)}{I_{\text{Г}} - c' \theta} = \frac{W r}{r'} \approx W, \quad (7.7)$$

де: $r = I - c'' t_k$ – питома теплота випаровування води;

$r' = I_{\text{Г}} - c' \theta$ – питома теплота конденсації гріючої пари.

При кипінні $r \approx r'$.

Тобто, з (9.11): в однокорпусному апараті на випаровування 1 кг води витрачається приблизно 1 кг гріючої пари. Практично беруть 1,1-1,2 кг сухої гріючої пари на 1 кг води.

Якщо поступає волога пара, то її витрата:

$$D' = \frac{D}{\chi}, \quad (7.8)$$

χ – ступінь сухості пари; $\chi < 1$.

7.1.1.4. Поверхня нагріву випарного апарату

З основного рівняння теплопередачі F – поверхня нагріву:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{\text{корисна}}}; \quad (7.9)$$

$$\Delta t_{\text{корисна}} = T - t_k, \quad (7.10)$$

де T – температура конденсації гріючої пари;

t_k – температура кипіння розчину.

7.1.1.5. Температурні втрати

Температурні втрати складаються з температурної депресії $\Delta t_{\text{депр.}}$, гідростатичної депресії $\Delta t_{\text{з.е}}$ і гідравлічної депресії $\Delta t_{\text{з.о.}}$:

$$\Sigma \Delta t_{\text{втр}} = \Delta t_{\text{депр.}} + \Delta t_{\text{з.о.}} + \Delta t_{\text{з.е}}, \quad (7.11)$$

де $\Delta t_{\text{депр.}}$ – підвищення температури кипіння розчину в порівнянні з

температурою кипіння води при тому ж самому тиску $p_{\text{сер.}}$ (температурна депресія);

$\Delta t_{z.o.}$ – підвищення температури кипіння, спричинене збільшенням тиску $\Delta p_{z.o.}$ (гідравлічна депресія); при розрахунках випарних апаратів приймають $\Delta t_{z.o.} = 1 \div 1,5 \text{ K}$.

$\Delta t_{z.e.}$ – підвищення температури кипіння в середньому шарі розчину внаслідок гідростатичного ефекту (гідростатична депресія).

Відповідна тиску у середньому шарі розчину його середня температура кипіння визначається так:

$$t_{\text{кип.}} = t_{\text{сер.}} + \Delta t_{\text{депр.}} = t_0 + \Delta t_{z.o.} + \Delta t_{z.e.} + \Delta t_{\text{депр.}}, \quad (7.12)$$

де $t_{\text{сер.}}$ – температура кипіння води при тиску $p_{\text{сер.}}$;

t_0 – температура кипіння води при тиску p_0 ;

7.1.2. Багатокорпусні випарні установки

Дають змогу скоротити витрату гріючої пари.

Установки	Витрата гріючої пари
Однокорпусні	1,1 кг / кг
Двокорпусні	0,5 кг / кг
Трихкорпусні	0,4 кг / кг
Чотирихкорпусні	0,3 кг / кг
П'ятикорпусні	0,27 кг / кг.

Схему випарної станції (установки) вибирають відповідно до теплосилового господарства підприємства. Багатокорпусна установка розглядається як єдине ціле, оскільки зміна режиму в одному апараті позначається на роботі інших апаратів.

Багатокорпусні випарні установки працюють як під розрідженням, так і під тиском. В установках, які працюють під розрідженням, вторинна пара останнього корпусу має тиск менший за атмосферний, вона не використовується і конденсується в конденсаторі. В установках, що працюють під тиском, вторинна пара останнього корпусу має тиск дещо більше за атмосферний, і вона використовується як *екстра-пара* для технологічних потреб підприємства. Якщо гріюча пара і розчин поступають в перший корпус станції, то такі установки називають *прямотечійними*. Якщо гріюча пара поступає в перший корпус, а розчин рухається від останнього до першого корпусу, то такі установки називають *протитечійними*. Протитечійні схеми застосовують для високов'язких і з великою температурою депресією розчинів. Такі установки постачаються насосами для перекачування розчину з корпусу в корпус, тоді як в прямотечійних розчин переходить з корпусу в корпус під дією різниці тисків. За кількістю корпусів випарні установки поділяються на три-, чотири- і п'ятикорпусні. Є установки з тепловим насосом, зазвичай однокорпусні.

Типова схема прямотечійної трикорпусної вакуум-випарної установки наведена на рис. 7.2.

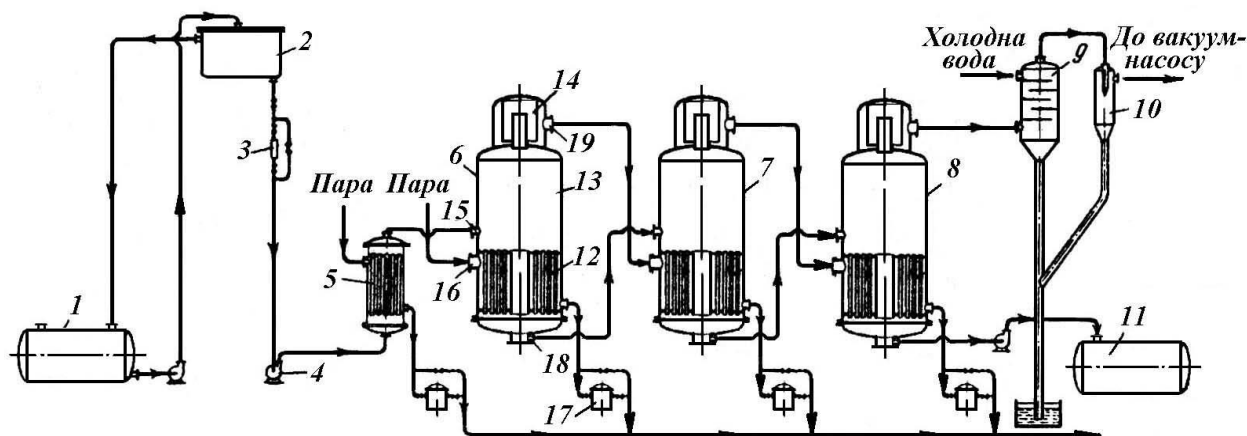


Рис. 7.2. Схема прямооточної трикорпусної вакуум-випарної установки:

1 – сховище для розчину, що піддається випарюванню; 2 – напірний бак; 3 – витратомір; 4 – відцентровий насос; 5 – підігрівник розчину; 6–8 – корпуси установки (випарні апарати); 9 – барометричний конденсатор; 10 – пастка; 11 – сховище випареного розчину; 12 – нагрівальна камера; 13 – паровий простір; 14 – брызговловлювач; 15 – штуцер для введення розведеного розчину; 16 – штуцер для введення граючої пари; 17 – гідравлічний затвор; 18 – штуцер для відведення випареного розчину; 19 – штуцер для виходу вторинної пари.

7.1.2.1. Випарна установка з апаратом заглибного горіння (апарати з зануреними пальниками)

Такі апарати застосовуються для випарювання сильно забруднених і накипоутворюючих рідин, у тому числі стічних вод (рис. 7.3). Випарні апарати з зануреними пальниками є досить новим перспективним обладнанням. Апарат являє собою циліндричний корпус з конічним днищем. Постійний рівень рідини в апараті підтримується зливною трубою 10. Під рівень рідини на певну глибину занурюється пальник 7. Пальники діаметром 50 мм занурюють на глибину 250 мм, діаметром 250 мм – на глибину 500 мм. Повітря стискається компресором 1 і через ресивер 2, який вирівнює тиск, подається через витратомір 5 і зворотний клапан 6 в камеру змішування пальника (рис. 7.4). Туди ж газодувкою 11 через ресивер, витратомір і зворотний клапан подається

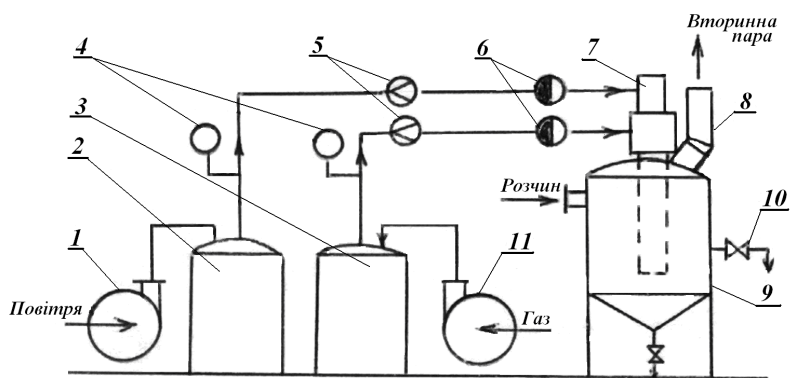


Рис. 7.3. Схема установки з заглибним пальником:

1 – насос; 2, 3 – ресивери; 4 – манометр; 5 – витратомір; 6 – зворотний клапан; 7 – пальник; 8 – труба для виведення вторинної пари; 9 – корпус випарного апарату; 10 – вентиль.

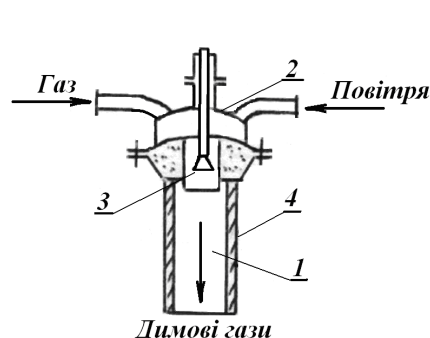


Рис. 7.4. Заглибний пальник:

1 – камера згоряння; 2 – камера змішування; 3 – запальник; 4 – вогнетривка футеровка.

газ. Тиск повітря й газу вимірюється манометром 4. Занурення пальника проводять після розігрівання вогнетривких стінок камери. Димові гази барботують через розчин, нагрівають його і випаровують. Пара і відпрацьовані гази поступають в конденсатор або скруббер, де конденсуються і очищаються.

7.1.3. Конструкції випарних апаратів

На рис. 7.1 зображений найпростіший випарний апарат – з природною циркуляцією розчину і з внутрішньою циркуляційною трубою. Взагалі ж конструкції випарних апаратів різноманітні. Різноманітність будови визначає різний підхід до класифікації апаратів.

Випарні апарати класифікують за:

- 1) типом поверхні обігріву (парові оболонки, змійовики);
- 2) розташуванням у просторі (горизонтальні, вертикальні);
- 3) видом теплоносіїв (водяна пара, електричний обігрів);
- 4) в залежності від того, рухаються теплоносії ззовні або усередині нагрівальної камери.

Найбільш суттєвою ознакою класифікації вважають вид і кратність циркуляції розчину.

Розрізняють апарати з:

- 1) неорганізованою, або вільною циркуляції розчину;
- 2) зі спрямованою циркуляцією;
- 3) з примусовою циркуляцією.

Розрізняють прямотечійні апарати, в яких випарювання розчину відбувається за один його прохід через апарат без циркуляції розчину, і апарати, які працюють з багаторазовою циркуляцією розчину.

Бувають апарати періодичної й безперервної дії.

7.1.4. Прилад розрахунку випарного апарату

Визначити необхідну поверхню нагрівання вакуум-випарного апарату і витрату грючої пари для випарювання розчину хлористого кальцію від 15 до 25%. Продуктивність по вихідному (розведеному) розчину 20000 кг/год. Тиск (абс.) грючої пари 1,4 ат, її вологість 5%. Тиск (абс.) у барометричному конденсаторі $p_o=0,345$ ат. Розведений розчин надходить в апарат при $t_{ноч}=75^\circ\text{C}$.

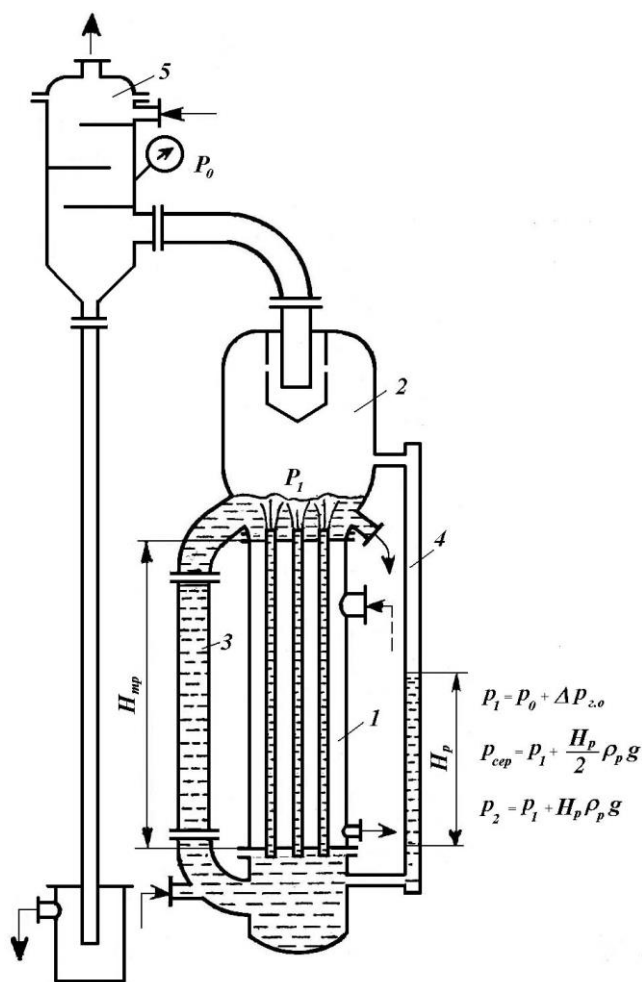
Коефіцієнт теплопередачі прийняти рівним $1000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$ а теплові втрати – 5% від корисної теплоти.

Рішення. Визначаємо середню температуру кипіння 25% розчину хлористого кальцію у випарному апараті за рівнянням:

$$t_{\text{кин}} = t_0 + \Delta t_{\text{z.o}} + \Delta t_{\text{z.e}} + \Delta t_{\text{денр}}.$$

При $p_o = 0,345$ ат $t_0 = 71,7^\circ\text{C}$ (довідник). Приймаємо $\Delta t_{\text{z.o}} = 1^\circ\text{C} = 1 \text{ K}$. Тоді $t_1 = t_0 + \Delta t_{\text{z.o}} = 72,7^\circ\text{C}$, чому відповідає тиск $p_1 = 0,36$ ат (довідник). При $p_1 = 0,36$ ат температура води $t_1 = 72,7^\circ\text{C}$.

Приймаємо робочу висоту труб 4 м. Тоді $p_{\text{сер}} = 0,5$ ат і $\Delta t_{\text{z.e}} = 8,2^\circ\text{C} = 8,2 \text{ K}$.

Рис. 7.5. До визначення $p_{сер}$:

1 – гріюча камера; 2 – сепаратор;
3 – циркуляційна труба; 4 – водомірне скло;
5 – барометричний конденсатор.

Оптимальна висота рівня по водомірному склу визначається за формулою:

$$H_{рів} = [0,26 + 0,0014 (\rho_p - \rho_v)] H_{тр}.$$

Оскільки густини розчину ρ_p і води ρ_v треба брати при температурі кипіння розчину, поки що невідомої, доводиться нею задаватися. Прийmemo $t_{кип} = 85^\circ\text{C}$. Тоді

$$H_{рів} = [0,26 + 0,0014 (1195 - 969)] \cdot 4 = 2,3 \text{ м.}$$

Тут $\rho_p = 1195 \text{ кг/м}^3$ і $\rho_p = 969 \text{ кг/м}^3$ взяті з довідника при $t_{кип} = 85^\circ\text{C}$.

Тиск у середньому шарі розчину визначається за рівнянням:

$$p_{сер} = p_1 + \frac{H_{рів}}{2} \rho_p g = 0,36 + \frac{2,3 \cdot 1195 \cdot 9,81}{2 \cdot 9,81 \cdot 10^4} = 0,5 \text{ ат.}$$

Температура кипіння води при $p_{сер} = 0,5 \text{ ат}$ $t_{сер} = 85^\circ\text{C}$ (довідник).

Гідростатична депресія за рівнянням:

$$\Delta t_{z.e} = t_{сер} - t_1 = 80,9 - 72,7 = 8,2^\circ\text{C} = 8,2 \text{ К.}$$

Перевіримо температуру кипіння розчину. Температурна депресія $\Delta t_{депр}$ при $p_{сер} = 0,5 \text{ ат}$ дорівнює $6,6^\circ\text{C} = 6,6 \text{ К}$. З урахуванням $\Delta t_{депр}$

$$t_{кин} = t_{сер} + \Delta t_{деп} = 80,9 + 6,6 = 87,5^{\circ}\text{C} \text{ замість прийнятої } 85^{\circ}\text{C}.$$

Оскільки густини рідин мало міняються з температурою, то виконаний наближений розрахунок величини $\Delta t_{z.e}$ можна не уточнювати.

Середня температура кипіння розчину:

$$t_{кин} = 71,7 + 1 + 8,2 + 6,6 = 87,5^{\circ}\text{C}.$$

Визначаємо витрату тепла у випарному апараті.

Питома теплоємність початкового розчину за рівнянням:

$$c_{поч} = 4190(1 - x_{поч}) = 4190(1 - 0,15) = 3560 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}.$$

Витрата тепла на нагрівання початкового розчину:

$$Q_{нагр} = G_{поч} c_{поч} (t_{кин} - t_{поч}) = \frac{20000}{3600} 3560 (87,5 - 75) = 247000 \text{ Вт}.$$

Витрата води, що випарюється:

$$W = G_{поч} \left(1 - \frac{x_{поч}}{x_{кин}} \right) = \frac{20000}{3600} \left(1 - \frac{15}{25} \right) = 2,22 \text{ кг/с}.$$

Питома теплота пароутворення води при $p_{сер} = 0,5$ ат $r = 2307 \cdot 10^3$ Дж/кг (довідник).

Витрата тепла на випарювання води:

$$Q_{вин} = Wr = 2,22 \cdot 2307 \cdot 10^3 = 5120000 \text{ Вт}.$$

Загальна витрата тепла з урахуванням 5% втрат:

$$Q = Q_{нагр} + Q_{вин} = 1,05 (247000 + 5120000) = 5650000 \text{ Вт}.$$

Визначаємо площу поверхні нагрівання випарного апарата за рівнянням:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{сер}}.$$

Тут

$$\Delta t_{сер} = t_{z.n} - t_{кин} = 108,7 - 87,5 = 21,2^{\circ}\text{C} = 21,2 \text{ K},$$

де $t = 108,7^{\circ}\text{C}$ – температура гріючої пари при $p = 1,4$ ат (довідник).

Маємо:

$$F = \frac{5650000}{r_{z.n} x} = 266 \text{ м}^2.$$

За каталогом підбирають випарний апарат з поверхнею на 15-20% більшою за розрахункову.

Витрата гріючої пари:

$$G_{\text{г.п.}} = \frac{Q}{r_{\text{г.п.}} x} = \frac{5650000}{2237 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 2,66 \text{ кг/с.}$$

Тут $r_{\text{г.п.}} = 2237 \cdot 10^3$ Дж/кг – питома теплота конденсації гріючої пари при $p = 1,4$ ат (довідник), а $x = 0,95$ – паровміст (ступінь сухості) гріючої пари.

Питома витрата гріючої пари:

$$d = \frac{G_{\text{г.п.}}}{W} = \frac{2,66}{2,22} = 1,2 \text{ кг/кг води.}$$

Розрахунки багатокорпусних випарних установок складніші у порівнянні з однокорпусними і будуть розглядатися на практичних заняттях.

7.2. ПЕРЕГОНКА

7.2.1. Способи перегонки. Позначення

Перегонку проводять з метою поділу сумішей рідин на компоненти. Добре відомий процес перегонки, який проводять для отримання спирту. Для цього брагу, яка містить спирт, що утворився в результаті бродіння зернових культур, картоплі, буряку тощо (у харчовій промисловості), або відходи сульфітно-целюлозного виробництва і продуктів гідролізу деревини нагрівають до випаровування більш леткого компоненту. Спирт випаровується з видних розчинів, його пари збирають і конденсують. При цьому отримують практично чисту рідину.

Відоме багатьом також отримання нафтопродуктів шляхом перегонки сирови нафти.

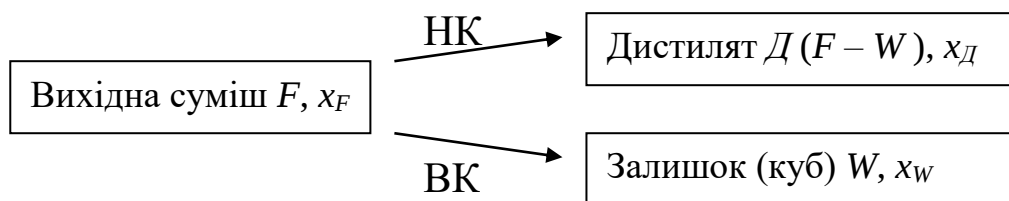
Існують два принципово різних способи перегонки:

- проста перегонка (дистиляція);
- ректифікація.

1. Проста перегонка – це процес одноразового часткового випарювання рідкої суміші й конденсації парів, що утворюються. Використовується для поділу сумішей, компоненти яких мають леткості, що значно відрізняються – для грубого і попереднього поділу сумішей.

2. Ректифікація – це процес поділу гомогенних сумішей рідких компонентів шляхом масо- і теплообміну між нерівноважними рідкою і паровою фазами, які мають різні температури і рухаються одна відносно одної.

Позначення, що використовуються при описі та розрахунках процесів перегонки:



F – витрата вихідної суміші (кмоль/год. або кг/год.);

D – витрата дистилляту, (кмоль/год. або кг/год.);

W – витрата залишку, (кмоль/год. або кг/год.);

x_F, x_D, x_W – мольні (масові) частки легколеткої (низькокиплячої) рідини;

НК – низькокиплячий компонент; ВК – висококиплячий компонент.

7.2.2. Характеристика двофазових сумішей рідина – пара (Р – П)

У залежності від взаємної розчинності компонентів розрізняють такі суміші рідин:

1) з необмеженою взаємною розчинністю (спирт – вода, бензол – толуол);

2) взаємонерозчинні (нафта – вода);

3) з обмеженою взаємною розчинністю.

Перша група сумішей підрозділяється на ідеальні й реальні.

Ідеальні суміші підкоряються закону Рауля:

$$p_A = P_A x \quad \text{і} \quad p_B = P_B (1 - x), \quad (7.13)$$

p_A – парціальні тиски;

P_A – тиск насиченої пари над чистою рідиною при даній температурі.

Парціальні тиски компонентів у системі підкоряються закону Дальтона:

$$p_A = \Pi y \quad p_B = \Pi (1 - y) \quad (7.14)$$

Порівнюючи (12.1) і (12.2), отримуємо:

$$P_A x = \Pi y,$$

$$\text{або} \quad y = \frac{P_A}{\Pi} x \quad \text{і} \quad 1 - y = \frac{P_B}{\Pi} (1 - x) \quad (7.15)$$

Загальний тиск у системі:

$$\Pi = p_A + p_B = P_A x + P_B (1 - x) = P_B + x(P_A - P_B), \quad (7.16)$$

звідки

$$x = \frac{\Pi - P_B}{P_A - P_B}. \quad (7.17)$$

Багато реальних систем наближується до ідеальних, але є й такі системи, що не підкоряються закону Рауля. Найчастіше спостерігаються позитивне відхилення від цього закону ($P - P_{\text{ідеальне}} > 0$).

Для реальних систем:

$$p_A = P_A x_A \gamma_A; \quad p_B = P_B (1 - x_A) \gamma_B, \quad (7.18)$$

γ – коефіцієнт фугітивності.

7.2.3. Графічні залежності

При розрахунках, пов'язаних з процесами перегонки, використовують діаграми $t - x - y$ і $x - y$ (рис. 7.6, 7.7). (Тут x , y – концентрації леткого компонента (наприклад, спирту) у рідкій і паровій фазах відповідно; t – температура. y^* – рівноважна концентрація леткого компонента у паровій фазі.)

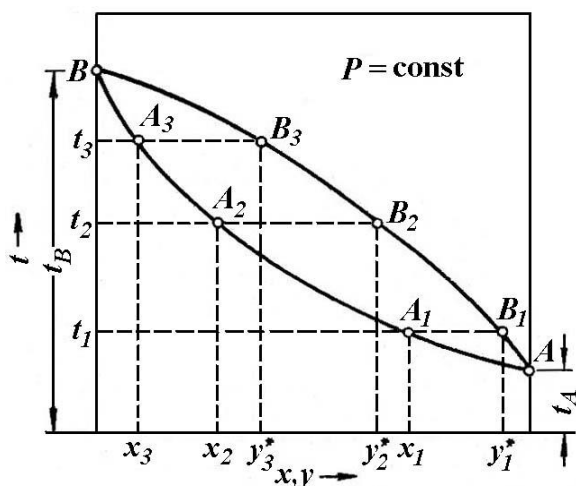


Рис. 7.6. Діаграма $t - x - y$.

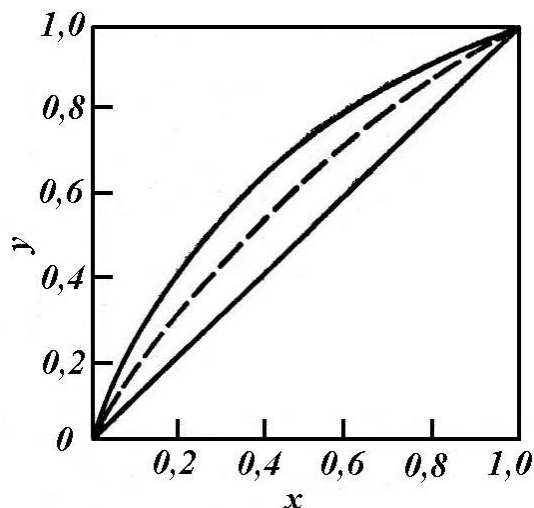


Рис. 7.7. Діаграма $x - y$.

На діаграмі $t - x - y$ (рис. 7.6) верхня крива – лінія кипіння сумішей компонентів різного складу; нижня крива – лінія конденсації. Простір над верхньою лінією – парове середовище, під нижньою – рідке. Залежність $y=f(x)$ (діаграма $x - y$, рис. 66) являє собою криву рівноваги. Випуклість кривої рівноваги залежить від відношення теплот випаровування компонентів суміші r_A/r_B .

Друга група. Взаємно нерозчинні рідини розшаровуються. Для такої системи кожній температурі суміші відповідає певний тиск і кожний компонент поводить себе незалежно від іншого. Відповідно p – парціальний тиск кожного компонента – не залежить від його вмісту у суміші й дорівнює тискові парів чистого компонента при тій самій температурі (або тиску).

Для цих рідин склад пари над киплячою сумішшю постійний і не залежить від співвідношення компонентів у розчині.

$$y_A = \frac{P_A}{P}; \quad y_B = \frac{P_B}{P} \quad \text{і} \quad \frac{y_A}{y_B} = \frac{P_A}{P_B} = \text{const}. \quad (7.19)$$

Цей випадок характерний для перегонки з водяною парою.

Третя група сумішей поводить себе у залежності від умов або як перша, або як друга.

7.2.4. Проста перегонка

7.2.4.1. Фракційна перегонка

Перегонку проводять шляхом поступового випаровування рідини, яка знаходиться в перегінному кубі:

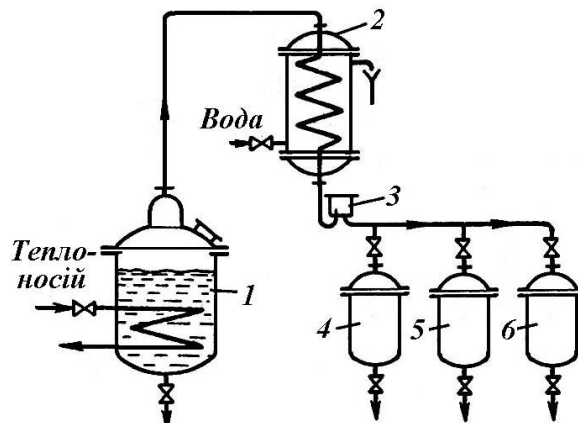


Рис. 7.8. Схема простої перегонки:

1 – перегінний куб; 2 – конденсатор-холодильник; 3 – оглядовий ліхтар; 4-6 – збірники фракцій.

Пари, які утворюються при кипінні рідини в кубі, відводяться і конденсуються. Процес здійснюється періодичним і безперервним способами.

При періодичному способі змінюється у часі склад дистилату і кубової рідини, або залишку. Проста перегонка, яка проводиться з отриманням продуктів різного складу, називається фракційною, або дробовою, перегонкою.

Розрахункові формули

Вважаємо, що в момент часу τ в кубі знаходиться L кг суміші, яка має поточну концентрацію x по НК. Маса НК в цей момент дорівнює Lx . За безкінечно малий відрізок часу $d\tau$ випаровується dL кг суміші і концентрація НК в кубі зменшується на dx . При цьому утворюється dL кг рівноважної з рідиною пари, яка має концентрацію НК y^* (* – символ рівноважного стану). Кількість НК у парі буде dLy^* . Залишок рідини в кубі складає $(L - dL)$, а концентрація в ньому НК $(x - dx)$.

Матеріальний баланс по НК:

$$Lx = (L - dL)(x - dx) + dLy^*.$$

Розкриваємо дужки, відкидаємо добуток $dLdx$ як дуже малу величину і після поділу перемінних маємо:

$$\frac{dL}{L} = \frac{dx}{y^* - x}.$$

Після інтегрування:

$$\int_W^F \frac{dL}{L} = \int_{x_W}^{x_F} \frac{dx}{y^* - x},$$

$$\ln \frac{F}{W} = \int_{x_W}^{x_F} \frac{dx}{y^* - x}. \quad (7.20)$$

Інтеграл вирішуємо графічно, будуючи залежність $\frac{1}{y^* - x} = f(x)$.

З (12.9), знаючи масу F завантаженої суміші та її склад x_F , а також заданий склад кубового залишку x_W , знаходять масу залишку W , а маса дистиляту дорівнює $(F - W)$.

Середній склад дистиляту $(x_p)_{\text{сеп}}$ розраховується з рівняння матеріального балансу по НК:

$$Fx_F = Wx_W + (F - W)(x_p)_{\text{сеп}}.$$

$$(x_p)_{\text{сеп}} = \frac{Fx_F - Wx_W}{F - W}. \quad (7.21)$$

Розрахунок простої перегонки має за мету визначення маси рідини, яку треба перегнати для отримання в кубі залишку заданого складу й дистиляту потрібного середнього складу.

7.2.4.2. Проста перегонка з дефлегмацією

Для підвищення ступеню поділу перегонку здійснюють, додатково збагачуючи дистилят шляхом дефлегмації (часткового повернення дистиляту в перегінний апарат) (рис. 67). Пари з кубу поступають в дефлегматор, де вони частково конденсуються і конденсат повертається в куб.

Розрахункова формула:

$$\ln \frac{F}{W} = \int_{x_W}^{x_F} \frac{dx}{y' - x}, \quad (7.22)$$

y' – склад пари, яка виходить з дефлегматора.

7.2.4.3. Перегонка з водяною парою

Використовується для добування з сумішею компонентів, які мають малу легкість і, відповідно, високу температуру кипіння. За час перегонки такі речовини часто розкладаються під дією температури (температурна деструкція). Для зниження температури перегонки її проводять з водяною парою (рис. 68).

Співвідношення між кількістю введеної водяної пари й компоненту, який відганяється:

$$G_B = G_K \frac{P_B M_B}{P_K M_K \varphi}, \quad \text{або} \quad G_B = G_K \frac{(\Pi - P_K) M_B}{P_K M_K \varphi}, \quad (7.23)$$

де M_B і M_K – мольні маси водяної пари і компоненту, що відганяється;
 φ – ступень насичення водяної пари паром компоненту.

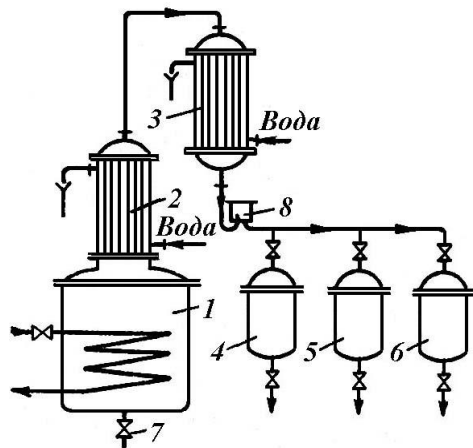


Рис. 7.9. Схема простої перегонки з дефлегмацією:

1 – куб; 2 – дефлегматор; 3 – холодильник-конденсатор; 4-6 – збірники; 7 – вентиль; 8 – оглядовий ліхтар.

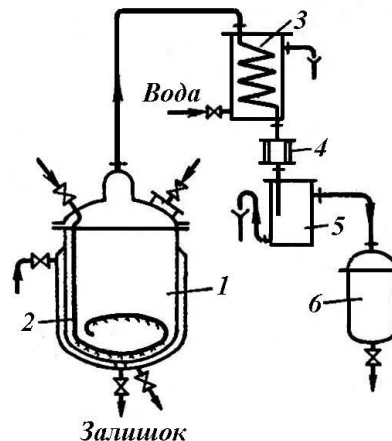


Рис. 7.10. Схема перегонки з водяною парою:

1 – куб; 2 – барботер; 3 – конденсатор-холодильник; 4 – подільна склянка; 5 – сепаратор; 6 – збірники.

7.2.5. Ректифікація

7.2.5.1. Принцип ректифікації

Як відбувається процес ректифікації, можна зрозуміти, розглянувши рис. 65 (діаграма $t-x-y$). Візьмемо вихідну суміш складу x_3 і нагріємо її до температури кипіння t_3 – точка A_3 . Пара над цією киплячою рідиною має вміст, який відповідає точці B_3 . Якщо цю пару відібрати і сконденсувати, утвориться рідина із вмістом НК $y_3^* > x_3$. Якщо цю рідину підігріти до температури кипіння і т.д., утворюється майже чистий НК компонент.

7.2.5.2. Схема безперервної ректифікаційної установки для поділу бінарних сумішей

В нижню частину колони (рис. 7.17) подається рідина, яка нагріта в кип'ятильнику до температури кипіння. При кипінні рідини утворюються пари, які підіймаються наверх по колоні. Пари проходять крізь шар рідини на тарілці. В результаті взаємодії між рідиною і паром, яка має більш високу температуру, частина рідини випаровується, причому, в пару переходить переважно НК. Тому на другу знизу тарілку переходить пара із вмістом НК $y_1 > x_1$. Випаровування рідини на тарілці відбувається за рахунок тепла конденсації пари.

З пари конденсується й переходить у рідину переважно ВК. На другій тарілці рідина має склад x_2 , вона містить більше НК, ніж на першій ($x_2 > x_1$) і

кипить при більш низькій температурі. Стикаючись з нею, пара складу y , частково конденсуючись, збагачується НК і видаляється на розташовану вище тарілку; вона має склад $y_2 > y_1$. Таким чином, у верхній частині колони збираються пари майже чистого НК. Ці пари конденсуються в дефлегматорі; рідина, яка утворюється, в подільнику поділяється на дистилят і флегму. Флегма повертається в колону на зрошення. Дистилят направляється в холодильник. Приблизно в середину колони на живильну тарілку поступає вихідна рідина, яка нагріта до температури кипіння, яку має рідина на цій тарілці.

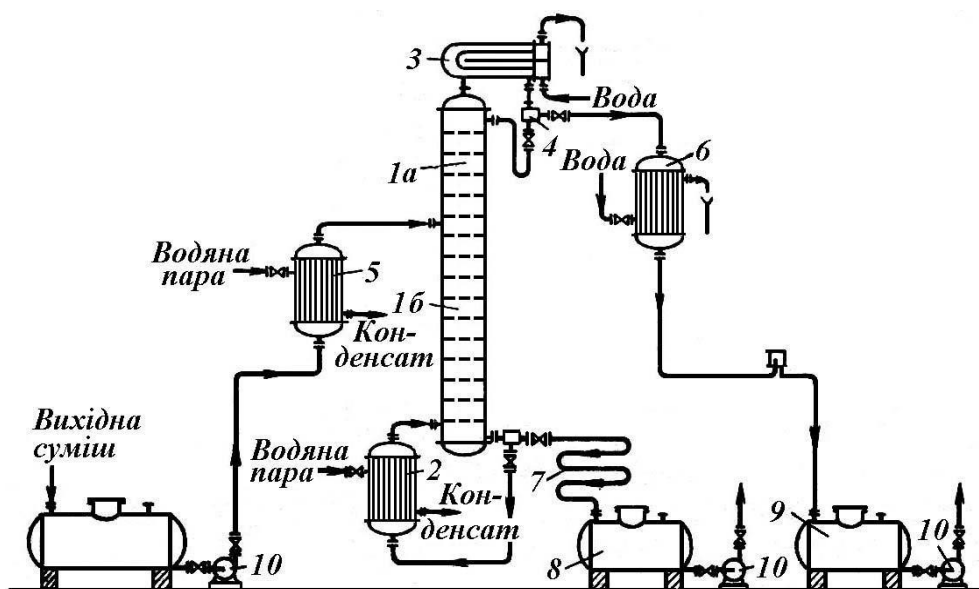


Рис. 7.11. Схема безперервної ректифікаційної установки для поділу бінарних сумішей:

- 1 – ректифікаційна колона; 1a – укріплююча частина; 1б – вичерпна частина; 2 – кип'ятильник;
3 – дефлегматор; 4 – подільник; 5 – підігрівач вихідної суміші; 6 – холодильник дистиляту;
7 – холодильник залишку, або нижнього продукту; 8, 9 – збірники; 10 – насоси.

Живильна тарілка поділяє колону на дві частини, які мають різні призначення. У верхній частині повинне бути забезпечено найбільше збагачення парів низькокиплячим компонентом. У нижній частині потрібне максимальне видалення НК.

7.2.6. Розрахунки ректифікаційних колон

Розрахунки ректифікаційних колон складаються з матеріальних та теплових. Це достатньо складні розрахунки і потребують спеціальних знань для їх виконання. Розроблені методи розрахунків обладнання для проведення ректифікації бінарних і багатокомпонентних (як нафта) сумішей. Об'єктами розрахунків є конструктивні розміри колон (висота, діаметр), кількість тарілок (будова колонних апаратів – див. розділ), складання теплового балансу з метою визначення кількості потрібного теплоносія.

7.3. КРИСТАЛІЗАЦІЯ

7.3.1. Способи кристалізації

Кристалізацією називають виділення твердої фази у вигляді кристалів з розчинів або розплавів. Процеси кристалізації широко використовуються для виділення солей певного хімічного складу з насичених розчинів та очищення їх від домішок.

Для здійснення процесу кристалізації у розчині потрібно створити пересичення. За способами його створення розрізняють два основні методи кристалізації:

- 1) охолодження насичених розчинів (ізогідрична кристалізація) і
- 2) видалення частини розчинника шляхом випарювання (ізотермічна кристалізація).

7.3.1.1. Ізогідрична кристалізація

Розчинність більшості речовин зменшується зі зниженням температури. Тому при охолодженні розчинів виникає пересичення, яке обумовлює виділення кристалів. Цей метод отримав назву ізогідричної кристалізації, оскільки його здійснення відбувається без видалення частини розчинника. Добре відомий факт, що лід, отриманий при замерзанні морської води, прісний. Тут відбувається природне виморожування. Якщо процес кристалізації проводять для технологічних цілей, з метою виділення кристалів певної речовини, то його здійснюють в спеціальних апаратах – кристалізаторах. Такі апарати бувають як періодичної, так і безперервної дії, поодинокі і багатокорпусні, які розташовуються ступінчасто (каскадом). Як охолоджувач найчастіше використовується вода.

7.3.1.2. Ізотермічна кристалізація

При цьому способі відбувається видалення частини розчинника або шляхом його випарювання, або виморожуванням. Для виділення кристалів певної речовини з розчинів найчастіше використовують випарювання. Наприклад, для отримання кристалічного хлориду натрію з морської води відгороджують мілководну частину лиману дамбою, і у такому штучному басейні під дією тепла сонячних променів утворюється щільний шар NaCl. У виробничих умовах випарювання проводять у випарних апаратах. Після досягнення потрібної ступені пересичення, як правило, у тих самих апаратах здійснюють кристалізацію.

Загальним недоліком процесу кристалізації при випарюванні є відкладення кристалів на поверхнях, що передають тепло; одночасно концентруються домішки, які присутні у вихідному розчині. Для зменшення кількості твердих відкладень підвищують швидкість циркуляції розчину, а в окремих випадках вводять в апарат речовини, які попереджують утворення накипу.

Відділення від маточного розчину і промивку кристалів проводять за межами апарату – на фільтрах або центрифугах. Маточні розчини і промивні води, якщо вони не містять великої кількості небажаних домішок, повертаються на подальше концентрування.

7.3.2. Будова кристалізаторів

Різноманітність речовин, які одержують кристалізацією з водних розчинів або розплавів, значна відмінність їхніх властивостей і велика різниця у вимогах до кристалічних продуктів зумовили багаточисельність конструкцій кристалізаторів.

У відповідності з поділом кристалізації на ізогідричну та ізотермічну виділяють відповідні групи апаратів. Розглянемо деякі конструкції окремих представників названих груп.

7.3.2.1. Кристалізатори для ізогідричної кристалізації

До ізогідричних кристалізаторів відносять апарати, в яких кристалізація здійснюється за рахунок зменшення розчинності при охолодженні, а видалення розчинника незначне. Найпростішим апаратом такого типу є **механічний кристалізатор з мішалкою**, постачений оболонкою або змійовиком (рис. 14.1).

Механічне перемішування інтенсифікує масо- і теплообмін в апараті, зменшує інкрустацію теплообмінних поверхонь кристалами, але дуже інтенсивне перемішування призводить до подрібнення кристалів.

Апарати даного типу використовуються головним чином у малотонажному виробництві реактивів та технічних солей.

Поодинокі апарати використовують в установках періодичної дії, а у безперервнодіючих системах застосовують від трьох до шести апаратів, розташованих каскадно, які працюють послідовно. Кристалізатори, як правило, охолоджують водою, але на деяких виробництвах, де необхідне охолодження до 263–283К (наприклад, хлориду амонію і деяких нітратів), охолодження проводять розчинами, які мають низькі температури замерзання.

Механічні кристалізатори можуть мати плоскі, еліптичні й конічні днища, мішалка може бути якірною, лопатевою, рамною або пропелерною, охолоджуюча речовина подається або в оболонку, або у змійовик, кількість рядів якого змінюється від одного до чотирьох.

Барабанний кристалізатор з водяним охолодженням (рис. 14.2) являє собою горизонтальний барабан, який обертається. Він складається з

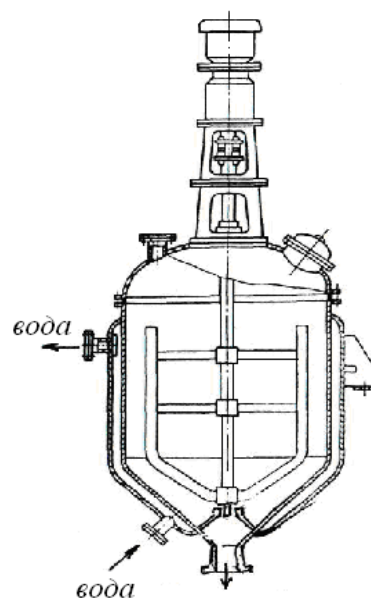


Рис. 7.12. Кристалізатор з рамним перемішуючим пристроєм.

корпусу 1 і внутрішньої водяної оболонки 2. На барабані закріплені два бандажі 3, за допомогою яких він спирається на ролики 13 опорної 14 і упорно-опорної 6 станцій.

Вихідний розчин через штуцер 16 подається в барабан. Рівень регулюють змінними шайбами, прикріпленими до стаціонарних шайб з боку вивантаження кристалів. Протитечією через спеціальний штуцер 17 подається в оболонку охолоджуючий розсіл. Через регульовальні крани вода відводиться у камеру слива 15. При охолодженні розчину з нього випадають кристали, які

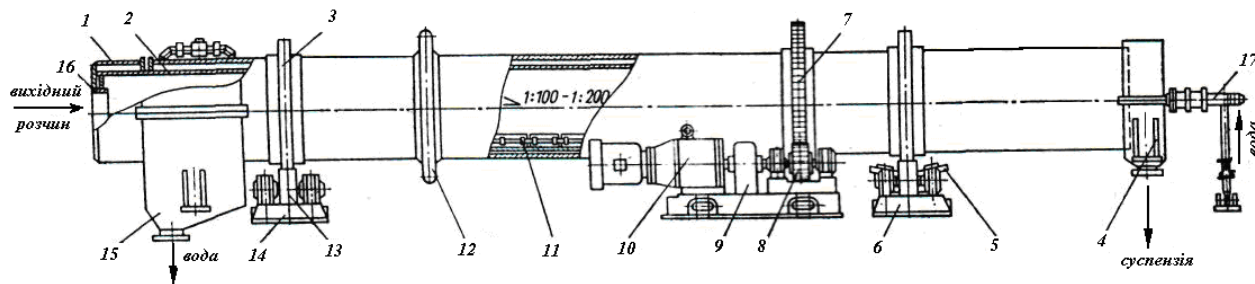


Рис. 7.13. Схема барабанного кристалізатора з водяним охолодженням:

1 – корпус; 2 – внутрішня водяна оболонка; 3 – бандажі; 4 – розважувальні камери; 5 – горизонтальні ролики упорно-опорної станції; 6 – упорно-опорна станція; 7 – зубчастий вінець; 8 – зубчаста шестерня; 9 – редуктор; 10 – електродвигун; 11 – шкребок; 12 – лінзовий компенсатор; 13 – ролики опорної станції; 14 – опорна станція; 15 – камера зливання; 16 – штуцер для вихідного розчину; 17 – штуцер для охолоджуючого розсолу.

переміщуються уздовж похилого барабану, що обертається, у вигляді суспензії. При цьому шкребок, ковзаючи по стінках, зчищає кристали, що налипають. Суспензія виводиться з нижнього штуцера розвантажувальної камери 4.

Горизонтальні ролики 5 упорно-опорної станції запобігають осьовому переміщенню барабану, оскільки він встановлений під невеликим ухилом у бік вивантаження суспензії (1:100 або 1:200). З торців барабан поставлений стаціонарними шайбами. Барабан приводиться в обертання від електродвигуна 10 через редуктор 9. Частота обертання 10–18 об./хв. Для компенсації температурних змін барабан забезпечений лінзовим компенсатором 12. У середині барабана (на всій довжині) встановлений шкребок 11.

Такі кристалізатори виготовляють за ДСТУ 11906-91 з діаметром 600; 800; 1200 і 1600 мм, поверхнею теплообміну відповідно 10; 16; 25; 40 і 80 м² і загальною довжиною 6000; 8000; 12500 і 18000 мм.

Шнековий кристалізатор (рис. 7.14) поставлений валами з лопатками, або шнеками, які підтримують кристали у зваженому стані, що сприяє отриманню однорідних кристалів.

Особливе місце серед процесів кристалізації посідає природне виморожування, де використовують бетонні майданчики-лотки – мілкі басейни з хвилястим дном, розміщені терасами. Сюди після попереднього охолодження подають мінералізовану воду. Вночі вода замерзає з утворенням льоду завтовшки 1-2 см. Вдень розсіл, що залишився, видаляють у нижній басейн і використовують для виділення солей кристалізацією, а лід опускається на дно, розтає при нагріванні і отримана при цьому вода може бути використана

повторно в технологічному процесі.

Опріснення мінералізованих вод методом природного виморожування має цілу низку недоліків – низьку питому продуктивність, відносно високі капітальні затрати, потребує великих виробничих площ, обмежено застосовується через кліматичні умови. У зв'язку з цим отримують розвиток методи штучного виморожування, при якому як холодоагенти використовуються пропан, бутан, ізобутан, аміак, оксид карбону (IV), різноманітні фторхлорпохідні метану та їхня суміші – так звані фреони Ф-31, Ф-12, Ф-142 тощо.

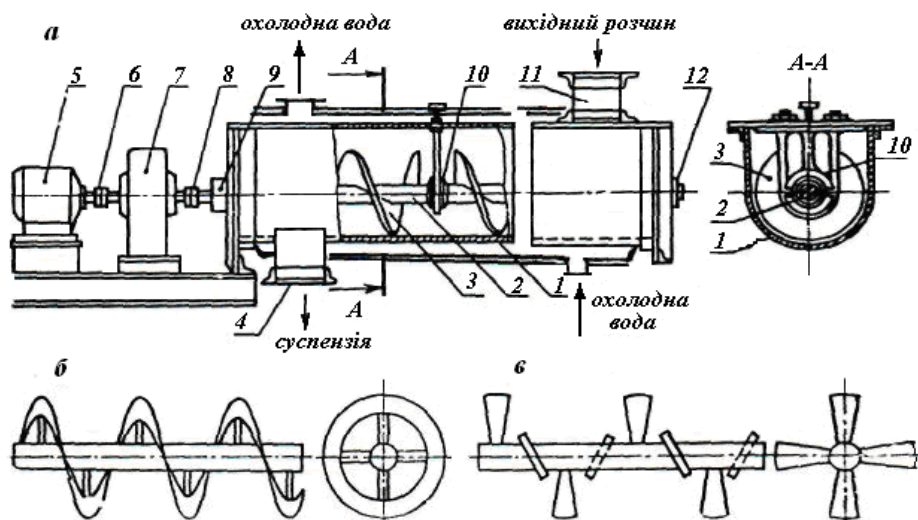


Рис. 7.14. Шнековий кристалізатор:

- 1 – жолоб (корито); 2 – вал; 3 – шнек; 4 – розвантажувальний штуцер; 5 – електродвигун;
6, 8 – муфти; 7 – редуктор; 9, 12 – кінцеві підшипники; 10 – проміжний підшипник;
11 – завантажувальний штуцер;
а) – вигляд кристалізатору; б) – вал зі шнеком; в) – вал з лопатками.

7.3.2.2. Кристалізатори для ізотермічної кристалізації

Серед цієї групи кристалізаторів широке застосування мають **вакуум-кристалізатори**. Вакуум-кристалізатор (рис. 7.15) складається з сепаратора 3, циркуляційного контуру, насоса 9 і пульповідвідних труб 4 і 6. Сепаратор 3 служить для відділення пари від киплячого розчину. Він є циліндричною судиною з кришкою і конічним днищем. Штуцер 11 в кришці служить для відведення пари. Всередині встановлений відбійник 2 для відбивання струменя розчину і зменшення бризкоуносів з парою.

Циркуляційний контур складається зі зворотної 7 і напірної 8 труб, сполучених між собою циркуляційним насосом 9. У нижній частині труби 7 розташований штуцер 10 для подачі вихідного розчину.

Пульповідвідні труби 4 і 6 сполучаються через оглядовий ліхтар 5. Труба 1 з'єднує ліхтар із сепаратором і призначена для вирівнювання тиску в них. Така конструкція дозволяє підтримувати постійний рівень розчину незалежно від коливань вакууму в сепараторі.

Гарячий розчин, з якого необхідно виділити розчинену речовину, подається через штуцер 10, змішується з циркулюючим матковим розчином і по трубі 8

поступає в сепаратор. В останньому підтримується вакуум, тому розчин бурхливо скипає. Температура його знижується до значення, відповідного температурі кипіння при даному залишковому тиску в сепараторі.

В результаті охолодження і випаровування частини розчину відбувається кристалізація. Кристали захоплюються циркулюючим матковим розчином. Частинка суспензії виводиться по пульповідвідних трубах для подальшого відділення кристалів.

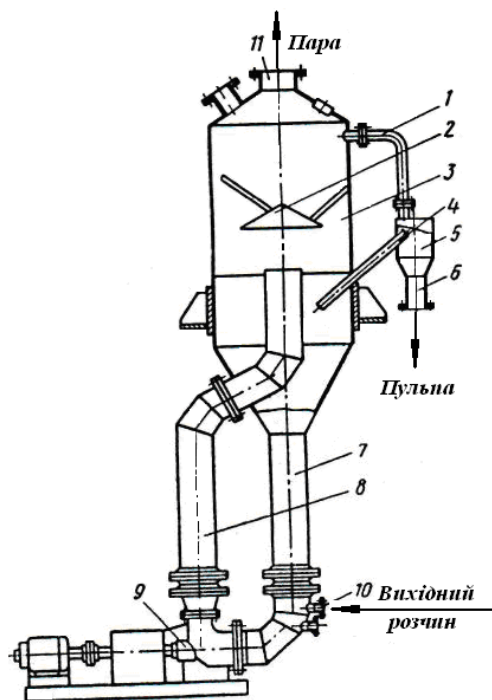


Рис. 7.15. Вакуум-кристалізатор:

- 1 – труба для відведення пульпи;
2 – відбійник; 3 – корпус; 4 – труба для повернення пульпи; 5 – ліхтар; 6 – вихід пульпи; 7 – опускна труба; 8 – циркуляційна труба; 9 – осьовий насос; 10 – штуцер для виведення розчину; 11 – штуцер для виведення пари.

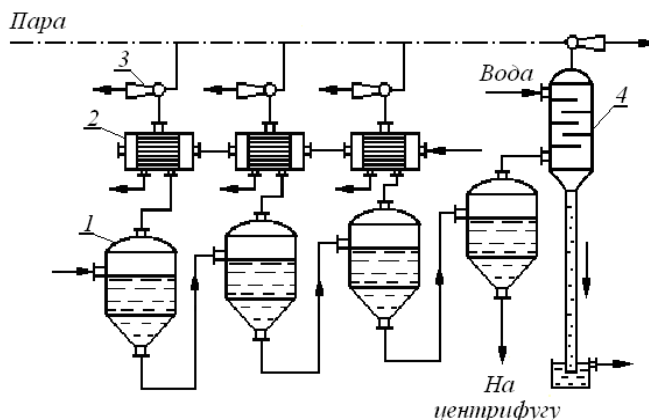


Рис. 7.16. Багатоступінчаста вакуум-кристалізаційна установка:

- 1 – корпуси-випарники; 2 – поверхневі конденсатори; 3 – пароструминні насоси; 4 – барометричний конденсатор.

Горизонтальний багатоступінчастий вакуум-кристалізатор. Таке технічне рішення дозволяє зробити установку більш компактною. Кристалізатор виконаний у вигляді (рис.7.17) горизонтально розташованого циліндра 1, який по усій довжині має лопатеву (або шнекову) мішалку 2 і поділений на окремі камери перегородками 3 з напівкруглим отвором у нижній частині для перетікання суспензії з однієї камери в іншу. У кожній камері підтримується свій вакуум, який поступово підвищується. Гарячий розчин безперервно подається у першу ступінь через штуцер 6, маточний розчин з кристалами відводиться з останньої ступені по трубі 4. Для змивання інкрустацій з внутрішніх поверхонь апарату кожна ступінь має спеціальний пристрій 5 для розприскування рідини, через який стінки можуть зрошуватися водою.

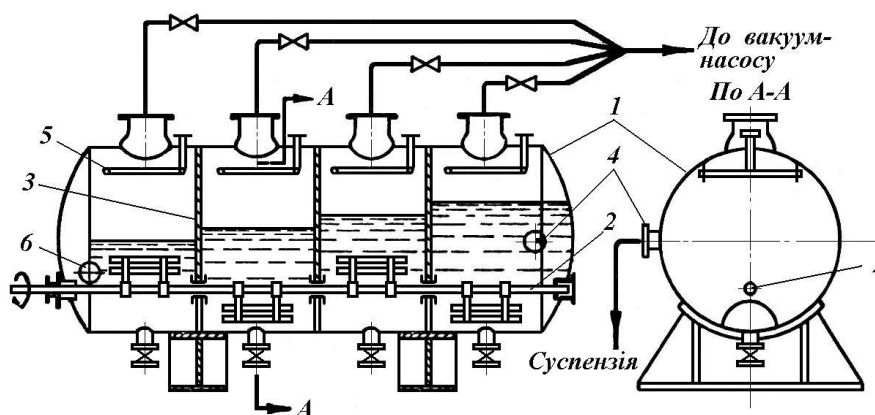


Рис. 7.17. Горизонтальний багатоступінчастий вакуум-кристалізатор:

1 – циліндричний корпус; 2 – мішалку; 3 – перегородки; 4 – труба для відведення маточного розчину; 5 – зрошувальний пристрій; 6 – штуцер для підведення розчину.

7.3.3. Розрахунки кристалізаторів

Розглянемо, як **приклад**, розрахунки необхідної поверхні обігріву і витрату води в кристалізаторі безперервної дії для охолодження від 90 до 40°C 5000 кг/год. водного розчину NaNO_3 , що містить при 90°C 16 моль NaNO_3 на 1000 г води. Врахувати, що в кристалізаторі при охолодженні розчину одночасно випаровується вода в кількості 3% від вихідної кількості розчину. Коефіцієнт теплопередачі прийняти рівним 100 Вт/(м²·К). Вода надходить в охолодну оболонку при 15°C і виходить при 20°C. Охолодження протитечійне.

Рішення. По кривій розчинності NaNO_3 (довідник) знаходимо, що концентрація насиченого розчину NaNO_3 при 40°C складає 12,3 моль на 1000 г води.

При охолодженні розчину до 40°C буде виділятися $G_{кр}$ (кг/с) кристалів, яка визначається за формулою:

$$G_{кр} = \frac{G_1(x_2 - x_1) - Wx_2}{x_2 - x_{кр}}, \quad (7.24)$$

де G_1 – кількість вихідного розчину, кг;

x_1 – концентрація вихідного розчину по безводній солі, масові частки або %;

x_2 – концентрація по безводній солі маткового розчину після кристалізації, масові частки або %;

W – кількість випареного розчинника, кг;

$x_{кр} = \frac{M}{M_{кр}}$ – відношення мольних мас безводної розчиненої речовини і кристалогідрату.

Якщо речовина кристалізується в безводній формі, то $x_{кр}=1$.

Перераховуємо концентрації в масові частки:

$$x_1 = \frac{16 \cdot 85}{1000 + 16 \cdot 85} = 0,576 \text{ кг/кг};$$

$$x_2 = \frac{12,3 \cdot 85}{1000 + 12,3 \cdot 85} = 0,511 \text{ кг/кг},$$

де 85 – мольна маса NaNO_3 , кг/кмоль. Величина $x_{кр}=1$, оскільки NaNO_3 кристалізується у безводній формі. Маємо:

$$G_{кр} = \frac{5000(0,511 - 0,576) - 0,03 \cdot 5000 \cdot 0,511}{3600(0,511 - 1)} = 0,229 \text{ кг/с}.$$

Кількість тепла, яку треба відводити, підраховуємо за формулою:

$$Q = G_1 c(t_1 - t_2) + G_{кр} q - W r,$$

де W – витрата води, що випаровується, кг/с;

r – питома теплота пароутворення води, Дж/кг.

Питому теплоту кристалізації NaNO_3 q приймемо рівною 21100×10^3 Дж/кмоль (довідник).

Питому теплоємність розчину c визначаємо за рівнянням

$$c = 4190(1 - x) + c_1 x, \quad (7.25)$$

де c_1 – питома теплоємність безводної розчиненої речовини, Дж/(кг·К).

Питома теплоємність твердої солі c_1

$$Mc = n_1 C_1 + n_2 C_2 + n_3 C_3 + \dots, \quad (7.26)$$

де M – молярна маса хімічної сполуки;

c – її масова питома теплоємність, Дж/(кг·К);

$n_1, n_2, n_3 \dots$ – число атомів елементів, що входять у сполуку;

C_1, C_2, C_3 – атомна теплоємність, Дж/(кг·К).

При розрахунках за формулою (7.26) застосовуються значення атомних теплоємностей, наведені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Атомні теплоємності

Елемент	Атомна теплоємність елементів для хімічних сполук, кДж/(кг·атом·К)		Елемент	Атомна теплоємність елементів для хімічних сполук, кДж/(кг·атом·К)	
	у твердому стані	у рідкому стані		у твердому стані	у рідкому стані
C	7,5	11,7	F	20,95	29,3
H	9,6	18,0	P	22,6	31,0
B	11,3	19,7	S	22,6	31,0
Si	15,9	24,3	Інші	26,0	33,5
O	16,8	25,1			

$$c_1 = \frac{26,0 + 26,0 + 3 \cdot 16,8}{85} = 1,2 \text{ кДж/(кг·К)}.$$

Тоді при $x = 57,6 \%$:

$$c = 4190 \cdot 0,424 + 1200 \cdot 0,576 = 2470 \text{ Дж/(кг·К)}.$$

Кількість тепла, що відводиться:

$$Q = \frac{5000}{3600} 2,47 \cdot 10^3 (90 - 40) + 0,229 \frac{21100 \cdot 10^3}{85} - \frac{0,03 \cdot 5000 \cdot 2345 \cdot 10^3}{3600} = 130000 \text{ Вт},$$

де $2345 \cdot 10^3$ Дж/кг – питома теплота пароутворення води при середній температурі, що дорівнює $\frac{90 + 40}{2} = 65^\circ \text{C}$ (довідник).

Площу поверхні охолодження визначаємо за формулою:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{\text{сер}}}.$$

В умовах задачі температурна схема:

$$90 \rightarrow 40$$

$$20 \leftarrow 15, \quad \text{звідки} \quad \Delta t_{\text{сер}} = \frac{(90 - 20) - (40 - 15)}{\ln \frac{90 - 20}{40 - 15}}.$$

Отже

$$F = \frac{130000}{100 \cdot 36,2} = 36 \text{ м}^2.$$

Витрата води:

$$G_{\text{в}} = \frac{130000}{4,19 \cdot 10^3 \cdot (20 - 15)} = 6,33 \text{ кг/с} = 22400 \text{ кг/год.}$$

8. ЕКСТРАГУВАННЯ

8.1. Сутність методу та апаратура

Екстрагуванням (екстракцією) (від лат. *extraho* – витягую, вилучаю) називається вилучення однієї або кількох речовин з розчинів або твердих тіл за допомогою вибіркового розчинника (екстрагентів). Цей метод застосовують у хімічній, фармацевтичній, харчовій та низці інших галузей як один з основних технологічних процесів. Його можна також використовувати для добування з виробничих стічних вод розчинених органічних речовин, що являють технічну цінність (наприклад, феноли і жирні кислоти).

Метод очищення екстракцією економічно доцільний при значній концентрації органічних домішок або при високій вартості речовини, що вилучається. Для більшості продуктів застосування екстракції раціональне при концентрації 2 г/л і більше.

Метод екстракції заснований на розподілі забруднюючої речовини в суміші двох взаємонерозчинних рідин відповідно до її розчинності в кожній з рідин. Відношення концентрацій речовини, що розподіляється, в кожній з рідин, називається коефіцієнтом розподілу.

Наприклад, у стічній воді забруднюючою речовиною є фенол. Для його вилучення додаємо бензол. Бензол не розчиняється у воді і при його додаванні утворюються два шари – водний і бензольний. Після ретельного перемішування і відстоювання суміш розшаровується і знову утворюється два шари, при цьому фенол з водного шару переходить у бензольний шар.

В процесах екстракції прийняті такі позначення:

F – вихідний розчин (вода з фенолом);

R – рафінат (звільнена від фенолу вода);

S – екстрагент (чистий бензол);

E – екстракт (розчин фенолу в бензолі).

Тими ж літерами позначають маси відповідних речовин.

Матеріальний баланс процесів екстракції:

$$F + S = R + E . \quad (8.1)$$

Після досягнення рівноваги концентрація речовини, що екстрагується, в екстрагенті значно вища, ніж у стічній воді. Сконцентрована в екстрагенті речовина відділяється від розчинника і може бути утилізована. Екстрагент після цього знову використовується в технологічному процесі очищення.

Для успішного протікання процесу екстракції екстрагент повинен мати такі властивості: хорошу екстрагуючу здатність по відношенню до речовини, що екстрагується, тобто високий коефіцієнт розподілу; селективність, тобто здатність екстрагувати з води одну речовину або певну їх групу; малу розчинність у воді; густину, відмінну від густини води; температуру кипіння, значно відмінну від температури кипіння речовини, що екстрагується; невелику питому теплоту випаровування і малу теплоємність, що дозволяє понизити витрати пари і охолоджуючої води; можливо меншу вогне- і вибухонебезпеку, токсичність; низьку вартість.

Екстрагент не повинен піддаватися помітному гідролізу і взаємодіяти з речовиною, що екстрагується, матеріалом трубопроводів і запірно-регулюючої арматури установки екстракції.

Методи екстрагування органічних речовин по схемах контакту екстрагенту і вихідного розчину можна розділити на перехреснотечійні, ступінчасто-протитечійні і безперервно-протитечійні. Прямотечія в процесах екстракції не застосовується.

Використовуються такі основні типи екстраторів:

1 – змішувально-відстійні (рис. 8.2);

2 – колонні (рис. 8.3);

3 – відцентрові.

Змішувально-відстійні. використовуються для здійснення однієї ступені екстракції (змішування і відстоювання).

Змішувачі бувають: апарати з мішалкою; інжекторні; трубчасті, діафрагмові, інших конструкцій. Принцип їхньої роботи зрозумілий з рис. 8.4.

В інжекторному змішувачі (рис. 8.4,а) одна рідина L з великою швидкістю витікає з сопла і засмоктує за рахунок своєї кінетичної енергії іншу рідину G (в одній з рідин міститься речовина, що розподіляється, M).

Протікаючи крізь дифузор, обидві рідини перемішуються, утворена суміш речовин L , G і M перетікає у відстійник.

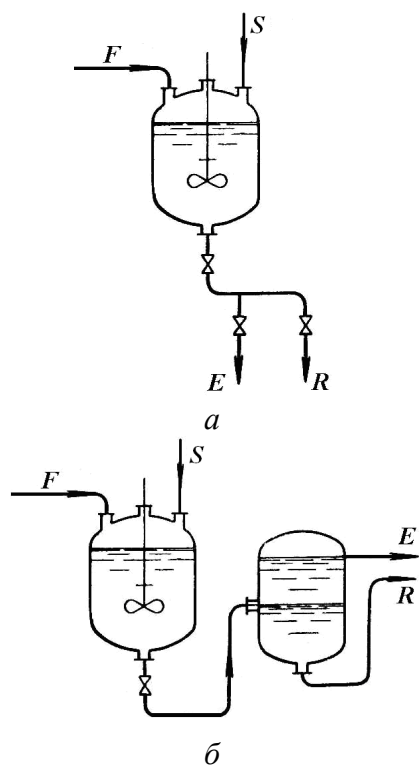


Рис. 8.2. Екстрактори типу апарати з мішалками:

a – апарат, який виконує функції змішувача (при працюючій мішалці) і відстійника (при вимкненій мішалці) – періодичний процес;

b – змішувач з відстійником – безперервний процес.

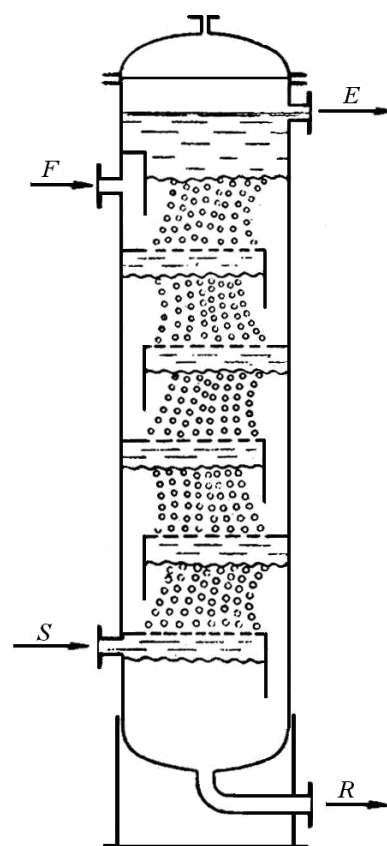


Рис. 8.3. Схема колонного екстрактора із сітчастими тарілками.

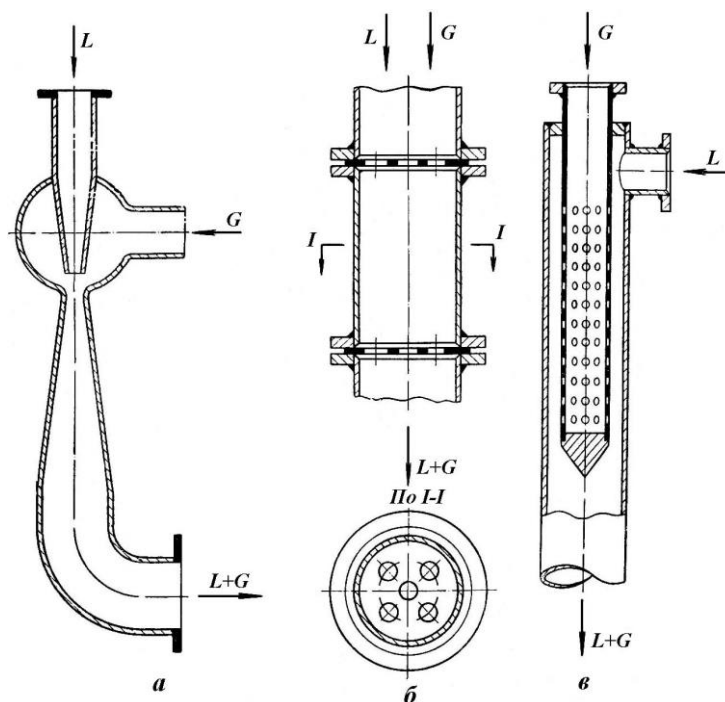


Рис. 8.4. Різні види змішувачів:

a – інжекторний; b – діафрагмовий; c – трубчастий.

Діафрагмовий змішувач являє собою циліндричний апарат, між фланцями якого закріплені діафрагми з кількома отворами. Рідини L і G (якась з них містить M), проходячи крізь отвори, перемішуються і направляються у відстійник.

Трубчастий змішувач складається з двох концентричних труб, в які рідини поступають окремо. У кільцевий зазор між трубами з великою швидкістю з отворів внутрішньої труби витікає рідина G і змішується там з фазою L .

Відстійники:

- а) апарат із вимкненою мішалкою;
- б) спеціальна ємність (рис. 1.7).

Більш поширеними екстракторами є **колонні апарати**. Середня частина цих апаратів виконує функцію змішувача, а верхня і нижня – відстійників (відповідно для більш легкої і більш важкої рідини). За конструкцією колонні апарати підрозділяються на: порожнисті, насадкові, тарілчасті, колони з пульсацією потоків, роторно-дискові.

Розглянемо будову й роботу **тарілчастого екстрактора** (рис. 8.3). Екстрактор заповнений суцільною фазою L , що перетікає з одного міжтарілчастого простору в інший через переливні патрубки. Протитечією суцільній фазі рухається дисперсна фаза, яка, накопичуючись у вигляді підпірного шару під кожною тарілкою, диспергується з цього шару отворами тарілки у суцільну фазу. Краплини під дією підйомної сили рухаються у суцільній фазі й зливаються знову у підпірному шарі наступної тарілки. В результаті багаторазового диспергування і зливання краплин дисперсної фази в протитечійному шарі суцільної фази здійснюється ступінчаста екстракція в одному колонному апараті. З останньої тарілки краплини дисперсної фази поступають у відстійник (верхня частина апарату), де вони зливаються в загальний шар дисперсної фази і виводяться з апарату.

8.2. Приклад розрахунку екстракції

У протитечійному екстракторі безперервної дії обробляються чистим бензолом стічні фенольні води з метою очищення води і витягу фенолу. Визначити необхідну кількість розчинника і число теоретичних ступенів екстрагування*, якщо за годину обробляється 10 м^3 води. Вміст фенолу у воді: початковий 8 кг/м^3 , кінцевий $0,5 \text{ кг/м}^3$, кінцевий вміст фенолу в бензолі 25 кг/м^3 , температура рідин 25°C .

Рішення. Рівноважні дані беремо з довідника:

Вміст фенолу у воді, x' , кг/м^3	0,426	1,59	5,74
Рівноважний вміст фенолу в бензолі, y' , кг/м^3	0,974	4,37	46,7

*Число ступенів масообмінного процесу (число одиниць переносу, кількість теоретичних тарілок) відповідає деякій гіпотетичній ділянці апарату, на якій рідина повністю перемішується, а концентрації фаз, що видаляються, є рівноважними. Для тарілчастих апаратів це число дорівнює кількості тарілок; з урахуванням коефіцієнту корисної дії тарілки

розраховують кількість дійсних тарілок, а, знаючи відстань між тарілками (для кожного типу тарілок своя – довідник) визначають висоту апарату.

Необхідну кількість бензолу знайдемо з рівняння матеріального балансу:

$$V_F(x'_n - x'_k) = V_S(y'_k - y'_n)$$

Число теоретичних ступіней знаходимо графічно: наносимо на діаграму рівноваги побудовану по наведеним даним (рис. 8.5) робочу лінію, що проходить через точки з координатами x'_n, y'_k і x'_k, y'_n і вписуємо між робочою лінією і рівноважною кривою ступені зміни концентрації. У даному випадку потрібно сім ступіней.

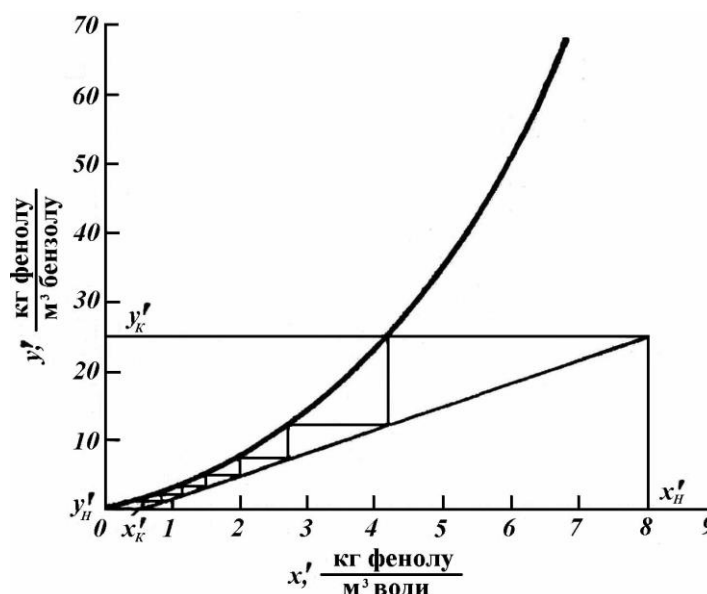


Рис. 8.5. Побудова робочої та рівноважної ліній та визначення кількості теоретичних ступіней.

9. ХІМІЧНІ МЕТОДИ

В ОБРОБЦІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН ТА СТІЧНИХ ВОД

Основними методами хімічного очищення як технологічної води, так і виробничих стічних вод, є хімічне осадження, нейтралізація та окислення. До окислювальних методів відноситься також електрохімічна обробка. До цієї ж групи методів можна віднести вже розглянуті у відповідних розділах хімічну деаерацію та хемосорбцію (розділ 6.3).

9.1. Хімічне осадження

Хімічне очищення може застосовуватися як самостійний метод перед подачею виробничих стічних вод в систему оборотного водопостачання, а також перед спуском їх у водоймище або у міську каналізаційну мережу. Застосування хімічного очищення у багатьох випадках доцільне як попередня обробка перед біологічним або фізико-хімічним очищенням. Хімічна обробка

знаходить застосування також і як метод глибокого очищення виробничих стічних вод з метою їхньої дезинфекції, знебарвлення або витягання з них різних компонентів. При локальному очищенні виробничих стічних вод в більшості випадків перевага віддається хімічним методам.

Природні води містять значну кількість розчинених солей (солі жорсткості), які в процесі експлуатації відповідного обладнання відкладаються на стінках останнього (труби, стінки котлів тощо).

Наприклад, при жорсткості води 7 мекв/л і продуктивності котла 1 т/год. за місяць утворюється до 200 кг карбонатних відкладень (рис..).

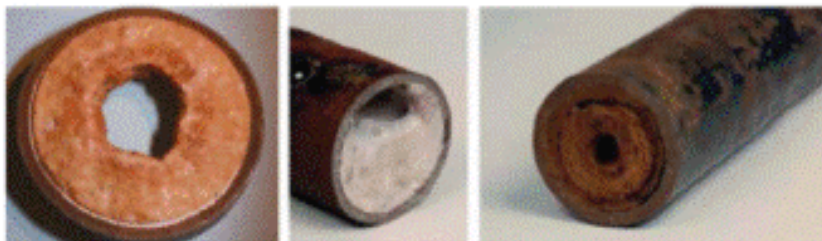


Рис. 9.1. Відкладення накипу в трубах котельної системи.

Така вода непридатна для промислового використання, оскільки осад, що відкладається, погіршують роботу устаткування. Стічні води містять розчинені речовини (у т.ч. солі), які є компонентами миючих засобів, входять у склад гальванічних розчинів і т.ін.

Виділити такі солі з розчинів можна шляхом переведення розчинних солей у нерозчинний стан шляхом додавання у природну воду або у відпрацьований розчин солі, що містить іони, які з іонами солей, присутніх у воді або у стоках, утворюють нерозчинні у воді сполуки, що випадають у вигляді осаду. Осад можна відокремити методом осадження або фільтрування. Зменшення нерозчинних домішок за допомогою хімічного очищення досягає 95%, а розчинних – до 25%.

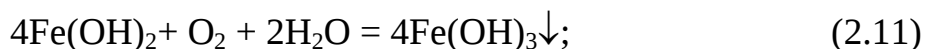
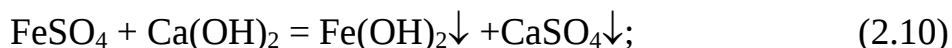
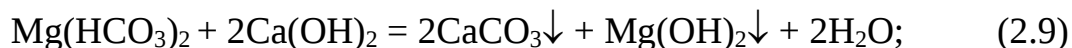
Найбільш поширеним є використання хімічного осадження при *зм'якшенні води*.

Зм'якшення води полягає у видаленні солей кальцію, магнію та інших металів (більш детально – у розділі). Хімічний спосіб зм'якшення полягає у зв'язуванні іонів магнію та кальцію у нерозчинні сполуки, які легко видаляються методами відстоювання або фільтрування. За реагентами, що використовуються для цього, розрізняють способи: вапняний (гашене вапно – $\text{Ca}(\text{OH})_2$), содовий (Na_2CO_3), натронний (NaOH) і фосфатний (Na_3PO_4).

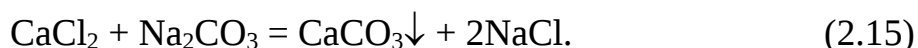
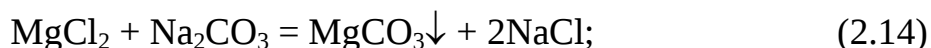
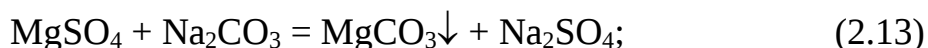
Найбільш економічно доцільним є використання комбінованого способу зм'якшення, який забезпечує усунення тимчасової й постійної жорсткості води, а також зв'язування CO_2 , видалення іонів заліза, коагуляцію органічних та інших домішок.

Найважливішим способом є вапняно-содовий (рис. 8) у поєднанні з фосфатним. При цьому відбуваються такі процеси:

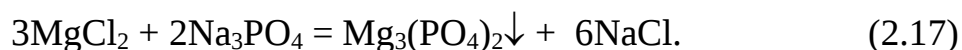
1) Обробка води гашеним вапном для усунення тимчасової (карбонатної) твердості, видалення іонів заліза та зв'язування CO_2 :



2) Обробка кальцинованою содою для усунення постійної жорсткості:



3) Обробка фосфатом для більш повного зв'язування іонів:



У тому випадку, коли в осад випадають цінні речовини, які можуть використовуватись як готовий продукт або напівпродукт для інших галузей виробництва, перед проведенням хімічної обробки виконується попереднє очищення від колоїдно-дисперсних і завислих речовин коагуляцією з подальшим відокремленням осаду фільтруванням; відстоюванням, флотацією або іншими методами. Коли ж осад не являє собою цінності, то такої попередньої обробки можна не проводити.

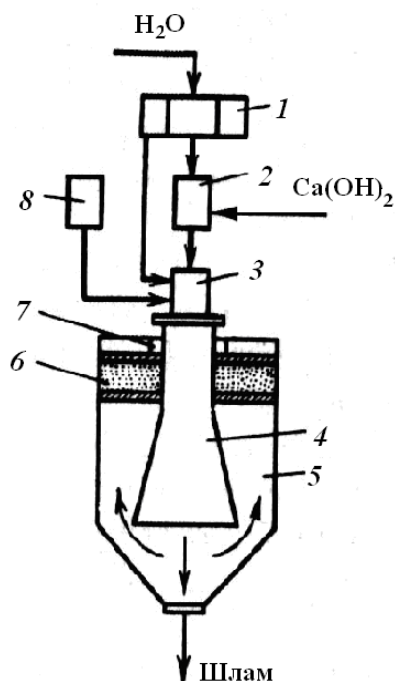


Рис. 9.1. Схема вапняно-содового способу зм'якшення води:

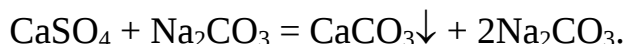
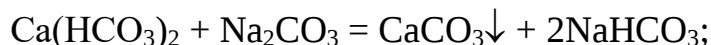
- 1 – водорозподільник;
- 2 – сатуратор;
- 3 – змішувач;
- 4 – реакційна камера;
- 5 – відстійник;
- 6 – фільтр;
- 7 – кільцевий жолоб;
- 8 – дозатор.

Після відокремлення осаду тим чи іншим способом, у фільтраті залишаються речовини, які видаляють дистиляцією, електродіалізом, іонним обміном або іншими способами.

При проектуванні хімводопідготовки розраховують потрібну кількість реагентів для усунення жорсткості води. Розглянемо приклад такого розрахунку.

Приклад. Скільки соди Na_2CO_3 при використанні содового способу зм'якшення води треба додати до 10 м^3 води, щоб усунути її загальну жорсткість, що дорівнює $4,64 \text{ мекв/л}$?

Рішення. Рівняння реакцій:



Виходячи з закону еквівалентів (речовини реагують в еквівалентних кількостях, тобто, 1 еквівалент гідрокарбонату кальцію реагує з 1 еквівалентом соди, 2 – з двома, 10 – з 10-ма і т.д.), кількість еквівалентів соди дорівнює кількості еквівалентів солей жорсткості. Знаходимо еквівалентну масу соди:

$$m_{e_{\text{Na}_2\text{CO}_3}} = \frac{M_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{2} = \frac{106}{2} = 53 \text{ г/моль}.$$

В одному літрі міститься $4,64 \text{ мекв Na}_2\text{CO}_3$, тобто

$$53 \cdot 4,64 \cdot 10^{-3} \text{ г},$$

а в 10 м^3 ($10 \cdot 10^3 \text{ л}$):

$$53 \cdot 4,64 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^3 = 2459,2 \text{ г, або } 2,46 \text{ кг}.$$

9.2. Нейтралізація

Говорячи про нейтралізацію, головним чином мають на увазі обробку стічних вод, оскільки саме виробничі скидні води від технологічних процесів багатьох галузей промисловості містять луги й кислоти. Детально це питання буде озглянуте в главі «Очищення стічних вод».

9.3. Окислювальні методи

Окислювальний метод очищення застосовують для знешкодження виробничих стічних вод, що містять токсичні домішки (ціаніди, комплексні ціаніди міді й цинку) або сполуки, які недоцільно витягувати зі стічних вод, а також очищати іншими методами (сірководень, сульфіді). Такі види стічних вод зустрічаються в машинобудівній (цехи гальванічних покриттів), гірничодобувній (збагачувальні фабрики свинцево-цинкових і мідних руд), нафтохімічній (нафтопереробні та нафтохімічні заводи), целюлозно-паперовій (цехи варіння целюлози) та в інших галузях промисловості.

У вузькому значенні окислення – реакція з'єднання якої-небудь речовини з киснем, а в ширшому – всяка хімічна реакція, суть якої полягає у віднятті електронів від атомів або іонів. У практиці знешкодження виробничих стічних

вод як окислювачі використовують хлор, гіпохлорит кальцію і натрію, хлорне вапно, діоксид хлору, озон, технічний кисень і кисень повітря.

Хлорування

Знешкодження стічних вод хлором або його сполуками – один з найпоширеніших способів їхнього очищення від отруйних ціанідів, а також від таких органічних і неорганічних сполук, як сірководень, гідросульфід, сульфід, метилмеркаптан та ін.

Озонування

Озон має високу окислювальну здатність і за нормальній температурі руйнує багато органічних речовин, що знаходяться у воді. При цьому процесі можливе одночасне окислення домішок, знебарвлення, дезодорування, знезараження стічної води і насичення її киснем. Перевагою цього методу є відсутність хімічних реагентів при очищенні стічних вод.

Розчинність озону у воді залежить від рН і кількості домішок у воді. За наявності у воді кислот і солей розчинність озону збільшується, а за наявності лугів – зменшується.

Озон дисоціює на повітрі й у водному розчині, перетворюючись на кисень. У водному розчині озон дисоціює швидше. Із зростанням температури і рН швидкість розпаду озону різко зростає.

Озон можна одержати різними методами, але найбільш економічним є пропускання повітря або кисню через електричний розряд високої напруги (5000-25000В) в генераторі озону (озонаторі), який складається з двох електродів, розташованих на невеликій відстані один від одного.

Промислове отримання озону засноване на розщеплюванні молекул кисню з подальшим приєднанням атома кисню до нерозщепленої молекули під дією тихого напівкоронного або коронного електричного розряду.

Для отримання озону необхідно застосовувати очищене й осушене повітря або кисень.

Перспективність застосування озонування як окислювального методу обумовлена також тим, що воно не призводить до збільшення сольового складу стічних вод, що очищаються, не забруднює воду продуктами реакції, а сам процес легко піддається повній автоматизації.

Змішування води, що очищається, з озонованим повітрям може здійснюватися різними способами: барботуванням води крізь фільтри, дірчасті (пористі) труби, змішуванням за допомогою ежекторів, мішалок і т.ін.

10. ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ МЕТОДИ В ПРОЦЕСАХ ОБРОБКИ РІДИН

Розглядаючи електрохімічні методи, треба зауважити, що вони використовуються виключно для водних розчинів, оскільки потребують дисоціації молекул на іони. Такі методи на практиці служать для виділення у вільному вигляді металів, а також з метою отримання кисню та водню, які використовують у водневій енергетиці. За винятком останнього застосування, електрохімічні методи доцільні тільки для стічних вод, оскільки природні води

мають дуже незначний вміст іонів металів, які цікаві з точки зору їхнього добування саме названим способом.

10.1. Основні напрямки використання електрохімічних виробництв

1) Багатотонажні виробництва: H_2 , Cl_2 , $NaOH$, KOH .

2) Електрохімічний синтез багатьох неорганічних і органічних речовин – гіпохлоритів, хлоратів, перхлоратів, хлорної кислоти, перманганатів, MnO_2 , гідроксидону, фторпохідних низки органічних сполук.

3) На електролізі водних розчинів базуються гідроелектро-металургія і гальванотехніка. Гідроелектрометалургія – це добування металів з водних розчинів їхніх солей шляхом електролізу. Електроліз є завершальною стадією низки металургійних процесів. Електрохімічними методами отримують і рафінують мідь, цинк, кадмій, марганець, хром, свинець, олово, благородні метали. За допомогою електролізу проводять нанесення захисних покриттів на поверхні металів.

4) Хімічні джерела електричного струму. Вони підрозділяються на первинні, енергія яких може бути використана лише одноразово (батарейки), і вторинні, до яких відносяться акумулятори; їхня працездатність може бути відновлена шляхом пропускання електричного струму.

Використання джерел електричного струму:

а) електрохімічна енергетика – використання електрохімічних паливних елементів в енергоустановках – автотранспорті, електростанціях;

б) техніка очищення стічних вод;

в) опріснення сильно мінералізованих вод електролізом з регенерацією окремо солей, кислот і лугів.

За багатьма показниками електрохімічні методи мають переваги у порівнянні з хімічними: в електрохімічних виробництвах апаратура простіша і компактніша, менша кількість виробничих операцій; дешевша сировина і вища повнота її використання; отримання цінних товарних побічних продуктів зменшує собівартість основних. Однією з головних переваг електрохімічних методів є висока чистота отриманих продуктів. Недолік – велика витрата електроенергії, котра складає головну частину собівартості продукції.

10.2. Робота гальванічного елементу

Електрохімічні методи базуються на уяві про процеси, пов'язані з переміщенням електронів у водних розчинах, які можна розглянути на прикладі роботи гальванічного елементу.

Класичний мідно-цинковий гальванічний елемент (елементу Якобі) (рис. 2.1) має дві посудини A і B , і трубку B , що їх з'єднує. Посудин A , заповнена розчином $ZnSO_4$, посудина B – розчином $CuSO_4$. В першу посудину опущена цинкова пластина (анод), в другу – мідна (катод). Трубка B зазвичай заповнюється загущеним розчином KCl . Якщо з'єднати обидві пластини

металевим провідником, то по ньому в указаному стрілкою напрямку потече електричний струм.

Виникнення струму обумовлене різною концентрацією вільних електронів в окремих металах і намаганням вирівняти цю концентрацію при контакті металів. На границі поділу між металом і розчином його солі одночасно мають місце рівноваги:

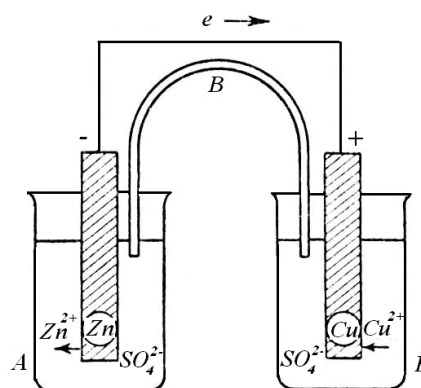
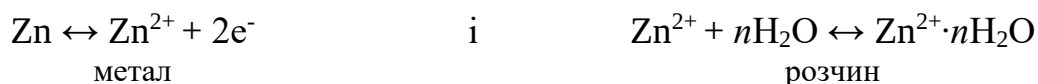


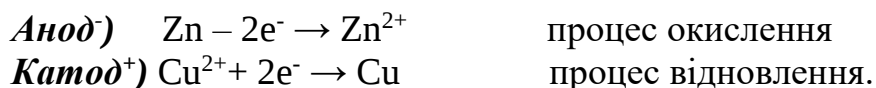
Рис. 10.1. Схема гальванічного елемента.



Зменшення концентрації вільних іонів у металі (нижче за звичайну для нього величину) сприяє зміщенню рівноваги вправо, тобто до додаткового виникнення позитивних іонів металу та переходу їх у розчин. Навпаки, збільшення концентрації вільних електронів сприяє зміщенню рівноваги вліво, тобто перетворенню позитивних іонів у нейтральні молекули (з виділенням останніх на поверхні металу).

Оскільки у цинку концентрація вільних іонів вища, ніж у міді, цинковий електрод позначається мінусом і називається анодом, а мідний – плюсом, це катод. При з'єднанні обох електродів металевим дротом деяка частина електронів переходить по ньому з цинку на мідь, при цьому цинкова пластина заряджається позитивно, а мідна – негативно. Позитивний заряд цинкової пластини одразу нейтралізується шляхом переходу в розчин позитивно заряджених іонів цинку Zn^{2+} . Зараз же нейтралізується і негативний заряд міді шляхом осадження на електроді позитивних іонів Cu^{2+} (з переведенням їх у нейтральні атоми). Одночасно відповідна частина іонів SO_4^{2-} переходить по трубці В з посудини А у посудину В. Усі розглянуті процеси протікають безперервно (до розчинення усього цинку або повного розкладу солі міді). Так у гальванічному елементі за рахунок хімічної реакції отримується електричний струм.

Таким чином, при роботі даного гальванічного елемента відбуваються процеси (наведено спрощено, без урахування процесу гідратації):



На аноді відбувається процес окислення, що виражається у втраті металевим цинком електронів і переходом його іонів у розчин, в результаті чого цинк розчиняється. На катоді відбувається процес відновлення, при цьому іони міді з розчину, відновлюючись, переходять на металеву мідь і осідають на поверхні електроду.

10.3. Ряд напруг металів

Аналогічно мідно-цинковому діють інші гальванічні елементи. Із збільшенням концентрації вільних електронів у кристалічній решітці металу зростає інтенсивність передачі їх від одного металу іншому, тобто при цьому збільшується напруга, яку дає гальванічний елемент. Знаючи знак заряду кожної пластинки і вимірюючи напругу струму, можна оцінити порівняльну активність різних металів і розташувати їх за цією ознакою у так званий *ряд напруг*. Для кількісної характеристики активності металів ввели величину електродного потенціалу – це та електрорушійна сила (ЕРС), котру розвиває гальванічний елемент, що складається з двох електродів – металевого електроду, зануреного в одномолярний розчин своєї солі і водневого електроду.

Ряд напруг металів (водні розчини, стандартні умови)

Метал	Іон	Електродний потенціал, E^0 , В
Ca	Ca^{2+}	-2,87
Na	Na^+	-2,71
Mg	Mg^{2+}	-2,37
Al	Al^{3+}	-1,70
Ti	Ti^{2+}	-1,60
Mn	Mn^{2+}	-1,18
Zn	Zn^{2+}	-0,76
Cr	Cr^{3+}	-0,74
Fe	Fe^{2+}	-0,44
Ni	Ni^{2+}	-0,25
Sn	Sn^{2+}	-0,136
Pb	Pb^{2+}	-0,13
Fe	Fe^{3+}	-0,036
H_2	2H^+	0
Cu	Cu^{2+}	+0,34
Hg	2Hg^{2+}	+0,789
Ag	Ag^+	+0,80
Pt	Pt^{2+}	+1,19
Au	Au^{3+}	+1,68

Потенціал водневого електроду при цьому приймають за нуль, тому ЕРС дорівнює електродному потенціалу металу.

Водневий електрод являє собою платинову пластинку, на яку електролізом нанесений шар платинової “черні”, тобто, дрібного порошку платини. Якщо таку пластину помістити в розчин, що містить іони водню, і пропускати біля неї газоподібний водень, то дрібна платина адсорбує водень і такий електрод поводить себе так, ніби він виготовлений з чистого водню. Електролітом для такого електроду є розчин сірчаної кислоти, який містить 1 моль/л іонів водню. Визначення електродного потенціалу металу зрозуміле з рис. 2.2.

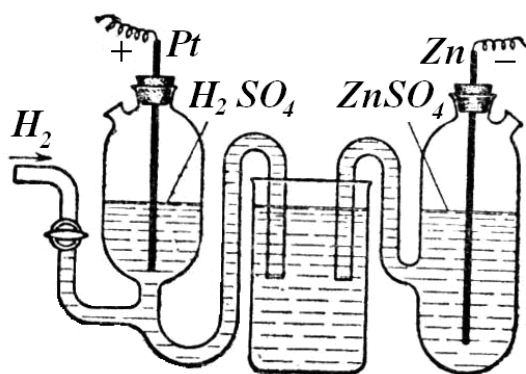


Рис. 10.2. Схема визначення електродного потенціалу цинку.

Таким чином, при наявності більш активного металу і розчину солі, що містить менш активний метал, утворюється гальванічна пара, і відбувається витіснення з розчинів іонів одного металу іншим, при цьому перший з них переходить з іонного стану в металічний, а другий – з металічного в іонний.

Такий процес має назву цементації, або внутрішнього електролізу, або контактного виділення металу.

10.4. Електроліз

10.4.1. Електроліз розчинів солей

Як було вказано на початку розділу, за допомогою електролізу отримують і очищають цілу низку металів, а також наносять захисні покриття на поверхню металів.

Розглянемо отримання чистої міді шляхом електролізу. В електролізер, який містить розчин солі міді, занурюють два електроди – один являє собою брус забрудненої міді (з домішками), а другий – тонку пластину чистої міді. При пропусканні електричного струму через розчин відбувається переміщення іонів міді Cu^{2+} до негативного зарядженого електроду (катода K^-), де відбувається їхнє відновлення (приєднання електронів) а мідний анод (A^+) розчиняється (віддає електрони, окислюється) і постачає нові іони міді у розчин.

Електродні процеси:



Аналогічні процеси відбуваються при нанесенні захисних металевих покриттів, з тією різницею, що замість пластини чистої міді використовують виріб, на який наноситься покриття.

Теорія електролізу досить складна і при потребі Ви можете звернутися до спеціальної літератури.

10.4.2. Електроліз води

Іншим поширеним способом використання електрохімічних процесів є електроліз води з метою отримання водню. Зараз він використовується у порівняно невеликому масштабі через високу вартість електричної енергії, і електролітичний водень не може конкурувати з тим, що отриманий конверсійними методами (наприклад, з CH_4). Але перспектива використання водню як енергоносія, зокрема як екологічно безпечного палива для транспорту, повинна призвести до значного розвитку виробництва водню електролітичним розкладом води.

При електролізі води, крім водню, отримують кисень, який використовується в металургії, хімічній промисловості, медицині.

Електролітичний розклад води проводять у присутності фонового електроліту – кислот, лугів або солей, оскільки електрична провідність води вельми мала.

Для виробництва водню електроліз (рис. 31) ведуть у присутності NaOH або KOH (вони менш агресивні до конструкційних металів, ніж кислоти).

Матеріалом для електродів служить сталь, іноді для зниження перенапруги водню на сталевий катод наносять покриття з нікелю, який містить сірку. Анодом є сталь з нікелевим покриттям.

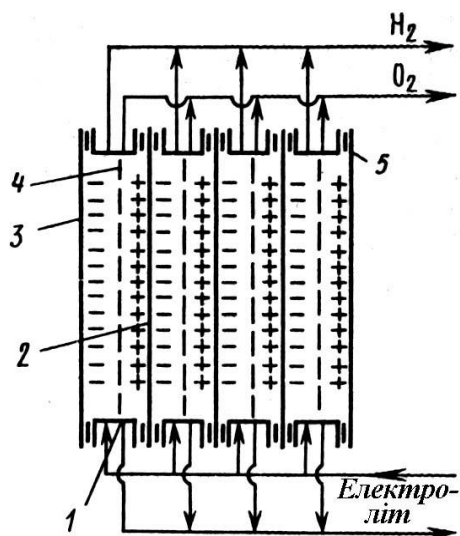
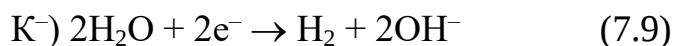


Рис. 10.3. Схема електролізу води:

1 – рама; 2 – біполярний електрод;
3 – анод; 4 – діафрагма; 5 – катод.

Електродні процеси:



Вартість електроенергії складає 90% від вартості водню, причому, ступінь використання електроенергії не перевищує 30%.

При великомасштабному виробництві електролітичного водню в каскаді послідовно з'єднаних електродів як побічний продукт отримують важку воду шляхом поступового її концентрування в електролізерах. Воду, збагачену D_2O , виводять з останнього ступеню каскаду електролізера.

В наш час розвитку водневої енергетики приділяють велику увагу. В Європі своєрідним полігоном по освоєнню водневої енергетики стане Ісландія, де для виробництва водню можна використовувати дешеву енергію геотермальних джерел і гідроелектростанцій. Країні виділено 60 млн. євро, щоб вона у найближчі 15-20 років перейшла в основному на водневе паливо. Форсують розвиток водневої енергетики і у США: до 2020 року мають надію перевести американську автомобільну промисловість на водень. На ці цілі у найближчий час буде виділено близько 5 млрд. дол.

11. МЕМБРАННІ МЕТОДИ

11.1. Сутність методу і види мембранної технології

Мембранні методи поділу (від membrane – шкірка, перетинка) – методи, засновані на різній швидкості проходження компонентів розчину або газової суміші через напівпроникну мембрану за рахунок різниці концентрацій, тиску, температури або електричного потенціалу по обидва боки мембрани. Можна також сказати, що мембрана пропускає розчинник, але затримує розчинені речовини.

Мембранна технологія – промислові процеси, засновані на мембранних методах поділу, які використовують мембранні апарати для розділення розчинів, газових сумішей і колоїдних систем.

До мембранних методів належать:

- зворотний осмос,
- ультрафільтрація,
- нанофільтрація;
- мікрофільтрація,
- діаліз,
- первапорація,

- мембранна дистиляція,
- електродіаліз.

Перевагою мембранних методів є те, що поділ відбувається без фазових перетворень при температурі оточуючого середовища, тому затрати енергії значно нижчі, ніж при розділенні такими методами, як перегонка, випарювання тощо.

Ті мембранні процеси, рушійною силою яких є різниця тисків з двох боків мембрани, називають *баромембранними*.

Найбільш широко застосовують методи зворотного осмосу та ультрафільтрації.

11.1.1. Зворотний осмос

Саме слово «осмос» (від грец. *ōsmós* – поштовх, тиск) означає дифузію речовини крізь напівпроникну мембрану, що поділяє чистий розчинник і розчин, або два розчини різної концентрації і проникну тільки для розчинника. Внаслідок цього виникає осмотичний тиск, величина якого залежить від концентрації розчину та природи розчиненої речовини.

Виникнення осмотичного тиску можна уявити собі на таких прикладах (рис. 11.1).

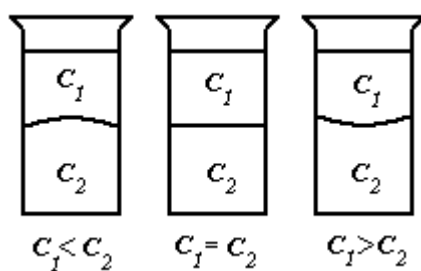


Рис. 11.1. До виникнення осмотичного тиску.

Уявимо собі посудину, посередині поділену напівпроникною перегородкою; посудина містить у верхній і нижній частинах розчини, що відрізняються концентрацією розчиненої речовини C_1 і C_2 . Якщо $C_1 = C_2$, то однакова в обох частинах і концентрація самого розчинника. Тому кількість його молекул, що переходять зверху вниз і знизу доверху також буде однаковою, в результаті загальні об'єми не зміняться, і перетинка зберігає горизонтальне положення. Інша картина буде спостерігатися, коли $C_1 \neq C_2$. Оскільки концентрація самого розчинника вища в менш концентрованому розчині, за одиницю часу більше молекул буде проходити крізь напівпроникну плівку зверху вниз, ніж у зворотному напрямку. В результаті об'єм верхнього розчину почне зменшуватись, а нижнього – зростати, і гнучка плівка вигнеться наверх. Однак перехід розчинника зверху вниз призводить до одночасного збільшення C_1 і зменшення C_2 , тобто концентрації будуть поступово вирівнюватись. Коли C_1 стане рівним C_2 , осмос припиняється. Аналогічним чином можна пояснити утворення вигнутої поверхні при $C_1 > C_2$.

В техніці використовують *зворотний осмос* (гіперфільтрація) – метод концентрування або зменшення засоленості розчинів, який полягає у їхній подачі під тиском на напівпроникну мембрану. Технологічна схема установки оберненого осмосу наведена на рис. 11.2

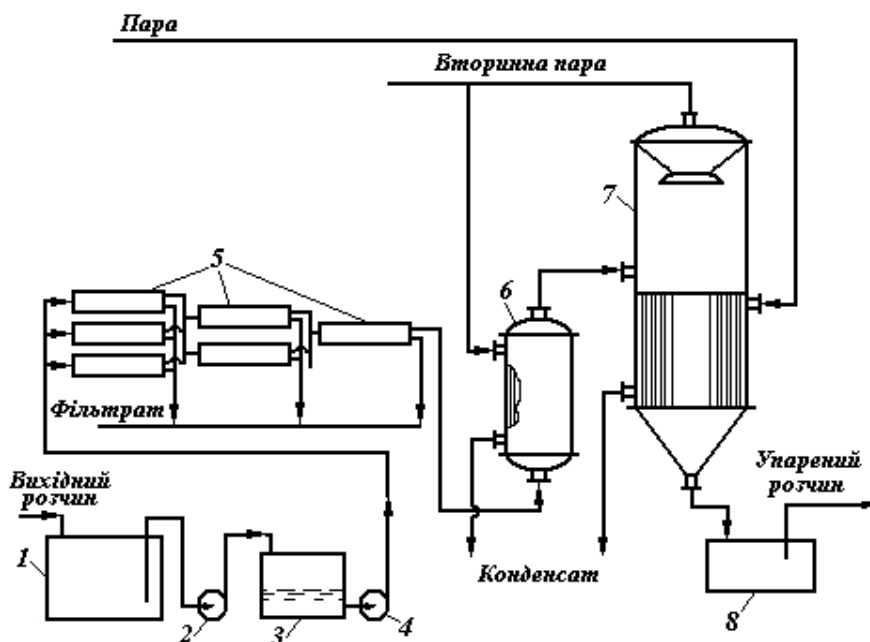


Рис. 11.2. Технологічна схема установки для концентрування розчинів з використанням зворотного осмосу:

1 – ємність для вихідного розчину; 2 – насос; 3 – фільтр; 4 – насос високого тиску; 5 – апарат зворотного осмосу; 6 – теплообмінник; 7 – випарний апарат; 8 – ємність для упареного розчину.

В останні час в технології очищення води все більше місце займають мембранні процеси низького тиску: мікрофільтрація, ультрафільтрація, нанофільтрація.

11.1.2. Мікрофільтрація

Мікрофільтрація – це баромембранний процес, який полягає у проціджуванні стічної води через шар сіток з отворами розміром від 40 до 70 мкм. Мікрофільтри застосовують для відокремлення від розчинника завислих та колоїдних частинок, для очищення стічних вод від твердих і волокнистих матеріалів.

Різниця тисків з обох боків мембрани становить 0,01-0,05 МПа. Мікрофільтрувальні мембрани з середнім розміром пор 0,05-10 мкм виготовляють у вигляді полімерних плівок, трубок або порожнинних волокон з розчинів гідрофобних і гідрофільних полімерів. Є також інші методи одержання полімерних мікрофільтрувальних мембран: спікання порошків полімерів і порошкових композицій; з волокон і волокнистих дисперсій полімерів; з макромонолітних плівок після їхнього механічного витягування в адсорбційно-активних середовищах або їхнього травлення після опромінення частинками з високою енергією (трекові, або ядерні, мембрани).

Останнім часом все ширше застосовують керамічні мікрофільтри у

вигляді пластин (дисків) або трубок, які одержують спіканням дисперсних порошків оксидів алюмінію, титану, цирконію тощо. Неорганічні мікрофільтри одержують також методом золь-гель-технології під час гідролізу відповідних алкоксидів металів з подальшими нанесенням утворених золів (колоїдів) на пористу керамічну підкладку і термообробкою за відносно невисоких температур (400-800°C).

11.1.3. Ультрафільтрація

Ультрафільтрацію використовують, зокрема, для поділу й концентрування розчинів високомолекулярних речовин, концентрування яких шляхом випарювання неефективне внаслідок руйнування цих сполук при високих температурах.

Серед мембранних методів ультрафільтрація найстрімкіше розвивається і впроваджується – 74% всіх мембранних методів. Ультрафільтраційна технологія використовується в світовій практиці для очищення води з різних поверхневих вододжерел. Залежно від складу води ультрафільтраційна технологія застосовується в чистому вигляді або в комбінації з іншими методами.

Схема установки концентрування розчинів з використанням ультрафільтрації наведена на рис. 11.3.

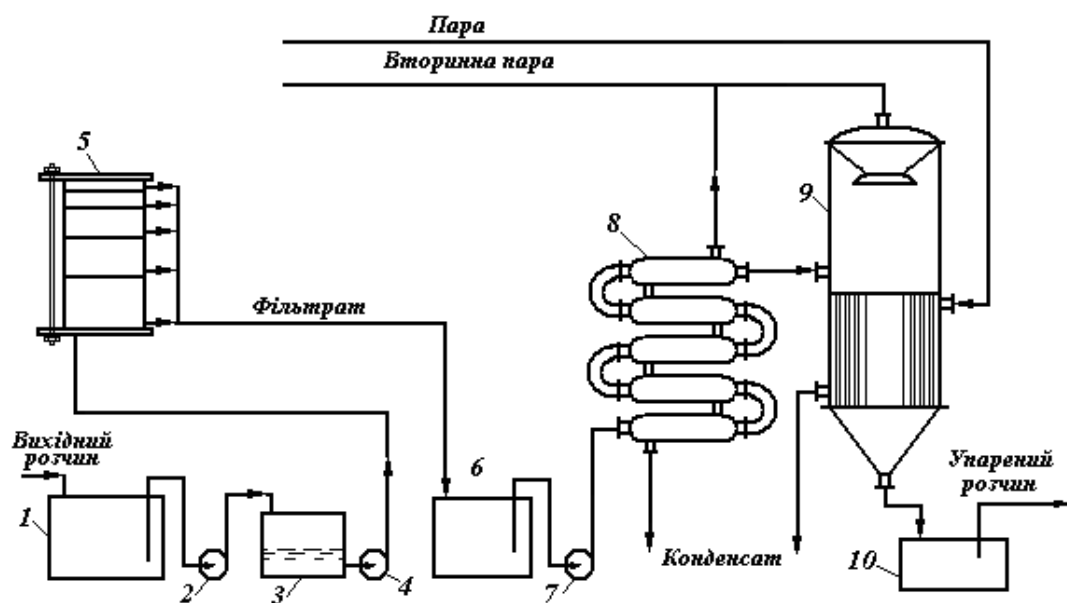


Рис. 11.3. Технологічна схема установки концентрування розчинів з використанням ультрафільтрації:

- 1 – ємність для вихідного розчину; 2, 7 – насоси; 3 – фільтр; 4 – насос високого тиску; 5 – апарат ультрафільтрації; 6 – поміжна ємність; 8 – теплообмінний апарат; 9 – випарний апарат; 10 – ємність для упареного розчину.

Як бачимо при порівнянні рис. 11.2 і 11.3, технологічні схеми установок з використанням зворотного осмосу і ультрафільтрації подібні, тому по аналогії Ви можете скласти технологічні схеми і для інших мембранних процесів.

Мала енергоємність і відносна простота апаратурного оформлення

забезпечують високу економічну ефективність оберненого осмосу й ультрафільтрації. В результаті проведення цих процесів отримують два розчини: один (концентрат) збагачений розчиненими речовинами, другий (фільтрат) збіднений ними. У тих випадках, коли продуктом є фільтрат, а концентрат може скидатися (наприклад, при опрісненні солоних природних вод), обернений осмос або ультрафільтрація – єдиний процес поділу в технологічній схемі. Якщо продуктом є й концентрований розчин то його піддають більш глибокому концентруванню (наприклад, випарюванням) або поділу на складові компоненти (ректифікацією, адсорбцією і т.ін.).

11.1.4. Нанофільтрація

Нанофільтрація, як і попередні процеси, це баромембранний процес поділу рідких систем при робочому тиску 1-2 МПа. В процесі нанофільтрації частково затримуються низькомолекулярні електроліти (наприклад, хлорид натрію – на 40-60 %, а солі з двозарядними і тризарядними іонами – на 80-90%) і практично повністю (98-99,9%) органічні сполуки (спирти, барвники, цукрі, пестициди та ін.). раніше вважали, що нанофільтрувальні мембрани мають пори нанометричного діаметру (1-3 нм) в ультратонкому шарі, що й дало їм назву, але подальші дослідження показали, що низький робочий тиск і вузький діапазон молекулярних мас речовин, що розділяються на цих мембранах, пов'язані лише з їхньою особливою макро- і мікроструктурою (багатошаровість, ультратонкі селективні шари, в яких відсутні мікрODEфекти, з високогідрофільними та іоногенними групами).

Нанофільтрувальні мембрани і нанофільтрація в останні роки широко застосовують для обробки природних і стічних вод. Зокрема, нанофільтруванням замінюють коагуляцію і фільтрування, зм'якшують воду. Так, у разі обробки солонуватих вод (загальний вміст розчинених речовин до 300 мг/дм³) забарвленість води знижується на 96%, вміст загального органічного вуглецю – на 84%, затримування сульфатів досягає 96%. У деяких країнах (Франція, США) нанофільтрацію використовують для підготовки питної води, що забирається з відкритих поверхневих водойм, без традиційної хімічної і фізико-хімічної обробки.

Крім водоочищення природних і стічних вод нанофільтрація широко застосовується у харчовій (прояснення соків, обробка пива, столових мінеральних вод та інших напоїв, молока і молочної сироватки тощо), фармацевтичній промисловості та біотехнології.

11.1.5. Діаліз

Діаліз (від грец. dialysis – відокремлення) – поділ істинно розчинених речовин і колоїдів за допомогою спеціальних дрібнопористих перегородок, які не пропускають колоїди. Рушійною силою діалізу є градієнт концентрацій розчинених речовин з обох боків мембрани. Діаліз застосовується для розділення речовин, що значно відрізняються за молекулярною масою (наприклад, розчини полімерів очищають від низькомолекулярних електролітів

та інших сполук).

Недоліком методу є його низька продуктивність і великі об'єми розчинника, що багаторазово замінюється з одного боку мембрани. Діаліз раціонально використовувати в технологічних процесах після ультра- або мікрофільтраційного концентрування розчинів високомолекулярних сполук або колоїдів.

11.1.6. Первапорація

Первапорація – це мембранний процес, який відбувається з використанням низькопористих мембран для вилучення з води невеликих домішок органічних речовин (спиртів, ацетону, бензолу, толуолу, хлорпохідних аліфатичних і ароматичних вуглеводнів тощо) або для видалення домішок води з цих речовин. Необхідною умовою первапораційного розділення є здатність полімерної мембрани набрякати в речовинах, що є домішками. У зв'язку з цим у першому випадку використовують мембрани на основі гідрофобних полімерів, які добре набрякають в органічних розчинниках, а в другому – високогідрофільні мембрани, які добре набрякають у воді. Рушійною силою процесу первапорації є різниця парціальних тисків пари або градієнт концентрації розчиненої речовини з обох боків мембрани, які створюються за рахунок різниці температур або тисків.

Найширше первапорацію використовують для очищення стічних вод від органічних розчинників, деяких інших сполук та для дегідратації спирти (насамперед етилового), що утворюють азеотропні суміші спирт-вода.

11.1.7. Мембранна дистиляція

Мембранна дистиляція – це процес, рушійною силою якого є різниця парціального тиску пари розчинника (води) з обох боків гідрофобної мікрофільтрувальної мембрани, яка створюється за рахунок різниці температур вихідного розчину і фільтрату. Як правило, температура розчину, що концентрується, становить 50-80°C, а фільтрату – 20-25°C. Отже, для проведення мембранної дистиляції можна використовувати низькоенергетичну теплоту. Крім цього, для мембранної дистиляції, що не є баромембранним процесом, не потрібен надлишковий робочий тиск, як у разі мікро-, ультра- та нанофільтрування і зворотного осмосу.

Мембранна дистиляція цікава насамперед як метод очищення та опріснення води, а також концентрування водних технологічних розчинів

Процес мембранної дистиляції можна проводити в різних технологічних варіантах:

1) контактна мембранна дистиляція – процес, в якому рідина контактує безпосередньо з обома боками мембрани; рідина (вода), що омиває холодний (приймальний) бік мембрани, є середовищем для конденсації пари, яка переноситься крізь пори мембрани з гарячого її боку;

2) мембранна дистиляція крізь газовий (паровий) прошарок – процес, в якому пара конденсується за приймальним боком мембрани на охолодженій

поверхні, розміщеній на певній відстані від мембрани; рідина, що конденсується, не контактує з мембраною;

3) вакуумна мембранна дистиляція – процес, у якому створюється певне розрідження в зазорі між корпусом мембранного елемента і приймальним боком мембрани; дистилят конденсується за межами мембранного модуля;

4) мембранна дистиляція в газовому потоці – процес, в якому газовий потік (як правило, азот) подається з певною швидкістю уздовж приймального боку мембрани, а пара, що ним виноситься, конденсується за межами мембранного модуля;

5) осмотична мембранна дистиляція – процес, що відбувається за рахунок високої концентрації розчину з приймального боку мембрани, при цьому виникає різниця парціальних тисків пари і вона проникає крізь пори гідрофобної мембрани з розчину з низьким осмотичним тиском у потік висококонцентрованого розчину з високим осмотичним тиском; процес концентрування може відбуватися за кімнатної температури.

З усіх згаданих типів мембранної дистиляції на практиці найширше застосовують контактну мембранну дистиляцію.

Отже, щоб відбувався процес мембранної дистиляції, потрібно:

1) пориста мембрана, яка не повинна змочуватися розчином, що розділяється;

2) відсутність капілярної конденсації всередині пор мембрани;

3) перенесення крізь пори мембрани тільки пари;

4) відсутність зміщення мембраною рівноваги пара – рідина в процесі розділення компонентів;

5) безпосередній контакт з рідиною принаймні з одного боку мембрани;

6) градієнт парціального тиску в паровій фазі, що є рушійною силою масопереносу для кожного компоненту розчину.

На практиці мембранну дистиляцію застосовують як високоефективний метод у таких процесах:

- одержання чистої і високочистої води з вод різної солоності і забрудненості (в тім числі і з морської води);
- очищення стічних вод, що містять нелеткі неорганічні електроліти та органічні речовини;
- концентрування солей з промивних вод гальванічних та фарбувальних виробництв;
- концентрування розчинів розбавлених нелетких мінеральних кислот та лугів;
- концентрування цукрових та глюкозо-фруктозних сиропів, термолабільних біологічно активних речовин (вітамінів, ферментів, білків тощо).

Недоліком мембранної дистиляції є її відносно низька продуктивність – [5-35 л/(м²·год.) дистиляту] порівняно з іншими баромембранними методами, а також неможливість її застосування для очищення вод, що містять поверхневоактивні та леткі речовини.

11.1.8. Електродіаліз

Електродіаліз – процес сепарації іонів солей, здійснюваний в мембранному апараті під дією постійного електричного струму; використовується для опріснення високомінералізованих стічних вод.

Електродіалізатор поділяється катіонітовими й аніонітовими мембранами, що чергуються, створюючи камери для концентрування (розсільні) і знесолення (ділюатні). Під дією постійного струму катіони, рухаючись до катода (–), проникають через катіонітові мембрани, але затримуються аніонітовими, а аніони, рухаючись у напрямі анода (+), проходять через аніонітові мембрани, але затримуються катіонітовими. В результаті цього з одного ряду камер (наприклад, парних) іони обох знаків виводяться в суміжний ряд камер.

Мембрани для електродіалізатора виготовляють у вигляді гнучких листів прямокутної форми або рулонів з термопластичного полімерного зв'язуючого і порошку іонообмінних смол.

Електродіалізні апарати застосовуються двох типів: прокладкові й лабіринтові. Електродіалізатори прокладкового типу мають горизонтальну вісь електричного поля; їхня пропускна спроможність 2-20 м³/год. Електродіалізатори лабіринтового типу мають вертикальну вісь електричного поля, їхня пропускна спроможність 1-25 м³/год. Оптимальна область застосування електродіалізаторів – при концентрації солей в стічній воді 3-8 г/л. В усіх конструкціях електродіалізаторів в основному застосовують електроди, виготовлені з платинованого титану. Для ефективної роботи апаратів велике значення має промивка приелектродних камер, що оберігає крайні мембрани від руйнування продуктами електролізу.

Технологічні схеми електродіалізних установок (ЕДУ) складаються з таких вузлів:

- 1) апаратів попередньої підготовки початкової води;
- 2) власне електродіалізної установки;
- 3) кислотного господарства і системи стисненого повітря;
- 4) фільтрів, завантажених активованим вугіллям і бактерицидних установок.

Технологічні схеми бувають наступних типів.

1. Прямотечійні ЕДУ, в яких стічна вода послідовно або паралельно проходить через апарати установки і солевміст води знижується від початкового до заданого за один прохід.

2. Циркуляційні (порційні) ЕДУ, в яких певний об'єм частково знесоленої води з бака ділюату перекачується через мембранний електродіалізний апарат назад в бак доти, поки не буде досягнутий необхідний ступінь знесолення.

3. Циркуляційні ЕДУ безперервної дії, в яких частина стічної води безперервно змішується з частиною не повністю знесоленої води (ділюата), проходить через електродіалізатор і подається споживачеві або в резервуар очищеної води.

4. ЕДУ з апаратами, що мають послідовну гідравлічну систему руху потоків в робочих камерах.

Кожна зі вказаних вище технологічних схем має певні переваги й недоліки, і їхній вибір здійснюється на підставі техніко-економічних розрахунків. Початковими параметрами для розрахунку є: конкретні місцеві умови, пропускна спроможність ЕДУ, солеміст і склад оброблюваних стічних вод. Наприклад, при добовій витраті більше 300-500 м³ стічних вод вважається раціональним застосування технологічних схем прямотечісного типу.

11.2. Мембранні фільтри

Для використання у великих промислових установках розроблені чотири основних типи апаратів:

- з трубчастими мембранними елементами;
- типу фільтрпресу з плоскокамерними мембранними елементами;
- з мембранами у вигляді порожнистих волокон;
- з рулонними або спіральними мембранними елементами.

Фільтр з трубчастим кріпленням мембран (рис. 11.4, а) складається з пористих труб 1 (металеві, керамічні або пластмасові), на внутрішній або зовнішній поверхні яких нанесена напівпроникна мембрана 2. Вихідний розчин насосом 3 подається в труби 1, де з розчину через мембрану 2 фільтрується один або декілька компонентів суміші. Фільтрат поступає у збірник 5. Згущений вихідний розчин (концентрат) видаляється насосом 4 з апарату.

Апарат з порожнистими мембранними волокнами (рис. 11.4, б) складається з корпусу 4, усередині якого розміщений пучок волокон 5. Кінці волокон закріплені у трубних решітках 6. Збірники 1 фільтрату з'єднані з корпусом фланцями 2. Вихідний розчин через штуцер 8 подається у простір між волокнами, де частина розчину фільтрується, а фільтрат через стінки надходить у порожнину волокон, з неї – у збірник 1 і виходить з апарату через штуцер 7. Концентрований розчин виходить з апарату через штуцер 3. Такі апарати відрізняються високою густиною розміщення мембран в одиниці об'єму (20÷30 тис. м²/м³). Зовнішній діаметр волокон 45÷200 мкм, товщина стінки 10÷50 мкм. Волокна витримують високий тиск і не потребують застосування підтримуючих і дренажних пристроїв.

Плоскокамерний апарат (рис. 11.4, в) виконується у вигляді масивного сталевого корпусу 2, в якому розміщені дев'ять блоків мембранних елементів 4, що мають загальну осьову трубу 1 для виводу фільтрату. Блок мембранних елементів складається з набору фільтруючих елементів у вигляді пластмасових дисків з двох однакових пластин товщиною 1,5 мм, в яких є щілини, що утворюють канали для збору і виведення фільтрату. Вихідний розчин через штуцер в кришці 5 і канали в опорній плиті 6 надходить у перший блок мембранних елементів 4. Фільтрат через канали фільтруючих елементів проходить в трубу 1 для виведення фільтрату, а концентрований вихідний розчин через кільцевий зазор, що утворений корпусом апарата 2 і розподільним диском 7, надходить у другий блок мембранних елементів. Тут процес фільтрування продовжується, фільтрат також поступає в трубу 1, а більш концентрований розчин через канали у розподільному диску 7 – в наступний

третій блок і т.д. Кількість вихідного розчину зменшується при переході з блоку в блок, тому кількість мембранних елементів у блоках також зменшується. Концентрований розчин виходить з апарату через штуцер 8. Між корпусом і кожним другим розподільним диском встановлені ущільнюючі кільця 3. Апарати цього типу прості у виготовленні та складанні. Є можливість швидкої заміни мембранних елементів. Основний недолік – відносно невисока щільність розміщення мембран в одиниці об'єму ($90 \div 300 \text{ м}^2/\text{м}^3$).

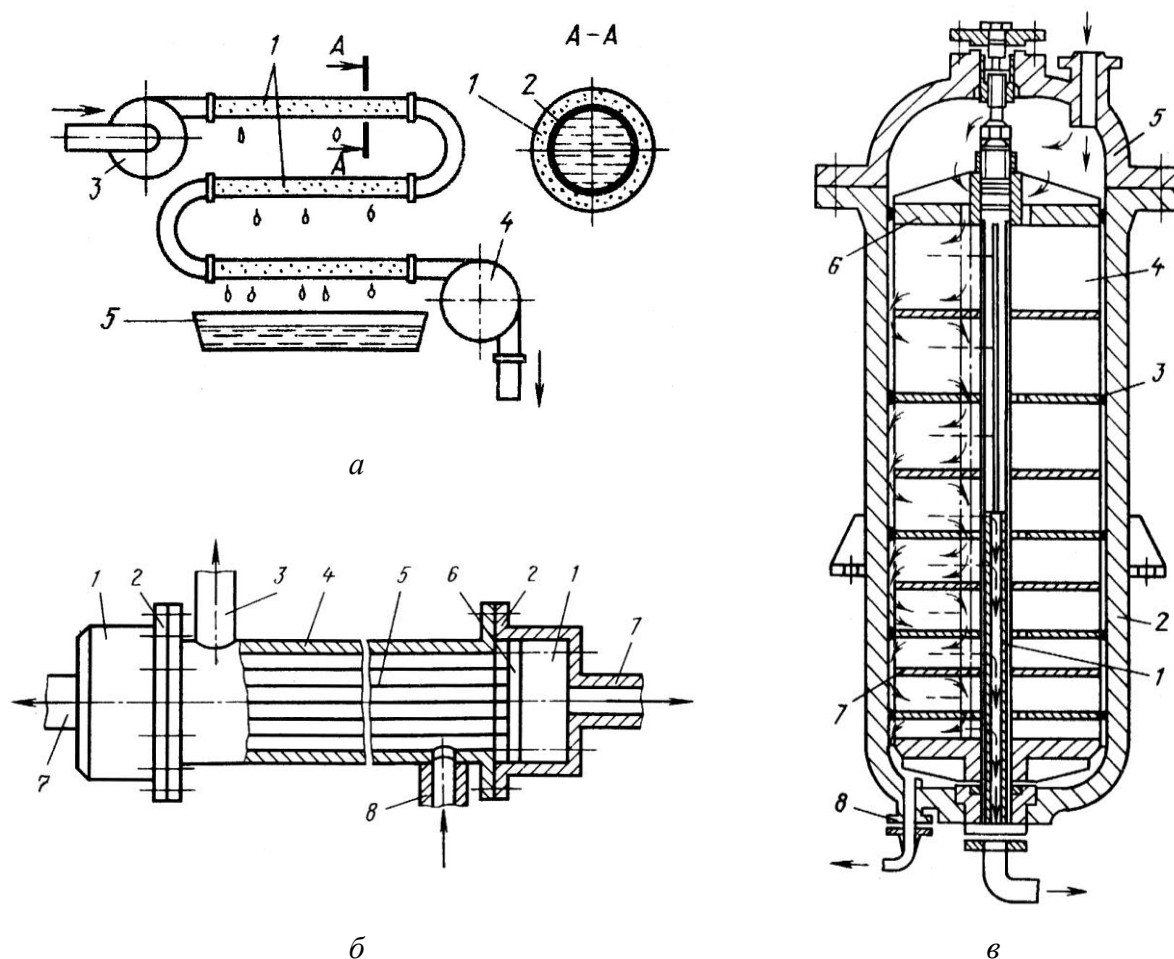


Рис. 11.4. Мембранні фільтри:

- а* – з трубчастим кріпленням мембран: 1 – пористі труби; 2 – напівпроникна мембрана;
3, 4 – насоси; 5 – збірник;
б – з мембранами у вигляді порожнистих волокон: 1 – збірник фільтрату; 2 – фланці;
3 – штуцер; 4 – корпус; 5 – пучок волокон;
в – плоскокамерний мембранний фільтр: 1 – осьова труба; 2 – корпус; 3 – ущільнюючі кільця; 4 –
блоки мембранних елементів; 5 – кришка; 6 – плита; 7 – розподільний диск; 8 – штуцер.

12. БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Окремо слід виділити біологічне очищення стічних вод у зв'язку з важливістю цього методу.

Біологічний метод є найбільш універсальним для очищення стічних вод від органічних забруднень. Він заснований на здатності мікроорганізмів використовувати різноманітні речовини, що містяться у стічних водах, як джерело живлення в процесі їхньої життєдіяльності. Задачею біологічного

очищення є перетворення органічних забруднень в нешкідливі продукти окислення – H_2O , CO_2 , NO_3^- , SO_4^{2-} та ін. Процес біохімічного руйнування органічних забруднень в очисних спорудах біологічного очищення відбувається під впливом комплексу бактерій і простих мікроорганізмів, що розвиваються в даній споруді.

Для правильного використання мікроорганізмів при біологічному очищенні необхідно знати фізіологію мікроорганізмів, тобто фізіологію процесу живлення, дихання, зростання та їхнього розвитку.

Всякий живий організм відрізняється від неживого наявністю обміну речовин, в процесі якого відбувається засвоєння живильних речовин і виділення продуктів життєдіяльності.

Основними процесами обміну речовин є живлення й дихання.

Біологічне очищення проводять в умовах, близьких до природних (поля фільтрації, біологічні ставки), а також у створених штучно (біологічні фільтри, аеротенки, метантенки).

У теперішній час біологічному очищенню піддається більшість промислових і побутових стічних вод перед їхнім скиданням у водоймища. Принцип біологічного очищення стоків полягає у тому, що за деяких умов мікроби здатні розщеплювати органіку до простих речовин, таких як вода, вуглекислий газ і т.ін.

Біологічні методи очищення стічних вод можуть бути розділені на два типи згідно з типами мікроорганізмів, що беруть участь у переробці забруднювачів стоків:

1. Аеробні біологічні методи очищення промислових і побутових стічних вод (мікроорганізмам при їхній життєдіяльності необхідний кисень);

2. Очищення стоків анаеробними мікроорганізмами (які живуть без кисню).

Методи очищення стічних вод за участі аеробних бактерій розділяються за типом місткості, в якій відбувається окислення стоків. Місткістю може бути і **біоставок**, і **біологічний фільтр**, і **поле фільтрації**. Проте сутність самого методу очищення стічних вод, а саме мінералізація органіки, залишається незмінною. У природних умовах очищення стічних вод відбувається на полях фільтрації і в біоставках.

Поля фільтрації – це спеціальні ділянки, відведені для скидання забруднених стічних вод і заселені ґрунтовими аеробними бактеріями. При попаданні в ґрунт шкідлива органіка стічних вод піддається окисленню мікроорганізмами з кінцевим утворенням вуглекислого газу і води. Одночасно з процесами переробки органіки стічних вод має місце синтез біомаси бактерій.

Аеробне окисдування **в біоставках** є процесом мінералізації органіки стічних вод і відбувається під дією бактерій, що живуть у воді. Біоставки є водними об'єктами, в яких створені сприятливі для життя мікроорганізмів умови, такі як мала глибина, велика кількість водоростей, що насичують воду киснем і т.ін. Будівництво біоставків може бути використане і для очищення виробничих стічних вод, і для очищення річок, що впадають у водосховища.

Перешкодою більш широкого використання біоставків і полів фільтрації є їхня сезонна робота, невелика продуктивність з очищення стоків, необхідність відведення крупних площ землі.

В процесі очищення стічних вод у *біологічних фільтрах* обробка стоків мікробами проходить у штучних спорудах. У даних спорудах протягом довгого часу можуть підтримуватися оптимальні параметри для життя мікроорганізмів – значення температури, рН, концентрації кисню у воді і т.ін. Очищення стічних вод в біологічних фільтрах імітує очищення мікроорганізмами стоків на ґрунті.

Біофільтри являють собою залізобетонні або цегляні резервуари, заповнені фільтруючим матеріалом, який укладається на дірчасте днище і зрошується стічними водами. Для завантаження біофільтрів застосовують шлак, щебінь, пластмасу і т.ін. На частинках даного матеріалу живуть колонії мікроорганізмів. При очищенні в біофільтрах на поверхні зерен фільтру сорбуються нерозчинені й колоїдні забруднення, утворюючи біологічну плівку, заселену мікроорганізмами. Потрапляючи на цю плівку, розчинені забруднення стічних вод окислюються. Відмерла плівка змивається стічною рідиною і виноситься з біофільтру, утворюючи так званий активний мул.

Біологічні фільтри легше обслуговувати, ніж аеротенки. Вони більш надійні і здатні переносити перевантаження з забруднення і об'єму стічних вод. Як для будь-яких біологічних співтовариств, для пристроїв біологічного очищення стоків існують граничні концентрації забруднень, при перевищенні яких мікроорганізми можуть загинути.

Очищення стічних вод в *аеротенках* аналогічне очищенню у водоймищах і на біофільтрах. Аеротенки є залізобетонні резервуари завдовжки 30-100 м і більше, завширшки 3-10 м і глибиною 3-5 м. Очищення стічних вод в аеротенках відбувається під впливом скупчень мікроорганізмів – аеробних бактерій (активного мулу). Для нормальної їхньої життєдіяльності в аеротенки подають повітря і живильні речовини. Бактерії там складаються у великі пластівці, які виділяють ферменти і мінералізують таким чином органічні забруднення. Очищена вода швидко відділяється від мулу, який разом з пластівцями осідає на дні та стінках. Щоб омолоджувати бактерійну масу мулу, у великій кількості потрібні амеби, інфузорії й джгутикові, які пожирали б бактерії, що не злипаються в пластівці.

Основну роль в очищенні стоків виконують аеробічні мікроорганізми активного мулу. **Активний мул** є сумішшю води і пластівців мулу. На вигляд активний мул нагадує дрібні пластівці гідроксиду заліза або алюмінію з кольором від біло-коричневого до темно-коричневого і навіть чорного. Пластівці складаються з великої кількості багаточисло розташованих бактерійних кліток, укладених у слиз.

З фізико-хімічної точки зору активний мул є аморфним колоїдом, що має в інтервалі значень $\text{pH}=4-9$ негативний заряд. Активний мул характеризується значною адсорбційною поверхнею, величина якої досягає 100 м^2 на 1 кг сухої речовини. Між пластівцями активного мулу розташовуються інші мешканці мулу, так звані індикаторні форми (інфузорії, коловертки, черв'яки та ін.) При

подачі стисненого повітря через аератори утворюються дрібні бульбашки повітря, з яких кисень переходить у суміш мулу, і перемішуючись, рівномірно розподіляється в ній. Потім розчинений кисень і органічні забруднення адсорбуються активним мулом і під дією ферментів, що виробляються мікроорганізмами, і кисню відбувається окислення складних органічних сполук до простих речовин: води, вуглекислого газу, нітрат-, сульфат-іонів і т.ін.

Активний мул є середовищем мешкання багатьох мікроорганізмів, які створюють складний біоценоз. Основну роль з біохімічного розкладання органічних речовин на прості речовини (CO_2 , N_2 , вода і т.ін.) виконують різні бактерії, які є основними представниками біоценозу активного мулу.

Окрім бактерій у біоценозі активного мулу беруть участь "прості" мікроорганізми, які в свою чергу "поїдають" і переробляють бактерії. Окремі класи "простих" є індикаторними (показовими), кількісне співвідношення яких характеризує якість активного мулу і весь процес біохімічного очищення. До таких індикаторних форм відносяться численні "прості" амеби, безбарвні джгутикові, інфузорії, коловертки.

Процес повного біологічного очищення протікає в три стадії. **На першій стадії**, одразу ж після змішування стічних вод з активним мулом, на його поверхні відбуваються адсорбція забруднюючих речовин і їхня коагуляція (укрупнення частинок, що несуть органічні речовини), причому, адсорбція забезпечується як хемосорбцією, так і біосорбцією за допомогою полісахаридного гелю активного мулу і завдяки величезній поверхні мулу, один грам якого займає 100 м^2 . Таким чином, на першій стадії очищення забруднюючі речовини в стічних водах видаляються завдяки механічному вилученню їх активним мулом з води і початку процесу біоокислення органіки, яка найлегше розкладається. Високий вміст забруднюючих речовин, що поступають зі стічною водою, сприяє на першій стадії високому поглинанню кисню, що призводить до практично повного споживання кисню в зонах надходження стічних вод в аеротенках. На першій стадії за 0,5-2 год. вміст органічних забруднюючих речовин, що характеризуються показником БПК_5 , знижується на 50-60%.

На **другій стадії** повного біологічного очищення продовжується біосорбція забруднюючих речовин і відбувається їхнє активне окислення екзоферментами (ферментами, що виділяються активним мулом в навколишнє середовище). Завдяки зниженню концентрації забруднюючих речовин починає відновлюватися активність мулу, яка була пригнічена до кінця першої стадії очищення. Швидкість споживання кисню на цій стадії менша, ніж на початку процесу, і у воді накопичується розчинений кисень. У разі успішного здійснення другої стадії екзоферментами окислюється до 75% органічних забруднюючих речовин, що характеризуються показником БПК_5 . Тривалість цієї стадії різна в залежності від складу стічних вод, що очищаються, і складає від 2 до 4 год.

На **третьій стадії** очищення відбувається окислення забруднюючих речовин ендоферментами (усередині клітки), доокислення сполук, які важко окислюються, перетворення азоту амонійних солей на нітрити й нітрати,

регенерація активного мулу. Саме на цій стадії (стадії внутрішньоклітинного живлення активного мулу) відбувається утворення полісахаридного гелю, що виділяється бактерійними клітками. Швидкість споживання кисню знову зростає. Загальна тривалість процесу в аеротенках складає 6-8 год. для побутових і може збільшуватися до 10-20 і більше годин при сумісному очищенні побутових і виробничих стічних вод. Тривалість третьої стадії, таким чином, складає від 4-6 год. при очищенні побутових стічних вод і може подовжуватися до 15 год.

Благополуччя фази ендogenous живлення визначається величиною навантаження, віком активного мулу і часом перебування його в аеротенках. Збільшення віку активного мулу, часу його перебування в системі очищення, падіння питомого навантаження на нього продовжує фазу ендogenous живлення і створює сприятливий режим для її протікання, завдяки чому відбувається активне гелеутворення, укрупнення пластівців активного мулу, поліпшення його флокуляційних властивостей. Раптове збільшення навантаження, скорочення віку, токсичні речовини, присутні у воді, що поступає на очищення, впливають на процес ферментаційного окислення в цілому і на фазу ендogenous живлення. Таким чином, флокуляція пластівців, а, отже, ефективність очищення, залежить від характеристик стічних вод, умов ведення технологічного процесу очищення і від дії гідродинамічних сил в аеротенку.

Для біологічного очищення стічних вод за допомогою анаеробних бактерій використовують *метантенки* – резервуари місткістю до кількох тисяч м³. В них, як і в аеротенках, відбувається мінералізація органічних речовин, які відділяються у відстійниках.

Аналіз, проведений щодо економічної ефективності роботи станцій біологічного очищення, що найбільш екологічно безпечною є анаеробно-аеробне очищення стоків.

Переваги біологічного методу очищення – можливість видаляти зі стічних вод різноманітні органічні сполуки, зокрема токсичні, простота конструкції апаратури, відносно невисока експлуатаційна вартість. До **недоліків** слід віднести високі капітальні витрати, необхідність строгого дотримання технологічного режиму очищення, токсична дія на мікроорганізми деяких органічних сполук і необхідність розбавлення стічних вод у разі високої концентрації домішок.

Капітальні затрати пов'язані зі спорудженням резервуарів (відстійників, біологічних ставків, аеротенков), в яких вода витримується досить тривалий час. Слід враховувати також, що біологічні процеси інтенсивно протікають тільки влітку (за 30-40 діб), а взимку вони сповільнюються або зовсім припиняються. Тому очисні споруди не гарантують повністю чистоти, збереження або відновлення екологічної рівноваги у водоймищах, куди скидається вода після очищення.

Глава II. ОБРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН

До технологічних рідин* відносяться, головним чином, вода, нафта** і нафтопродукти, а також мийні розчини.

13. ОБРОБКА ВОДИ

Об'єм споживаної в світі води досягає 4 трлн. м³ на рік, а перетворенню з боку людини піддається практично вся гідросфера. Так, при отриманні ядерної енергії в США залучається до використання майже половина всіх водних ресурсів країни. Радіоактивне й теплове забруднення може поставити під загрозу їхнє застосування в господарсько-побутових і промислових цілях.

Хімічна і нафтохімічна галузі промисловості сприяють проникненню у водне середовище речовин, відсутніх у природній воді, або перевищенню природного рівня їхньої концентрації, погіршуючи якість середовища.

За час існування людства в природне середовище було введено близько мільйона нових речовин (всього відомо понад 6 млн. хімічних сполук). Щорічно в світі синтезується близько 250 тис. нових хімічних речовин, багато з яких одержує широке застосування і може поступати в навколишнє середовище. У практиці використовується 500 тис. хімічних сполук, з них за оцінкою міжнародних екологічних організацій, близько 40 тис. мають шкідливі для людини властивості, а 12 тис. є токсичними.

Шкідливі хімічні елементи й речовини потрапляють у водоймища, погіршуючи їхній санітарний стан і викликаючи необхідність спеціального глибокого очищення води перед використанням її для господарсько-питних і деяких промислових цілей.

* Немає чіткого визначення поняття «технологічна рідина». В Internet-ресурсах одні й тіж самі рідини часто відносять як до технологічних, так і до технічних, і в основному як технологічні називають допоміжні речовини, які служать для прискорення технологічних операцій. До них відносять змащувально-охолоджуючі рідини (ЗОР) (<http://osvarke.info/192-konstrukcionnye-masla-i-technologicheskie-zhidkosti.html>).

Згідно з <http://www.edudic.ru/hie/5030/> технічними рідинами називають малов'язкі рідини, призначені для забезпечення виконання машинами і механізмами робочих функцій. Загальним для всіх технічних рідин є відсутність вимог до мастильних властивостей. За призначенням технічні рідини підрозділяють на амортизаторні, рідини проти обledenіння, гідравлічні, охолоджуючі, промивальні, пускові, розділові, змащувально-охолоджуючі і гальмівні. Як бачимо з порівняння двох джерел, змащувально-охолоджуючі рідини відносять як до технологічних, так і до технічних.

Вчені Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова вважають, що основними технологічними рідинами є вода і нафтопродукти, причому, до нафтопродуктів відносять мастила, гідравлічні рідини, палива, масляні шлами тощо.

** Щодо приналежності нафти до технологічних рідин можна посперечатися, але ми вирішили включити переробку нафти у даний посібник у зв'язку з тим, що продукти її переробки однозначно відносять до технологічних рідин, і студенти можуть отримати відомості щодо отримання компонентів таких рідин, зокрема, масел. Матеріал, пов'язаний з переробкою нафти, не є обов'язковим для вивчення.

13.1. Використання води та вимоги, що пред'являються до неї

Значення води для побутових потреб загальновідоме.

У виробництві вода – сировина, хімічний реагент, розчинник, тепло- і холодоагент. Наприклад, з води отримують водень різними способами, водяну пару для теплової енергетики; вода є реагентом у виробництві багатьох органічних та неорганічних речовин.

Вода – дешевий, доступний, негорючий розчинник.

Як теплоносії вода використовується в різних системах теплообміну.

Теплота фазового переходу рідина-пара для води значно вища, ніж для інших речовин, тому пара води, що конденсується, є найбільш розповсюдженим теплоносієм. Водяна пара і гаряча вода мають значні переваги перед іншими теплоносіями: висока теплоємність, простота регулювання температури у залежності від тиску, висока термічна стійкість. Вода служить для охолодження елементів технологічних агрегатів, охолодження пари, рідких і газоподібних продуктів у холодильниках і конденсаторах. Для економії використовують оборотну воду (що використана і знову повертається у виробництво).

До води, що застосовується для різних цілей, висуваються різні вимоги. Так, вода, що використовується для побутових потреб і у харчовій промисловості, не повинна містити шкідливих для організму людини домішок. Охолодна вода не повинна давати відкладень у трубах і камерах, по яких вона проходить; у ній не повинні знаходитися крупні частинки неорганічних забруднень (пісок). Вода для потреб паросилового господарства не повинна містити домішок, що можуть спричиняти відкладення осадів, спінювання котлової води, віднесення солей з парою і корозію металу.

13.2. Види води

Розрізняють природну, стічну і денатуровану воду. Природна вода – це вода, яка якісно і кількісно формується під впливом природних процесів за відсутності антропогенної дії і якісні показники якої знаходяться на природному середньобаторічному рівні. Стічна вода – це вода, що була в побутовому, виробничому або сільськогосподарському вживанні, а також що пройшла через якусь забруднену територію, зокрема населеного пункту. Природна вода, що піддається антропогенному забрудненню, наприклад, шляхом змішування із стічною водою, називається денатурованою або природно-антропогенною.

Природні води містять різні домішки мінерального й органічного походження. Мінеральні – гази азот N_2 , кисень O_2 , вуглекислий газ CO_2 , сірководень H_2S , метан CH_4 , аміак NH_3 , розчинені у воді солі, кислоти й основи, які знаходяться у вигляді катіонів: Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} і аніонів: HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , $HSiO_3^-$, F^- , NO_3^- , CO_3^{2-} та ін. До органічних домішок відносяться колоїдні частинки білкових речовин. Склад і кількість домішок залежить від походження води. Розрізняють атмосферні, поверхневі та підземні води.

Атмосферна вода – вода дощових та снігових опадів. Має невелику кількість домішок. Містить розчинені гази, а солі майже повністю відсутні.

Поверхневі води – води річок, озер, морів – відрізняються різноманітним складом домішок: гази, солі, основи, кислоти. Найбільшим вмістом мінеральних домішок відрізняється морська вода.

Підземні води – води артезіанських свердловин, криниць, гейзерів – характеризуються різноманітним складом розчинених солей, котрий залежить від складу ґрунтів та гірських порід; домішки органічних речовин повністю відсутні.

До речі, Херсон користується артезіанською водою з 1957 р.

Якість води визначається її фізичними й технічними характеристиками, такими як прозорість, колір, запах, температура, загальний вміст солей, жорсткість, здатність до окислення і реакція середовища.

13.3. Основні характеристики води

У промисловому водовикористуванні розрізняють воду прісну, що містить в 1 л менше 1 г солей, і солону, з вмістом солей більше 1 г.

Сухий залишок (СЗ) характеризує вміст розчинених і колоїдних неорганічних і частково органічних твердих домішок, виражений в мг/л. Він визначається як висушений при 110°C до постійної маси залишок після упарювання профільтрованої кразь щільний паперовий фільтр води.

Загальний солевміст (ЗС) характеризує загальну кількість мінеральних речовин, розчинених у даній воді, виражений в мг/л. Він є підрахованою за іонним складом загальною концентрацією солей у воді. Солевміст, як правило, менше розчиненого залишку води, оскільки останній включає також колоїдно-дисперсні речовини, які не є істинно розчинними речовинами.

Жорсткість води характеризує вміст у ній кальцієвих і магнієвих солей, що обумовлюють накипоутворюючу властивість. Розрізняють жорсткість загальну, тимчасову (карбонатну) і постійну (некарбонатну). Загальна жорсткість являє собою суму тимчасової й постійної жорсткості. Загальна жорсткість характеризує сумарний вміст у воді кальцієвих і магнієвих солей: сульфатів – CaSO_4 і MgSO_4 , хлоридів – CaCl_2 і MgCl_2 , нітратів – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ і $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, силікатів – CaSiO_3 і MgSiO_3 , фосфатів – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ і $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$, гідрокарбонатів (бікарбонатів) – $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Тимчасова жорсткість характеризує вміст у воді бікарбонатів кальцію і магнію. Постійна жорсткість характеризує вміст усіх названих солей кальцію й магнію за винятком гідрокарбонатів. У чисельному відношенні величина жорсткості води виражається через концентрацію у воді відповідних іонів розчинених речовин, виражених в еквівалентних одиницях, тобто в мекв/л:

$$Ж_{\text{заг.}} = \frac{\text{Ca}^{2+}}{20,04} + \frac{\text{Mg}^{2+}}{12,16}, \text{ мекв/л,}$$

де Ca^{2+} і Mg^{2+} – концентрації у воді катионів кальцію і магнію, мг/л;
20,04 і 12,16 – їхні еквівалентні маси, мг/мекв.

Величина карбонатної жорсткості дорівнює вираженій в еквівалентних одиницях концентрації у воді аніонів бікарбонатів кальцію та магнію, тобто,

$$Ж_{карб.} = \frac{HCO_3^-}{61,02}, \text{ мекв./л.}$$

де HCO_3^- – концентрація у воді аніонів бікарбонатів кальцію та магнію, мг/л;
61,02 – їхня еквівалентна маса, мг/мекв.

Величина постійної (некарбонатної) жорсткості дорівнює:

$$Ж_{пост} = Ж_{заг} - Ж_{карб.}, \text{ мекв./л.}$$

В залежності від вмісту цих іонів розрізняють воду дуже м'яку (до 1,5 мекв./л), м'яку (1,5-3), помірно жорстку (3-6), жорстку (6-10) і дуже жорстку (більше 10 мекв./л). Зм'якшування води полягає у зв'язуванні іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} за допомогою реагентів у нерозчинні сполуки і ті, що легко видаляються. Для цього застосовують хімічні (вапняний, содовий, фосфатний), а також фізико-хімічні (наприклад, іонообмінний) способи, які розглядаються при підготовці котлової води (див. далі).

Окислюваність води обумовлена вмістом органічних домішок і визначається кількістю перманганату калію, витраченого на їхнє окислення при кип'ятінні 1 л води з надлишком $KMnO_4$ протягом 10 хв.

Кислотність води характеризується концентрацією водневих іонів. Її визначають за допомогою індикаторів або приладів (рН-метр). При $pH < 6,5$ вода вважається кислою, при $pH > 7,5$ – лужною.

Лужність води характеризує вміст у ній лужних солей, таких як карбонати, бікарбонати, фосфати та деякі інші. Величина лужності води дорівнює сумарній концентрації у ній гідроксильних, карбонатних, бікарбонатних, фосфатних та інших аніонів слабких кислот, виражена у мекв./л. В залежності від аніонів, що обумовлюють лужність, розрізняють: гідратну лужність, обумовлену концентрацією у воді гідроксильних аніонів OH^- , карбонатну лужність (аніони CO_3^{2-}), бікарбонатну лужність (HCO_3^-).

Кремневіст характеризує загальну концентрацію у воді сполук кремнію, що знаходяться у воді в молекулярній та колоїдній формі. Умовно кремневіст перераховують на SiO_2 або SiO_3^{2-} і виражають у мг/л.

Вміст корозійноактивних газів у воді характеризують вмістом у воді кисню і вуглекислого газу, виражене в мг/л.

13.4. Водопідготовка

Водопідготовка – видалення з води більшості домішок – починаючи від зважених частинок і закінчуючи солями металів. Інакше кажучи, водопідготовка – процес приведення будь-якої води до стандартів, які вимагають і здоров'я людей, і робота різних видів обладнання. Ці вимоги різні, і якщо побутова водопідготовка обмежується лише зм'якшуванням води до необхідного рівня, промислова водопідготовка у багатьох випадках усуває домішки практично повністю.

При підготовці води найчастіше використовують такі методи (порівняйте з класифікацією с. 8):

фізичні:

відстоювання;

фільтрування;

хімічний:

пом'якшення (видалення солей головним чином кальцію та магнію):

фізико-хімічні:

дегазація (або деаерація – сорбційний метод);

іонний обмін та ін. – див. рис. 13.1.

З погляду водопідготовки, найзагальнішими й найхарактернішими ознаками забруднюючих воду речовин є форми знаходження їх у воді. Виходячи з цього, **академіком АН УРСР професором Л.А.Кульським** була запропонована класифікація домішок води, заснована на їхньому фазовому стані й дисперсності. Ця класифікація має широке практичне застосування, оскільки дає прийнятне обґрунтування технологічним прийомам водообробки і переслідує мету упорядкувати вибір оптимальних методів очищення і технологічних схем.

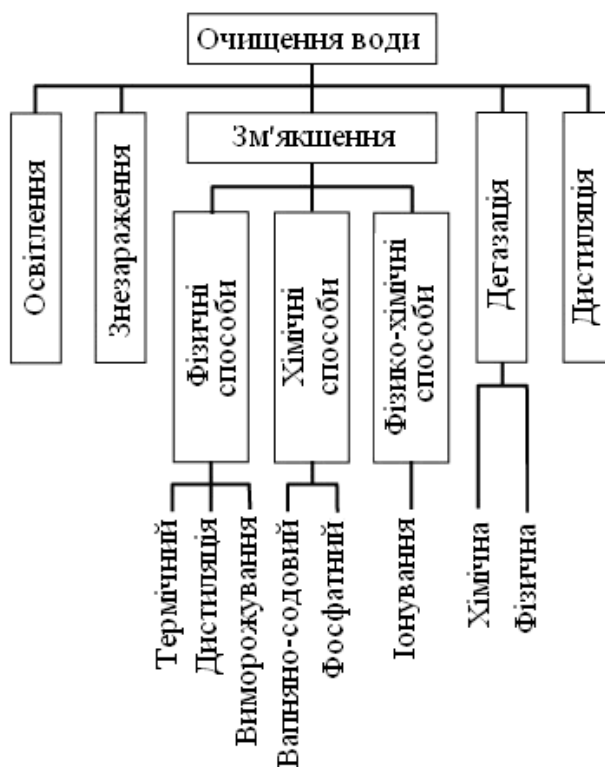


Рис. 13.1. Схема очищення води.

Всі домішки ним були розділені на **чотири групи**.

Домішки першої групи – нерозчинні у воді тверді або рідкі частинки, що утворюють з водою суспензії та емульсії (а також планктон і бактерії), які кінетично нестійкі й знаходяться у зваженому стані завдяки гідродинамічній дії водного потоку. В стані спокою ці зважені речовини випадають в осад.

Домішки другої групи – гідрофобні й гідрофільні органічні та мінеральні колоїдні частинки, а також нерозчинні й недисоційовані форми гумусних речовин, детергенти та віруси, які за своїми розмірами близькі до колоїдних домішок.

Домішки третьої групи – молекулярно-розчинні речовини (органічні сполуки, розчинні гази і т.ін.).

Домішки четвертої групи – речовини, що дисоціюють на іони.

Як вже відмічалось, використання води для різних потреб у відповідності з вимогами до неї диктує певні особливості у її підготовці. Розглянемо найбільш поширені способи підготовки води для потреб населення та деяких виробничих галузей.

13.4.1. Обробка питної води та води для харчової промисловості

Склад і властивості питної води, і тієї, що споживається підприємствами харчової промисловості, незалежно від типу вододжерела, способу обробки води і конструктивних особливостей водогінної мережі повинні відповідати вимогам **ДСТУ 2874–91** «Вода питна». Відповідно до нього якості води визначається трьома групами показників: бактеріологічними, наявністю токсичних хімічних речовин і органолептичними.

Бактеріологічні показники характеризують безпеку води в епідемічному відношенні і виражаються через непрямі показники – ступінь загального бактерицидного забруднення і вміст бактерій групи кишкової палички. До них відносяться грамнегативні, які не створюють спор, палички, що зброджують лактозу з утворенням кислоти і газу при $37,0(\pm 0,5)^{\circ}\text{C}$ протягом 24-48 год. або ті, що зброджують глюкозу з утворенням кислоти і газу при $37,0(\pm 0,5)^{\circ}\text{C}$ протягом 24 год. і не мають оксидазної активності.

За бактеріологічними показниками вода, що подається у водогінну мережу і поступає до споживачів через зовнішні водорозбори і крани внутрішніх водогінних мереж, повинна відповідати таким нормам:

Загальна кількість бактерій в 1 мл нерозведеної води, не більше.....	100
Кількість бактерій групи кишкової палички (ДСТУ 18 963–91):	
визначуване на щільному елективному середовищу із застосуванням	
концентрацій бактерій на мембранних фільтрах в 1 л води (колі-індекс), не	
більше.....	3
при використанні рідких середовищ накопичення (колі-титр), не менше.....	300

Показники наявності токсичних хімічних речовин встановлюють допустимі концентрації речовин: які зустрічаються в природних водах; що додаються у воду в процесі її обробки як реагенти; тих, що з'являються в результаті промислового і сільськогосподарського забруднення. До токсичних речовин відносяться миш'як, нітрати, свинець, селен, поліакриламід, фтор та ін. Строго регламентується також вміст радіоактивних елементів.

Органолептичні показники води – запах, присмак, колір, каламутність. Вони обумовлені присутністю речовин, що зустрічаються в природних водах або додаються в процесі обробки води (хлориди, сульфід, цинк, мідь, залізо,

марганець та ін.), а також наявністю органічних домішок. Нормативні значення органолептичних показників наведені нижче:

Запах при 20°C і при підігріванні води до 60°C, бали, не більше.....	2
Присмак при 20°C, бали, не більше.....	2
Кольоровість за платино-кобальтовою або імітуючою шкалою, град., не більше.....	20
Каламутність за стандартною шкалою, мг/л, не більше.....	1,5

Вода не повинна містити таких водних організмів, що розрізняються неозброєним оком і мати на поверхні плівку. Специфічні запах і присмак, що з'являються при хлоруванні, за інтенсивністю не повинні перевищувати 1 балу. Допускається водневий показник рН = 6,5-8,5.

Пред'являються також вимоги щодо солевмісту, жорсткості, окислюваності та лужності води.

Водопостачання харчових підприємств складається з двох потоків: **технологічної води**, вимоги до якої стандартизовані, і **технічної**, яка поступає на виробництво безпосередньо з водоймищ і артезіанських свердловин. Населенню подають тільки технологічну воду.

Технічна вода підрозділяється на три категорії. Вода І категорії використовується як теплоносії для охолодження машин і апаратів, II – як середовище, поглинальна і транспортуюча домішка при безпосередньому контакті з продуктом (в процесі миття), III – тільки як засіб транспортування (гідротранспортування відходів на мясо- і птахокомбінатах, молочних заводах) (табл. 13.1).

Таблиця 13.1

Вимоги до технічної води І і II категорій

Показник	Категорія	
	I	II
Концентрація зважених речовин, мг/л	100 (короткочасно 200)	1000
Запах, балів	3	3
Загальна жорсткість, мг-екв./л	7	-
Загальна лужність, мг-екв./л	4	-
БПК*, мг/л	20	20-50

*БПК – біологічна потреба кисню (детальніше – с. 179).

Показники якості для технічної води III категорії не нормуються, а технічна вода І і II категорій, крім специфічних вимог, повинна відповідати загальним, вказаним в табл. 2.1. Наведені значення є гранично допустимими концентраціями забруднень.

13.4.2. Підготовка води для міського господарства

Першою операцією підготовки води є додавання до неї потрібної кількості сульфату алюмінію, який спричиняє **коагуляцію** домішок і тим сприяє їхньому наступному **осадженню** у відстійнику. Вода, що відстоялася, **фільтрується** крізь товстий шар піску, потім **знезаражується** хлоруванням або озонуванням і після цього подається у водогінну мережу (окремі стадії розглянуті у відповідних розділах).

Наявність у воді хвороботворних мікроорганізмів і вірусів робить її не придатною для господарсько-питних потреб, а присутність у воді деяких видів мікроорганізмів (наприклад, нитчастих, зооглейних, сульфато-відновлюючих бактерій, залізобактерій) спричиняє біологічне обростання, а іноді руйнування трубопроводів і устаткування для водопідготовки й водопостачання. Знезараження води здійснюють, в основному, шляхом хлорування її рідким або газоподібним хлором Cl_2 , гіпохлоритами – NaClO , $\text{Ca}(\text{ClO})_2$. Для знезараження води застосовують також озон O_3 і ультрафіолетове опромінювання.

13.4.3. Водопідготовка для котелень

13.4.3.1. Вимоги, що пред'являються до якості води для парових котлів

На сьогоднішній день вода залишається найдоступнішим і найдешевшим теплоносієм, що обумовлює її застосування в системах нагріву. У сфері котельного устаткування часто використовується саме хімічна водопідготовка (ХВО). Ця технологія має на увазі застосування не тільки хімічних методів очищення води для котлів, але й інших сучасних методів, що дозволяють подовжити термін служби котельного устаткування та істотно знизити експлуатаційні затрати.

При експлуатації котельного устаткування виникають складнощі внаслідок наявності у воді домішок – як нерозчинних, так і розчинених у воді, але здатних утворювати осади, у тому числі домішок з корозійною активністю. Кожний зі вказаних видів забруднень здатний понизити ефективність роботи водогрійної системи або вивести її з ладу. Частими проблемами, що виникають при використанні непідготовленої води, є поламки насосного устаткування, пошкодження трубопроводів і зменшення їхнього перерізу, поламки трубопровідної арматури, теплообмінників і нагрівальних елементів.

Основним ворогом теплової системи є накип, обумовлений підвищеною жорсткістю води.

Другим несприятливим чинником є хімічна й електрохімічна корозія. Вона виникає внаслідок неповного видалення з води домішок заліза та марганцю.

При розгляді ХВО для котлів необхідно враховувати, що вони бувають водогрійними та паровими. Відповідно висуваються різні вимоги до показників якості води, які обумовлюють методи рішення задачі водопідготовки для котлів.

Вода, яка використовується в котельних для отримання пари, на різних етапах виробничого процесу має різну назву. Природну воду, одержувану з джерел водопостачання (річок, артезіанських свердловин, водогонів), називають *початковою* водою; воду, що додається в котел для перетворення на пару, – *живильною*; воду, що знаходиться в котлі і випаровується в процесі отримання пари – *котельною*; воду, що випускається з котла для підтримання належного водного режиму в ньому – *продувочною*.

Вода в своєму кругообігу в природі, стикаючись з ґрунтом і атмосферою, уносить на своєму шляху різні мінеральні гази. В результаті в природній воді завжди містяться зважені й розчинені тверді речовини і розчинені гази. Тверді речовини, що містяться у воді, за ступенем їхньої дисперсності розділяють на механічно зважені домішки, що складаються з мінеральних та іноді органічних частинок, розміром від 0,5 мікрон і більше, колоїднорозчинні речовини, що складаються з частинок розміром від 0,5 мікрони, та істинно розчинені речовини.

Переважає більшість твердих речовин, істинно розчинених у воді, являє собою електроліти, тобто речовини, молекули яких у водному середовищі розпадаються на іони.

Основними показниками, що характеризують якість живильної і котельної води, є сухий залишок, загальний солевміст, жорсткість, лужність, вміст кремнієвої кислоти і вміст корозійно активних газів.

Сира вода для живлення котлів не годиться. Внаслідок присутності мінеральних домішок котел, що живиться сирою водою, швидко заростає накипом, труби забиваються, а внаслідок наявності корозійноактивних газів обладнання і трубопроводи починають кородувати. Тому забезпечення потрібної якості живильної води має виключно велике значення для досягнення надійної й безпечної експлуатації котельних агрегатів. Найкращу живильну воду отримують з пари, яка конденсується в конденсаторах парових турбін електростанцій. При щільних конденсаторах такий конденсат містить дуже малу кількість мінеральних домішок, оскільки останні в процесі випаровування котлової води у пару майже не переходять. Однак конденсат не забезпечує повністю потребу котельних агрегатів у живильній воді, оскільки пара і вода частково втрачаються з циклу і потрібне поповнення відповідною кількістю додаткової води. На конденсаційних електростанціях ця втрата невелика, зазвичай не перевищує 2-3%, але на ТЕЦ, де часто пара для виробництва назад у вигляді конденсату не повертається, втрати пари з циклу можуть бути дуже значними (до 40-60% від кількості води у циклі).

Додаткова вода є джерелом надходження в цикл мінеральних домішок, тому перед подачею у цикл вона повинна бути найретельніше від них очищена. Однак у водопом'якшувальній установці не можна видалити з води абсолютно усі розчинені у ній мінеральні речовини – як би ретельно не була пом'якшена додаткова вода, у ній залишається невелика кількість розчинених солей. Потрапляючи у котел, домішки поступово накопичуються у котловій воді, оскільки в процесі випаровування води вони майже не переходять у пару. При цьому для сполук з низькою розчинністю (сульфат-карбонат кальцію, гідроксид магнію) настає стан насичення, при якому надлишкові кількості речовин, що містяться у воді, випадають з розчину у вигляді кристалів. Центрами кристалізації служать шорсткості на поверхні нагріву, а також зважені та колоїдальні частинки, що знаходяться у котловій воді. Речовини, котрі кристалізуються безпосередньо на поверхнях нагріву у вигляді щільних відкладень, утворюють *накип*. Речовини, що кристалізуються в об'ємі котлової води, утворюють зважені частинки, які називаються *шламом*.

Найбільш поширені кальцієві та магнієві накипи, у складі яких переважають CaSO_4 ; CaSiO_3 ; $5\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; CaHCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Накип, як правило, має низький коефіцієнт теплопровідності, який складає 0,42-8,4 кДж/(м·год·град), тому навіть тонкий шар накипу призводить до різкого підвищення температури металевої поверхні нагріву котельних агрегатів. При цьому у високотемпературних поверхнях нагріву (екрани, фестони, перші ряди кип'ятильних труб конвективного пучка) ця температура у міру збільшення товщини шару накипу може перейти через граничну за умовами для металу, після чого почнеться поступова деформація металу з наступним руйнуванням труби.

Зі сказаного випливає, що експлуатацію барабанного котла слід вести таким чином, щоб виключити можливість випадання з котлової води накипоутворюючих солей і утворення накипу. Для цього необхідно, щоб концентрація накипоутворюючих солей у котловій воді не перевищувала концентрації, при якій почнеться їхнє випадання з розчину. Цього досягають, проводячи продувку котла, тобто, спускають з нього деяку кількість котлової води, щоб разом з цією водою видалити з котла точно таку ж кількість солей, яка поступає в нього разом з живильною водою. В результаті кількість солей, що міститься у котловій воді, стабілізується на певному рівні, і тим самим виключається небезпека надмірного накопичення солей у котлі й випадання їх з розчину. Оскільки солевміст котлової води у багато разів перевищує солевміст живильної води, то стабілізація сольового балансу котла практично досягається продувкою усього лише 2-3% поданої в котел води.

Повністю уникнути утворення накипу на поверхні нагріву тільки шляхом поліпшення якості води вдається не завжди. Необхідно ще підтримувати потрібну якість котлової води. Для цього в котел вводять натрієві солі фосфорної кислоти, головним чином, тринатрійфосфат Na_3PO_4 , завдяки чому в котловій воді з'являється надлишок фосфат-іонів, який повинен складати 7-15 мг/л PO_4^{3-} . За цих умов сполуки кальцію та магнію виділяються не у вигляді накипу, а у вигляді рухливого шламу, який не прилипає до поверхонь і легко видаляється з котла продувкою.

Норми якості живильної води для котлів різних тисків наведені у табл. 13.2.

Таблиця 13.2

Норми якості живильної води для парових котлів

Показник	Одиниця виміру	Барабанні котли з тиском, ата				Прямотечійні котли
		до 16	16-31,5	31,5-100	100-185	
Жорсткість загальна	мекв/л	0,3	0,02	0,01	0,005	0,030
Кремнієва кислота в перерахунку на SiO_2^{2-}	мг/л	не нормується				0,020
Розчинений кисень	мг/л	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01

Єдиних норм якості котлової води для барабанних котлів не існує. Допустимі граничні значення солевмісту, жорсткості, кремневісту і лужності котлової води залежать від багатьох чинників: типу й конструкції парового

котла, тиску пари в котлі, характеру випаровування (одно- або двоступінчасте) і т.ін. Орієнтовні значення основних характеристик котлової води для різних котлів наведені у табл. 13.3.

Таблиця 13.3

Орієнтовні граничні значення характеристик котлової води для різних котлів

Показник і одиниця виміру	Промислові котли під тиском до 14 ата	Екранні котли без ступінчастого випаровування при тиску, ата			Екранні котли з двоступінчастим випаровуванням (у сольовому відсіку) при тиску, ата			Екранні котли з двоступінчастим випаровуванням і барботажною промивкою пари випаровуванням (у сольовому відсіку) при тиску, ата	
		до 40	100	140	до 40	100	140	100	140
Солевміст, мг/л	4000- 5000	1200- 1500	200- 600	150- 300	3000- 5000	3000	1500	4000	2500
Кремневміст в перерахунку на SiO_2^{2-} , мг/л	-	-	1,0- 2,0	0,3- 0,5	-	10	4	50	15
Лужність, мекв/л	20	9-12	2-4	1-2	14	5-6	3-5	-	-

13.4.3.2. ХВО для парових котлів

Як вже наголошувалося, сира вода не може бути використана як додаткова до конденсату при живленні парових котлів; вона повинна бути заздалегідь очищена від грубодисперсних і колоїдних домішок та накипоутворюючих солей, а також звільнена від розчиненого повітря.

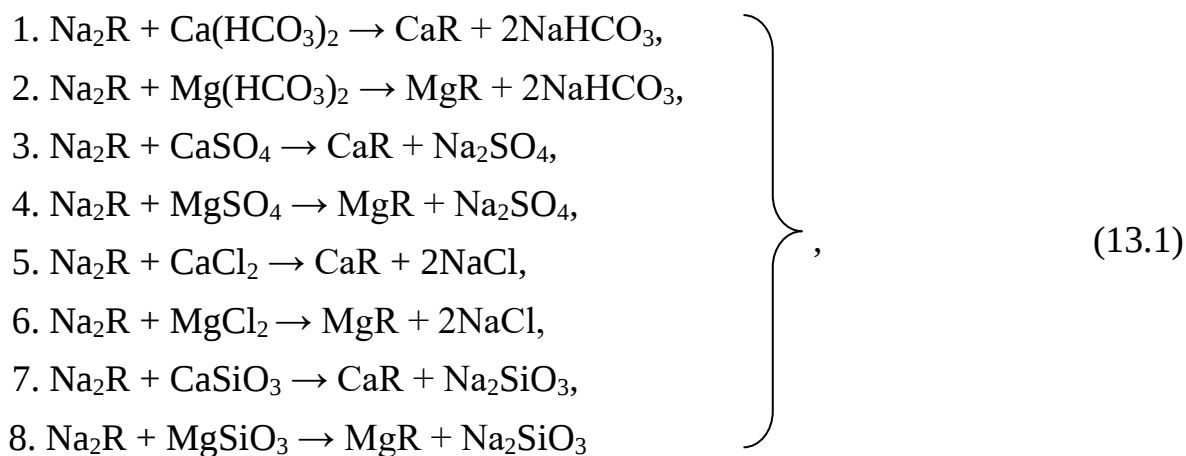
Грубодисперсні домішки видаляють з води або її відстоюванням в особливих відстійних резервуарах, або фільтрацією, тобто пропусканням через шар зерненого кварцу, що затримує грубодисперсні домішки. У багатьох випадках процеси відстоювання і фільтрацію води об'єднують. Основна маса грубодисперсних домішок відділяється у відстійниках, а більш глибоке освітлювання води проводиться на фільтрах, включених за відстійниками.

Колоїдні домішки фільтрацією й відстоюванням не відділяються. Для видалення колоїдних домішок воду піддають коагуляції, тобто обробці сірчаноокислим алюмінієм (коагуляція), в результаті чого колоїдні домішки перетворюються на грубодисперсні, які відділяються від води відстоюванням або фільтрацією (див. розділ «Коагуляція і флоатція»).

Видалення з води накипоутворюючих солей, тобто її зм'якшування, здійснюють в даний час найчастіше шляхом катіонного обміну. При цьому способі катіони кальцію і магнію витягують спеціальним поглиначем (катіонітом), крізь який вода фільтрується, а замість них у воду поступають катіони натрію або водню. Обмін катіонів відбувається в еквівалентних кількостях і підкоряється закону діючих мас. Залежно від того, який іон

катіоніту обмінюється з іоном води (натрій або водень), розрізняють Na-катіонування та H-катіонування (див. розділ «5. Іонообмінний метод»).

При зм'якшуванні води з невеликою карбонатною жорсткістю застосовують Na-катіонування. При зм'якшуванні протікають такі реакції:



де символом R позначена складова частина катіонітового матеріалу, що бере участь у катіонному обміні (так звана функціональна група, найчастіше SO_3H , COOH , OH).

В процесі катіонування солі жорсткості майже повністю видаляються з води – залишкова жорсткість зм'якшеної води не перевищує зазвичай 0,2-0,5 мекв/л. Проте, оскільки солі магнію і кальцію замінюються у воді еквівалентною кількістю аналогічних солей натрію (які не створюють накипу), солевміст катіонованої води в порівнянні з солевмістом початкової води не зменшується. Лужність води, що пройшла Na-катіонітовий фільтр, помітно підвищується, оскільки при катіоновому обміні вся карбонатна жорсткість початкової води перетворюється на бікарбонат натрію [рівняння 1 і 2 з групи (13.1)]. Підвищена лужність живильної води може спричиняти спінування котельної води; тому надмірну лужність катіонованої води нейтралізують сірчаною або фосфорною кислотою.

В процесі зм'якшування води відбувається виснаження катіоніту. Для відновлення зм'якшуючої здатності катіоніт піддають регенерації, відключаючи фільтр і пропускаючи через нього 8-10%-ний розчин кухонної солі. При цьому поглинені катіонітом іони Ca^{2+} і Mg^{2+} переходять у розчин, витісняючись іонами Na за реакціями:

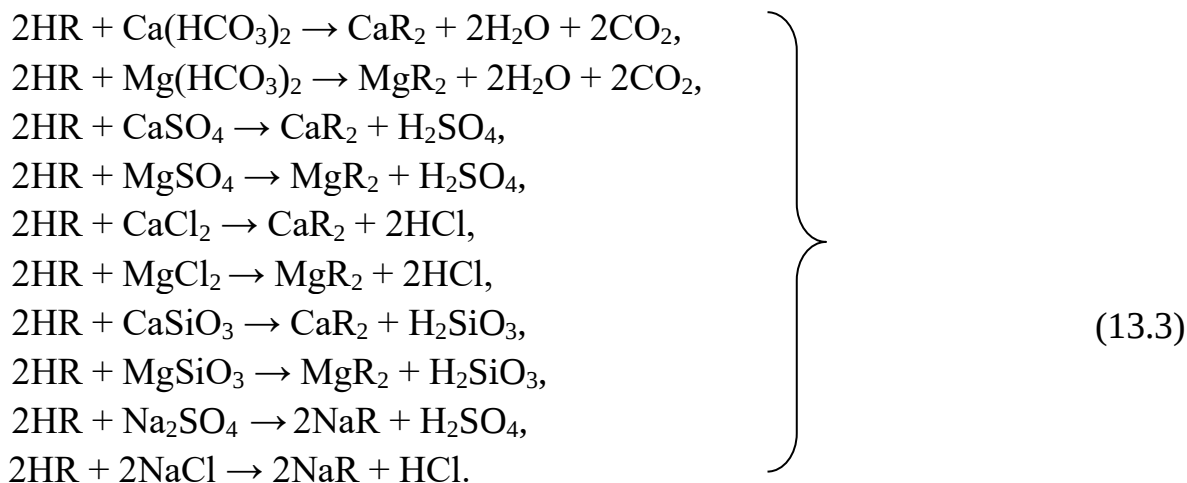


Хлориди CaCl_2 і MgCl_2 добре розчинні у воді, а тому видаляються з фільтру з промивальною водою у скидний канал. Регенерація повністю відновлює реактивну здатність катіоніту, і в практичних умовах завантажений у фільтр катіоніт може прослужити декілька років.

Як катіоніт в даний час зазвичай застосовують сульфовугілля, яке являє собою роздроблений і розсіяний по фракціях антрацит, оброблений сірчаною кислотою і потім кухонною сіллю. Основною характеристикою зм'якшувачів властивостей катіоніту є його обмінна здатність, що являє кількість грам-

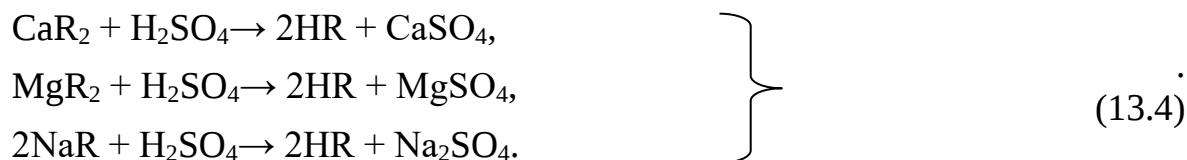
еквівалентів солей жорсткості, яку може поглинути між регенераціями 1 м³ катіоніту. Для сульфовугілля величина обмінної здатності складає 280-300 мекв/м³.

При зм'якшуванні вод з великою карбонатною жорсткістю застосовують Н-катіонітові фільтри. Процес зм'якшування протікає за реакціями:



Кислоти CO_2 , H_2SO_4 , HCl , H_2SiO_3 залишаються у воді в розчиненому вигляді, а сполуки CaR_2 , MgR_2 , NaR поступають до складу катіонітового матеріалу. У воді, що пройшла Н-катіонування, усі катіони, що містилися в початковій воді, замінюються катіонами водню. При цьому карбонатна жорсткість води усувається повністю, що призводить до відповідного зменшення солевмісту води. Крім того, з води зникають усі солі кальцію і магнію. Проте за рахунок цього у воді з'являється еквівалентна кількість сірчаної, соляної, вугільної і кремнієвої кислот, присутність яких в котельній воді небажана. Тому вода після Н-катіонування може бути використана тільки в суміші з водою, що пройшла Na-катіонування, оскільки в цьому випадку кислоти Н-катіонованої будуть нейтралізовані лужними солями (бікарбонатами) Na-катіонованої води.

Для регенерації виснаженого Н-катіоніту через фільтр пропускають 1-1,5%-ний розчин сірчаної кислоти; при цьому відбуваються такі реакції:



На рис. 13.2, а наведена принципова схема водопом'якшувальної установки з попередньою коагуляцією й освітлюванням оброблюваної води спочатку у відстійнику, а потім на механічних фільтрах. Сира вода по трубі 1 поступає в розподільник 2, де вона розділяється на два потоки. Один йде в підігрівник води 3, в який також подається пара по трубі 4, і з цього підігрівника поступає у відстійник 6. Інший потік проходить через витискувач коагулянту 5 і разом з розчиненим коагулянтом також поступає у відстійник 6. Тут вода відстоюється від значної частини механічних і колоїдних домішок, а потім поступає в проміжний бак 7, звідки насосом 8 подається на механічні

фільтри 9 для остаточного освітлювання. Далі вода поступає в Na-катіонітові фільтри 10, в яких звільняється від солей жорсткості, після чого подається в живильні баки.

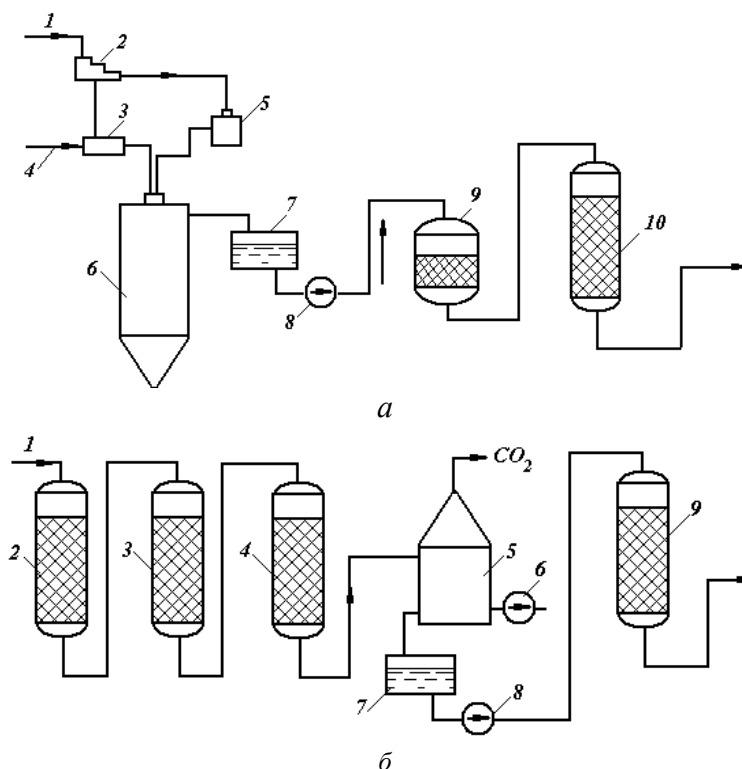


Рис. 13.2. Схеми водозм'якшувальних установок:

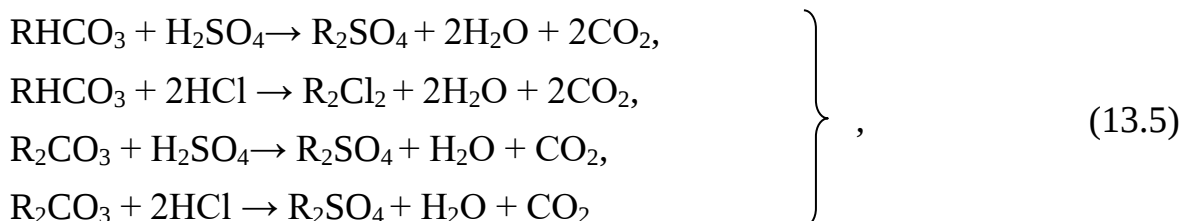
а – освітлення і Na – катіонування: 1, 4 – трубопровід; 2 – розподільник; 3 – підігрівник води; 5 – витискувач коагулянту; 6 – відстійник; 7 – проміжний бак; 8 – насос; 9 – механічні фільтри; 10 – Na-катіонітові фільтри;

б – освітлення, знесолення та знекремнювання: 1 – трубопровід; 2 – H-катіонітові фільтри; 3, 9 – аніонітові фільтри; 4 – H-катіонітові фільтри другого ступеня; 5 – відвідник CO₂; 6 – повітродувка; 7 – проміжний бак; 8 – насос.

У водопідготовчих установках ставлять не менш як по два механічних і катіонітових фільтри, оскільки механічні фільтри доводиться періодично зупиняти на відмивання, а катіонітові – на регенерацію катіоніту. Період міжрегенераційної роботи катіонітових фільтрів зазвичай дорівнює 8-16 год., тривалість регенерації – близько 1 год.

Катіонування додаткової води вирішує питання водопідготовки тільки в котельних середнього тиску. У котельних високого й надвисокого тиску, де до якості живильної води пред'являють особливо високі вимоги, застосовують досконаліші методи обробки додаткової води, такі як: знесолення, тобто видалення всіх розчинених в ній солей, і знекремнювання, тобто видалення сполук кремнію, що знаходяться у воді. Найефективнішим способом знесолення і знекремнювання води є її випаровування в особливих випарниках, що обігріваються відбірною парою турбін, з подальшим отриманням дистилату конденсацією випареної води. Проте при необхідності готувати велику кількість додаткової води (на ТЕЦ) випарні установки виходять громіздкими, причому їхня споруда не знімає необхідності в попередньому водозм'якшуванні, оскільки випарники при роботі на сирій воді швидко

заростають накипом. Тому знесолення і знекремнювання додаткової води частіше здійснюють хімічним шляхом поєднанням обробки води в Н-катіонітових фільтрах з обробкою її в аніонітових фільтрах. Вода, що пройшла Н-катіонітові фільтри і тому містить сірчану, соляну, вугільну й кремнієву кислоти, проходить крізь шар аніоніту, тобто твердого нерозчинного у воді матеріалу, здатного вступати в реакцію іонного обміну з кислотами. При цьому розрізняють низькоосновні аніоніти, що вступають в реакцію з сильними кислотами за рівняннями вигляду:



і високоосновні аніоніти, що вступають в реакцію з кремнієвою кислотою за рівнянням виду:



H_2O і CO_2 , що утворилися в результаті цих реакцій, залишаються у воді, що знесолюється, а сполуки R_2SO_4 , R_2Cl_2 і R_2Cl_2 поступають до складу аніоніту.

На рис. 13.2, б наведена принципова схема установки глибокого хімічного знесолення і знекремнювання води. Заздалегідь коагульовану й освітлену воду подають по трубопроводу 1 в Н-катіонітові фільтри 2, а потім в аніонітові фільтри 3, завантажені слабкоосновним аніонітом. У перших фільтрах внаслідок реакцій катіонного обміну катіони, що знаходяться в жорсткій початковій воді, замінюються катіонами водню, в інших фільтрах внаслідок реакцій аніонного обміну аніони сильних кислот (SO_4^{2-} , Cl^-), що знаходяться у воді, замінюються гідроксильними аніонами OH^- , в результаті чого солевміст оброблюваної води різко знижується. Потім воду послідовно пропускають через Н-катіонітові фільтри другого ступеня 4 і через відвідник CO_2 5, з якого вода зливається в проміжний бак 7. Видалення з води CO_2 проводиться продуванням шару води повітрям, яке подається у відвідник CO_2 повітродувкою 6. З баку 7 вода прямує насосом 8 в аніонітові фільтри 9, завантажені сильноосновним аніонітом. В останніх внаслідок реакцій аніонного обміну здійснюється видалення з води аніонів кремнієвої кислоти.

Звільнення води від розчиненого в ній повітря здійснюють термічною деаерацією. Остання заснована на тому, що здатність води розчиняти в собі газу падає у міру підвищення її температури і абсолютно зникає при досягненні температури кипіння, коли розчинені в ній газу повністю з неї видаляються. Термічну деаерацію здійснюють в термічних деаераторах. Вода подається під кришку деаераторної головки (Г5 на рис. 13.3). Тут вода розливається по особливих дірчастих тарілках і тонкими цівками стікає в бак деаератору {Д1 на рис. 13.3}.

На своєму шляху струминки води зустрічають висхідний потік пари низького тиску, котрий поступає від паропроводу власних нужд котельної або з

відбору турбіни (на електричних станціях) через редуктор (Г6 на рис. 13.3). В результаті струминки стікаючої води нагріваються до температури кипіння, внаслідок чого повітря, що міститься в них, виділяється і йде з деякою невеликою кількістю пари, що не сконденсувалася, назовні через особливу випарну засувку. Кількість води, що подається в деаератор, регулюють виходячи з умови підтримки постійного рівня води в баку. Відбір води на живильні насоси здійснюється з нижньої частини деаератору.

Окрім термічних деаераторів мають деяке розповсюдження ще десорбційні і хімічні деаератори.

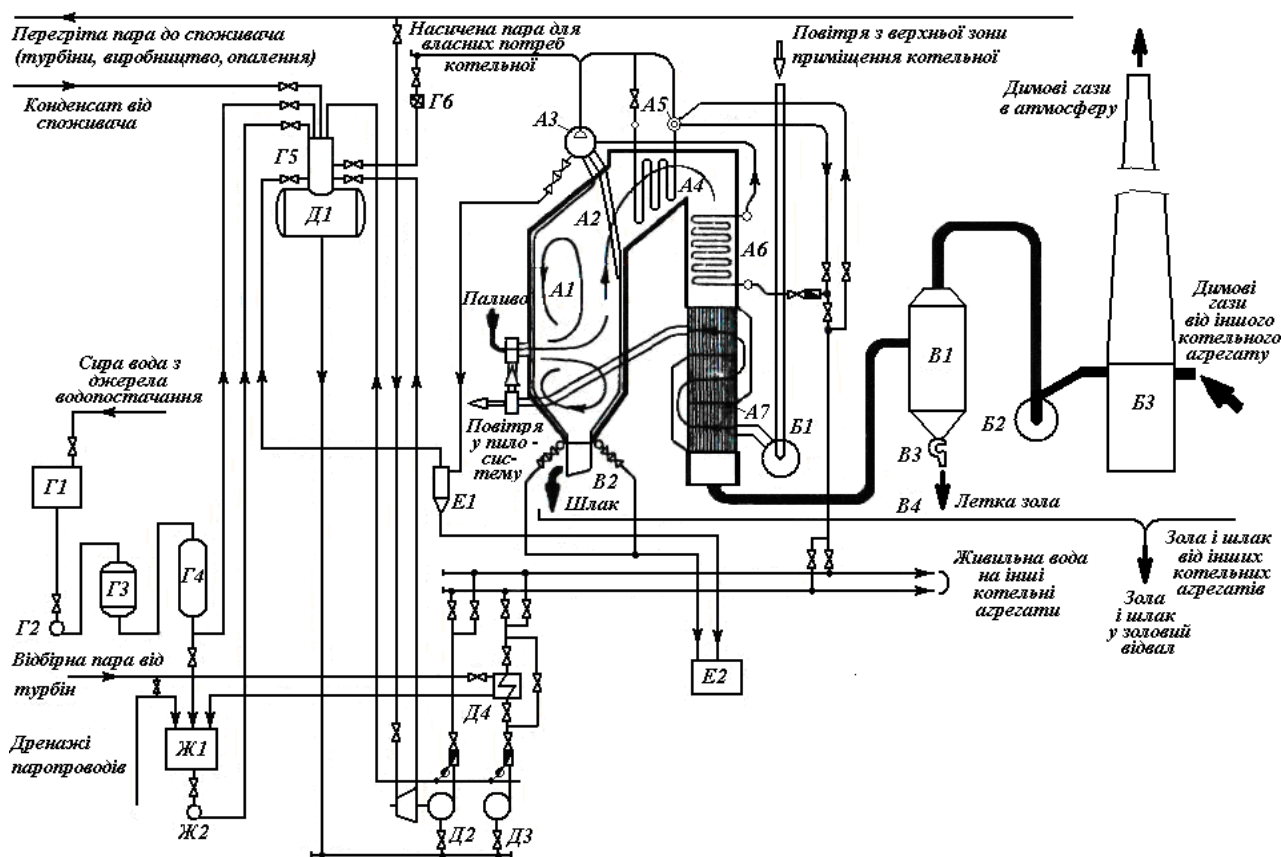


Рис. 13.3. Схема котельної установки:

А. Котельний агрегат: А1 – топковий пристрій; А2 – випарні поверхні нагріву (власне котел);

A3 – сепараційний пристрій; *A4* – пароперегрівач; *A5* – регулятор перегріву пари; *A6* – водяний економайзер; *A7* – повітропідігрівник.

Б. Тяго-дутьевий пристрій: Б1 – дутьевий вентилятор; Б2 – димосос; Б3 – димова труба.

В. Система золовловлювання і золошлаковидалення: *B1* – золовловлювач; *B2* – шлаковипускний пристрій; *B3* – золопускний пристрій; *B4* – транспортувальна система для подачі шлаку й золи у відвал.

Г. Водопідготовча установка: *G1* – бак сирієї води; *G2* – подавальний насос; *G3* – механічний фільтр для очищення води від механічних домішок; *G4* – водозм'якшувач; *G5* – деаератор; *G6* – паровий редуктор.

Д. Живильна установка: Д1 – живильний бак; Д2 – живильний насос з паровим приводом; Д3 – живильний насос з електричним приводом; Д4 – підігрівник високого тиску (встановлюється тільки на електричних станціях).

Е. Продувочна система: *E1* – сепаратор безперервної продувки; *E2* – барботер для збирання продувочної води.

Ж. Дренажна система: Ж1 – бак для збирання дренажів; Ж2 – перекачувальний насос.

13.4.3.3. ХВО для водогрійних котлів

У разі водогрійних котлів використовують закритий контур. Котел заповнюється один раз при запуску системи і необхідність в компенсації втрат води відсутня. Поповнення може відбуватися перед початком сезону або у разі наявності втрат. Водопідготовка для водогрійних котлів також широко застосовується в побуті, зважаючи на застосування двоконтурних котлів для ГВС.

Комплект устаткування для **ХВО побутового котла** складається з механічного фільтру і фільтру зм'якшування води. На водогінній воді застосовують механічні сітчасті фільтри марки Honeywell FF06, PROTECTOR MINI або Honeywell FK06, BWT F1 HWS фільтр з вбудованим регулятором тиску. При використанні води зі свердловини застосовують фільтри зі змінним поліпропіленовим картриджем марки BB10, BB20. Останнім часом широко стали застосовувати *дискові промивні фільтри*. Дисковий фільтр AZUD має низку переваг перед раніше згаданими. Тривалий термін експлуатації і відсутність змінних елементів роблять дисковий фільтр AZUD DF 1" якнайкращим рішенням для механічного очищення води.

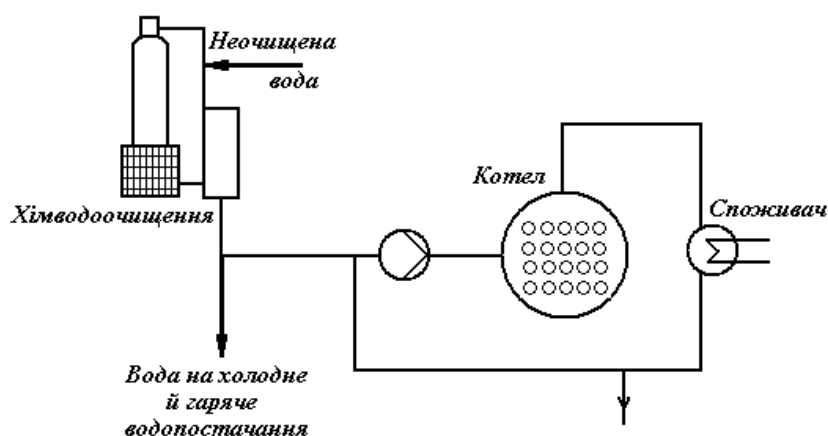


Рис. 13.4. Система опалення з водогрійним котлом.

На другому етапі зм'якшування води проводять за допомогою фільтру з іонно-обмінною смолою DOWEX HCRS/S або комплексного завантаження Есотіх – у випадку для води, яка містить залізо й органічні домішки. Ці фільтри оснащені ручним або автоматичним клапаном управління. Для відновлення фільтруючих властивостей іонообмінних фільтрів застосовують сольовий розчин, що готується з таблетованої солі.

Для **отримання дистилату**, необхідного для промислового виробництва хімічно чистих реактивів, лікарських препаратів, проведення різних аналізів в лабораторній практиці застосовується термічне знесолення води для водопідготовки. Цей процес здійснюється у випарниках киплячого типу. При цьому дистилат виробляють в основному з води, заздалегідь зм'якшеної на іонітових фільтрах.

14. ПЕРЕРОБКА НАФТИ

14.1. Етапи переробки нафти

Переробка нафти складається з окремих операцій обробки вихідної сировини, напівпродуктів або кінцевих продуктів.

В даний час з сирової нафти можна одержати різні види палива, нафтові масла, парафіни, бітуми, гас, розчинники, сажу, мастила та інші нафтопродукти.

Технологічна схема переробки нафти (рис. 14.1) включає значну кількість методів, які ми розглянули раніше – це і фільтрування, і сепарація, і ректифікація, і хімічне очищення. Якщо ще врахувати обробку сирової нафти при її підготовці до подальших операцій, то побачимо, що тут задіяний широкий спектр механічних, фізичних, фізико-хімічних та хімічних методів.

На нафтопереробних заводах нафта проходить декілька етапів, перш ніж стати готовим до використання продуктом:

1. підготовка нафти до первинної переробки,
2. первинна переробка нафти (пряма перегонка),
3. вторинна переробка нафти,
4. очищення нафтопродуктів.

14.1.1. Підготовка нафти до переробки (зневоднення і знесолення нафти)

Здобута, але не перероблена нафта, містить різні домішки, наприклад, сіль, воду, пісок, глину, частинки ґрунту, супутні гази. Наявність механічних домішок і води заважає транспортуванню нафти по нафтопродуктопроводах для подальшої її переробки, спричиняє утворення відкладень у теплообмінних апаратах та інших ємностях, ускладнює процес переробки нафти.

Вся здобута нафта проходить процес комплексного очищення, спочатку механічного, потім тонкого очищення.

На даному етапі також відбувається розділення здобутої сировини на нафту і газ в сепараторах нафти і газу.

Відстоювання в герметичних резервуарах на холоді або при підігріванні сприяє видаленню великої кількості води і твердих частинок. Для отримання високих показників роботи установок з подальшої переробки нафти останню піддають додатковому зневодненню й знесоленню на спеціальних установках.

Часто вода й нафта утворюють стійку емульсію, в якій найдрібніші краплини однієї рідини розподілені в іншій у зваженому стані.

Виділяються два види емульсій:

- гідрофільна емульсія, тобто нафта у воді,
- гідрофобная емульсія, тобто вода в нафті.

Існує декілька способів руйнування емульсій:

- механічний, який в свою чергу ділиться на відстоювання та центрифугування.
- хімічний,
- електричний.

Глава II. ОБРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН

До технологічних рідин* відносяться, головним чином, вода, нафта** і нафтопродукти, а також мийні розчини.

13. ОБРОБКА ВОДИ

Об'єм споживаної в світі води досягає 4 трлн. м³ на рік, а перетворенню з боку людини піддається практично вся гідросфера. Так, при отриманні ядерної енергії в США залучається до використання майже половина всіх водних ресурсів країни. Радіоактивне й теплове забруднення може поставити під загрозу їхнє застосування в господарсько-побутових і промислових цілях.

Хімічна і нафтохімічна галузі промисловості сприяють проникненню у водне середовище речовин, відсутніх у природній воді, або перевищенню природного рівня їхньої концентрації, погіршуючи якість середовища.

За час існування людства в природне середовище було введено близько мільйона нових речовин (всього відомо понад 6 млн. хімічних сполук). Щорічно в світі синтезується близько 250 тис. нових хімічних речовин, багато з яких одержує широке застосування і може поступати в навколишнє середовище. У практиці використовується 500 тис. хімічних сполук, з них за оцінкою міжнародних екологічних організацій, близько 40 тис. мають шкідливі для людини властивості, а 12 тис. є токсичними.

Шкідливі хімічні елементи й речовини потрапляють у водоймища, погіршуючи їхній санітарний стан і викликаючи необхідність спеціального глибокого очищення води перед використанням її для господарсько-питних і деяких промислових цілей.

* Немає чіткого визначення поняття «технологічна рідина». В Internet-ресурсах одні й тіж самі рідини часто відносять як до технологічних, так і до технічних, і в основному як технологічні називають допоміжні речовини, які служать для прискорення технологічних операцій. До них відносять змащувально-охолоджуючі рідини (ЗОР) (<http://osvarke.info/192-konstrukcionnye-masla-i-technologicheskie-zhidkosti.html>).

Згідно з <http://www.edudic.ru/hie/5030/> технічними рідинами називають малов'язкі рідини, призначені для забезпечення виконання машинами і механізмами робочих функцій. Загальним для всіх технічних рідин є відсутність вимог до мастильних властивостей. За призначенням технічні рідини підрозділяють на амортизаторні, рідини проти обледеніння, гідравлічні, охолоджуючі, промивальні, пускові, розділові, змащувально-охолоджуючі і гальмівні. Як бачимо з порівняння двох джерел, змащувально-охолоджуючі рідини відносять як до технологічних, так і до технічних.

Вчені Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова вважають, що основними технологічними рідинами є вода і нафтопродукти, причому, до нафтопродуктів відносять мастила, гідравлічні рідини, палива, масляні шлами тощо.

** Щодо приналежності нафти до технологічних рідин можна посперечатися, але ми вирішили включити переробку нафти у даний посібник у зв'язку з тим, що продукти її переробки однозначно відносять до технологічних рідин, і студенти можуть отримати відомості щодо отримання компонентів таких рідин, зокрема, масел. Матеріал, пов'язаний з переробкою нафти, не є обов'язковим для вивчення.

13.1. Використання води та вимоги, що пред'являються до неї

Значення води для побутових потреб загальновідоме.

У виробництві вода – сировина, хімічний реагент, розчинник, тепло- і холодоагент. Наприклад, з води отримують водень різними способами, водяну пару для теплової енергетики; вода є реагентом у виробництві багатьох органічних та неорганічних речовин.

Вода – дешевий, доступний, негорючий розчинник.

Як теплоносії вода використовується в різних системах теплообміну.

Теплота фазового переходу рідина-пара для води значно вища, ніж для інших речовин, тому пара води, що конденсується, є найбільш розповсюдженим теплоносієм. Водяна пара і гаряча вода мають значні переваги перед іншими теплоносіями: висока теплоємність, простота регулювання температури у залежності від тиску, висока термічна стійкість. Вода служить для охолодження елементів технологічних агрегатів, охолодження пари, рідких і газоподібних продуктів у холодильниках і конденсаторах. Для економії використовують оборотну воду (що використана і знову повертається у виробництво).

До води, що застосовується для різних цілей, висуваються різні вимоги. Так, вода, що використовується для побутових потреб і у харчовій промисловості, не повинна містити шкідливих для організму людини домішок. Охолодна вода не повинна давати відкладень у трубах і камерах, по яких вона проходить; у ній не повинні знаходитися крупні частинки неорганічних забруднень (пісок). Вода для потреб паросилового господарства не повинна містити домішок, що можуть спричиняти відкладення осадів, спінювання котлової води, віднесення солей з парою і корозію металу.

13.2. Види води

Розрізняють природну, стічну і денатуровану воду. Природна вода – це вода, яка якісно і кількісно формується під впливом природних процесів за відсутності антропогенної дії і якісні показники якої знаходяться на природному середньобогаторічному рівні. Стічна вода – це вода, що була в побутовому, виробничому або сільськогосподарському вживанні, а також що пройшла через якусь забруднену територію, зокрема населеного пункту. Природна вода, що піддається антропогенному забрудненню, наприклад, шляхом змішування із стічною водою, називається денатурованою або природно-антропогенною.

Природні води містять різні домішки мінерального й органічного походження. Мінеральні – гази азот N_2 , кисень O_2 , вуглекислий газ CO_2 , сірководень H_2S , метан CH_4 , аміак NH_3 , розчинені у воді солі, кислоти й основи, які знаходяться у вигляді катіонів: Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} і аніонів: HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , $HSiO_3^-$, F^- , NO_3^- , CO_3^{2-} та ін. До органічних домішок відносяться колоїдні частинки білкових речовин. Склад і кількість домішок залежить від походження води. Розрізняють атмосферні, поверхневі та підземні води.

Атмосферна вода – вода дощових та снігових опадів. Має невелику кількість домішок. Містить розчинені гази, а солі майже повністю відсутні.

Поверхневі води – води річок, озер, морів – відрізняються різноманітним складом домішок: гази, солі, основи, кислоти. Найбільшим вмістом мінеральних домішок відрізняється морська вода.

Підземні води – води артезіанських свердловин, криниць, гейзерів – характеризуються різноманітним складом розчинених солей, котрий залежить від складу ґрунтів та гірських порід; домішки органічних речовин повністю відсутні.

До речі, Херсон користується артезіанською водою з 1957 р.

Якість води визначається її фізичними й технічними характеристиками, такими як прозорість, колір, запах, температура, загальний вміст солей, жорсткість, здатність до окислення і реакція середовища.

13.3. Основні характеристики води

У промисловому водовикористуванні розрізняють воду прісну, що містить в 1 л менше 1 г солей, і солону, з вмістом солей більше 1 г.

Сухий залишок (СЗ) характеризує вміст розчинених і колоїдних неорганічних і частково органічних твердих домішок, виражений в мг/л. Він визначається як висушений при 110°C до постійної маси залишок після упарювання профільтрованої кразь щільний паперовий фільтр води.

Загальний солевміст (ЗС) характеризує загальну кількість мінеральних речовин, розчинених у даній воді, виражений в мг/л. Він є підрахованою за іонним складом загальною концентрацією солей у воді. Солевміст, як правило, менше розчиненого залишку води, оскільки останній включає також колоїдно-дисперсні речовини, які не є істинно розчинними речовинами.

Жорсткість води характеризує вміст у ній кальцієвих і магнієвих солей, що обумовлюють накипоутворюючу властивість. Розрізняють жорсткість загальну, тимчасову (карбонатну) і постійну (некарбонатну). Загальна жорсткість являє собою суму тимчасової й постійної жорсткості. Загальна жорсткість характеризує сумарний вміст у воді кальцієвих і магнієвих солей: сульфатів – CaSO_4 і MgSO_4 , хлоридів – CaCl_2 і MgCl_2 , нітратів – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ і $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, силікатів – CaSiO_3 і MgSiO_3 , фосфатів – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ і $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$, гідрокарбонатів (бікарбонатів) – $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Тимчасова жорсткість характеризує вміст у воді бікарбонатів кальцію і магнію. Постійна жорсткість характеризує вміст усіх названих солей кальцію й магнію за винятком гідрокарбонатів. У чисельному відношенні величина жорсткості води виражається через концентрацію у воді відповідних іонів розчинених речовин, виражених в еквівалентних одиницях, тобто в мекв/л:

$$Ж_{\text{заг.}} = \frac{\text{Ca}^{2+}}{20,04} + \frac{\text{Mg}^{2+}}{12,16}, \text{ мекв/л,}$$

де Ca^{2+} і Mg^{2+} – концентрації у воді катионів кальцію і магнію, мг/л;
20,04 і 12,16 – їхні еквівалентні маси, мг/мекв.

Величина карбонатної жорсткості дорівнює вираженій в еквівалентних одиницях концентрації у воді аніонів бікарбонатів кальцію та магнію, тобто,

$$Ж_{карб.} = \frac{HCO_3^-}{61,02}, \text{ мекв./л.}$$

де HCO_3^- – концентрація у воді аніонів бікарбонатів кальцію та магнію, мг/л;
61,02 – їхня еквівалентна маса, мг/мекв.

Величина постійної (некарбонатної) жорсткості дорівнює:

$$Ж_{пост} = Ж_{заг} - Ж_{карб.}, \text{ мекв./л.}$$

В залежності від вмісту цих іонів розрізняють воду дуже м'яку (до 1,5 мекв./л), м'яку (1,5-3), помірно жорстку (3-6), жорстку (6-10) і дуже жорстку (більше 10 мекв./л). Зм'якшування води полягає у зв'язуванні іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} за допомогою реагентів у нерозчинні сполуки і ті, що легко видаляються. Для цього застосовують хімічні (вапняний, содовий, фосфатний), а також фізико-хімічні (наприклад, іонообмінний) способи, які розглядаються при підготовці котлової води (див. далі).

Окислюваність води обумовлена вмістом органічних домішок і визначається кількістю перманганату калію, витраченого на їхнє окислення при кип'ятінні 1 л води з надлишком $KMnO_4$ протягом 10 хв.

Кислотність води характеризується концентрацією водневих іонів. Її визначають за допомогою індикаторів або приладів (рН-метр). При $pH < 6,5$ вода вважається кислою, при $pH > 7,5$ – лужною.

Лужність води характеризує вміст у ній лужних солей, таких як карбонати, бікарбонати, фосфати та деякі інші. Величина лужності води дорівнює сумарній концентрації у ній гідроксильних, карбонатних, бікарбонатних, фосфатних та інших аніонів слабких кислот, виражена у мекв./л. В залежності від аніонів, що обумовлюють лужність, розрізняють: гідратну лужність, обумовлену концентрацією у воді гідроксильних аніонів OH^- , карбонатну лужність (аніони CO_3^{2-}), бікарбонатну лужність (HCO_3^-).

Кремневміст характеризує загальну концентрацію у воді сполук кремнію, що знаходяться у воді в молекулярній та колоїдній формі. Умовно кремневміст перераховують на SiO_2 або SiO_3^{2-} і виражають у мг/л.

Вміст корозійноактивних газів у воді характеризують вмістом у воді кисню і вуглекислого газу, виражене в мг/л.

13.4. Водопідготовка

Водопідготовка – видалення з води більшості домішок – починаючи від зважених частинок і закінчуючи солями металів. Інакше кажучи, водопідготовка – процес приведення будь-якої води до стандартів, які вимагають і здоров'я людей, і робота різних видів обладнання. Ці вимоги різні, і якщо побутова водопідготовка обмежується лише зм'якшуванням води до необхідного рівня, промислова водопідготовка у багатьох випадках усуває домішки практично повністю.

При підготовці води найчастіше використовують такі методи (порівняйте з класифікацією с. 8):

фізичні:

відстоювання;

фільтрування;

хімічний:

пом'якшення (видалення солей головним чином кальцію та магнію):

фізико-хімічні:

дегазація (або деаерація – сорбційний метод);

іонний обмін та ін. – див. рис. 13.1.

З погляду водопідготовки, найзагальнішими й найхарактернішими ознаками забруднюючих воду речовин є форми знаходження їх у воді. Виходячи з цього, **академіком АН УРСР професором Л.А.Кульським** була запропонована класифікація домішок води, заснована на їхньому фазовому стані й дисперсності. Ця класифікація має широке практичне застосування, оскільки дає прийнятне обґрунтування технологічним прийомам водообробки і переслідує мету упорядкувати вибір оптимальних методів очищення і технологічних схем.

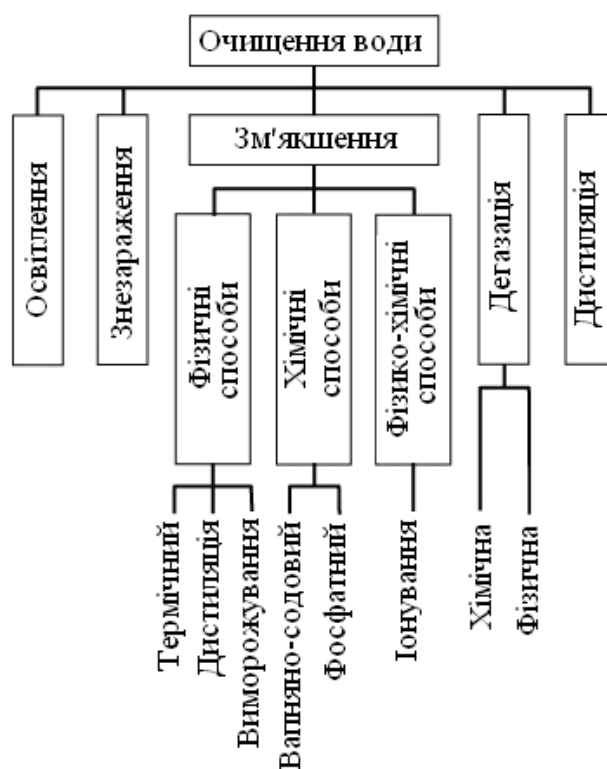


Рис. 13.1. Схема очищення води.

Всі домішки ним були розділені на **чотири групи**.

Домішки першої групи – нерозчинні у воді тверді або рідкі частинки, що утворюють з водою суспензії та емульсії (а також планктон і бактерії), які кінетично нестійкі й знаходяться у зваженому стані завдяки гідродинамічній дії водного потоку. В стані спокою ці зважені речовини випадають в осад.

Домішки другої групи – гідрофобні й гідрофільні органічні та мінеральні колоїдні частинки, а також нерозчинні й недисоційовані форми гумусних речовин, детергенти та віруси, які за своїми розмірами близькі до колоїдних домішок.

Домішки третьої групи – молекулярно-розчинні речовини (органічні сполуки, розчинні гази і т.ін.).

Домішки четвертої групи – речовини, що дисоціюють на іони.

Як вже відмічалось, використання води для різних потреб у відповідності з вимогами до неї диктує певні особливості у її підготовці. Розглянемо найбільш поширені способи підготовки води для потреб населення та деяких виробничих галузей.

13.4.1. Обробка питної води та води для харчової промисловості

Склад і властивості питної води, і тієї, що споживається підприємствами харчової промисловості, незалежно від типу вододжерела, способу обробки води і конструктивних особливостей водогінної мережі повинні відповідати вимогам **ДСТУ 2874–91** «Вода питна». Відповідно до нього якість води визначається трьома групами показників: бактеріологічними, наявністю токсичних хімічних речовин і органолептичними.

Бактеріологічні показники характеризують безпеку води в епідемічному відношенні і виражаються через непрямі показники – ступінь загального бактерицидного забруднення і вміст бактерій групи кишкової палички. До них відносяться грамнегативні, які не створюють спор, палички, що зброджують лактозу з утворенням кислоти і газу при $37,0(\pm 0,5)^{\circ}\text{C}$ протягом 24-48 год. або ті, що зброджують глюкозу з утворенням кислоти і газу при $37,0(\pm 0,5)^{\circ}\text{C}$ протягом 24 год. і не мають оксидазної активності.

За бактеріологічними показниками вода, що подається у водогінну мережу і поступає до споживачів через зовнішні водорозбори і крани внутрішніх водогінних мереж, повинна відповідати таким нормам:

Загальна кількість бактерій в 1 мл нерозведеної води, не більше.....	100
Кількість бактерій групи кишкової палички (ДСТУ 18 963–91):	
визначуване на щільному елективному середовищі із застосуванням	
концентрацій бактерій на мембранних фільтрах в 1 л води (колі-індекс), не	
більше.....	3
при використанні рідких середовищ накопичення (колі-титр), не менше.....	300

Показники наявності токсичних хімічних речовин встановлюють допустимі концентрації речовин: які зустрічаються в природних водах; що додаються у воду в процесі її обробки як реагенти; тих, що з'являються в результаті промислового і сільськогосподарського забруднення. До токсичних речовин відносяться миш'як, нітрати, свинець, селен, поліакриламід, фтор та ін. Строго регламентується також вміст радіоактивних елементів.

Органолептичні показники води – запах, присмак, колір, каламутність. Вони обумовлені присутністю речовин, що зустрічаються в природних водах або додаються в процесі обробки води (хлориди, сульфід, цинк, мідь, залізо,

марганець та ін.), а також наявністю органічних домішок. Нормативні значення органолептичних показників наведені нижче:

Запах при 20°C і при підігріванні води до 60°C, бали, не більше.....	2
Присмак при 20°C, бали, не більше.....	2
Кольоровість за платино-кобальтовою або імітуючою шкалою, град., не більше.....	20
Каламутність за стандартною шкалою, мг/л, не більше.....	1,5

Вода не повинна містити таких водних організмів, що розрізняються неозброєним оком і мати на поверхні плівку. Специфічні запах і присмак, що з'являються при хлоруванні, за інтенсивністю не повинні перевищувати 1 балу. Допускається водневий показник рН = 6,5-8,5.

Пред'являються також вимоги щодо солевмісту, жорсткості, окислюваності та лужності води.

Водопостачання харчових підприємств складається з двох потоків: **технологічної води**, вимоги до якої стандартизовані, і **технічної**, яка поступає на виробництво безпосередньо з водоймищ і артезіанських свердловин. Населенню подають тільки технологічну воду.

Технічна вода підрозділяється на три категорії. Вода І категорії використовується як теплоносії для охолодження машин і апаратів, II – як середовище, поглинальна і транспортуюча домішка при безпосередньому контакті з продуктом (в процесі миття), III – тільки як засіб транспортування (гідротранспортування відходів на мясо- і птахокомбінатах, молочних заводах) (табл. 13.1).

Таблиця 13.1

Вимоги до технічної води І і II категорій

Показник	Категорія	
	I	II
Концентрація зважених речовин, мг/л	100 (короткочасно 200)	1000
Запах, балів	3	3
Загальна жорсткість, мг-екв./л	7	-
Загальна лужність, мг-екв./л	4	-
БПК*, мг/л	20	20-50

*БПК – біологічна потреба кисню (детальніше – с.179).

Показники якості для технічної води III категорії не нормуються, а технічна вода І і II категорій, крім специфічних вимог, повинна відповідати загальним, вказаним в табл. 2.1. Наведені значення є гранично допустимими концентраціями забруднень.

13.4.2. Підготовка води для міського господарства

Першою операцією підготовки води є додавання до неї потрібної кількості сульфату алюмінію, який спричиняє **коагуляцію** домішок і тим сприяє їхньому наступному **осадженню** у відстійнику. Вода, що відстоялася, **фільтрується** крізь товстий шар піску, потім **знезаражується** хлоруванням або озонуванням і після цього подається у водогінну мережу (окремі стадії розглянуті у відповідних розділах).

Наявність у воді хвороботворних мікроорганізмів і вірусів робить її не придатною для господарсько-питних потреб, а присутність у воді деяких видів мікроорганізмів (наприклад, нитчастих, зооглейних, сульфато-відновлюючих бактерій, залізобактерій) спричиняє біологічне обростання, а іноді руйнування трубопроводів і устаткування для водопідготовки й водопостачання. Знезараження води здійснюють, в основному, шляхом хлорування її рідким або газоподібним хлором Cl_2 , гіпохлоритами – NaClO , $\text{Ca}(\text{ClO})_2$. Для знезараження води застосовують також озон O_3 і ультрафіолетове опромінювання.

13.4.3. Водопідготовка для котелень

13.4.3.1. Вимоги, що пред'являються до якості води для парових котлів

На сьогоднішній день вода залишається найдоступнішим і найдешевшим теплоносієм, що обумовлює її застосування в системах нагріву. У сфері котельного устаткування часто використовується саме хімічна водопідготовка (ХВО). Ця технологія має на увазі застосування не тільки хімічних методів очищення води для котлів, але й інших сучасних методів, що дозволяють подовжити термін служби котельного устаткування та істотно знизити експлуатаційні затрати.

При експлуатації котельного устаткування виникають складнощі внаслідок наявності у воді домішок – як нерозчинних, так і розчинених у воді, але здатних утворювати осади, у тому числі домішок з корозійною активністю. Кожний зі вказаних видів забруднень здатний понизити ефективність роботи водогрійної системи або вивести її з ладу. Частими проблемами, що виникають при використанні непідготовленої води, є поламки насосного устаткування, пошкодження трубопроводів і зменшення їхнього перерізу, поламки трубопровідної арматури, теплообмінників і нагрівальних елементів.

Основним ворогом теплової системи є накип, обумовлений підвищеною жорсткістю води.

Другим несприятливим чинником є хімічна й електрохімічна корозія. Вона виникає внаслідок неповного видалення з води домішок заліза та марганцю.

При розгляді ХВО для котлів необхідно враховувати, що вони бувають водогрійними та паровими. Відповідно висуваються різні вимоги до показників якості води, які обумовлюють методи рішення задачі водопідготовки для котлів.

Вода, яка використовується в котельних для отримання пари, на різних етапах виробничого процесу має різну назву. Природну воду, одержувану з джерел водопостачання (річок, артезіанських свердловин, водогонів), називають *початковою* водою; воду, що додається в котел для перетворення на пару, – *живильною*; воду, що знаходиться в котлі і випаровується в процесі отримання пари – *котельною*; воду, що випускається з котла для підтримання належного водного режиму в ньому – *продувочною*.

Вода в своєму кругообігу в природі, стикаючись з ґрунтом і атмосферою, уносить на своєму шляху різні мінеральні гази. В результаті в природній воді завжди містяться зважені й розчинені тверді речовини і розчинені гази. Тверді речовини, що містяться у воді, за ступенем їхньої дисперсності розділяють на механічно зважені домішки, що складаються з мінеральних та іноді органічних частинок, розміром від 0,5 мікрон і більше, колоїднорозчинні речовини, що складаються з частинок розміром від 0,5 мікрони, та істинно розчинені речовини.

Переважає більшість твердих речовин, істинно розчинених у воді, являє собою електроліти, тобто речовини, молекули яких у водному середовищі розпадаються на іони.

Основними показниками, що характеризують якість живильної і котельної води, є сухий залишок, загальний солевміст, жорсткість, лужність, вміст кремнієвої кислоти і вміст корозійно активних газів.

Сира вода для живлення котлів не годиться. Внаслідок присутності мінеральних домішок котел, що живиться сирою водою, швидко заростає накипом, труби забиваються, а внаслідок наявності корозійноактивних газів обладнання і трубопроводи починають кородувати. Тому забезпечення потрібної якості живильної води має виключно велике значення для досягнення надійної й безпечної експлуатації котельних агрегатів. Найкращу живильну воду отримують з пари, яка конденсується в конденсаторах парових турбін електростанцій. При щільних конденсаторах такий конденсат містить дуже малу кількість мінеральних домішок, оскільки останні в процесі випаровування котлової води у пару майже не переходять. Однак конденсат не забезпечує повністю потребу котельних агрегатів у живильній воді, оскільки пара і вода частково втрачаються з циклу і потрібне поповнення відповідною кількістю додаткової води. На конденсаційних електростанціях ця втрата невелика, зазвичай не перевищує 2-3%, але на ТЕЦ, де часто пара для виробництва назад у вигляді конденсату не повертається, втрати пари з циклу можуть бути дуже значними (до 40-60% від кількості води у циклі).

Додаткова вода є джерелом надходження в цикл мінеральних домішок, тому перед подачею у цикл вона повинна бути найретельніше від них очищена. Однак у водопом'якшувальній установці не можна видалити з води абсолютно усі розчинені у ній мінеральні речовини – як би ретельно не була пом'якшена додаткова вода, у ній залишається невелика кількість розчинених солей. Потрапляючи у котел, домішки поступово накопичуються у котловій воді, оскільки в процесі випаровування води вони майже не переходять у пару. При цьому для сполук з низькою розчинністю (сульфат-карбонат кальцію, гідроксид магнію) настає стан насичення, при якому надлишкові кількості речовин, що містяться у воді, випадають з розчину у вигляді кристалів. Центрами кристалізації служать шорсткості на поверхні нагріву, а також зважені та колоїдальні частинки, що знаходяться у котловій воді. Речовини, котрі кристалізуються безпосередньо на поверхнях нагріву у вигляді щільних відкладень, утворюють *накип*. Речовини, що кристалізуються в об'ємі котлової води, утворюють зважені частинки, які називаються *шламом*.

Найбільш поширені кальцієві та магнієві накипи, у складі яких переважають CaSO_4 ; CaSiO_3 ; $5\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; CaHCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Накип, як правило, має низький коефіцієнт теплопровідності, який складає 0,42-8,4 кДж/(м·год·град), тому навіть тонкий шар накипу призводить до різкого підвищення температури металевої поверхні нагріву котельних агрегатів. При цьому у високотемпературних поверхнях нагріву (екрани, фестони, перші ряди кип'ятильних труб конвективного пучка) ця температура у міру збільшення товщини шару накипу може перейти через граничну за умовами для металу, після чого почнеться поступова деформація металу з наступним руйнуванням труби.

Зі сказаного випливає, що експлуатацію барабанного котла слід вести таким чином, щоб виключити можливість випадання з котлової води накипоутворюючих солей і утворення накипу. Для цього необхідно, щоб концентрація накипоутворюючих солей у котловій воді не перевищувала концентрації, при якій почнеться їхнє випадання з розчину. Цього досягають, проводячи продувку котла, тобто, спускають з нього деяку кількість котлової води, щоб разом з цією водою видалити з котла точно таку ж кількість солей, яка поступає в нього разом з живильною водою. В результаті кількість солей, що міститься у котловій воді, стабілізується на певному рівні, і тим самим виключається небезпека надмірного накопичення солей у котлі й випадання їх з розчину. Оскільки солевміст котлової води у багато разів перевищує солевміст живильної води, то стабілізація сольового балансу котла практично досягається продувкою усього лише 2-3% поданої в котел води.

Повністю уникнути утворення накипу на поверхні нагріву тільки шляхом поліпшення якості води вдається не завжди. Необхідно ще підтримувати потрібну якість котлової води. Для цього в котел вводять натрієві солі фосфорної кислоти, головним чином, тринатрійфосфат Na_3PO_4 , завдяки чому в котловій воді з'являється надлишок фосфат-іонів, який повинен складати 7-15 мг/л PO_4^{3-} . За цих умов сполуки кальцію та магнію виділяються не у вигляді накипу, а у вигляді рухливого шламу, який не прилипає до поверхонь і легко видаляється з котла продувкою.

Норми якості живильної води для котлів різних тисків наведені у табл. 13.2.

Таблиця 13.2

Норми якості живильної води для парових котлів

Показник	Одиниця виміру	Барабанні котли з тиском, ата				Прямотечійні котли
		до 16	16-31,5	31,5-100	100-185	
Жорсткість загальна	мекв/л	0,3	0,02	0,01	0,005	0,030
Кремнієва кислота в перерахунку на SiO_2^{2-}	мг/л	не нормується				0,020
Розчинений кисень	мг/л	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01

Єдиних норм якості котлової води для барабанних котлів не існує. Допустимі граничні значення солевмісту, жорсткості, кремневісту і лужності котлової води залежать від багатьох чинників: типу й конструкції парового

котла, тиску пари в котлі, характеру випаровування (одно- або двоступінчасте) і т.ін. Орієнтовні значення основних характеристик котлової води для різних котлів наведені у табл. 12.3.

13.4.3.2. ХВО для парових котлів

Як вже наголошувалося, сира вода не може бути використана як додаткова до конденсату при живленні парових котлів; вона повинна бути заздалегідь очищена від грубодисперсних і колоїдних домішок та накипоутворюючих солей, а також звільнена від розчиненого повітря.

Грубодисперсні домішки видаляють з води або її відстоюванням в особливих відстійних резервуарах, або фільтрацією, тобто пропусканням через шар зерненого кварцу, що затримує грубодисперсні домішки. У багатьох випадках процеси відстоювання і фільтрацію води об'єднують. Основна маса грубодисперсних домішок відділяється у відстійниках, а більш глибоке освітлювання води проводиться на фільтрах, включених за відстійниками.

Колоїдні домішки фільтрацією й відстоюванням не відділяються. Для видалення колоїдних домішок воду піддають коагуляції, тобто обробці сірчаноокислим алюмінієм (коагуляція), в результаті чого колоїдні домішки

Таблиця 13.3

Орієнтовні граничні значення характеристик котлової води для різних котлів

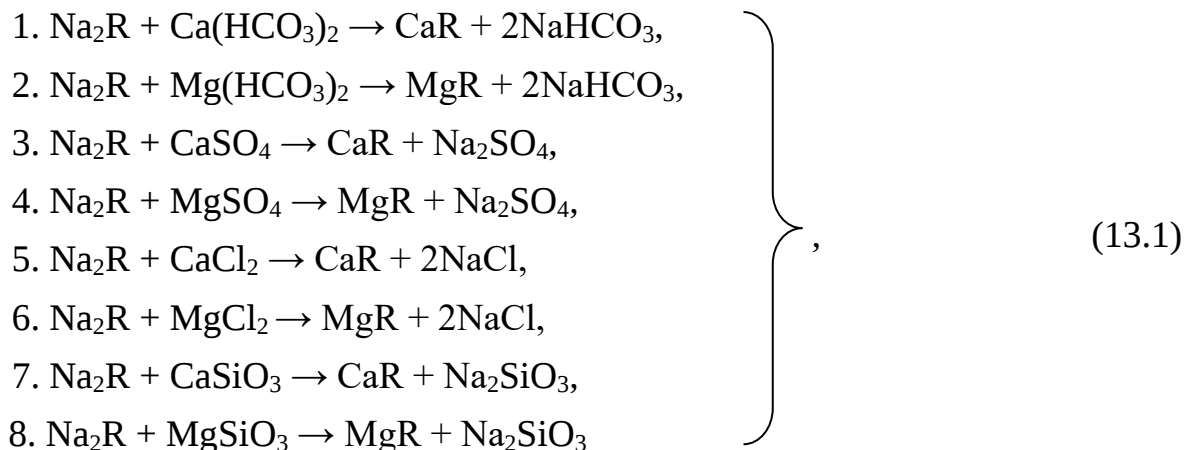
Показник і одиниця виміру	Промислові котли під тиском до 14 ата	Екранні котли без ступінчастого випаровування при тиску, ата			Екранні котли з двоступінчастим випаровуванням (у сольовому відсіку) при тиску, ата			Екранні котли з двоступінчастим випаровуванням і барботажною промивкою пари випаровуванням (у сольовому відсіку) при тиску, ата	
		до 40	100	140	до 40	100	140	100	140
Солевміст, мг/л	4000- 5000	1200- 1500	200- 600	150- 300	3000- 5000	3000	1500	4000	2500
Кремневміст в перерахунку на SiO_2^{2-} , мг/л	-	-	1,0- 2,0	0,3- 0,5	-	10	4	50	15
Лужність, мекв/л	20	9-12	2-4	1-2	14	5-6	3-5	-	-

перетворюються на грубодисперсні, які відділяються від води відстоюванням або фільтрацією (див. розділ «Коагуляція і флотація»).

Видалення з води накипоутворюючих солей, тобто її зм'якшування, здійснюють в даний час найчастіше шляхом катіонного обміну. При цьому способі катіони кальцію і магнію витягують спеціальним поглиначем (катіонітом), крізь який вода фільтрується, а замість них у воду поступають катіони натрію або водню. Обмін катіонів відбувається в еквівалентних

кількостях і підкоряється закону діючих мас. Залежно від того, який іон катіоніту обмінюється з іоном води (натрій або водень), розрізняють Na-катіонування та H-катіонування (див. розділ «5. Іонообмінний метод»).

При зм'якшуванні води з невеликою карбонатною жорсткістю застосовують Na-катіонування. При зм'якшуванні протікають такі реакції:



де символом R позначена складова частина катіонітового матеріалу, що бере участь у катіонному обміні (так звана функціональна група, найчастіше SO_3H , COOH , OH).

В процесі катіонування солі жорсткості майже повністю видаляються з води — залишкова жорсткість зм'якшеної води не перевищує зазвичай 0,2-0,5 мекв/л. Проте, оскільки солі магнію і кальцію замінюються у воді еквівалентною кількістю аналогічних солей натрію (які не створюють накипу), солевміст катіонованої води в порівнянні з солевмістом початкової води не зменшується. Лужність води, що пройшла Na-катіонітовий фільтр, помітно підвищується, оскільки при катіоновому обміні вся карбонатна жорсткість початкової води перетворюється на бікарбонат натрію [рівняння 1 і 2 з групи (13.1)]. Підвищена лужність живильної води може спричиняти спінування котельної води; тому надмірну лужність катіонованої води нейтралізують сірчаною або фосфорною кислотою.

В процесі зм'якшування води відбувається виснаження катіоніту. Для відновлення зм'якшуючої здатності катіоніт піддають регенерації, відключаючи фільтр і пропускаючи через нього 8-10%-ний розчин кухонної солі. При цьому поглинені катіонітом іони Ca^{2+} і Mg^{2+} переходять у розчин, витісняючись іонами Na за реакціями:

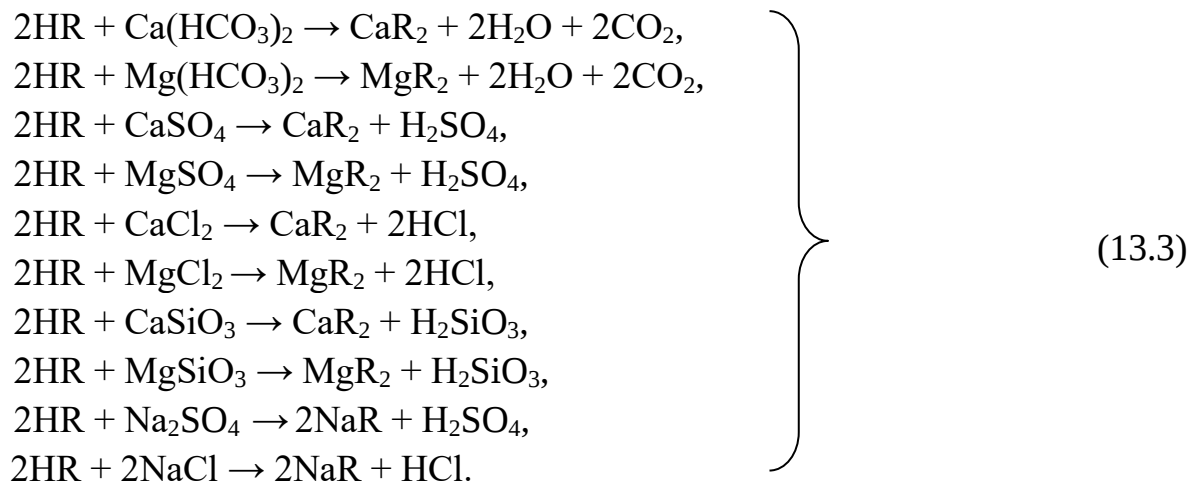


Хлориди CaCl_2 і MgCl_2 добре розчинні у воді, а тому видаляються з фільтру з промивальною водою у скидний канал. Регенерація повністю відновлює реактивну здатність катіоніту, і в практичних умовах завантажений у фільтр катіоніт може прослужити декілька років.

Як катіоніт в даний час зазвичай застосовують сульфовугілля, яке являє собою роздроблений і розсіяний по фракціях антрацит, оброблений сірчаною кислотою і потім кухонною сіллю. Основною характеристикою зм'якшувачів

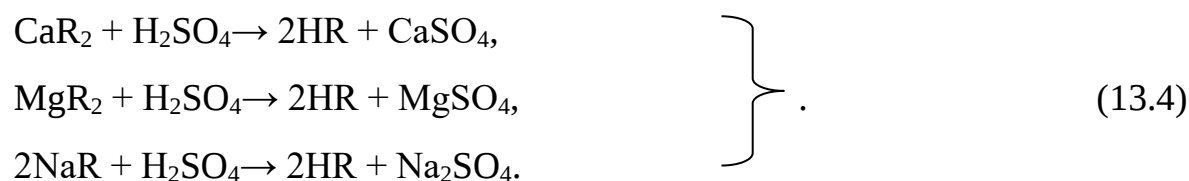
властивостей катіоніту є його обмінна здатність, що являє кількість грам-еквівалентів солей жорсткості, яку може поглинути між регенераціями 1 м³ катіоніту. Для сульфовугілля величина обмінної здатності складає 280-300 мекв/м³.

При зм'якшуванні вод з великою карбонатною жорсткістю застосовують Н-катіонітові фільтри. Процес зм'якшування протікає за реакціями:



Кислоти CO₂, H₂SO₄, HCl, H₂SiO₃ залишаються у воді в розчиненому вигляді, а сполуки CaR₂, MgR₂, NaR поступають до складу катіонітового матеріалу. У воді, що пройшла Н-катіонування, усі катіони, що містилися в початковій воді, замінюються катіонами водню. При цьому карбонатна жорсткість води усувається повністю, що призводить до відповідного зменшення солемісту води. Крім того, з води зникають усі солі кальцію і магнію. Проте за рахунок цього у воді з'являється еквівалентна кількість сірчаної, соляної, вугільної і кремнієвої кислот, присутність яких в котельній воді небажана. Тому вода після Н-катіонування може бути використана тільки в суміші з водою, що пройшла Na-катіонування, оскільки в цьому випадку кислоти Н-катіонованої будуть нейтралізовані лужними солями (бікарбонатами) Na-катіонованої води.

Для регенерації виснаженого Н-катіоніту через фільтр пропускають 1-1,5%-ний розчин сірчаної кислоти; при цьому відбуваються такі реакції:



На рис. 13.2, а наведена принципова схема водопом'якшувальної установки з попередньою коагуляцією й освітлюванням оброблюваної води спочатку у відстійнику, а потім на механічних фільтрах. Сира вода по трубі 1 поступає в розподільник 2, де вона розділяється на два потоки. Один йде в підігрівник води 3, в який також подається пара по трубі 4, і з цього підігрівника поступає у відстійник 6. Інший потік проходить через витискувач коагулянту 5 і разом з розчиненим коагулянтом також поступає у відстійник 6.

Тут вода відстоюється від значної частини механічних і колоїдних домішок, а потім поступає в проміжний бак 7, звідки насосом 8 подається на механічні фільтри 9 для остаточного освітлювання. Далі вода поступає в Na-катіонітові фільтри 10, в яких звільняється від солей жорсткості, після чого подається в живильні баки.

У водопідготовчих установках ставлять не менш як по два механічних і катіонітових фільтри, оскільки механічні фільтри доводиться періодично зупиняти на відмивання, а катіонітові – на регенерацію катіоніту. Період міжрегенераційної роботи катіонітових фільтрів зазвичай дорівнює 8-16 год., тривалість регенерації – близько 1 год.

Катіонування додаткової води вирішує питання водопідготовки тільки в котельних середнього тиску. У котельних високого й надвисокого тиску, де до якості живильної води пред'являють особливо високі вимоги, застосовують досконаліші методи обробки додаткової води, такі як: знесолення, тобто видалення всіх розчинених в ній солей, і знекремнювання, тобто видалення сполук кремнію, що знаходяться у воді. Найефективнішим способом знесолення і знекремнювання води є її випаровування в особливих випарниках, що обігріваються відбірною парою турбін, з подальшим отриманням дистилату конденсацією випареної води. Проте при необхідності готувати велику кількість додаткової води (на ТЕЦ) випарні установки виходять громіздкими,

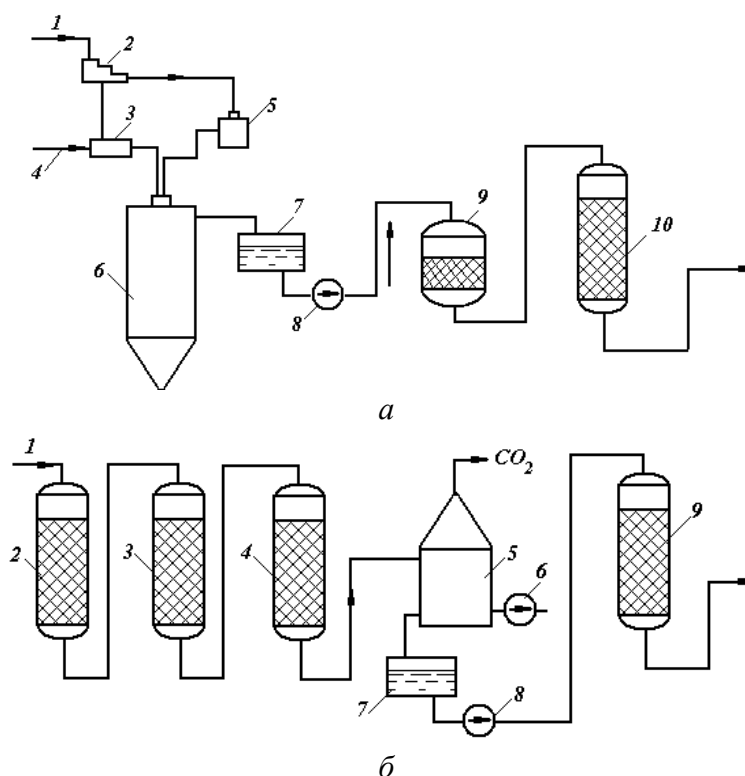
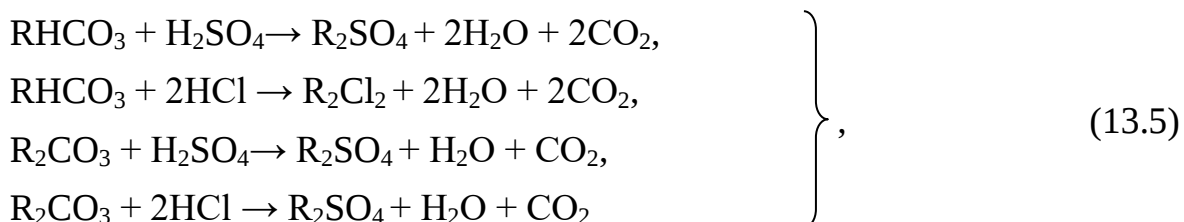


Рис. 13.2. Схеми водозм'якшувальних установок:

- а* – освітлення і Na – катіонування: 1, 4 – трубопровід; 2 – розподільник; 3 – підігрівник води; 5 – витискувач коагулянту; 6 – відстійник; 7 – проміжний бак; 8 – насос; 9 – механічні фільтри; 10 – Na-катіонітові фільтри;
- б* – освітлення, знесолення та знекремнювання: 1 – трубопровід; 2 – H-катіонітові фільтри; 3, 9 – аніонітові фільтри; 4 – H-катіонітові фільтри другого ступеня; 5 – відвідник CO₂; 6 – повітродувка; 7 – проміжний бак; 8 – насос.

причому їхня споруда не знімає необхідності в попередньому водозм'якшуванні, оскільки випарники при роботі на сирій воді швидко заростають накипом. Тому знесолення і знекремнювання додаткової води частіше здійснюють хімічним шляхом поєднанням обробки води в Н-катіонітових фільтрах з обробкою її в аніонітових фільтрах. Вода, що пройшла Н-катіонітові фільтри і тому містить сірчану, соляну, вугільну й кремнієву кислоти, проходить крізь шар аніоніту, тобто твердого нерозчинного у воді матеріалу, здатного вступати в реакцію іонного обміну з кислотами. При цьому розрізняють низькоосновні аніоніти, що вступають в реакцію з сильними кислотами за рівняннями вигляду:



і високоосновні аніоніти, що вступають в реакцію з кремнієвою кислотою за рівнянням виду:



H_2O і CO_2 , що утворилися в результаті цих реакцій, залишаються у воді, що знесолюється, а сполуки R_2SO_4 , R_2Cl_2 і R_2SiO_3 поступають до складу аніоніту.

На рис. 13.2, б наведена принципова схема установки глибокого хімічного знесолення і знекремнювання води. Заздалегідь коагульовану й освітлену воду подають по трубопроводу 1 в Н-катіонітові фільтри 2, а потім в аніонітові фільтри 3, завантажені слабоосновним аніонітом. У перших фільтрах внаслідок реакцій катіонного обміну катіони, що знаходяться в жорсткій початковій воді, замінюються катіонами водню, в інших фільтрах внаслідок реакцій аніонного обміну аніони сильних кислот (SO_4^{2-} , Cl^-), що знаходяться у воді, замінюються гідроксильними аніонами OH^- , в результаті чого солевміст оброблюваної води різко знижується. Потім воду послідовно пропускають через Н-катіонітові фільтри другого ступеня 4 і через відвідник CO_2 5, з якого вода зливається в проміжний бак 7. Видалення з води CO_2 проводиться продуванням шару води повітрям, яке подається у відвідник CO_2 повітродувкою 6. З баку 7 вода прямує насосом 8 в аніонітові фільтри 9, завантажені сильноосновним аніонітом. В останніх внаслідок реакцій аніонного обміну здійснюється видалення з води аніонів кремнієвої кислоти.

Звільнення води від розчиненого в ній повітря здійснюють термічною деаерацією. Остання заснована на тому, що здатність води розчиняти в собі гази падає у міру підвищення її температури і абсолютно зникає при досягненні температури кипіння, коли розчинені в ній гази повністю з неї видаляються. Термічну деаерацію здійснюють в термічних деаераторах. Вода подається під кришку деаераторної головки (Г5 на рис. 13.3). Тут вода розливається по особливих дірчастих тарілках і тонкими цівками стікає в бак деаератору {Д1 на рис. 13.3}.

13.4.3.3. ХВО для водогрійних котлів

У разі водогрійних котлів використовують закритий контур. Котел заповнюється один раз при запуску системи і необхідність в компенсації втрат води відсутня. Поповнення може відбуватися перед початком сезону або у разі наявності втрат. Водопідготовка для водогрійних котлів також широко застосовується в побуті, зважаючи на застосування двоконтурних котлів для ГВС.

Комплект устаткування для **ХВО побутового котла** складається з механічного фільтру і фільтру зм'якшування води. На водогінній воді застосовують механічні сітчасті фільтри марки Honeywell FF06, PROTECTOR MINI або Honeywell FK06, BWT F1 HWS фільтр з вбудованим регулятором тиску. При використанні води зі свердловини застосовують фільтри зі змінним поліпропіленовим картриджем марки BB10, BB20. Останнім часом широко стали застосовувати *дискові промивні фільтри*. Дисковий фільтр AZUD має низку переваг перед раніше згаданими. Тривалий термін експлуатації і відсутність змінних елементів роблять дисковий фільтр AZUD DF 1" якнайкращим рішенням для механічного очищення води.

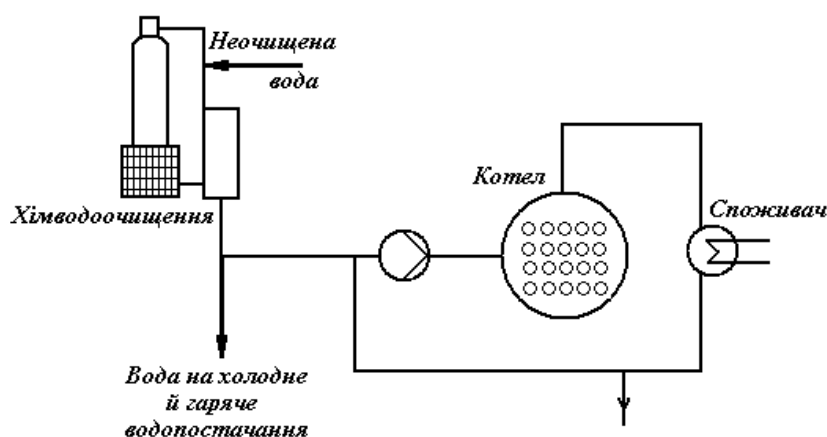


Рис. 13.4. Система опалення з водогрійним котлом.

На другому етапі зм'якшування води проводять за допомогою фільтру з іонно-обмінною смолою DOWEX HCRS/S або комплексного завантаження Есomіх – у випадку для води, яка містить залізо й органічні домішки. Ці фільтри оснащені ручним або автоматичним клапаном управління. Для відновлення фільтруючих властивостей іонообмінних фільтрів застосовують сольовий розчин, що готується з таблетованої солі.

Для **отримання дистилляту**, необхідного для промислового виробництва хімічно чистих реактивів, лікарських препаратів, проведення різних аналізів в лабораторній практиці застосовується термічне знесолення води для водопідготовки. Цей процес здійснюється у випарниках киплячого типу. При цьому дистиллят виробляють в основному з води, заздалегідь зм'якшеної на іонітових фільтрах.

14. ПЕРЕРОБКА НАФТИ

14.1. Етапи переробки нафти

Переробка нафти складається з окремих операцій обробки вихідної сировини, напівпродуктів або кінцевих продуктів.

В даний час з сирової нафти можна одержати різні види палива, нафтові масла, парафіни, бітуми, гас, розчинники, сажу, мастила та інші нафтопродукти.

Технологічна схема переробки нафти (рис. 14.1) включає значну кількість методів, які ми розглянули раніше – це і фільтрування, і сепарація, і ректифікація, і хімічне очищення. Якщо ще врахувати обробку сирової нафти при її підготовці до подальших операцій, то побачимо, що тут задіяний широкий спектр механічних, фізичних, фізико-хімічних та хімічних методів.

На нафтопереробних заводах нафта проходить декілька етапів, перш ніж стати готовим до використання продуктом:

1. підготовка нафти до первинної переробки,
2. первинна переробка нафти (пряма перегонка),
3. вторинна переробка нафти,
4. очищення нафтопродуктів.

14.1.1. Підготовка нафти до переробки (зневоднення і знесолення нафти)

Здобута, але не перероблена нафта, містить різні домішки, наприклад, сіль, воду, пісок, глину, частинки ґрунту, супутні гази. Наявність механічних домішок і води заважає транспортуванню нафти по нафтопродуктопроводах для подальшої її переробки, спричиняє утворення відкладень у теплообмінних апаратах та інших ємностях, ускладнює процес переробки нафти.

Вся здобута нафта проходить процес комплексного очищення, спочатку механічного, потім тонкого очищення.

На даному етапі також відбувається розділення здобутої сировини на нафту і газ в сепараторах нафти і газу.

Відстоювання в герметичних резервуарах на холоді або при підігріванні сприяє видаленню великої кількості води і твердих частинок. Для отримання високих показників роботи установок з подальшої переробки нафти останню піддають додатковому зневодненню й знесоленню на спеціальних установках.

Часто вода й нафта утворюють стійку емульсію, в якій найдрібніші краплини однієї рідини розподілені в іншій у зваженому стані.

Виділяються два види емульсій:

- гідрофільна емульсія, тобто нафта у воді,
- гідрофобная емульсія, тобто вода в нафті.

Існує декілька способів руйнування емульсій:

- механічний,
- хімічний,
- електричний.

Механічний метод в свою чергу ділиться на:

- відстоювання,
- центрифугування.

На окремому аркуші

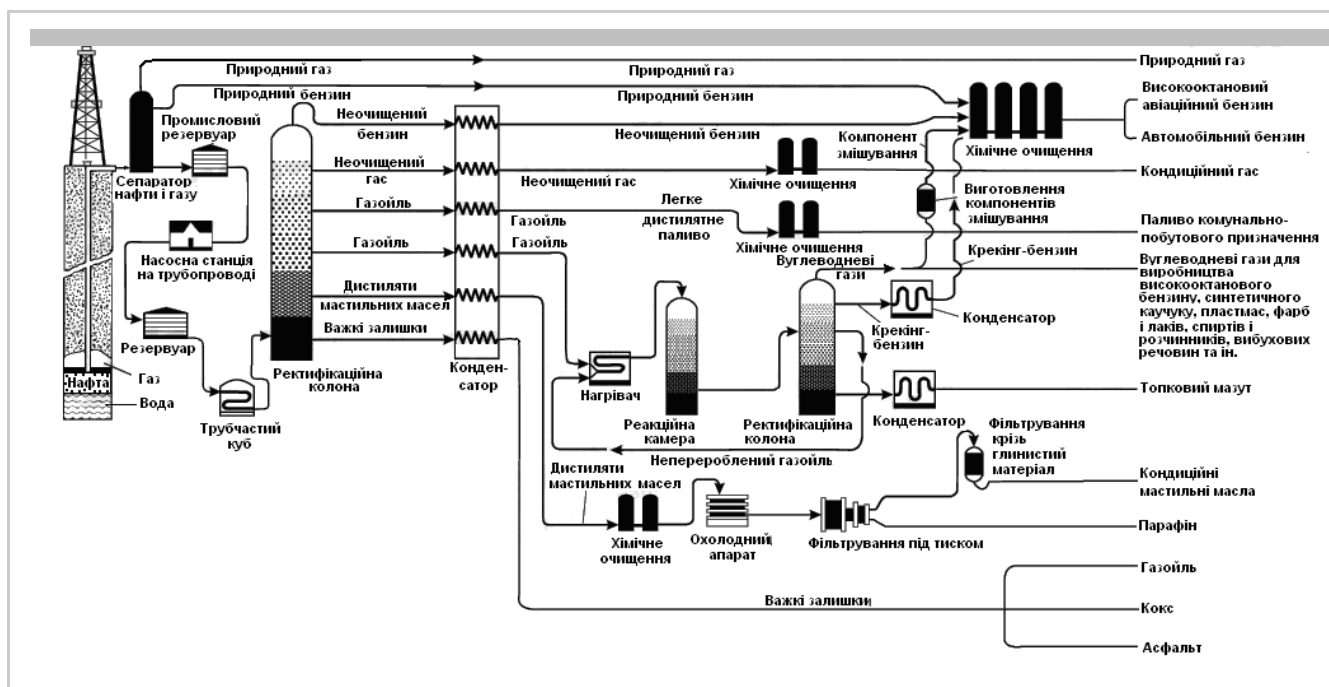


Рис. 14.1. Технологічна схема переробки нафти.

Різниця густини складових емульсії дозволяє легко розшаровувати воду і нафту методом відстоювання при нагріванні рідини до 120-160°C під тиском 8-15 ат протягом 2-3 год. При цьому не допускається випаровування води.

Емульсія також може розділятися під дією відцентрових сил в центрифугах при 3500-50000 об./хв.

При **хімічному методі** (рис. 14.2) емульсія руйнується шляхом застосування деемульгаторов, тобто *поверхнево-активних речовин*. Деемульгатори здатні розчиняти захисну плівку емульгатора, знижувати в'язкість нафти і тим самим сприяти осадженню частинок води. До них відносяться бензол, сірковуглець, ацетон, спирти, фенол, ефіри, бензин та ін. Ефективним деемульгатором є фенол – вельми стійкі емульсії руйнуються при додаванні його всього у кількості 0,01%.

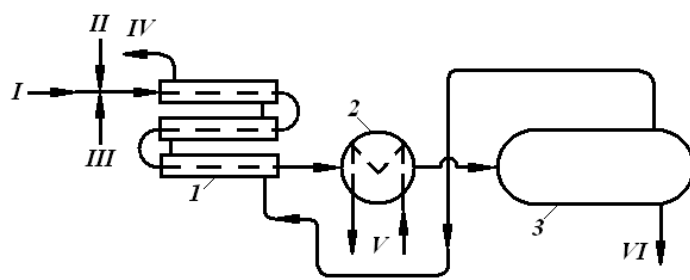


Рис. 14.2. Схема установки для хімічного деемульгування нафти:

1 – теплообмінник; 2 – паровий підігрівач; 3 – відстійник.

Лінії: I – сира нафта; II – деемульгатор; III – свіжа вода; VI – зневоднена нафта; V – водяна пара; VI – відстояна вода.

В групу *деемульгаторге-колоїдів* входять поверхнево-активні речовини різної природи, котрі здатні перетворювати вихідну емульсію в емульсію протилежного типу, послаблювати та руйнувати плівку емульгатору.

Даний спосіб застосовується разом з **електричним**.

В електродегідраторах (рис. 14.3) при електричній дії на нафтову емульсію частинки води об'єднуються, і відбувається швидше розшарування з нафтою.

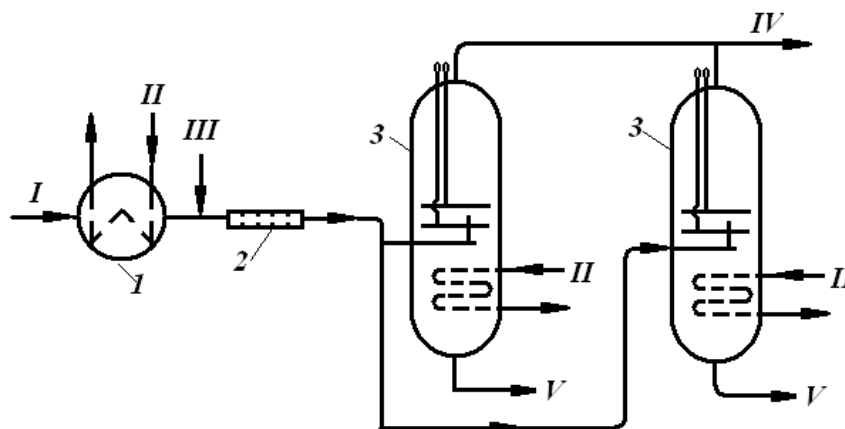


Рис. 14.3. Схема промислової електрозневоднювальної установки:

1 – паровий підігрівач; 2 – змішувач; 3 – електродегідратори.

Лінії: I – сира нафта; II – водяна пара; III – деемульгатор; IV – зневоднена і знесолена нафта; V – відстояна вода.

При потраплянні нафтової емульсії в перемінне електричне поле частинки води, заряджені негативно, починають пересуватися усередині елементарної краплини, надаючи їй грушоподібну форму, гострий кінець котрої звернений до позитивно зарядженого електроду. При зміні полярності електродів краплина перетерплює нову зміну форми, витягуючись гострим кінцем у протилежний бік. Подібних змін конфігурацій крапля перетерплює так часто, наскільки велика частота електричного поля. Під дією сил притягання окремі краплі, намагаючись пересуватися в електричному полі в напрямку протилежного електроду, стикаються одна з одною і при достатньо високому потенціалі заряду настає пробій оболонки діелектрика, в результат чого дрібні краплини укрупнюються, що й полегшує їхнє осадження в електродегідраторі. Зневоднена нафта підіймається і виводиться зверху дегідратору.

14.1.2. Первинна переробка нафти. Пряма перегонка нафти

Нафта є сумішшю вуглеводнів, які мають різну будову, молярну масу і температуру кипіння, а також сірчисті, кисневі й азотні органічні сполуки. Первинна переробка нафти полягає в розділенні підготовленої нафти на фракції і групи вуглеводнів. При перегонці одержують великий асортимент нафтопродуктів і напівпродуктів.

Сутність процесу заснована на різниці температур кипіння компонентів нафти. В результаті сировина розкладається на фракції – до мазуту (світлі нафтопродукти) і до гудрону (масла).

Тут слід зауважити, що термін «пряма перегонка» відносно обробки нафти є традиційним, насправді ж тут відбувається ректифікація, і основне обладнання має назву «ректифікаційні колони».

При перегонці нафти отримують фракції (дистиляти):

<i>Дистиляти</i>	<i>Температура відбору, °С</i>
Газолін	40-180
Бензин	до 170
Лігроїн	160-200
Легкий газойль	180-230
Гас (рос. – керосин)	200-250
Дизельне паливо	240-350
Масла	230-370
Важкий газойль	305-405
Залишок - гудрон	350-370

Перегонку здійснюють на одно- або двоступінчастих установках. В одноступінчастих перегонку ведуть при атмосферному тиску з отриманням моторних палив і мазуту, які використовуються як паливо або для подальшої переробки. Більш раціональним (з меншою витратою палива) є використання двоступінчастої атмосферно-вакуумної установки (рис. 13.4). На першій ступіні під атмосферним тиском отримують моторні палива і мазут, а на другій ступіні при зниженому тиску виділяють з мазуту мастильні оливи та гудрон, які перероблюють на пек, асфальт, нафтовий кокс. Перегонка мазуту відбувається під вакуумом для уникнення розщеплення важких вуглеводнів.

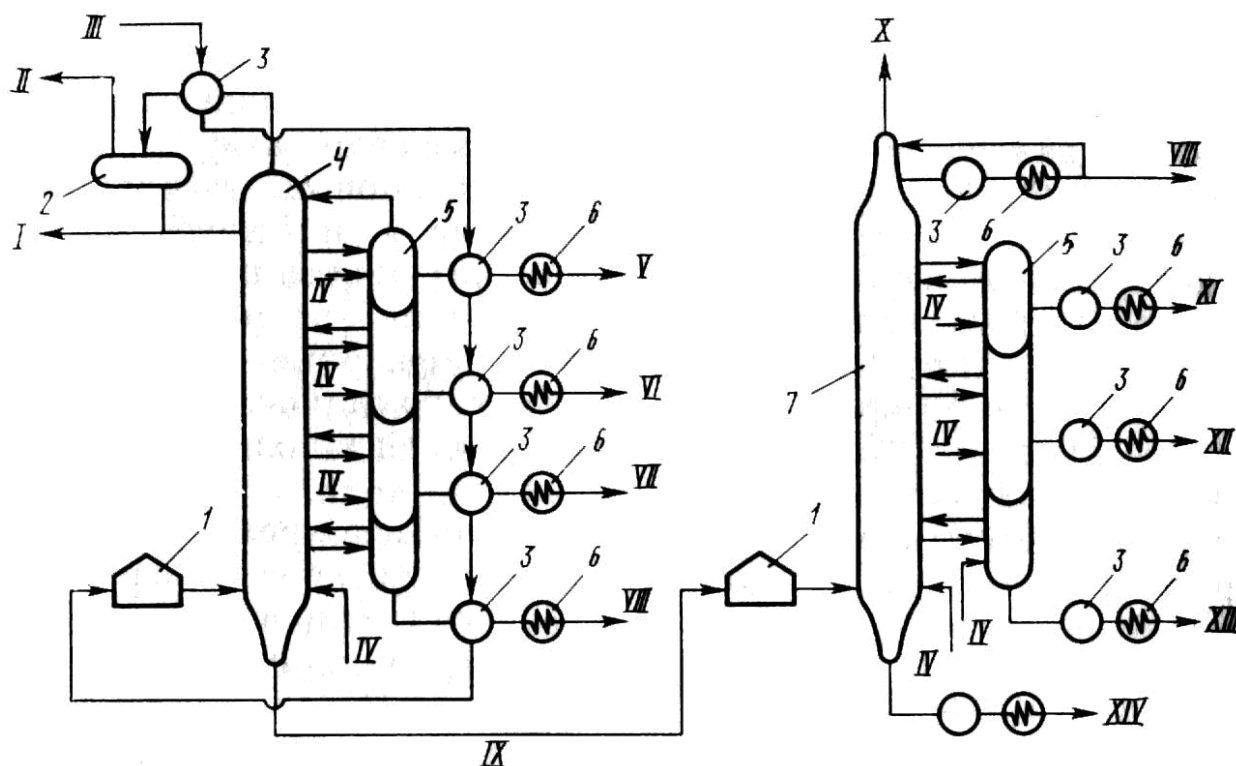


Рис. 13.4. Принципова схема атмосферно-вакуумної перегонки нафти:

1 – трубчаста піч; 2 – газосепаратор; 3 – теплообмінник; 4 – ректифікаційна колона атмосферного тиску; 5 – відгінна колона (відпарна); 6 – холодильник-конденсатор; 7 – вакуумна ректифікаційна колона. I – легкий бензин; II – вуглеводневий газ; III – нафта; IV – водяна пара; V – важкий бензин; VI – газ; VII – легке дизельне паливо; VIII – важке дизельне паливо (важкий газойль); IX – мазут; X – гази, що не конденсуються; XI – малов'язка олійна фракція; XII – середньов'язка олійна фракція; XIII – в'язка олійна фракція; XIV – гудрон.

Робота установки.

Нафтова сировина послідовно проходить через теплообмінники, де нагрівається до $\approx 175^{\circ}\text{C}$ за рахунок теплоти фракцій атмосферної і вакуумної перегонки (використовується тепло речовин, що покидають колону), і поступає в трубчасту піч, де нагрівається до 350°C . Парорідинна суміш з трубчастої печі подається в нижню частину ректифікаційної колони атмосферного тиску, де відбувається випаровування легких фракцій і відокремлення парів від рідкого залишку – мазуту. По висоті колони в точно визначених інтервалах температур ведеться відбір дистилатів – продуктів перегонки. Відібрані дистилати охолоджуються в теплообмінниках (нагріваючи вихідну речовину – нафту) і водяних холодильниках. Бензиновий дистилат частково повертається на зрошення колони.

Мазут (55% від маси сировини) з нижньої частини першої колони нагрівається у трубчастій печі до $400\text{--}420^{\circ}\text{C}$ і поступає в ректифікаційну колону, яка працює при тиску $(5\text{--}8)\cdot 10^3$ Па. Пари легких продуктів підіймаються наверх, відбираються по висоті колони і конденсуються у вигляді широких масляних фракцій різної в'язкості. Зверху колони відводять на охолодження і конденсацію пари важкого газойлю, частина його повертається на зрошення колони. Знизу колони відводиться рідкий залишок – гудрон. В нижні частини

обох колон подають гостру пару для зниження температури внизу колони і полегшення умов випаровування легких фракцій.

Як бачимо зі схеми рис. 13.4, основні апарати, в яких проходить перегонка нафти, або дистиляція, – це трубчасті печі, ректифікаційні колони і теплообмінні апарати.

Залежно від типу перегонки трубчасті печі діляться на атмосферні печі АТ, вакуумні печі ВТ і атмосферно-вакуумні трубчасті печі АВТ. В установках АТ здійснюють неглибоку переробку й одержують бензинові, гасові, дизельні фракції і мазут. В установках ВТ здійснюють поглиблену переробку сировини й одержують газойлеві та масляні фракції, гудрон, які надалі використовуються для виробництва змащувальних масел, коксу, бітуму і т.ін. У печах АВТ комбінуються два способи перегонки нафти.

Процес переробки нафти принципом випаровування відбувається в ректифікаційних колонах. Там початкова нафта за допомогою насоса поступає в теплообмінник, нагрівається, потім поступає в трубчасту піч (вогняний підігрівач), де нагрівається до заданої температури (рис. 13.5). Далі нафта у вигляді парорідинної суміші входить у випарну частину ректифікаційної колони. Тут відбувається розподіл парової фази і рідкої фази: пара підіймається вгору по колоні, рідина стікає вниз.

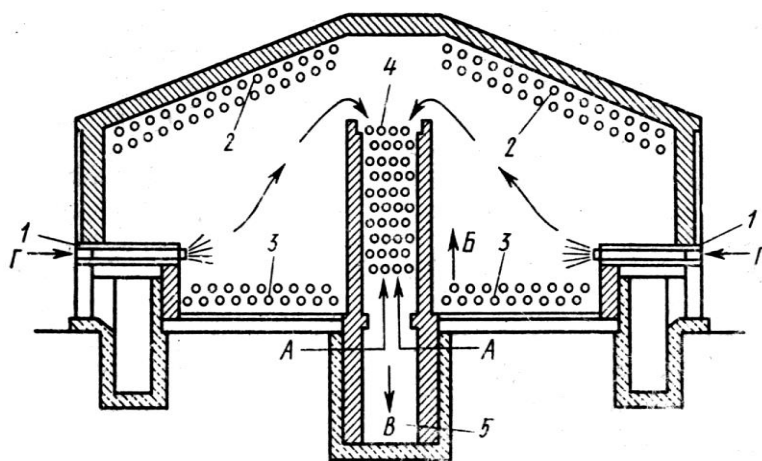


Рис. 13.5. Схема двокамерної печі з нахиленим склепінням:

1 – форсунка для палива; 2 – стельові екрани (радіантні труби); 3 – подові екрани; 4 – конвекційна камера; 5 – димохід. А – вхід сировини; Б – продукт на вихід; В – вихід топкових газів; Г – паливо.

Будова ректифікаційних колон подібна будові інших колонних апаратів тарілчастого типу (див. розділ 6.1.4).

Продукти первинної переробки нафти охолоджуються в теплообмінниках, в яких віддають тепло холодній сировині, яка поступає на переробку, за рахунок чого здійснюється економія технологічного палива, і виводяться з виробництва. Аналогічна схема теплообміну використовується і на інших установках НПЗ.

В результаті первинної обробки нафти одержують такі основні нафтопродукти:

- вуглеводневий газ (пропан, бутан),

- бензинова фракція (температура кипіння до 200 градусів),
- гас (температура кипіння 220-275 градусів),
- газойль або дизельне паливо (температура кипіння 200-400 градусів),
- змащувальні масла (температура кипіння вища 300 градусів),
- залишок (мазут).

Нафтопродукти, які отримані на атмосферно-вакуумній установці – бензинові, лігроїнові, газові та олійні дистилати – очищають від сірчистих і кисневих сполук і після додавання присадок, котрі поліпшують їхню якість, використовують як паливо і мастильні матеріали. Бензини прямої перегонки містять головним чином нафтенові й парафінові вуглеводні і характеризуються низькими октановими числами – у межах 50-70; бензини з високими октановими числами отримують методом крекінгу.

14.1.3. Вторинна переробка нафти

Залежно від фізико-хімічних властивостей нафти і від потреби в кінцевому продукті відбувається вибір подальшого способу деструктивної переробки сировини. Вторинна переробка нафти полягає в термічній і каталітичній дії на нафтопродукти, одержані методом прямої перегонки.

Виділяються варіанти переробки нафти:

- паливний,
- паливно-масляний,
- нафтохімічний.

Паливний спосіб переробки застосовується для отримання високоякісних автомобільних бензинів, зимових і літніх дизельних палив, палив для реактивних двигунів, котельних палив. При даному методі використовується менша кількість технологічних установок. Паливний метод є процесами, в результаті яких з важких нафтових фракцій і залишку одержують моторні палива. До даного вигляду переробки відносять каталітичний крекінг, каталітичний ріформінг, гідрокрекінг, гідроочищення та інші термічні процеси.

При паливно-масляній переробці разом з паливами одержують змащувальні масла й асфальт. До даного вигляду відносяться процеси екстракції та деасфальтизації.

Найбільша різноманітність нафтопродуктів виходить в результаті **нафтохімічної переробки**. У зв'язку з цим використовується велика кількість технологічних установок. В результаті нафтохімічної обробки сировини виробляються не тільки палива й масла, але й азотні добрива, синтетичний каучук, пластмаси, синтетичні волокна, миючі засоби, жирні кислоти, фенол, ацетон, спирт, ефіри та інші хімікалії.

Нафтохімічна переробка включає:

- каталітичний крекінг,
- ріформінг,
- гідрокрекінг та гідроочищення,
- екстракцію,
- деасфальтизацію,
- коксування,

- ізомеризацію,
- алкілування.

Каталітичний крекінг

При каталітичному крекінгу використовується каталізатор для прискорення хімічних процесів, але в той же час без зміни суті цих хімічних реакцій. Суть крекінг-процесу, тобто реакції розщеплювання, полягає в прогоні нагрітих до пароподібного стану нафт через каталізатор.

Риформінг

Процес риформінга застосовується в основному для виробництва високооктанового бензину. Даній переробці можуть піддаватися тільки парафінові фракції, які киплять у межах 95-205°C.

Види риформінга:

- термічний риформінг,
- каталітичний риформінг.

При термічному риформінгу фракції первинної переробки нафти піддаються дії тільки високої температури.

При каталітичному риформінгу дія на початкові фракції відбувається як температурою, так і за допомогою каталізаторів.

Гідрокрекінг і гідроочищення

Даний метод переробки полягає в отриманні бензинових фракцій, реактивного й дизельного палива, змащувальних масел і зріджених газів за рахунок дії водню на висококиплячі нафтові фракції під впливом каталізатора. В результаті гідрокрекінга початкові нафтові фракції проходять також гідроочищення.

Гідроочищення полягає у видаленні сірки та інших домішок з сировини. Зазвичай установки гідроочищення суміщують з установками каталітичного риформінга, оскільки в результаті останнього виділяється велика кількість водню. В результаті очищення якість нафтопродуктів підвищується, зменшується корозія устаткування.

Процес екстракції полягає в розділенні суміші твердих або рідких речовин за допомогою розчинників (див. главу 8). У використовуваному розчиннику добре розчиняються витягвані компоненти. Далі проводиться депарафінізація для зниження температури застигання масла. Отримання кінцевого продукту закінчується гідроочищенням. Даний метод переробки застосовується для отримання дизельного палива й витяганні ароматичних вуглеводнів.

В результаті *деасфальтізації* із залишкових продуктів дистіляції нафти виходять смолисто-асфальтенові речовини. Надалі деасфальтизат використовується для виробництва бітуму, застосовується як сировина для каталітичного крекінгу й гідрокрекінгу.

Коксування

Для отримання нафтового коксу й газойлевих фракцій з важких фракцій перегонки нафти, залишків деасфальтізації, термічного й каталітичного крекінгу, піролізу бензинів використовують процес коксування. Даний вид переробки нафтопродуктів полягає в послідовному протіканні реакцій крекінгу,

дегідрування (виділення водню з сировини), циклізації (утворення циклічної структури), ароматизації (збільшення ароматичних вуглеводнів у нафті), поліконденсації (виділення побічних продуктів, таких як вода, спирт) і ущільнення для утворення суцільного "коксівного пирога". Леткі продукти, що виділяються в процесі коксування, піддають процесу ректифікації, щоб одержати цільові фракції і для їхньої стабілізації.

Ізомеризація

Процес ізомеризації полягає в перетворенні з початкової сировини його ізомерів. Подібні перетворення призводять до отриманні бензинів з високим октановим числом.

Алкілування

Шляхом введення у сполуки алкінових груп одержують високооктанові бензини з вуглеводневих газів.

Слід зазначити, що в процесі переробки нафти і для отримання кінцевого продукту використовується весь комплекс нафтогазових і нафтохімічних технологій. Складність і різноманітність готових продуктів, які можна одержати зі здобутої сировини, визначає і різноманітність нафтопереробних процесів.

14.1.4. Стабілізація і вторинна перегонка бензину

Одержувана на атмосферному блоці бензинова фракція містить гази (в основному пропан і бутан) в об'ємі, що перевищує вимоги за якістю, і не може використовуватися ані як компонент автобензину, ані як товарний прямогонного бензин. Крім того, процеси нафтопереробки, спрямовані на підвищення октанового числа бензину і виробництва ароматичних вуглеводнів, як сировину використовують вузькі бензинові фракції. Цим обумовлене включення в технологічну схему переробки нафти даного процесу, при якому від бензинової фракції отгоняються зріджені гази, і здійснюється її розгін на 2-5 вузьких фракцій на відповідній кількості колон.

15. ОБРОБКА НАФТОПРОДУКТІВ

15.1. Види нафтопродуктів, що використовуються при експлуатації обладнання

Велика група нафтопродуктів відноситься до спеціальних рідин, що використовуються при експлуатації обладнання – це палива (бензин, керосин, дизельне паливо); мастильні і мастильно-охолодні матеріали; гідравлічні рідини; антифризи. Сюди ж слід віднести рідини фарбувальних ванн, що містять частки фарби і бруд, а також масляні шлами.

15.1.1. Палива

Основні групи палив – моторні й котельні.

1. Моторні палива

а) карбюраторні для авіаційних і автомобільних поршневого двигунів внутрішнього згоряння зі спалахом від іскри (авіаційні бензини різних марок, автомобільні бензини, тракторне паливо – лігроїн, гас);

б) паливо для реактивних двигунів (фракції гасу або суміші бензину з гасовими фракціями – авіабензин).

в) дизельне паливо для поршневих двигунів внутрішнього згоряння зі спалахом від стиску (гас, газойль та солярові фракції).

Бензини характеризуються фракційним складом, хімічною та фізичною стабільністю, вмістом сірки, антикорозійними властивостями, температурою застигання, теплотою згоряння та ін.).

Основною характеристикою бензинів та інших карбюраторних палив є їхня детонаційна властивість.

Детонація виникає внаслідок передчасного вибухового спалаху палива в циліндрі двигуна, який супроводжується стукотом в двигуні та призводить до підвищення витрати палива, зменшення потужності, перегріву двигуна зі швидким виходом його з ладу.

Детонаційні властивості бензинів визначаються за їхнім октановим числом. Шкала октанових чисел відрховується від числа 0, за яке прийнятий найменш стійкий до детонації *n*-гептан, до 100, яке відповідає вельми стійкому ізооктану. Проміжні числа відповідають сумішам (в об'ємних частках) ізооктану з *n*-гептаном, які детонують у тих самих умовах, що й бензин, який випробовується. Найбільшу стійкість до детонації виявляють ізомерні циклічні й особливо ароматичні вуглеводні; деякі з них (бензол, толуол, ксилол) мають октанові числа, що перевищують 100. Тому при отриманні авіаційних бензинів намагаються забезпечити максимальний вміст в них ізомерних структур і ароматичних вуглеводнів. Для низькооктанових бензинів використовуються антидетонаційні добавки. Раніше найбільш поширеною добавкою був тетраетилсвинець $Pb(C_2H_5)_4$ в суміші з бромистим етилом (етилова рідина – дуже отруйна).

Дизельне паливо характеризується цетановим числом, яке визначає самоспалах палива, а також в'язкість, температурою застигання та ін. Цетанове число – це вміст (об'ємні частки) цетану – гексадекану, прийнятого за 100, в суміші його з α -метилнафталіном, прийнятим за 0, еквівалентній по спалаху з паливом, яке випробовується, в стандартних умовах. Із збільшенням цетанового числа якість палива поліпшується.

2. Котельне паливо для теплових електростанцій, промислових печей, теплоходів і тепловозів – мазут та інші нафтові залишки.

Зовнішні ознаки пального дають орієнтовне уявлення про його вигляд, отруйність, стабільність і чистоту. Все кондиційне пальне для бронетанкового озброєння і техніки прозоре, але при присутності механічних домішок, при значному осмоленні або при кристалізації води і високоплавких парафінів пальне каламутніє і його прозорість погіршується. При мінусових температурах по прозорості літнє дизельне паливо можна відрізнити від зимового.

Розчинність води в нафтопродуктах у звичних умовах складає соті частки відсотка. Такий вміст її в бензині й у дизельному паливі абсолютно нешкідливий і не призводить до втрати прозорості. Надмірна ж кількість води збиратиметься окремим шаром на дні баку, резервуару і т.ін., а після сильного

перемішування (наприклад, під час руху машини) знаходитиметься у зваженому (емульгованому) стані і додаватиме пальному характерну муть.

15.1.2. Інші нафтопродукти

Масильні масла – висококиплячі фракції нафти, очищені від домішок. В залежності від області використання поділяються на індустриальні, турбінні, компресорні, моторні, спеціального призначення. Ці види масел розрізняються фракційним складом, в'язкістю, окисністю, масильною властивістю, густиною, температурою займання і спалаху. Особливу групу складають масла, які використовуються як **робочі рідини в гідравлічних системах і гальмуючих сумішах**, а також трансформаторах і конденсаторах як **електроізоляційне середовище**. До цієї групи відносяться **консистентні мастила** – це мастила, які загущені якимсь загусником, наприклад, милами, твердими вуглеводнями.

Масильно-охолодні рідини й оливи, використовувані в різних процесах механічної обробки, швидко насичується брудом, частками металу, мікроорганізмами. Їхня заміна коштує недешево і створює проблему дорогої утилізації.

Стандартні **антифризи** є злегка каламутними рідинами, забарвленими в ясно-жовтий, оранжевий або жовто-оранжевий колір. Вони не повинні містити крупних зважених частинок, осадів, а також емульгованих і тим більш плаваючих на поверхні нафтопродуктів.

Вживані антифризи значно забруднені, особливо каламутними вони стають в тих випадках, коли перед зливанням їх з системи охолодження не віддалявся накип. Такі антифризи тільки після фільтрації стають придатними для подальшого вживання.

Рідини фарбувальних ванн. З метою захисту металевих виробів від корозії разом з іншими метоами використовують полімерні захисні покриття. До них відносяться ґрунтовки, лаки, фарби, емалі. Усі вони являють собою складні композиції з плівкоутворювальних речовин, пігментів та наповнювачів, замішаних на органічному розчиннику або на воді (водоемульсійні фарби). Після використання такі ванни містять усі початкові складові плюс бруд, що являє собою затверділі частинки пігментів та мінеральних наповнювачів, пластифікаторів та каталізаторів висихання, крупинки іржі тощо.

Масляні шлами являють собою залишки розчинів, що утворюються після миття цистерн і танків, масляні відходи виробництва. Для використання їх як паливо необхідно витягти воду і механічні домішки. Звичайні методи утилізації вимагають значних витрат і забруднюють навколишнє середовище.

Всі стандартні спеціальні рідини (окрім рідин фарбувальних ван і масляних шламів) повинні бути прозорі, абсолютно однорідні (без щонайменших ознак розшарування) і не повинні містити зважених механічних домішок і тим більше осадів. На це спрямовані методи їхньої обробки.

15.2. Методи і засоби підготовки палива для спалювання

Підготовка до спалювання мало- і середнь'язких палив включає очищення від механічних домішок і води, а в'язких палив і сумішей (зокрема водопаливних) – окрім очищення, підігрівання й перемішування.

Використовуються такі методи очищення палив від механічних забруднень і води: осадження (відстоювання, сепарація) і фільтрування.

Відстоювання є попереднім очищенням палива від води і крупних механічних домішок. Цей метод особливо ефективний для малов'язких палив. Для поліпшення очищення в'язких палив застосовується підігрівання палива у відстійній цистерні до температури 50-70°C.

Сепарація заснована на принципі розділення неоднорідних середовищ у відцентровому полі. Сепаратор може працювати в двох режимах: кларіфікація – розділення суспензій для видалення механічних частинок і пуріфікація – розділення емульсій для видалення води. Відповідні схеми очищення сепаратором приведені на рис. 15.1.

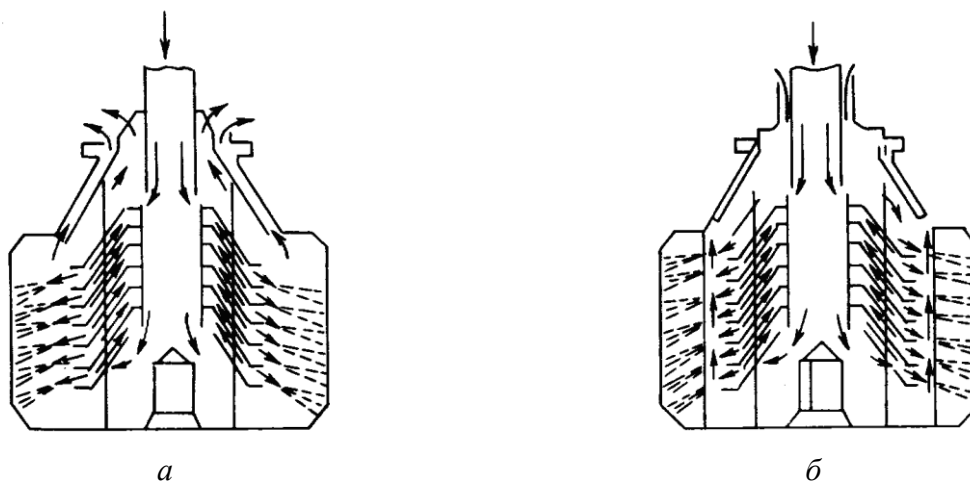


Рис. 15.1. Схема роботи сепаратора в режимах: *а* – пуріфікації; *б* – кларіфікації.

У процесі сепарації відокремлені від палива частинки накопичуються усередині барабану в грязьовій камері і періодично видаляються вручну або автоматично (у саморозвантажних сепараторах). Автоматичне очищення сепаратору здійснюється шляхом подачі води в барабан, яка витісняє шлам, що накопичився, в спеціальну шламову цистерну. На час автоматичного очищення подача палива в сепаратора припиняється.

Ефективність роботи відцентрових сепараторів залежить від багатьох чинників. При роботі сепаратора в режимі пуріфікації ознакою правильно вибраних параметрів є повне видалення води і 60-70 % механічних домішок. Для цього рекомендується відбирати проби палива до і після сепаратора з подальшим їхнім аналізом в лабораторії для вибору оптимальних параметрів на найхарактерніших режимах роботи сепаратора.

При сепаруванні малов'язких палив після їхнього попереднього відстоювання очищення проводиться без підігрівання на номінальній пропускній здатності в режимі пуріфікації або кларіфікації, часто використовуються обидва режими шляхом послідовної сепарації.

Схема обробки важких палив наведена на рис. 15.2.

Фільтрування палива доже поширене. Так, практично на всіх суднах використовується цей процес. Фільтри можуть бути грубого або тонкого очищення в залежності від частинок, що затримуються. Як фільтрувальний матеріал застосовується металева сітка, спеціальний папір, повсть, фетр, металокераміка або комбінація цих матеріалів. Більш тонке очищення забезпечують електростатичні, металокерамічні, паперові фільтри. В останній час у зв'язку зі зростанням потужності енергетичних установок і споживання різних палив, а також необхідністю зниження трудозатрат на підготовку палива,

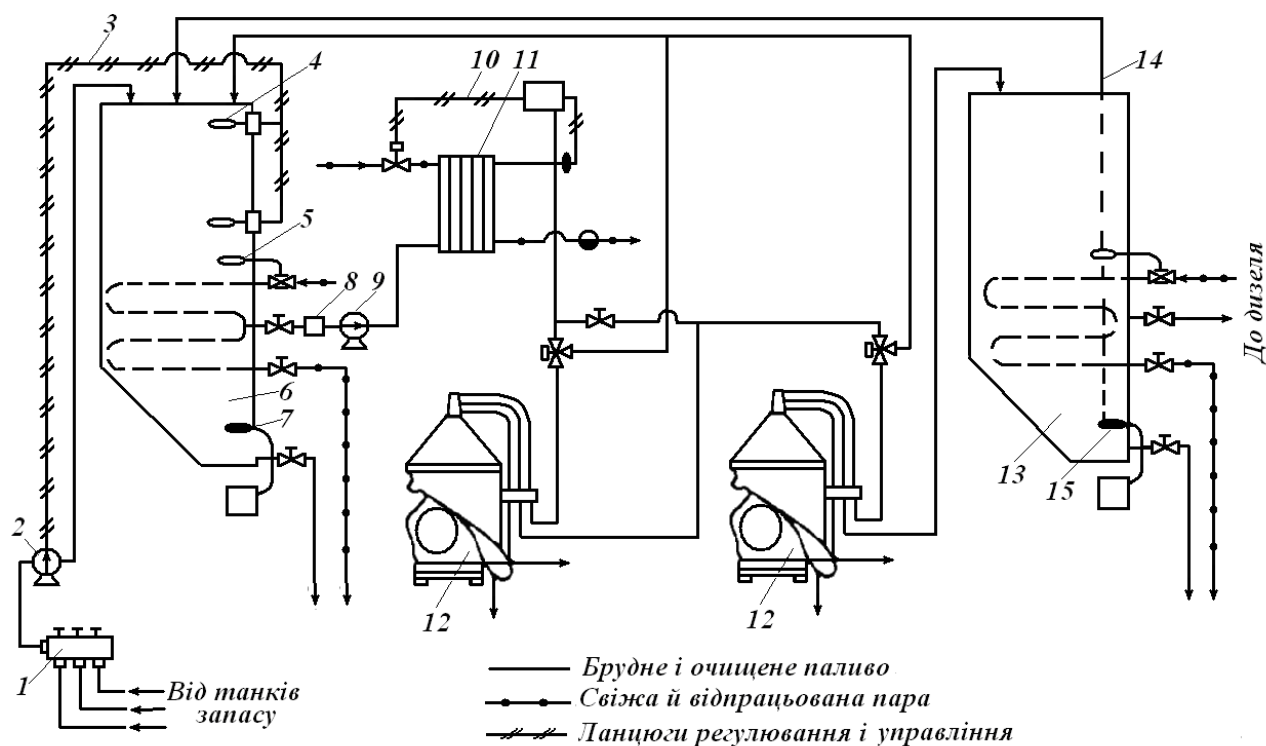


Рис. 15.2. Принципова схема підготовки важких палив:

1 – розподільна коробка для приймання палив з танків запасу; 2 – насос перекачування палива з танків запасу; 3 – подача палива у відстійний бак (виконується у його верхній частині для виключення приймання охолодженого палива підсмоктуючим насосом сепараторів); 4 – датчик регулятора рівня палива у танку; 5 – датчик терморегулятора (забезпечує температуру палива у межах 50-70°C); 6 – відстійний бак з похилим днищем для накопичення води і забруднень; 7 – пробник рівню води у танку; 8 – подвійний фільтр грубого очищення; 9 – подаючий насос об'ємного типу з постійною продуктивністю (рекомендується встановлення двох насосів, резервний включається при паралельній роботі другого сепаратора); 10 – система автоматичного управління температурою підігріву палива, що сепарується (включає ПІ-регулятор і керований паровий клапан з відхиленням температури $\pm 2^\circ\text{C}$, що допускається); 11 – підігрівник палива; 12 – самоочищуваний сепаратор; 13 – витратний танк з похилим днищем; 14 – перелив з витратного танку у відстійник в режимі безперервного очищення палива; 15 – пробник рівня води для своєчасного спуску відстою.

широке розповсюдження отримали фільтрувальні установки, які самоочищуються. Очищення фільтрувальних елементів у них відбувається автоматично зворотнім потоком палива, що очищується, або або повітрям.

Ефективне очищення палива від механічних домішок і води методами сепарації й фільтрування дозволяє значно знизити зношення двигунів і підвищити працездатність паливної апаратури.

При обробці палива вказаними методами разом з механічними домашками видаляється до 3-6% високомолекулярної горючої частини, що знижує економічність роботи енергетичної установки. Крім того, виникає необхідність утилізації цих залишків.

Для обробки палива на суднах використовують *метод гомогенізації*, який вважається найпрогресивнішим. Сутність методу полягає у тому, що паливо піддається дії, при якій асфальтосмолисті утворення і глобули води дробляться на найдрібніші частинки. Структура палива стає дрібнодисперсною і одноріднішою. Тому спалювання асфальтосмолистих речовин і водопаливних емульсій не впливає на роботу паливної апаратури і робочий процес двигунів.

Гомогенізація палива можлива при дії на нього високочастотних коливань, що спеціально генеруються. Такі коливання створюються в гідродинамічних (рис. 15.3), ультразвукових, вібромеханічних та інших аналогічних пристроях. Експлуатаційні випробування гомогенізаторов в суднових системах паливopодготовки підтвердили, що при цьому методі скорочуються витрати палива, виключаються проблеми утилізації шламу, спрощується система паливopодготовки і зменшуються витрати на її обслуговування. Разом з тим зростає зношення ЦПГ, що вимагає подальших досліджень методу гомогенізації палива і можливості його застосування в системах паливopодготовки. Добрі результати дає комбінована обробка палив – методами сепарації, фільтрації і гомогенізації.

15.3. Методи обробки масел і гідравлічних рідин

Для очищення моторних масел на суднах використовують фільтрування та сепарацію. Циркуляційні масла допоміжних двигунів, яких в системах мало, очищуються за допомогою фільтрів грубого і тонкого очищення. Масла головних двигунів очищуються у відцентрових сепараторах та фільтрах тонкого очищення.

Недоліками фільтрувальних систем є низька ефективність і недостатня тонкість очищення, що спричиняє абразивне зношення. Використання відцентрових сепараторів при правильно вибраному режимі роботи забезпечує очищення масла від механічних домішок та води.

Як фільтрувальні елементи застосовуються в основному листові матеріали завтовшки 0,42-0,98 мм з тонкістю відсіву 5-60 мкм. Для їхнього виготовлення використовуються натуральні й синтетичні волонка, які сріплюються латексом, полівінілацетатною емульсією та іншими клейовими складами. Тільки тонке очищення всього потоку циркуляційного масла дозволяє забезпечити експлуатаційну надійність і довговічність дизелів.

Вимоги щодо автоматизації засобів очищення привели до широкого використання в СЕУ фільтрів, які самоочищуються, що дозволяє забезпечити високу швидкість фільтрування, механізувати очищення елементів і знизити трудоемкість обслуговування фільтрів.

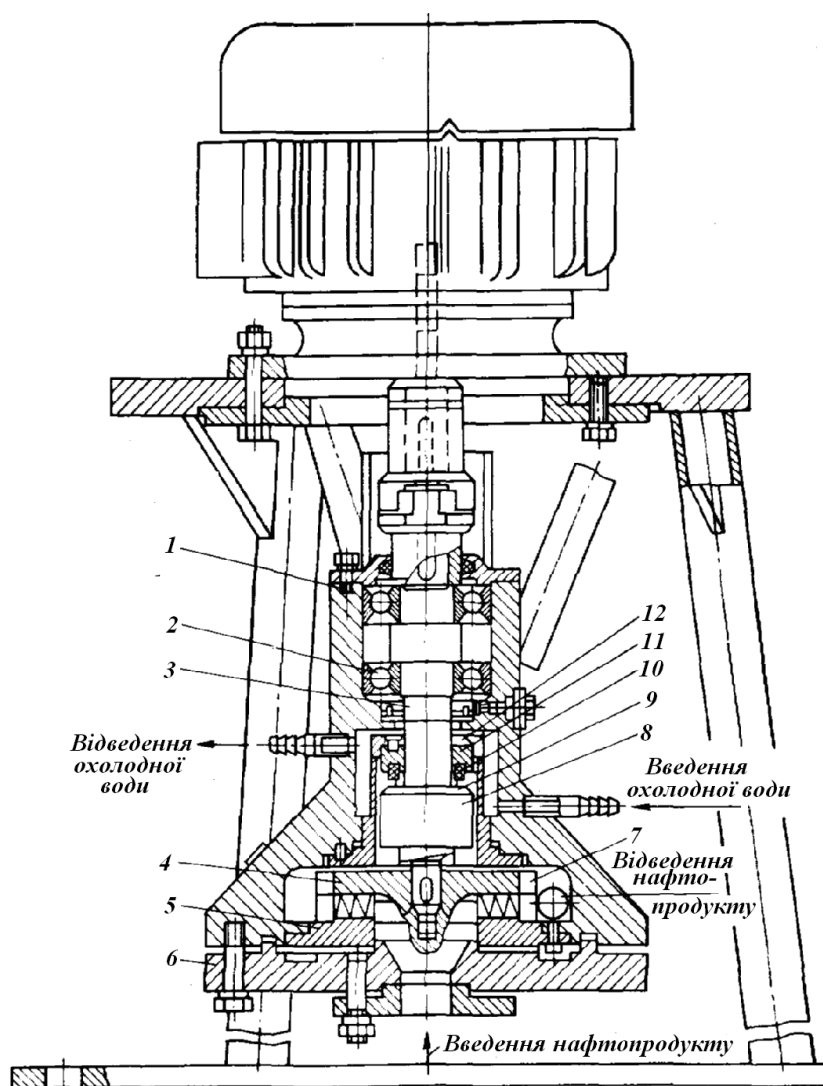


Рис. 15.3. Схема гідродинамічного змішувача ГАРТ-ПрМ:

1 – корпус; 2 – шарикопідшипники; 3 – вал; 4 – ротор; 5 – статор; 6 – кришка; 7 – насосне колесо; 8 – торцеве ущільнення; 9 – кільце, що обертається; 10 – керамічне кільце; 11 – обойма; 12 – стакан.

15.4. Мийні рідини

Мийні рідини використовуються для видалення нагару, змащень, які наносилися на деталі для їхнього збереження, з метою розконсервації та знежирення. Як мийні рідини можуть застосовуватися органічні розчинники і водні розчини. У склад водних мийних розчинів входять: тринатрійфосфат, рідке нарієве скло, гідроксид натрію, спеціальні поверхнево-активні речовини (ПАР) і мийні засоби побутової хімії, основною частиною яких є ПАР. Всі ці розчини мають лужну реакцію середовища і тим самим потребують певного відношення при їхньому скиданні в каналізацію, зокрема, контролю рН і доведення його до допустимих значень. Як органічні розчинники використовуються бензини певних марок, гас, чотирихлористий вуглець, трихлоретилен і тетрахлоретилен (перхлоретилен), діхлоретан, а також фреон-113.

Приготування водних розчинів полягає у розчиненні компонентів у воді, яке проводиться в апаратах з мішалками (рис. 7.1).

Після використання водні розчини можуть разом з іншими водними стоками після відповідної обробки спускатися в каналізацію (детально – глава III), а відпрацьовані органічні розчинники, які містять масла, частинки бруду, іржі та ін. направляються на утилізацію. Цінний органічний розчинник може бути видалений для подальшого використання відгонкою, екстракцією або іншими методами, розглянутими у главі I.

Глава III. 16. ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД

Забруднення біосфери, зокрема джерел водопостачання, є реальним чинником, який спричиняє негативний вплив на здоров'я людей та завдає шкоди природному середовищу. Забруднення водних джерел включає будь-які зміни фізичних, хімічних, біологічних властивостей води у водних об'єктах, обумовлених скиданням у них твердих, рідких і газоподібних речовин.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВОЗ) від використання низькоякісної питної води щороку в світі страждає кожна десята людина. До 50% річкової води щороку піддається техногенній дії, у тому числі й у результаті скидання $425 \cdot 10^9$ м³ стічних вод. Значна забрудненість водних об'єктів і малоефективні технології підготовки води – це головні причини низької якості питної води. Більше 90% стічних вод, що поступають через комунальні мережі в поверхневі водні об'єкти, скидаються забрудненими.

16.1. Характеристика стічних вод та методи їхнього очищення

Води і стоки, які забруднені різними відходами, називають стічними. Залежно від виду забруднень стічні води підрозділяють на чотири потоки: *господарсько-побутові*, скидаються в міську каналізацію, *транспортні й транспортно-мийні*, характеризуються в основному неорганічними забрудненнями, *технологічні* з органічними й біологічними забрудненнями і *теплові*. Крім того, виділяють ще *атмосферні* стічні води – це злизова каналізація, талі й дощові води, вода від поливу. З усіх названих потоків стічних вод повторно після охолодження використовуються теплові потоки. Всю решту потоків піддають механічному й біологічному очищенню і знезараженню.

Забруднення поверхневих водоймищ і ґрунтових вод можна класифікувати таким чином:

- **механічні** – збільшення вмісту механічних домішок, що відносяться в основному до поверхневих видів забруднень;
- **хімічні** – присутність у воді неорганічних та органічних речовин токсичної і нетоксичної дії;
- **біологічні і бактеріологічні** – присутність у воді різноманітних патогенних бактерій, грибів і водоростей,
- **теплові** – скидання у водоймища нагрітих вод ТЕЦ і АЕС,
- **радіоактивні** – наявність радіоактивних речовин в поверхневих або ґрунтових водах.

Очищення стічних вод проводиться з метою усунення шкідливих і небезпечних властивостей, які можуть призвести до згубних наслідків у навколишньому середовищі. Застосування різних технологій очищення направлене на нейтралізацію, знешкодження або утилізацію цінних компонентів. Таким чином, вибір технології очищення й устаткування залежить в першу чергу від властивостей стічних вод і їхніх відхилень від властивостей природних вод. Іншими словами, вибір методу очищення стоків залежить від шкідливих чинників (ШЧ), які має стічна вода.

Як шкідливі чинники можуть виступати не тільки токсичні речовини – нафтопродукти, ПАВ, іони важких металів, – але й такі узагальнені показники, як агресивність середовища, загальна жорсткість (вище допустимої), вміст амонійного азоту, окислювальність та ін.

Наявність у стічній воді тих або інших шкідливих чинників (ШЧ) визначається шляхом хімічного або фізико-хімічного аналізу води, отримання її характеристик та вивчення останніх. Кожному ШЧ може відповідати група показників, тобто наявність у воді ШЧ може визначатися декількома характеристиками. Крім того, один і той самий показник стічної води може свідчити про наявність відразу декількох ШЧ.

Шкідливі чинники стічних вод зручно виділити в класи і кожному класу зіставити один або групу показників, які б однозначно визначали цей клас. Цю групу показників називатимемо **ідентифікатором забруднень (класу ШЧ)**.

Аналіз численних літературних джерел дозволив виявити декілька класів ШЧ і безліч методів, здатних знешкоджувати ці речовини. Хімічні сполуки, що знаходяться у стічній воді, можна розділити на неорганічні й органічні і класифікувати за їхнім фазовим станом. Характеристику стічних вод, запропоновану академіком Кульським Л.А., вважають найвдалішою (табл.1). Перелік деяких виявлених класів ШЧ, їхні ідентифікатори і групи методів знешкодження наведені в табл. 1.

Таблиця 16.1

Типи забруднюючих речовин у стічних водах і методи очищення

Тип забруднюючих речовин	Ідентифікатори забруднень	Методи очищення стічних вод
1	2	3
Грубодисперсні зважені речовини	Зважені речовини з розміром частинок більш за 0,5 мм	Відстоювання
		Первинне відстоювання без реагентів
		Фільтрація
Грубодисперсні емульговані частинки	Крапельні забруднення, органічні речовини, які не змішуються з водою	Гравітаційна сепарація
		Фільтрація
		Флотація
		Електрофлотація

Продовження табл.16.1

1	2	3
Мікрочастинки	Зважені речовини з розміром частинок не більш за 0,01 мм	Фільтрація
		Коагуляція
		Флокуляція
		Напірна флотація
Стабільні емульсії	Нафтопродукти у кількості більше 5 мг/л, речовини, які екстрагуються сірчаним ефіром	Тонкошарова седиментація
		Напірна флотація
		Електрофлотація
Колоїдні частинки	Розмір частинок від 0,1 до 10 мкм	Мікрофільтрація
		Електрофлотація
Агресивність середовища	pH, загальна лужність, загальна кислотність	Нейтралізація
Масла	Концентрація масел більш за 10 мг/л	Гравітаційна сепарація
		Флотація
		Електрофлотація
Феноли	Концентрація фенолів 0,5-5 мг/л	Біологічне очищення + озонування
		Сорбція на активованому вугіллі
	Концентрація фенолів 5-500 мг/л	Біологічне очищення
		Флотація + Біологічне очищення
		Коагуляція + озонування
Високий вміст органічних домішок		Біологічне очищення
		Хімічне окислення (озон)
		Сорбція на активованому вугіллі
Іони важких металів	Концентрації Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , $\text{Fe}_{\text{загальн}}$, Cd^{2+} 5-100 мг/л	Електрофлотація
		Реагентний + відстоювання
		Електродіаліз
		Електрокоагуляція
	Концентрації Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , $\text{Fe}_{\text{загальн}}$, Cd^{2+} 0,5-5 мг/л	Ультрафільтрація
		Іонний обмін
Ціаніди	Концентрація CN^- 1-10 мг/л	Хімічне окислення
		Електрофлотація
		Електрохімічне окислення
Хром (VI)	Концентрація Cr^{6+} 1-100 мг/л	Хімічне відновлення +
		Електрофлотація
		Електрохімічне відновлення
		Електрокоагуляція

Продовження табл. 16.1

Хром (III)	Концентрація Cr^{3+} 5-100 мг/л	Електрофлотація
		Осадження + Фільтрація
	Концентрація Cr^{3+} 0,5-5 мг/л	Іонний обмін
		Ультрафільтрація
Сульфати	Концентрація SO_4^{2-} > 2000 мг/л	Реагентний + відстоювання + фільтрація
		Вакуумне випарювання
	Концентрація SO_4^{2-} < 2000 мг/л	Нанофільтрація
		Зворотній осмос
Хлориди	Концентрація Cl^- > 300 мг/л	Зворотній осмос
		Вакуумне випарювання
		Електродіаліз
Загальний солевміст		Нанофільтрація
		Зворотний осмос
		Вакуумне випарювання
		Електродіаліз
Поверхнево-активні речовини (ПАР)	Аніонні та неіоногенні ПАР	Флотація
		Електрофлотація
		Сорбція на активованому вугіллі
	Аніонні, катіонні та неіоногенні ПАР	Ультрафільтрація
		Нанофільтрація
		Озонування

Як видно з табл. 16.1, кожному типу стічних вод відповідає метод або група методів, придатних для їхнього очищення. В той же час, багато методів очищення стічних вод дозволяють видаляти більше одного типу забруднень, що і застосовується при проектуванні та будівництві установок очищення води й очисних споруд.

Очищені стічні води після розведення водопровідною водою можуть повторно використовуватися для технічних потреб підприємства, що сприяє раціональному рішенню проблеми водопостачання. Вимоги до якості води, що подається у виробництво повторно, у кожному конкретному випадку визначаються особливостями технологічного процесу.

У промисловості застосовують механічні, хімічні, фізико-хімічні, біохімічні і термічні методи очищення, що підрозділяються на рекуперації й деструктивні. **Рекупераційні методи** передбачають витягання зі стічних вод і подальшу переробку всіх цінних речовин. За допомогою **деструктивних методів** речовини, що забруднюють стічні води, піддаються руйнуванню шляхом окислення або відновлення; продукти деструкції видаляються зі стоків у вигляді газів або осадів.

У даний час у зв'язку з використанням оборотних систем водопостачання істотно збільшується застосування фізико-хімічних методів очищення стічних вод, основними з яких є:

- флотація,
- сорбція,
- іонообмінне й електрохімічне очищення,
- гіперфільтрація,
- нейтралізація,
- екстракція,
- евапорация,
- випаровування і кристалізація.

16.2. Основні показники забрудненості стічних вод

Основні показники забрудненості стічних вод – концентрація зважених речовин, плаваючих домішок, забарвлення, температура, мінеральний склад домішок, кількість розчиненого кисню, біохімічна та хімічна потреба в кисні, а також наявність збудників захворювань і отруйних речовин.

Біохімічна потреба в кисні (БПК) характеризується кількістю кисню, що витрачається на біохімічні процеси, а **хімічна (ХПК)** – розрахунковою кількістю кисню, необхідного для повного окислення елементів органічної речовини. БПК завжди менше ХПК, оскільки частина органічних речовин витрачається на прирощення живих організмів активного мулу і входить у стійкі органічні сполуки, що не зачіпаються біохімічними процесами. Особливо важливі ці показники для підприємств, у стічних водах яких міститься багато зважених і розчинених речовин органічного походження, наприклад, підприємств харчової промисловості, для яких відзначається вельми значний рівень БПК і ХПК. Ці показники встановлюють лабораторним аналізом проб, що періодично відбираються.

Від концентрації зважених речовин залежить, зокрема, **забарвлення води**. Його контролюють автоматично за допомогою оптичних методів вимірювання. Проте такий контроль виправдовує себе тільки при порівняно невисокій концентрації зважених частинок (до 10 г/л). При більшій концентрації зважених частинок контроль забарвлення ведеться за допомогою аналізаторів кольоровості.

Бактеріологічний аналіз зводиться до визначення спеціальних показників – колі-індексу і колі-тітру. Непрямим показником бактеріологічної засіяності може бути концентрація залишкового хлору в стічній воді.

Кількісні показники забрудненості стічних вод, визначені лабораторним аналізом, зіставляють з вимогами до води, що спускається у водоймища.

16.3. Стадії очищення стічних вод

На різних промислових виробництвах застосовується різна кількість стадій очищення води. Це залежить від організації очисних споруд, методів очищення, що використовуються, і складу стоків.

Найчастіше процес очищення стоків підрозділяють на чотири етапи (стадії), відповідно до поділу забруднюючих речовин згідно з класифікацією академіка Кульського (рис. 16.1).

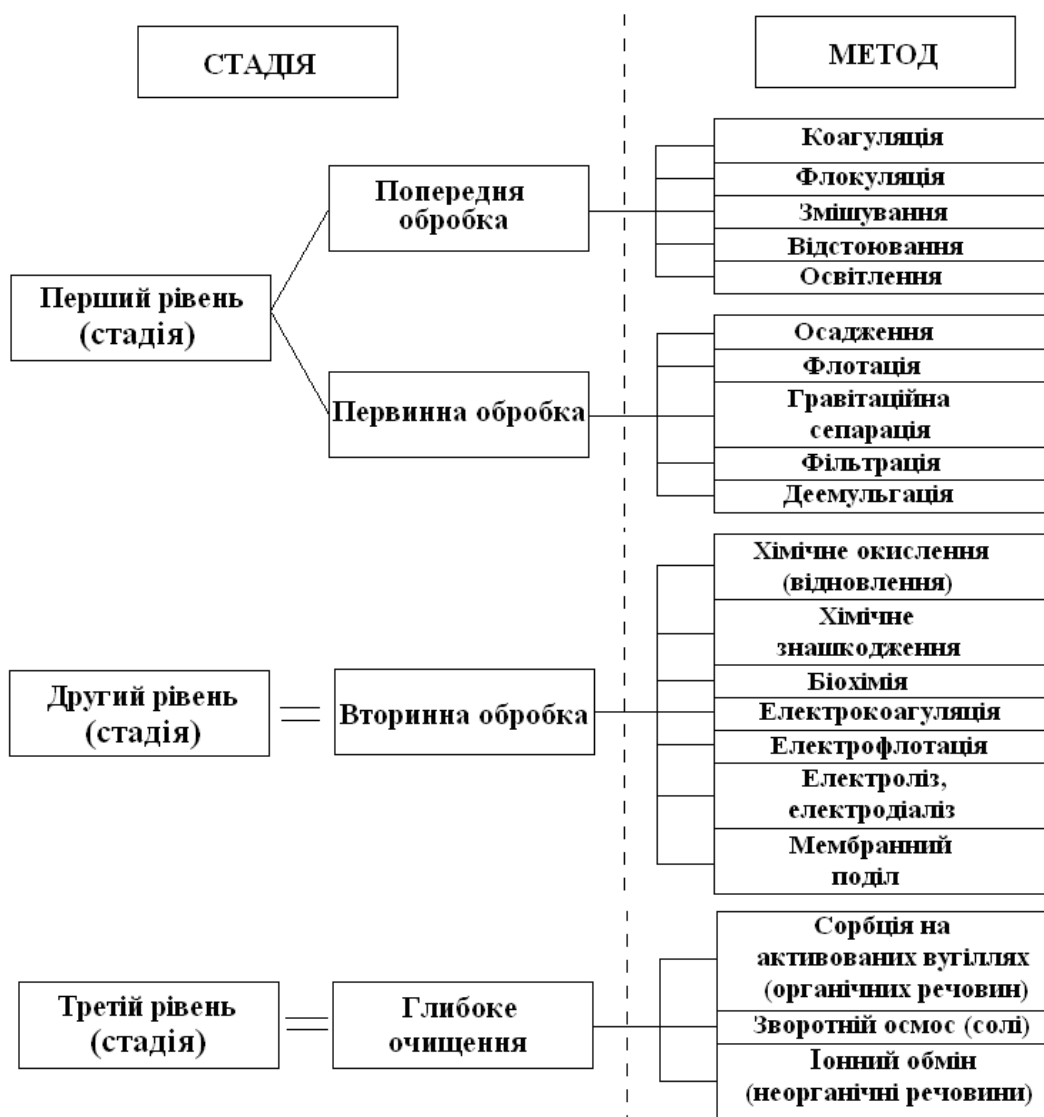


Рис. 16.1. Стадії та методи очищення стічних вод.

При попередній обробці видаляють найбільш грубі домішки.

При первинній обробці необхідно витягнути крупні частинки зважених речовин і грубодисперсних домішок, нейтралізувати токсини і видалити зі стічних вод масла. Якщо дані забруднення в стічних водах відсутні, слід почати очищення стічних вод з другої стадії, на якій відбувається витягання практично всіх механічних домішок, а також проводиться підготовка стоків до подальшого очищення, а саме, зниження агресивності стічних вод, зниження неприйнятних концентрацій окремих забруднюючих речовин.

На третьій стадії очищення стоків проводиться витягання всіх забруднюючих речовин до певного заданого рівня.

Попередню і першу стадію обробки проходять близько 30% стічних стічних вод, близько 60% піддаються ще обробці другої стадії. Глибоке очищення в даний час застосовується рідко, але, мабуть, воно стане поширенішим, коли для цього з'являться матеріальні можливості, що дозволить наблизити якість обробки до вищих стандартів. Приблизно 10% стічних вод взагалі не одержують обробки. В окремих випадках застосовують тільки

первинну обробку. Наприклад, для більшості міських систем водоочищення в США та або інша форма вторинної обробки є обов'язковою, а третинна обробка (глибоке очищення) у даний час застосовується лише зрідка.

Застосування конкретних методів очищення стічних вод або їхнє комбінування на кожному етапі обробки визначається хімічним складом і фізичними властивостями стічних вод. Залежно від наявності або відсутності певних класів забруднюючих речовин у стоці можна виключати деякі стадії водоочищення.

Попередня стадія обробки стічних вод. У випадку, коли стоки промислового підприємства містять крупні частинки зважених речовин або волокна (як у виробництві керамічних і силікатних матеріалів), а також нафтопродукти, потрібне ретельне попереднє очищення стічних вод, що включає такі процеси:

- Відстоювання стічних вод з використанням або без використання хімічних реагентів у залежності від складу стоків;
- Фільтрація через ґрати або сітчасті фільтри;
- Подача стоків на гравієві фільтри (грубе очищення);
- Коагуляція (дозування розчинів солей заліза або алюмінію);
- Витягання зі стічних вод шкідливих речовин спеціальними методами;
- Застосування нафтопасток для очищення стічних вод від нафти та масла.

За певних умов необхідно дозувати в стічну воду флокулянт для укрупнення зважених і колоїдних частинок і процесу утворення осаду у вигляді пластівців.

Первинна обробка стічних вод. Існує безліч різних способів первинної обробки стоків з різною ефективністю:

- Механічне первинне очищення стічних вод;
- Посилена реагентнопервинна обробка з низьким дозуванням хімікатів;
- Первинна обробка зважених речовин;
- Біологічне очищення стічних вод.

Мета первинної обробки стічних вод – перш за все механічне очищення, а також значне зниження кількості забруднень. Даний етап є неоднозначним. Методи, які використовуються в ньому, можуть сильно відрізнятися за принципом очищення стічних вод.

Механічний метод – це відстоювання, фільтрування і флотація стічних вод, за допомогою чого з води видаляються всі тверді домішки. Залежно від розмірів частинок для цього використовуються відстійники, ґрати, сита, нафтопастки, пісколовки. Механічне очищення застосовується, як правило, раніше, ніж хімічне, і дозволяє видалити з вод, що потребують очищення, крупнодисперсні забруднюючі речовини. Таким чином вода готується до подальшого очищення.

Механічне очищення стічних вод з побутових стоків виділяє 60-70% нерозчинних домішок, а з промислових до 95%. Багато нерозчинних домішок з

промислових вод використовуються потім при виробництві. Якщо механічне очищення забезпечує показники, встановлені санітарними вимогами, то освітлені у відстійнику води після дезинфекції скидають у водоймище.

Вибір методу очищення стічних вод від зважених частинок здійснюється з урахуванням кінетики процесу. Розміри зважених частинок, що містяться у виробничих стічних водах, можуть коливатися в дуже широких межах, (можливі діаметри частинок складають від $5 \cdot 10^{-9}$ до $5 \cdot 10^{-4}$ м), для частинок розміром до 10 мкм кінцева швидкість осадження складає менше 10-2 см/с. Якщо частинки достатньо великі (діаметром більше 30-50 мкм), то відповідно до закону Стокса вони легко можуть видалятися відстоюванням (при великій концентрації) або проціджуванням, наприклад, крізь мікрофільтри (при малій концентрації). Колоїдні частинки (діаметром 0,1-1 мкм) можуть бути видалені фільтруванням, проте через обмежену місткість фільтруючого шару кращим методом при концентраціях зважених частинок більше 50 мг/л є коагуляція з подальшим осадженням або освітлюванням у зваженому шарі.

Вторинна обробка включає повільну фільтрацію або аерацію. На стадії повільного фільтрування стічні води просочуються через шар гравію, в якому знаходяться бактерії, які розкладають 75% органічних речовин, що містяться у воді. При аеробному біологічному очищенні стічні води знешкоджують, пропускаючи їх крізь шар бактерій, що окисляють і мінералізують органічні речовини, а потім їх збагачують повітрям і дають відстоятися, щоб видалити осідаючі домішки. Цей метод має 90%-ну ефективність. Ця стадія є основною стадією очищення стоків, на якій відбувається витягання більшості забруднюючих речовин. При обробці на даному етапі разом з фізико-хімічними методами нерідко застосовують процеси біологічної деградації відходів. Методів, що використовуються при вторинній обробці, як правило, буває достатньо для очищення стоків.

Говорячи про вторинну обробку стічних вод, слід зупинитися на **нейтралізації та окисненні**.

Виробничі стічні води від технологічних процесів багатьох галузей промисловості містять луги й кислоти. У більшості кислих стічних вод містяться солі важких металів, які необхідно видаляти з цих вод.

З метою попередження корозії матеріалів каналізаційних очисних споруд, порушення біохімічних процесів в біологічних окислювачах і у водоймищах, а також осадження зі стічних вод солей важких металів кислі й лужні стоки піддаються *нейтралізації*.

Реакція нейтралізації – це хімічна реакція між речовинами, що мають властивості кислоти і основи, яка призводить до втрати характерних властивостей обох сполук. Найтипівіша реакція нейтралізації у водних розчинах відбувається між гідратованими іонами водню й іонами гідроксиду, що містяться відповідно в сильних кислотах і основах: $H^+ + OH^- = H_2O$. В результаті концентрація кожного з цих іонів стає рівною тій, яка властива самій воді (близько 10^{-7}), тобто активна реакція водного середовища наближається до $pH = 7$.

При спуску виробничих стічних вод у водоймище або в міську каналізаційну мережу практично нейтральними слід вважати суміші з $\text{pH}=6,5-8,5$. Отже, піддавати нейтралізації слід стічні води з pH менше 6,5 і більше 8,5, при цьому необхідно враховувати нейтралізуючу здатність водоймища, а також лужний резерв міських стічних вод. З умов скидання виробничих стічних вод у водоймище або міську каналізацію випливає, що велику небезпеку являють кислі стоки, які зустрічаються до того ж значно частіше, ніж лужні (кількість виробничих стічних вод з $\text{pH} > 8,5$ невелике).

Якщо відпрацьовані виробничі стічні води подаються в систему оборотного водопостачання, то вимоги до величини активної реакції залежать від специфіки технологічних процесів.

Найчастіше стічні води забруднені мінеральними кислотами: сірчаною H_2SO_4 , азотною HNO_3 , соляною HCl , а також їхніми сумішами. Значно рідше в стічних водах зустрічаються азотиста HNO_2 , фосфорна H_3PO_4 , сірчиста H_2SO_3 , сірководнева H_2S , плавикова HF , хромово H_2CrO_4 кислоти, а також органічні кислоти: оцтова CH_3COOH , вугільна H_2CO_3 , саліцилова $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$ та ін.

Концентрація кислот у стічних водах зазвичай не перевищує 3%, але іноді сягає більшої величини.

Вибір способу нейтралізації залежить від багатьох чинників: вигляду і концентрації кислоти, що забруднює виробничі стічні води; витрати і режиму надходження відпрацьованих вод на нейтралізацію; наявності реагентів; місцевих умов і т.ін.

Окислювальний метод очищення застосовують для знешкодження виробничих стічних вод, що містять токсичні домішки (ціаніди, комплексні ціаніди міді й цинку) або сполуки, які недоцільно витягувати зі стічних вод, а також очищати іншими методами (сірководень, сульфіді). Такі види стічних вод зустрічаються в машинобудівній (цехи гальванічних покриттів), гірничодобувній (збагачувальні фабрики свинцево-цинкових і мідних руд), нафтохімічній (нафтопереробні й нафтохімічні заводи), целюлозно-паперовій (цехи варіння целюлози) та в інших галузях промисловості.

У практиці знешкодження виробничих стічних вод як окислювачі використовують хлор, гіпохлорит кальцію і натрію, хлорне вапно, технічний кисень і кисень повітря.

Серед інших окислювачів, які застосовуються при очищенні виробничих стічних вод, можна назвати пероксид водню, оксиди марганцю, перманганат і біхромат калію. Ці окислювачі, хоча і не знаходять широкого застосування, але у ряді випадків можуть бути використані для окислення фенолів, крезолів, ціанідмістких домішок і т.ін.

Глибоке очищення води (третя стадія) пов'язане з видаленням з неї розчинних іонних речовин і залишків органічних речовин, які не витягнуті при вторинному очищенні. Третинне очищення проводиться не завжди однаково, а залежить від конкретного характеру стічних вод і самого методу очищення. В деяких випадках для його проведення використовуються фільтри з активованого деревного вугілля, в інших випадках для осадження фосфат-іона

PO_4^{3-} проводиться обробка води гідроксидом кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Можливе також застосування електродіалізу, хоча цей метод зв'язаний з великими затратами.

Завдяки цій стадії досягається очищення стічних вод до жорстких вимог ГДК. На даному етапі застосовуються ефективніші фізико-хімічні методи очищення і знесолення води – такі, як технології іонного обміну, нанофільтрація і зворотний осмос.

16.4. Типи очисних споруд

Для очищення стічних вод використовують очисні споруди трьох основних типів: локальні, загальні й районні або міські.

Очисні споруди **локального типу** призначені для знешкодження стічних вод безпосередньо після технологічних цехів, що мають шкідливі хімічні речовини, наприклад, після резервуарного парку технологічних комунікацій, насосних станцій, що зберігають і перекачують етильовані бензини. Застосування таких установок дає можливість уникнути необхідності пропускати стічні води підприємства через установки для витягання з води певних хімічних речовин.

Очисні споруди **загального типу** призначені для очищення всіх нафтовмістких вод нафтотранспортного підприємства. Зазвичай ці очисні споруди включають механічне, фізико-хімічне й біологічне очищення. До **споруд механічного очищення** відносяться пісколовки, нафтопастки, відстійники, флотаційні та фільтраційні установки і т.ін. На цих спорудах видаляють грубодисперсні домішки. До **споруд фізико-хімічного очищення** відносяться флотаційні установки із застосуванням хімічних реагентів, а також установки із застосуванням коагуляції для колоїдних домішок. До **споруд біологічного очищення** відносяться аеротенки, біофільтри, біологічні ставки та ін.

Очисні споруди районного або міського типу призначені в основному для механічного, фізико-хімічного й біологічного очищення стічних вод. Якщо на ці очисні споруди направляють виробничі стічні води, то в них не повинно бути домішок, які можуть порушити нормальний ритм роботи каналізації й очисних споруд.

Устаткування і параметри очисних споруд вибирають залежно від характеру і діапазону змін основних характеристик води: концентрації забруднень, витрати води, її температури і рН.

Підвищення технологічної ефективності споруд механічного очищення дуже важливе при створенні замкнених систем водного господарства промислових підприємств. Цій вимозі задовольняють різні конструкції багатополічних відстійників, сітчастих фільтрів, фільтрів з новими видами зернистих і синтетичних завантажень, гідроциклонів. Застосування цих споруд дозволить скоротити в 3-5 разів капітальні затрати і на 20-40% експлуатаційні затрати, зменшити в 3-7-разів необхідні площі для будівництва в порівнянні із застосуванням звичайних відстійників.

З метою забезпечення надійної роботи споруд механічного очищення виробничих стічних вод, як правило, рекомендується застосовувати не менше

двох робочих одиниць основного технологічного призначення – ґрат, пісколовок, усереднювачів, відстійників або фільтрів. При виборі максимальної кількості споруд передбачається їхнє секціонування за уніфікованими групами, що складаються з одиниць з найкрупнішими габаритами.

Підвищення ефекту механічного очищення стічних вод, особливо роботи споруд з первинного відстоювання, дозволяє скоротити об'єми споруд для подальших процесів очищення і тим самим знизити витрати на будівництво і витрати на експлуатацію більш дорогих і складних споруд фізико-хімічного очищення, а також обробки осаду.

16.5. Стічні води деяких виробництв та їхнє очищення

Основними джерелами забруднень водних об'єктів є недостатньо очищені стоки виробничих підприємств і комунальних об'єктів, тваринно- і птахівничих фабрик, тверді відходи, що утворюються при розробці корисних копалин, стічні води гірничодобувних шахт, стічні води, що утворюються при обробці та сплаві лісу; стічні води залізничного і водного видів транспорту, техногенні відходи металургійних підприємств.

Забруднюючі речовини, потрапляючи у водні об'єкти, спричиняють якісні зміни, які виявляються у зміні фізичних і хімічних властивостей води (поява запаху, неприємного присмаку і т.ін.).

За хімічним складом їх поділяють на такі групи:

- неорганічні забруднення, включаючи токсичні;
- органічні забруднення;
- неорганічні й органічні забруднення.

До *першого* типу відносяться стічні води содових, сульфатних, азотних підприємств, збагачувальних заводів марганцевих, свинцевих, нікелевих, цинкових руд, в яких містяться кислоти, луги, катіони важких металів і т.ін. Стічні води цього типу, як правило, змінюють фізичні властивості води.

Стічні води *другого* типу скидаються НПЗ і нафтохімічними підприємствами, підприємствам органічного синтезу і т.ін. У стічних водах присутні різні нафтопродукти, аміак, альдегіди, смоли, феноли та інші шкідливі речовини. Токсикологічна дія стоків даного типу полягає, в основному, в процесах окислення, в результаті яких знижується вміст кисню у воді, зростає біологічна (БПК) і хімічна (ХПК) потреба в кисні, відбувається погіршення органолептичних властивостей води.

Нафта і нафтопродукти в даний час є основними забруднюючими речовинами внутрішніх вод і морів світового океану. Потрапляючи у водні об'єкти, вони створюють різні класи забруднень: нафтову плівку, що плаває на поверхні води, розчинені або емульговані нафтопродукти, важкі нафтові фракції, що осіли на дно водоймища. В результаті відбувається зміна смаку, запаху, кольору, поверхневого натягу і в'язкості води, знижується кількість кисню, утворюються шкідливі органічні речовини, вода набуває токсичних властивостей і починає являти загрозу для тваринного світу й людини. При вмісті нафти всього 0,01 г/л вода стає непридатною для вживання.

Особливо небезпечною забруднюючою речовиною є фенол. Фенол присутній в стічних водах більшості нафтопереробних і коксохімічних підприємств. У присутності фенолів значно знижуються біологічні процеси водних об'єктів, процес самоочищення, вода набуває досить неприємного запаху.

Стічні води *третього типу* характерні для підприємств харчової промисловості, ЖКГ та ін.

У зв'язку зі специфічністю стічних вод, характерних для різних підприємств, а також різноманітністю забруднюючих речовин, що знаходяться у стічних водах навіть одного виробництва, вибір оптимального методу очищення часто складний. До очищеної стічної води пред'являються високі вимоги, тому при виборі методу очищення слід враховувати не тільки склад стічних вод, але і вимоги, що пред'являються до очищеної води. Великою мірою на вибір методів впливає економічна оцінка. У цьому сенсі перевагу мають замкнені системи очищення.

Які б методи не застосовувалися, їхня основна задача – дозволити по максимуму використовувати очищену стічну воду в будь-яких технологічних процесах і по мінімуму скидати її в навколишнє середовище.

Розглянемо схеми очищення стічних вод деяких підприємств, у тому числі таких, що працюють на Херсонщині.

16.5.1. Очищення стічних вод житлово-комунального господарства

Використана вода по системі каналізації потрапляє в насосні станції каналізації. В Херсоні головна така станція знаходиться в районі площі Корабелів. Тут стоки проходять механічне очищення, звільняючись від твердих предметів. Заключний етап обробки усіх каналізаційних вод здійснюється на міських очисних спорудах в районі селища Комишани. Під них відведена площа 80 га. Тут використовується біологічне очищення стоків, причому до такої степені, що їхній хімічний склад після обробки перевищує показник дніпровської води.

Більш детальну та наглядну уяву про очищення стічних вод дає навчальний фільм з такою ж назвою, який пропонується до перегляду.

16.5.2. Очищення стічних вод підприємств харчової промисловості

Найпоширенішими виробництвами є підприємства харчової промисловості. Стічні води харчової промисловості характеризуються високим вмістом органічних речовин (високі ХПК і БПК), жирів, речовин, що вилучаються ефіром, механічних домішок, білків, залишків продуктів і т.ін. Неорганічну частину забруднень складають пісок, глина, частинки шлаку, мінеральні солі, лути, мінеральні масла та інші речовини. Біологічні забруднення в стічних водах представлені бактеріями, гельмінтами, дріжджовими і цвілевими грибами, дрібними водоростями, вірусами.

Для підприємств харчової промисловості пропонують таку схему очищення (рис. 16.2), яку можна розглядати як притаманну багатьом підприємствам.

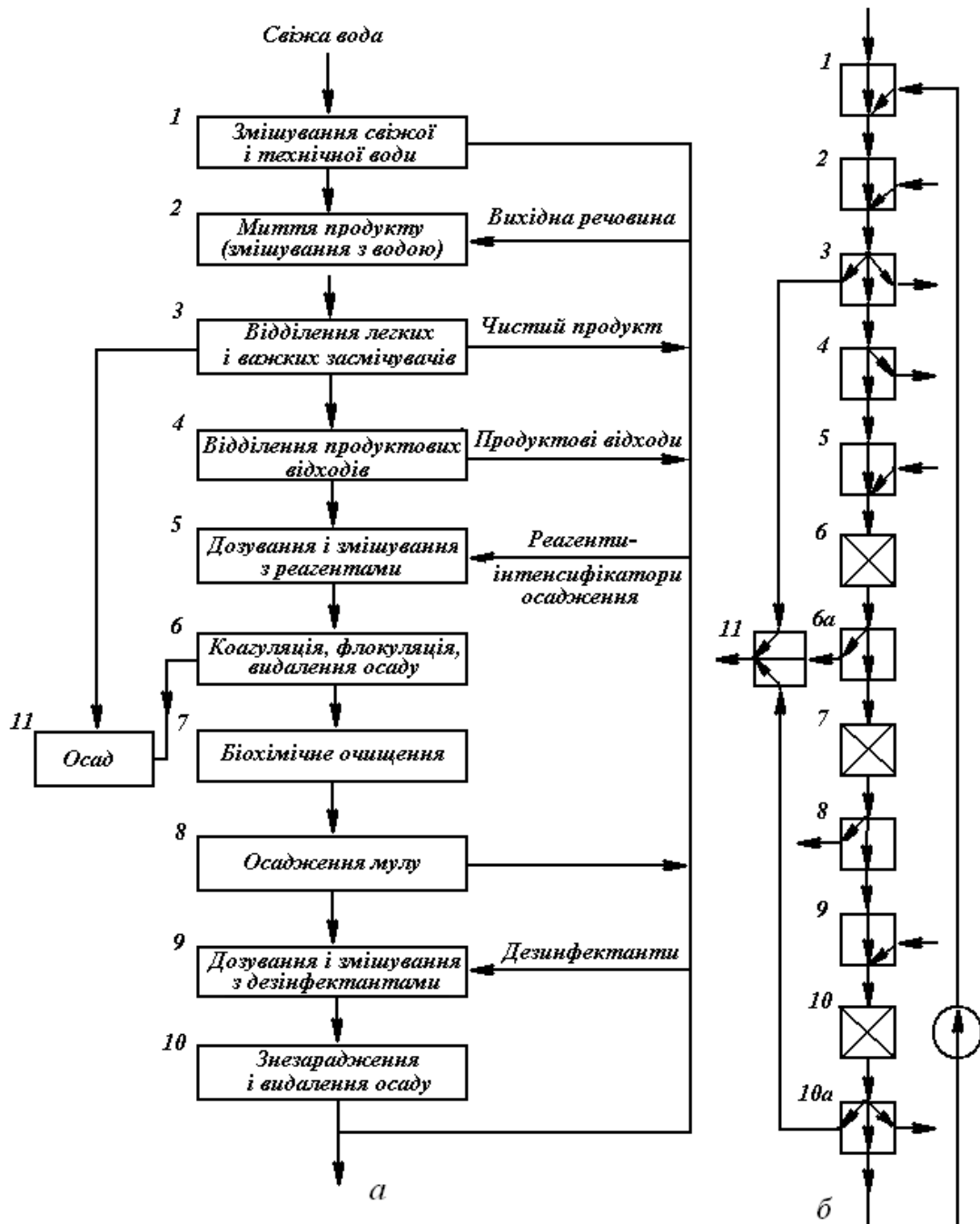


Рис. 16.2. Схема очисних споруд харчових підприємств:

а – узагальнена структурна; *б* – операторна*.

*Тут квадратиками помічені основні технологічні оператори (процеси поділу, змішування тощо), а кружечками – допоміжні (тут – насос).

Стічні води харчової промисловості, на відміну від стоків інших галузей, можуть бути **утилізовані** шляхом їхнього використання після очищення для зрошування сільськогосподарських угідь. Органічні речовини, що містяться у стічних водах, виступають в цьому випадку як добрива. За своїм хімічним

складом стічні води харчової промисловості близькі до міських побутових стоків, використання яких на полях зрошування практикувалося і в минулому. Проте стічні води харчової промисловості менше заражені хвороботворними мікроорганізмами та їхнє використання більш безпечне. Проведені дослідження і дані практики свідчать, що при зрошуванні полів стоками харчової промисловості врожайність сільськогосподарських культур (картоплі, буряка, люцерни) значно підвищується.

16.5.3. Очищення стічних вод підприємств мікробіологічної промисловості

На підприємствах мікробіологічної промисловості стічні води утворюються при виділенні та згущуванні біомаси, продуванні оборотного водопостачання, промивці устаткування, мокрому очищенні газоповітряних викидів і т.ін. Як правило, основними стадіями очищення стоків мікробіологічних виробництв є: інактивація стічної води, механічне, фізико-хімічне і біологічне очищення.

16.5.4. Очищення стічних вод нафтопереробних підприємств і нафтобаз

Склад стічних вод **нафтопереробних підприємств** (НПЗ) включає такі забруднювачі: нафтопродукти, масла, фенол, карбамід, ароматичні вуглеводні, амонійний азот, парафін, сульфати, жирні кислоти, поверхнево-активні речовини і т.ін.

При переробці сірчистих нафт і очищенні нафтопродуктів лугом на певних установках утворюються концентровані сірчисто-лужні стічні води. Від окремих установок відводяться конденсати водяної пари, що забруднюється при переробці сірчистих нафт сульфідами, фенолами і т.ін.

На НПЗ використовуються дві основні системи виробничої каналізації:

перша – для відведення й очищення нафтомістких нейтральних виробничих і зливових стічних вод. Очищені стічні води першої системи використовують, як правило, для поповнення системи оборотного водопостачання;

друга – для відведення й очищення виробничих стічних вод, які містять нафту, нафтопродукти, нафтові емульсії, солі, реагенти й органічні речовини. Очищені стічні води другої системи каналізації скидають у водоймища.

Для очищення стічних вод НПЗ використовують загальноприйнятую схему очищення, яка включає три основні стадії очищення:

- механічне очищення від грубодисперсних домішок;
- фізико-хімічне очищення від колоїдних частинок, знешкодження сірчисто-лужних стоків і стоків технологічних установок;
- біологічне очищення від органічних розчинених домішок.

Нафтобази призначені для приймання, зберігання і видачі споживачам різних нафтопродуктів і є комплексом технологічних, енергетичних і допоміжних споруд.

За призначенням вони можуть бути перевалочними, розподільними, перевалочно-розподільними і базами зберігання. Ідентичні назви привласнені й станціям очищення стічних вод, розташованим на територіях цих баз.

Перевалочні нафтобази є проміжною ланкою при транспортуванні нафти і нафтопродуктів різними видами транспорту (водним, залізничним, трубопровідним). Розподільні бази призначені для постачання безпосередніх споживачів нафти і нафтопродуктів, що знаходяться в районі розташування цих баз. Перевалочно-розподільні нафтобази виконують функції перевалочних і розподільних одночасно.

Всі бази є джерелом підвищеної небезпеки з погляду забруднення навколишнього середовища.

Особливості складу стічних вод нафтобаз

У воді основна частина нафтопродуктів знаходиться в грубодисперсному (краплинному) стані, утворюючи плаваючу плівку або шар. Менша частина знаходиться в тонкодисперсному стані, утворюючи емульсію «нафта у воді». Ця емульсія вельми стійка, вона не руйнується протягом довгого часу.

Згідно з С.Л.Захаровим, нафтомісткі стічні води включають:

- відстійні (з продуктових резервуарів, в яких вони утворилися в результаті відстоювання обводнених нафтопродуктів);
- обмивальні (після миття бочок і цистерн рухомого складу, закритих виробничих площ і зливоналивних естакад);
- забруднений конденсат (від паронагрівальних пристроїв для темних нафтопродуктів);
- воду, яка була використана для ущільнення сальників і охолодження підшипників нафтових насосів.

Об'єм відстійних вод залежить від ступеня обводнення нафтопродуктів, який визначається умовами їхнього транспортування і зберігання. Вода просочується в місткості через нещільності, що утворилися, під час дощів і при транспортуванні в нафтоналивних судах, конденсується з повітря в період зберігання, потрапляє при пропарювальній промивці рухомого складу, розігріванні гострою парою темних нафтопродуктів.

Обводнення нафтопродуктів при доставці по воді в наливних судах складає 1-6 %, залізничним транспортом або по трубопроводах – 0,25-6 %.

Відстійні води з резервуарів скидаються періодично об'ємом 10-25 м³ один раз на 10-20 діб. Вміст нафтопродуктів (окрім мазуту) у відстійних водах складає до 8000, зважених частинок до 20, БПК до 80 мг/л, в мазутових водах відповідно до 10000, 100 і 200 мг/л.

Обмивальні стічні води утворюються в кількості 0,5-1 м³ на 1000 т вантажообігу нафтобази. Об'єм стічних вод від миття (пропарювання) бочок складає ~ 0,2 м³ на бочку.

Об'єм стічних вод від пропарювання залізничних цистерн пропорційний площам, які пропарюються. Вміст нафтопродуктів в обмивальних водах складає до 1000, зважених речовин до 600, БПК до 200 мг/л. У стічних водах після пропарювання цистерн вміст нафтопродуктів іноді сягає 12000, зважених речовин 50, БПК 200 мг/л.

При зачистці резервуарів від нафти і нафтопродуктів утворюються висококонцентровані стічні води в кількості 0,4-0,6 м³ на 1000 т вантажообігу. Ці води відводять в шламонакопичувачі, з яких відстоюна вода подається в гравієві фільтри для попереднього очищення перед надходженням на стадію високонапірного баромембранного розділення.

Забруднений конденсат поступає від паронагрівальних пристроїв при порушенні щільності трубних комунікацій. При якісному монтажі й високому рівні експлуатації цей вид забруднених вод можна звести до мінімуму. Забрудненість конденсату нафтопродуктами, в основному мазутом, коливається від 0-20 мг/л до 50-100 мг/л.

Вода, що використовувалась для ущільнення сальників і охолодження підшипників нафтових насосів, містить домішки нафтопродуктів в кількості 10-50 мг/л. Таких вод утворюється 10-20 м³ на 1000 т вантажообігу.

Середньорічний сумарний об'єм виробничих стічних вод (на 1000 т вантажообігу) на нафтобазах і перекачувальних станціях нафтопродуктів наведений в таблиці 16.2.

Таблиця 16.2

Середньорічний сумарний об'єм виробничих стічних вод (на 1000 т вантажообігу)

Підприємство	Об'єм стічних вод, м ³
Перевалочні нафтобази	49-198
Розподільні нафтобази	27-68
Перекачуючі станції магістральних нафтопроводів	7-11

Особливим видом нафтозабруднених вод є баластні води, які поступають на нафтобази при перевезенні нафти і нафтопродуктів наливними судами (танкерами). Вміст нафтопродуктів в цих водах сягає 5000 мг/л.

Технологія очищення стічних вод нафтобаз

Для очищення стічних вод від нафтопродуктів на нафтобазах застосовуються всі методи, розглянуті вище.

Очищення від тетраетилсвинцю

Відомо, що для поліпшення антидетонаційних і фізико-хімічних властивостей палив в них додають парафінові й ароматичні вуглеводні, кисневмісткі сполуки. Наприклад, з метою підвищення експлуатаційних властивостей бензинів в них вводять до 2% присадок.

З домішок, що входять до складу товарних нафтопродуктів і потрапляють у стічні води нафтобаз, є тетраетилсвинець. При зберіганні етильованого бензину на протязі тривалого часу в осад випадає до 15% тетраетилсвинцю, що окислився, який при зачистці резервуарів потрапляє в стічні води. Його вміст складає 1-2 мг/л.

Для очищення етильованих стічних вод на нафтобазах і приватних підприємствах створюються спеціальні вузли (станції). Первинним елементом цих вузлів є відстійники-бензопастки. У таких само пастках затримуються нерозчинні домішки. Потім стічні води з тонкоемульгованими та розчинними домішками етильованого бензину, що залишилося, прямують на очищення

фізико-хімічними та хімічними методами. Для очищення від таких домішок С.Л.Захаров пропонує використовувати установку високонапірного баромембранного розділення.

Стічні води, що містять 7-410 мг/л нафтопродуктів і різні речовини у зваженому стані, після очищення у такий спосіб відповідають вимогам, що пред'являються до стічних вод, які скидаються в каналізацію крупних міст.

Установка доочищення стічних вод від нафтопродуктів і тонкодисперсних зважених частинок, в якій як фільтрувальний і сорбційний матеріал використовується шунгітова порода* (ШП), забезпечує якість очищеної води відповідно до вимог ПДК для рибогосподарських водоймищ.

Використання в установках очищення стоків дешевого матеріалу – шунгітової породи, яка може замінити дорогі синтетичні речовини, є однією з пріоритетних задач у справі захисту оточуючого середовища. Така порода містить 25-30% вуглецю, менше 55% оксиду кремнію, 4% оксиду алюмінію та різні домішкові сполуки.

Цей матеріал можна використовувати у фільтрах подвійного призначення: як завантаження фільтрації в насипному фільтрі, яке замінює кварцовий пісок на останньому етапі попереднього очищення води від вільно плаваючих нафтопродуктів і тонкодисперсних зважених речовин (розмір частинок >3 мкм), і як сорбент для витягання істинно-розчинених нафтопродуктів.

Можливість застосування фільтру з ШП на завершальному етапі першої стадії очищення визначається наявністю алюмосилікатного каркасу і відносно високою питомою вагою породи. Сорбційні властивості ШП пов'язані з наявністю на поверхні шару сорбційно-активного вуглецю у формі шунгіту. Високі сорбційні характеристики ШП, що не поступаються аналогічним показникам сорбції на активному вугіллі, забезпечують ефективність глибокого доочищення низькоконцентрованих розчинів нафтопродуктів.

Принципова схема одиничного блоку доочищення включає два основні вузли: фільтраційно-адсорбційну колону і гідроаккумулятор чистої води, які можуть працювати незалежно один від одного або одночасно для забезпечення очищеною водою різних ділянок виробництва (наприклад, автомиття).

Очищена вода подається на доочищення за допомогою електронасосу і послідовно проходить чотири царги**. Перша з царг – піщано-гравієвий фільтр, три наступні завантажені ШП. Очищена вода збирається в гідроаккумуляторі, звідки за допомогою насоса поступає споживачеві.

Нові технології очищення від нафтових забруднень

Своєчасне й ефективне очищення засобів зберігання і транспортування нафтопродуктів від нафтових забруднень є обов'язковою умовою, що забезпечує

*Шунгіт (від назви селища Шуньга Карельської Автономної республіки РФ) – метаморфізований вуглистий або бітумінозний сланець, багатий вуглецем. Складається з аморфного карбону з домішками неорганічної речовини.

**Царга (діжка – частина колонного апарату, яка кріпиться до іншої частини за допомогою зазвичай болтових з'єднань).

їхню надійність і якість палива. В більшості випадків для видалення цих забруднень використовують воду з температурою 70-90°C або пару.

Достатньо часто для прискорення процесу відмивання місткостей і трубопроводів застосовують різні миючі речовини, зокрема каустик, гідроксид натрію, поверхнево-активні речовини (ПАР) типу ОП-7 або сульфоксид-61 та ін.

Висока вартість, мала продуктивність, великі витрати енергії, води і пари, необхідність наявності очисних споруд великого об'єму або дорогого устаткування для відділення нафтопродуктів – відомі недоліки традиційного способу очищення. При цьому від 3 до 7% здобутого, перевезеного і збереженого нафтопродукту втрачається безповоротно в забрудненнях і відходах.

Після завершення процесу відмивання умовної місткості технологічна вода, що складається з відмитого нафтопродукту, розчину мийних речовин і нафтошламів, поступає в кращому разі в ставки-відстійники сховищ, в гіршому – в міську зливну каналізацію, річку, озеро, ліс... Наслідок – зменшення площ господарських угідь, зниження родючості ґрунтів, погіршення здоров'я населення, наростання екологічної загрози.

Цих недоліків можна уникнути у разі застосування принципово нових технологій відмивання забруднених нафтопродуктами поверхонь. Ці технології передбачають використання нових миючих засобів, розроблених для різних типів забруднень і поверхонь, оскільки очевидно, що відмивання світлих нафтопродуктів відмінне від відмивання мазуту, а процес знежирення металевих поверхонь принципово відрізняється від очищення ґрунтів і ґрунтів від нафтопродуктів. Особливо складною задачею є очищення ставків-відстійників і шламонакопичувачів від застарілих нафтошламів в зв'язку з тим, що основними інгредієнтами шламів є асфальто- смолисто- парафінові відкладення, які мають високі значення в'язкості і температури розм'якшення, що утрудняє проникнення розчину в масу забруднювача.

Технологія відмивання нафтопродуктів з використанням таких мийних засобів рентабельна завдяки утилізації виділеного нафтопродукту. Відмиті нефтешлами, ґрунти, механічні домішки можуть бути перероблені в будівельні матеріали. Залишковий вміст нафтопродуктів в твердих продуктах після відмивання не перевищує 2 г/кг, що дозволяє використовувати їх в ґрунтах для озеленення промислових майданчиків.

Мийний засіб не вступає в хімічну реакцію з нафтопродуктами, має антикорозійні властивості, може багато разів використовуватися в оборотному циклі, має малу степінь токсичності.

На основі технології застосування створеного мийного засобу також можуть бути реалізовані стаціонарні комплекси відмивання внутрішніх і зовнішніх поверхонь залізничних цистерн (продуктивність такого комплексу складає 600-700 цистерн на добу), вантажних танків нафтоналивних судів, резервуари нафтобаз нафтохранилищ, нафтотерміналів.

Додатково див. розділ 16.5.5.3.

16.5.5. Стічні води підприємств теплоенергетики та їхнє очищення

16.5.5.1. Класифікація стічних вод ТЕС

Експлуатація теплових електричних станцій пов'язана з використанням великої кількості води. У виробничих процесах теплоенергетичних підприємств якість води може сильно змінюватися, в результаті чого вона стає непридатною для подальшого застосування. Сучасні теплові електростанції є джерелами таких основних видів стічних вод:

- води охолодження конденсаторів турбін, що спричиняють теплове забруднення води;
- води регенерації і промивальні води від станцій водопідготовки і конденсатоочищення;
- води, забруднені нафтопродуктами;
- води від обмивань зовнішніх поверхонь котлів пікових підігрівачів, що працюють на сірчистому мазуті;
- відпрацьовані розчини після хімічного очищення устаткування або його консервації;
- розчини і суспензії, що виникають при обмиваннях зовнішніх поверхонь нагріву, головним чином повітропідігрівачів і водяних економайзерів котлів, що спалюють сірчистий мазут.
- води систем гідрозоловидалення (ГЗВ) на ТЕС, що працюють на твердому паливі.

Основна частина води (більше 90%) витрачається в системах охолодження різних апаратів: конденсаторів турбін, масло- і повітроохолоджувачів, рухомих механізмів і т.ін.

Склади перерахованих стоків різні й визначаються типом ТЕС і основного устаткування, її потужністю, видом палива, складом початкової води, способом водопідготовки в основному виробництві і, звичайно, рівнем експлуатації.

Води після охолодження конденсаторів турбін і повітропідігрівачів несуть, як правило, тільки так зване теплове забруднення – перевищення температури скидної води на 8-10°C у порівнянні з вододжерелом. У деяких випадках охолоджувальні води можуть вносити в природні водоймища і сторонні речовини. Це обумовлено тим, що в систему охолодження включені також і маслоохолоджувачі, порушення густини яких може призводити до проникнення нафтопродуктів (масел) в охолоджуючу воду. На мазутових ТЕС утворюються стічні води, що містять мазут.

Масла можуть потрапляти в стічні води також з головного корпусу, гаражів, відкритих розподільних пристроїв, маслогосподарств.

Кількість вод систем охолодження визначається в основному кількістю відпрацьованої пари, що поступає в конденсатори турбін. Отже, більш всього цих вод на конденсаційних ТЕС (КЕС) і АЕС, де кількість води (т/год.), що охолоджує конденсатори турбін, може бути знайдена за формулою

$$Q=KW,$$

де W – потужність станції, МВт;

K – коефіцієнт, для ТЕС $K = 100-150$: для АЕС – 150-200.

На електростанціях, що використовують тверде паливо, видалення значних кількостей золи і шлаку проводиться зазвичай гідравлічним способом, що вимагає великої кількості води. На ТЕС потужністю 4000 МВт спалюється до 4000 т/год. вугілля, при цьому утворюється близько 1600-1700 т/год. золи. Для евакуації цієї кількості золи зі станції потрібно не менше 8000 м³/год. води. Тому основним напрямом в цій області є створення оборотних систем ГЗВ, коли освітлена вода, що звільнилася від золи і шлаку, прямує знов на ТЕС в систему ГЗВ.

Скидні води ГЗВ значно забруднені зваженими речовинами, мають підвищену мінералізацію і в більшості випадків підвищену лужність. Крім того, в них можуть міститися сполуки фтору, миш'яку, ртуті, ванадію.

Стоки після хімічної промивки або консервації теплосилового устаткування вельми різноманітні за своїм складом внаслідок великої кількості промивальних розчинів. Для промивок застосовуються соляна, сірчана, плавикова, сульфамінова мінеральні кислоти, а також органічні кислоти – лимонна, ортофталева, адіпінова, щавлева, мурашина, оцтова та ін. Разом з ними використовуються трилон Б, різні інгібітори корозії, поверхнево-активні речовини, тіосечовина, гідразин, нітрит, аміак.

В результаті хімічних реакцій в процесі промивок або консервації устаткування можуть скидатися різні органічні й неорганічні кислоти, луки, нітрати, солі амонію, заліза, міді, трилон Б, інгібітори, гідразин, фтор, уротропін і т.ін. Така різноманітність хімічних речовин вимагає індивідуального рішення нейтралізації й поховання токсичних відходів хімічних промивок.

Води від обмивання зовнішніх поверхонь нагріву утворюються тільки на ТЕС, які використовують як основне паливо сірчистий мазут. Слід мати на увазі, що знешкодження цих обмивальних розчинів супроводжується отриманням шламів, що містять цінні речовини – сполуки ванадію й нікелю.

При експлуатації водопідготовки знесоленої води на ТЕС і АЕС виникають стоки від складу реагентів, промивань механічних фільтрів, видалення шламових вод освітлювачів, регенерації іонітових фільтрів. Ці води несуть значну кількість солей кальцію, магнію, натрію, алюмінію, заліза. Наприклад, на ТЕЦ, що має продуктивність хімводоочищення 2000 т/год., скидається солей до 2,5 т/год.

З передочищення (механічні фільтри та освітлювачі) скидаються нетоксичні осади – карбонат кальцію, гідроксид заліза й алюмінію, кремнекислота, органічні речовини, глинисті частинки.

І, нарешті, на електростанціях, що використовують в системах змащування і регулювання парових турбін вогнестійкі рідини типу іввіоль або ОМТІ, утворюється невелика кількість стічної води, забрудненої цими речовинами.

16.5.5.2. Очищення стічних вод водопідготовчих установок

Безпосереднє скидання стічних вод водопідготовчих установок у водоймища неприпустиме через різкоперемінні значення рН, що виходять за межі 6,5-8,5, оптимальних для водоймищ, а також високої концентрації в них грубодисперсних домішок і солей.

Видалення грубодисперсних домішок і регулювання рН не є проблемою. Найскладнішою задачею є зниження концентрації істинно-розчинених домішок (солей). Іонообмінний метод тут непридатний, оскільки призводить до зростання кількості солей, що скидаються. Перевагу віддають безреагентним методам (випаровування, зворотний осмос) або з обмеженим застосуванням реагентів (електродіаліз). Але і в цих випадках обробка води на водопідготовчих установках проводиться двічі.

Тому головною задачею при проектуванні й експлуатації водопідготовки ТЕС слід вважати зменшення скидання стічних вод.

Відповідно до умов скидання стічних вод їхнє очищення складається зазвичай з трьох етапів:

- скидання всіх відпрацьованих розчинів і відмивних вод в усереднювач;
- виділення з рідини токсичних речовин другої групи (див. с. 148) з подальшим зневодненням осаду, що виходить;
- очищення від речовин третьої групи (див. с. 148).

Продувочна вода освітлювачів обробляється і повторно використовується після освітлювання її на шламовідвалі, або в спеціальних відстійниках, або на фільтрпресах, або барабанно-вакуумних фільтрах з поверненням води в усіх випадках в баки повторного використання промивальних вод механічних фільтрів. Шлам з відстійників періодичної дії прямує на шламовідвал з використанням для цієї мети нейтралізованих вод регенерацій іонітових фільтрів. Зневоднений шламу, одержаний на фільтрпресі, необхідно вивозити в місця поховання, що мають надійний захист від попадання шкідливих речовин в навколишнє середовище.

Схема установки для зневоднення шламу передочищення на одній з ТЕС представлена на рис.16.3.

Продувочна вода з освітлювача прямує у збірну ємність. Для попередження осадження шламу в цій ємності через продувочну воду барботується* повітря, потім вода перекачується в бак постійного рівня і поступає у вакуумний фільтр, в якому відбувається відділення шламу. Зневоднений шламу скидається в бункер і потім прямує на шламовідвал. Вода після відділення шламу повертається на водопідготовчу установку.

Продування освітлювачів може прямувати також в систему ГЗВ або на нейтралізацію кислих стоків (при $\text{pH} > 9$).

*Барботування, барботаж (від франц. barbotage – премішування) – пропускання через рідину газу або пари під тиском.

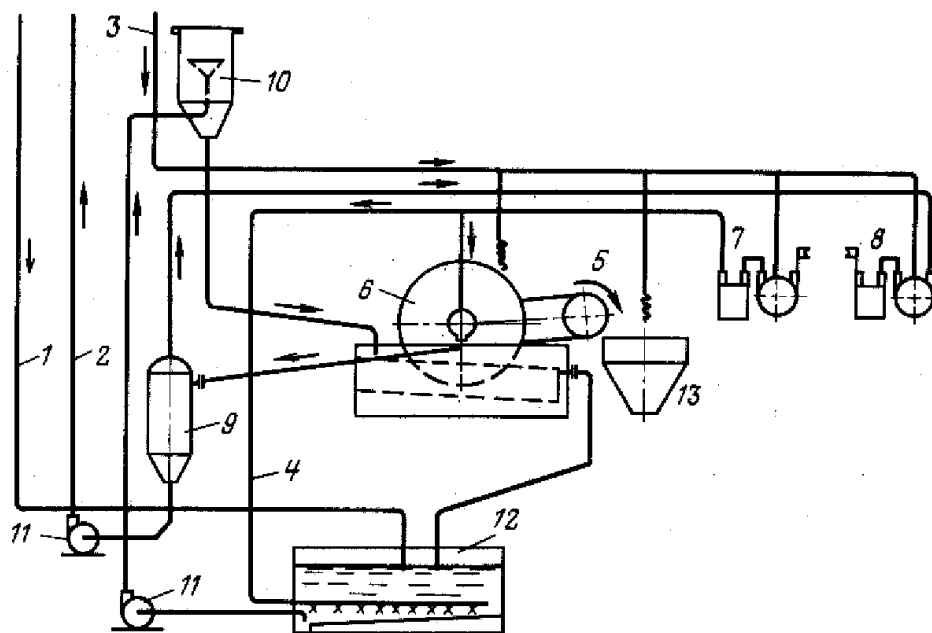


Рис.16.3. Принципова схема установки для зневоднення шламу продувки освітлювачів:

1 – підведення шламу; 2 – освітлена вода на ВПУ; 3 – технічна вода; 4 – повітря; 5 – зневоднений шлам; 6 – барабанно-вакуумний фільтр; 7 – повітродувка; 8 – вакуум-насос; 9 – ресивер; 10 – бак постійного рівня; 12 – насос; 12 – ємність; 13 – бункер для зневодненого шламу.

Вода від промивки механічних фільтрів за наявності передочищення прямує або в лінію початкової води (при коагуляції), або в нижню частину кожного освітлювача (при вапнуванні) (рис. 16.4). Для забезпечення постійної витрати ця вода заздалегідь збирається в бак регенерації промивальних вод механічних фільтрів.

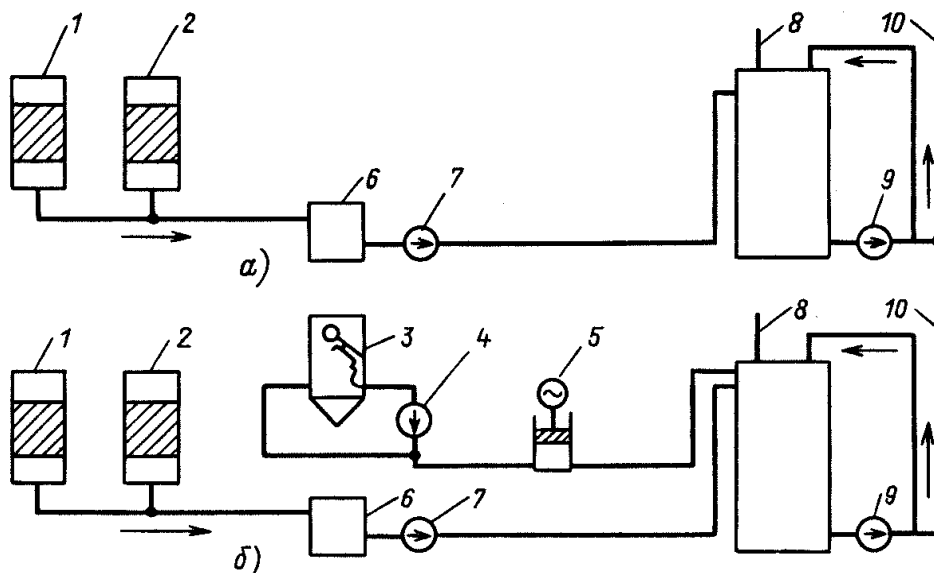


Рис. 16.4. Схеми самонейтралізації (а) і нейтралізації (б) вапном стічних вод водопідготовчих установок:

1 – Н-катіонітовий фільтр; 2 – аніонітовий фільтр; 3 – вапняна мішалка; 4 – насос вапняної мішалки; 5 – насос-дозатор вапняного молока; 6 – прийом збирання регенераційних вод; 7 – перекачувальний насос; 8 – бак нейтралізатор; 9 – насос перекачування і скидання; 10 – охолоджуюча вода після конденсаторів турбін або вододжерело.

За відсутності передочищення вода від промивки механічних фільтрів може або оброблятися відстоюванням в спеціальному відстійнику з поверненням освітленої води в лінію початкової води і видаленням шламу, що відстоявся, на шламоотвал, або використовуватися в системі ГЗВ, або прямувати в систему збирання вод регенерації іонітових фільтрів.

При змішуванні води, що виходить з Н-катіонітового фільтру, з водою, що пройшла обробку в ОН-аніонітовому фільтрі, відбувається самонейтралізація стічних вод (рис. 16.4, а); при потребі з метою отримання необхідного значення $pH=6,5-8,5$ проводять нейтралізацію вапном (рис. 16.4, б).

Нейтралізація вапном не спричиняє такого різкого підвищення солемісту води, як при використанні інших реагентів. Відбувається це з тієї причини, що при нейтралізації вапном утворюється осад, який потім виводиться з води. Позитивний досвід одержаний також при нейтралізації стічних вод аміачною водою.

Якщо стічні води мають pH , що перевищує 8,5 (лужне середовище), то проводять нейтралізацію речовинами кислотного характеру. На рис. 16.5 наведена схема нейтралізації лужних стічних вод водопідготовчих установок димовими газами з використанням барботажного способу розчинення газу у воді.

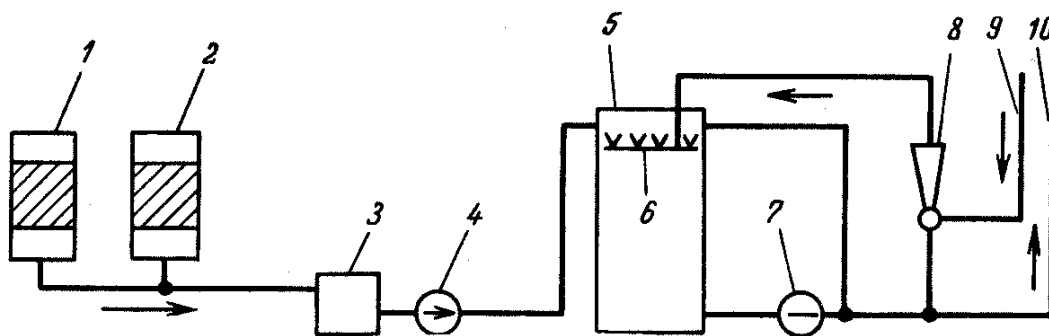


Рис. 16.5. Схема нейтралізації лужних вод регенерації димовими газами:

1 – Н-катіонітовий фільтр; 2 – аніонітовий фільтр; 3 – прямокутний бак збирання регенераційних вод; 4 – перекачувальний насос; 5 – бак нейтралізації; 6 – розподільна труба; 7 – насос перемішування і скидання; 8 – ежектор; 9 – димові гази, очищені від золи; 10 – охолоджуюча вода після конденсаторів турбін.

Стічні води іонообмінної частини водопідготовчої установки, якщо не враховувати деякої кількості грубодисперсних домішок, що поступають при розпушуванні фільтрів, є істинними розчинами солей. Залежно від місцевих умов ці води прямують: у водоймища з дотриманням санітарно-гігієнічних і рибогосподарських вимог; у системи гідрозоловидалення; у ставки-випарники за сприятливих кліматичних умов; на випарні установки; у підземні водоносні горизонти.

16.5.5.3. Очищення стічних вод, що містять нафтопродукти

Для очищення стічних вод від нафтопродуктів застосовуються методи відстоювання, флотації і фільтрування.

Метод відстоювання заснований на здатності мимовільного розділення води й нафтопродуктів. Частинки нафтопродуктів під дією сил поверхневого натягу набувають сферичну форму, і їхні розміри знаходяться в діапазоні від 2-10 до 32 мкм. В основі процесу відстоювання лежить принцип виділення нафтопродуктів під дією різниці густин води і частинок масла. Вміст нафтопродуктів в стоках знаходиться в широких межах і складає в середньому 100 мг/л.

Відстоювання нафтопродуктів проводиться в нафтопастках (рис.16.6). Вода подається в приймальну камеру і, пройшовши під перегородкою, потрапляє у відстійну камеру, де й відбувається процес розділення води і нафтопродуктів. Очищена вода, пройшовши під другою перегородкою, виводиться з нафтопастки, а нафтопродукти утворюють плівку на поверхні води і видаляються спеціальним пристроєм. При виборі нафтопастки необхідно приймати такі допущення: швидкість руху води в усіх точках поперечного перерізу однакова; потік води має ламінарний характер; швидкість спливання частинок нафтопродуктів постійна протягом всього часу проходження потоку.

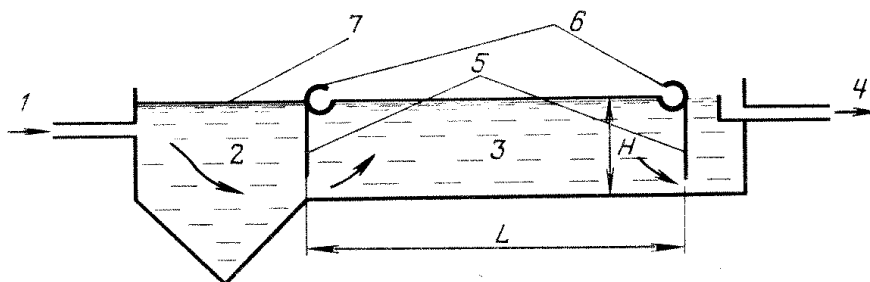


Рис.16.6. Схема типової нафтопастки:

1 – стічна вода; 2 – приймальна камера; 3 – відстійна зона; 4 – очищена вода; 5 – вертикальні напівавмурені перегородки; 6 – нафтозбірні труби; 7 – плівка нафтопродуктів, що спливали.

Значно впливає на ефективність роботи нафтопастки температура води. Збільшення температури води призводить до зниження її в'язкості, що сприяє поліпшенню умов виділення частинок. Наприклад, мазут при температурі води нижче 30°C осідає в нафтопастці, в інтервалі 30-40°C частинки мазуту знаходяться у зваженому стані і лише понад 40°C виявляється ефект спливання частинок.

На рис. 16.7 представлена нафтопастка зі скребковим механізмом. Нафтопродукти, що спливають на поверхню у відстійних камерах, зганяють скребковим пристроєм до щілистих поворотних труб, розташованих на початку і кінці відстійних зон кожної секції, через які вони виводяться з нафтопастки. За наявності в стічній воді домішок, які тонуть, вони випадають на дно нафтопастки, згрібаються тим самим скребковим транспортером впрямок і за допомогою даного клапана (або гідроелеватора) виводяться з нафтопастки. Нафтопастки такого типу розраховані на продуктивність 15-220 кг/с стічної води.

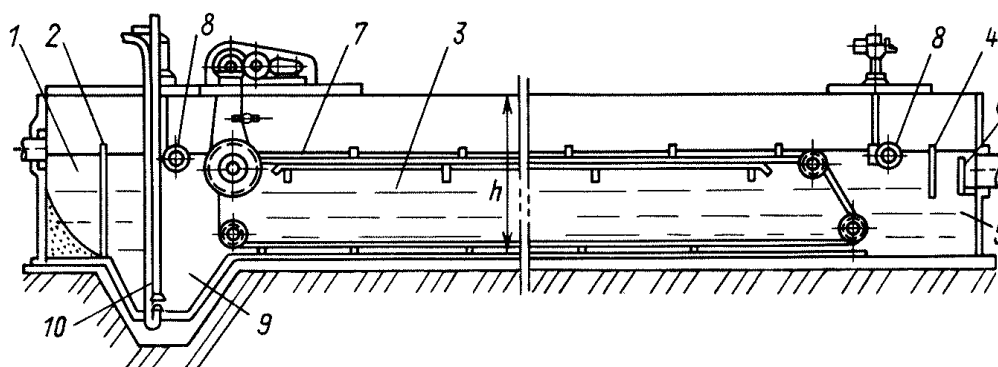


Рис. 16.7. Нафтопастка зі скребковим механізмом:

1 – приймальна камера; 2 – перегородка; 3 – відстійна зона; 4 – перегородка; 5 – випускна камера; 6 – переливний лоток; 7 – скребок; 8 – поворотні щілисті труби; 9 – прямик; 10 – гідроелеватор.

Флотаційний метод очищення води полягає в утворенні комплексів частинка нафтопродуктів–бульбашка повітря з подальшим виділенням цих комплексів з води. Швидкість спливання таких комплексів в 10^2 - 10^3 разів перевищує швидкість спливання частинок нафтопродуктів. З цієї причини флотація набагато ефективніша за відстоювання.

Розрізняють напірну флотацію, при якій бульбашки повітря виділяються з пересиченого розчину його у воді, і безнапірну, яка здійснюється за допомогою бульбашок повітря, що вводяться у воду спеціальними пристроями.

При напірній флотації (рис. 16.8) повітря розчиняється у воді під надлишковим тиском до 0,5 МПа, для чого в трубопровід перед насосом подається повітря, а потім водоповітряна суміш протягом 8-10 хв. витримується в спеціальній напірній місткості, звідки й подається у флотатор, де відбуваються скидання тиску, утворення бульбашок повітря і власне флотаційний процес розділення води і домішок. При зниженні тиску на вході води у флотатор повітря, розчинене у воді, виділяється практично миттєво, утворюючи бульбашки.

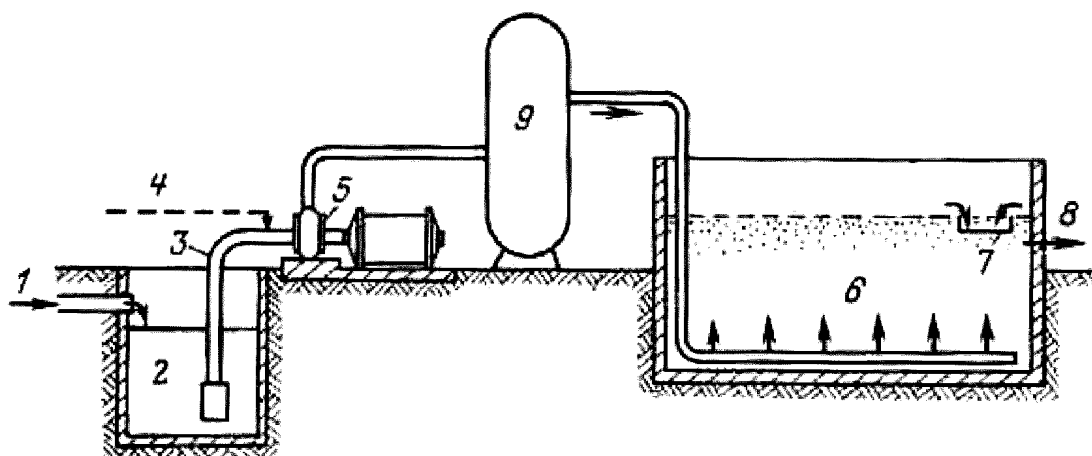


Рис. 16.8. Схема установки для напірної флотації:

1 – вхід води; 2 – приймальний резервуар; 3 – всмоктувальна труба; 4 – повітропровід; 5 – насос; 6 – флотаційна камера; 7 – пінозбірник; 8 – відведення очищеної води; 9 – напірна ємність.

При безнапірній флотації (рис. 16.9) утворення бульбашок відбувається за рахунок механічних (насосом, ежектором) або електричних сил і у флотатор вводиться готова дисперсна система бульбашки-вода. Оптимальні розміри бульбашок – 15-30 мкм. Швидкість спливання бульбашок такого розміру із захопленими частинками нафти складає в середньому $0,9 \cdot 10^{-3}$ м/с, що у 900 разів перевищує швидкість спливання частинки нафти розміром 1,5 мкм.

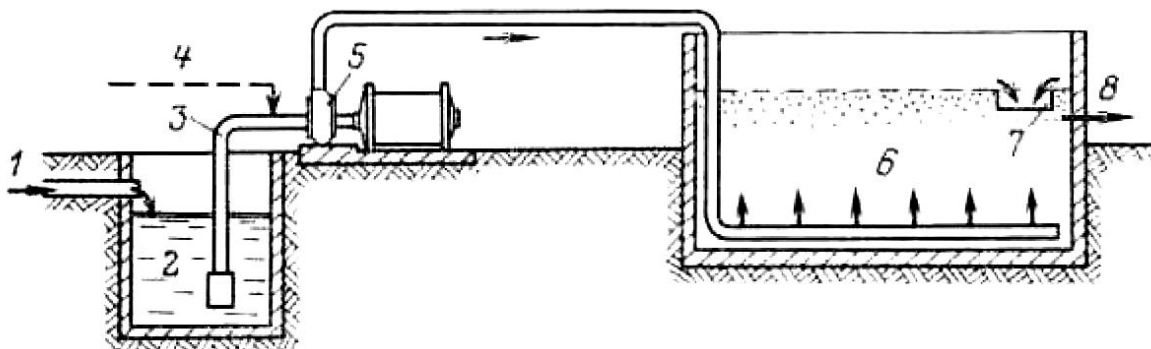


Рис. 16.9. Схема установки для безнапірної флотації:

1 – вхід води; 2 – приймальний резервуар; 3 – всмоктувальна труба; 4 – повітропровід;
5 – насос; 6 – флотаційна камера; 7 – пінозбірник; 8 – відведення очищеної води.

Фільтрування замазучених і замаслених вод здійснюється на завершальній стадії очищення. Процес фільтрування заснований на прилипанні емульгованих частинок нафтопродуктів до поверхні зерен фільтрувального матеріалу. Оскільки фільтруванню передують попереднє очищення стічних вод (відстоювання, флотація), перед фільтрами концентрація нафтопродуктів невисока і складає 10^{-4} – 10^{-6} об'ємних часток.

При фільтруванні стічних вод частинки нафтопродуктів виділяються з потоку води на поверхні зерен фільтрувального матеріалу і заповнюють найвужчі порові канали. При гідрофобній поверхні (не взаємодіє з водою) частинки добре прилипають до зерен, при гідрофільній (взаємодіє з водою) прилипання утруднене через наявність гідратної оболонки на поверхні зерен. Проте частинки, які прилипають, витісняють гідратну оболонку і починаючи з якогось моменту часу фільтрувальний матеріал працює як гідрофобний.

При роботі фільтру частинки нафтопродуктів поступово заповнюють об'єм пор і насичують фільтрувальний матеріал. В результаті після закінчення деякого часу встановлюється рівновага між кількістю масла, що виділяється з потоку на стінки, і кількістю масла, що стікає у вигляді плівки в наступні по ходу потоку шари фільтрувального матеріалу.

З часом насиченість нафтопродуктами зсுவується до нижньої межі фільтрувального шару і концентрація масла у фільтраті збільшується. У цьому випадку фільтр відключається на регенерацію. Підвищення температури води сприяє зменшенню в'язкості нафтопродукту і, отже, більш рівномірному його розподілу по висоті шару.

Традиційними матеріалами для завантаження фільтрів є кварцовий пісок і антрацит. Іноді застосовують сульфовугілля, відпрацьоване у Na-катіонітовому

фільтрі. Останнім часом застосовують доменний і мартенівський шлак, керамзит, діатоміт.

Регенерацію фільтру слід проводити водяною парою тиском 0,03-0,04 МПа через верхній розподільний пристрій. Пара розігріває вловлені нафтопродукти, і вони під тиском витісняються з шару. Тривалість регенерації зазвичай не перевищує 3 год. Витіснення масла з фільтру супроводжується спочатку зростанням його концентрації в конденсаті, а потім її зменшенням. Конденсат скидається в баки перед нафтопасткою або флотатором.

Ефективність очищення стічних вод від нафтопродуктів в насипних фільтрах – близько 80%. Вміст нафтопродуктів складає 2-4 мг/кг, що значно перевищує ГДК. Вода з такою якістю може направлятися на технологічні цілі ТЕС. У ряді випадків цей фільтрат необхідно доочищати на сорбційних (завантажених активованим вугіллям) або намивних фільтрах.

Повна типова схема очищення стічних вод від нафтопродуктів показана на рис. 16.10. Стічні води збираються в буферні усереднювальні баки, в яких

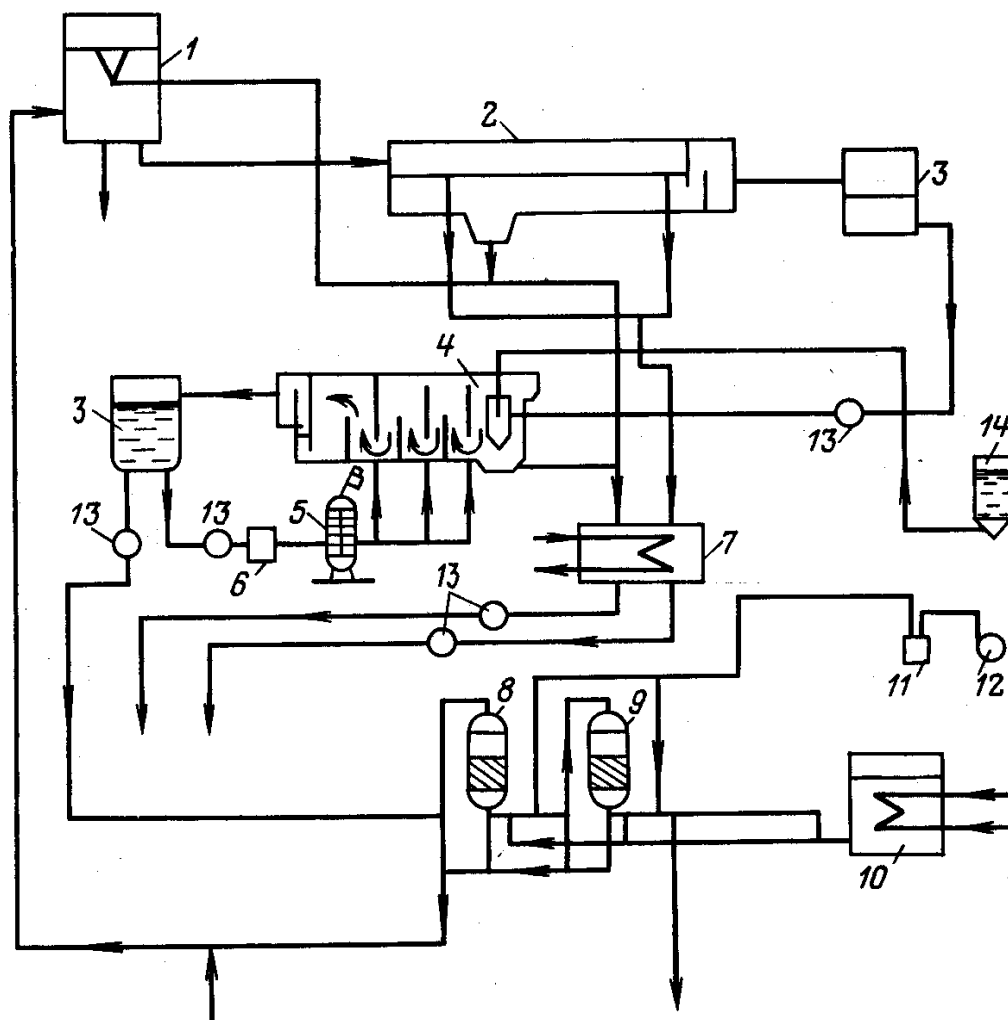


Рис. 16.10. Технологічна схема очищення стічних вод, що містять нафтопродукти:

- 1 – приймальний бак; 2 – нафтопастка; 3 – проміжні баки; 4 – флотатор; 5 – напірна місткість;
6 – ежектор; 7 – мазуоприймач; 8 – механічний фільтр; 9 – вугільний фільтр; 10 – бак промивальної води; 11 – ресивер; 12 – компресор; 13 – насоси; 14 – розчин коагуляції.

відбувається виділення частини найкрупніших грубодисперсних домішок і частинок нафтопродуктів. Стічна вода, частково звільнена від домішок, прямує в нафтопастку. Потім вода поступає в проміжний бак і звідти насосом подається на флотатор. Виділені нафтопродукти прямують в мазутоприймальник, потім підігріваються паром для зниження в'язкості й евакуюються в установки для спалювання.

Частково очищена вода прямує в другий проміжний бак і подається з нього на фільтрувальну установку, що складається з двох ступенів. Перший ступінь є фільтром з двошаровим завантаженням з кварцового піску і антрациту. Другий ступінь складається з сорбційного фільтру, завантаженого активованим вугіллям. Ступінь очищення води за цією схемою складає близько 95%.

16.5.5.4. Очищення обмивальних вод регенеративних повітропідігрівників і поверхонь нагріву котлів

Обмивальні води регенеративних повітропідігрівників (РПП) є кислі розчини ($\text{pH}=1,3-3$), що містять грубодисперсні домішки: оксиди заліза, кремнекислоту, продукти недопалювання, частину золи, що не розчинилася, вільну сірчану кислоту, сульфати важких металів, сполуки ванадію, нікелю, мідь та ін.

В середньому обмивальна вода містить, г/л: вільну кислоту (у перерахунку на H_2SO_4) 4-5, залізо 7-8, нікель 0,1-0,15, ванадій 0,3-0,8, мідь 0,02-0,05, зважені речовини 0,5, сухий залишок 32-45.

Стічні води від обмивань РПП і конвективних поверхонь нагріву котлів знешкоджуються нейтралізацією їх лугами. При цьому іони важких металів осідають у шлам у вигляді відповідних гідроксидів. Оскільки обмивальні води мазутових котлів містять ванадій, шлам, що утворюється при їхній нейтралізації, є цінною сировиною для металургійної промисловості. Тому процес нейтралізації й очищення обмивальних вод організовується так, щоб кінцевими продуктами були знешкоджена освітлена вода і зневоднений ванадієвий шлам, який прямує на металургійні заводи.

Нейтралізація обмивальних вод проводиться в одну або дві стадії. При нейтралізації в одну стадію стічні води обробляються вапняним молоком до $\text{pH}=9,5-10$ і випадання всіх токсичних компонентів в осад.

На рис. 16.11 показана схема нейтралізації і знешкодження обмивальних вод РПП. У цій схемі обмивальні води подаються в бак-нейтралізатор, в який також дозується і розчин вапна. Розчин перемішується рециркуляційними насосами і стисненим повітрям, потім відстоюється протягом 7-8 год., після чого частина освітленої води (50-60%) використовується повторно на обмивання котлів, а шлам подається для зневоднення на фільтрпреси типу ФПАКМ (див. розділ «Фільтрування»). Шлам шнековим транспортером відправляється на розфасовку і на склад. Продуктивність фільтрпреса 70 кг/(м²год.). Фільтрат з фільтрпреса поступає на катіонітовий фільтр для вловлювання залишків катіонів важких металів. Фільтрат катіонітових фільтрів скидається у водоймище.

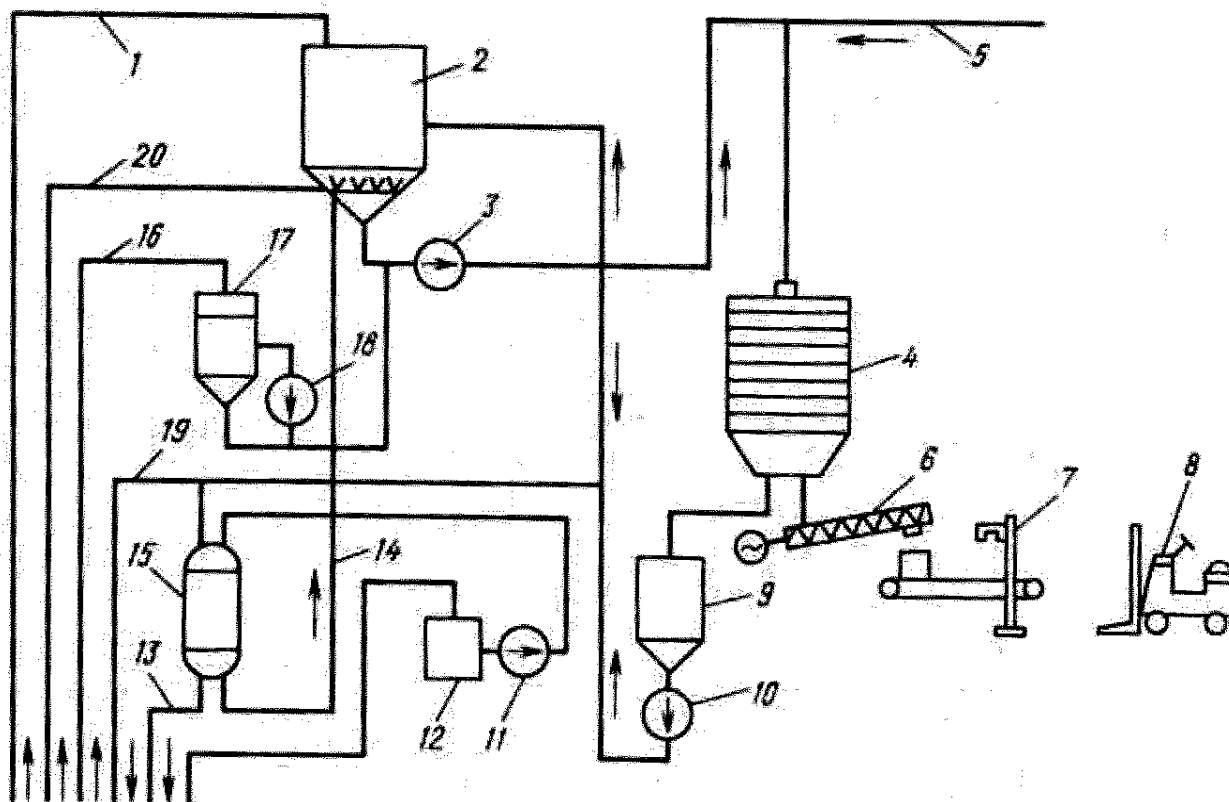


Рис. 16.11. Схема установки для знешкодження і нейтралізації обмивальних вод котлів і РПП:

1 – обмивальна вода; 2 – бак-нейтралізатор; 3 – насос; 4 – фільтрпрес; 5 – технічна вода на промивку фільтрувальної тканини; 6 – шнековий транспортер; 7 – машина для зашивання мішків; 8 – навантажувач; 9 – бак-збірник; 10 – насос фільтрату; 11 – насос розчину солі; 12 – бак-мірник розчину солі; 13 – фільтрат; 14 – розчин регенерації; 15 – катіонітовий фільтр; 16 – вапняне молоко; 17 – мішалка; 18 – насос; 19 – освітлена вода на повторне використання; 20 – стиснене повітря.

Регенерація фільтру проводиться розчином NaCl , регенераційні води скидаються в бак-нейтралізатор. Вода знешкоджується, а одержуваний шлам збагачений оксидами заліза, сульфатом кальцію і бідний сполуками ванадію (пентаоксиду ванадію менше 3-5%).

Розроблена методика підвищення концентрації ванадію в осаді. Цю операцію можна проводити в одну або дві стадії. При одностадійній нейтралізації як реагент-осаджувач використовують суміш, що містить гідрооксид заліза (II) – $\text{Fe}(\text{OH})_2$, кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$, магнію $\text{Mg}(\text{OH})_2$ і силікат-іон SiO_3^{2-} . Процес осадження проводиться при $\text{pH}=3,4-4,2$.

Для підвищення концентрації сполук ванадію в шлам процес осадження можна організувати в дві стадії. На першій стадії здійснюється обробка лугом (NaOH) до $\text{pH}=4,5-4,0$, при якій відбувається осадження $\text{Fe}(\text{OH})_3$ і основної маси ванадію, а на другій стадії процес нейтралізації проводиться при $\text{pH}=8,5-10$, при цьому осідає решта гідрооксидів. Друга стадія полягає в обробці вапном. В цьому випадку цінність являє шлам, одержаний на першій стадії нейтралізації.

16.5.5.5. Очищення стічних вод хімічних промивок і консервації устаткування

Стічні води від передпускових (після закінчення монтажу) і експлуатаційних хімічних промивок і консервації устаткування являють різкі, «залпові» скидання з великою різноманітністю речовин, що містяться в них.

Загальну кількість забруднених стоків від однієї хімічної промивки, що підлягають очищенню, m^3 , можна визначити з формули

$$V=ka,$$

де a – суммарний об'єм промивальних контурів, m^3 ;

k – коефіцієнт, рівний 25 для газомазутових ТЕС і 15 для пиловугільних, оскільки в останньому випадку частина відмивних вод із вмістом заліза менше 100 мг/л може бути скинута в ГЗУ.

Розрізняють два основні варіанти очищення відмивних і вод консервацій:

- на ТЕС, які працюють на рідкому і газоподібному паливі, а також на вугільних ТЕС з розімкненою (прямотечійною) системою ГЗВ (гідрозоловловлювачі);

- на ТЕС, які працюють на твердому паливі з оборотною системою ГЗВ.

За першим варіантом передбачаються такі стадії очищення: збирання усіх відпрацьованих розчинів в ємності-усереднювачі, виведення з розчину токсичних речовин другої групи, очищення води від речовин третьої групи. Збирання і знешкодження стічних вод проводиться на установці, що включає двохсекційний відкритий басейн або ємність-усереднювач, баки-нейтралізатори і бак для корекції рН.

Стоки первинних водних промивок устаткування, забруднені продуктами корозії і механічними домішками, прямують в першу секцію відкритого басейну. Після відстоювання освітлена вода з першої секції повинна перепускатися в другу – усереднювач басейну. У цю ж секцію відводяться стоки з рН=6-8 від водних промивок після завершення операції з витіснення кислих і лужних розчинів.

Вода з секції-усереднювача повинна повторно використовуватися для підживлення оборотних систем водопостачання або ГЗУ. Кислі й лужні розчини від хімічних очищень устаткування збираються в баки-нейтралізатори (рис. 16.12), що вміщують 7-10 об'ємів контуру, що очищається, для їхньої взаємної нейтралізації. Розчини з баків-нейтралізаторів і використані розчини від консервації устаткування прямують в бак для корекції рН в цілях проведення їх остаточної нейтралізації, осадження іонів важких металів (заліза, міді, цинку), розкладання гідразину, руйнування нітратів.

Донеітралізація й осадження заліза проводяться шляхом підлужування розчинів вапном до рН=10-12 залежно від складу знешкоджуваних стічних вод. Для осадження шламу й освітлювання вода відстоюється не менше двох діб, після чого шлам видаляється на шламовідвал передочищень водопідготовчих установок або на золовідвал.

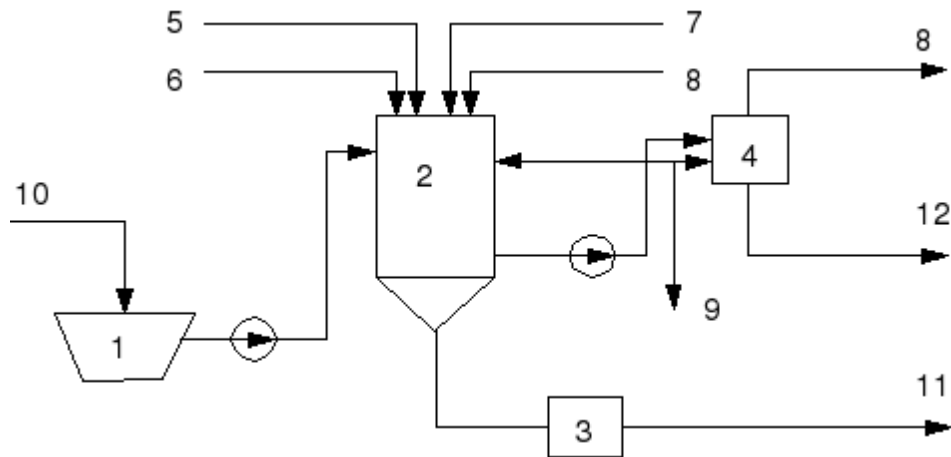


Рис. 16.12. Схема очищення промивальних стічних вод:

1 – бак; 2 – бак-нейтралізатор; 3 – шламоотстойник; 4 – бак для корекції pH; 5 – подача вапняного молока; 6 – подача хлорного вапна; 7 – подача сульфід натрію (Na_2S); 8 – сірчана кислота; 9 – подача повітря; 10 – вода на очищення; 11 – вода на фільтрпрес; 12 – скидання.

Якщо у промивальних розчинах на основі лимонної кислоти окрім заліза присутні також мідь і цинк, то для осадження міді й цинку слід застосовувати сульфід натрію (Na_2S), який необхідно додавати в розчин після відділення шламу гідроксиду заліза. Осад сульфідів міді і цинку повинен ущільнюватися відстоюванням не менше доби, після чого шлам видаляється на шламовідвал передочищення.

Для знешкодження промивальних і консервуючих розчинів, що містять нітрит, можна використовувати кислі промивальні розчини або проводити обробку розчинів кислотою. При цьому слід враховувати, що при руйнуванні нітриту утворюються гази NO і NO_2 , густина яких вища за густину повітря. Тому доступ в ємність, в якій проводилося знешкодження розчинів, що містять нітрит, може бути дозволений тільки після ретельної вентиляції цієї ємності і перевірки її на загазованість.

Гідразин і аміак, що містяться в стічних водах, можуть бути зруйновані обробкою розчинів хлорним вапном. При цьому гідразин окислюється хлорним вапном з утворенням вільного азоту. Для практично повного руйнування гідразину кількість хлорного вапна повинна бути збільшена в порівнянні зі стехіометричною приблизно на 5%.

При взаємодії аміаку з хлорним вапном утворюється хлорамін, який у присутності невеликого надлишку аміаку окисляє його з утворенням азоту. При великому надлишку аміаку в результаті його взаємодії з хлораміном утворюється гідразин. Тому при знешкодженні хлорним вапном розчинів, що містять аміак, необхідно строго витримувати стехіометричну дозу реагентів.

Аміак можна нейтралізувати в результаті взаємодії його з вуглекислотою повітря при аерації розчину в баку-нейтралізаторі або в баку для корекції pH. Освітлена вода, що утворюється після знешкодження промивальних і консервуючих розчинів, повинна бути додатково оброблена для додання їй нейтральної реакції ($\text{pH}=6,5-8,5$) і повторно використана на технологічні потреби електростанції. Гідразин присутній в стоках лише протягом декількох

діб після зливу розчинів в усереднювач. Пізніше гідразин вже не виявляється, що пояснюється його окисленням при каталітичній участі заліза і міді.

Технологія очищення стоків від фтору полягає в обробці вапном і сірчаноокислим глиноземом в такому співвідношенні: на 1 мг фтору – не менше 2 мг Al_2O_3 . Залишковий вміст фтору досягається не більше 1,4-1,6 мг/л.

Освітлена вода з баку для корекції рН відправляється на біохімічне очищення, що є універсальним методом очищення.

В основі процесу біохімічного очищення лежить життєдіяльність деяких видів мікроорганізмів, які можуть використовувати органічні і мінеральні речовини, що містяться в стічних водах, як живильні речовини і джерела енергії. Для біологічного очищення застосовують аеротенки і біофільтри. Існують обмеження для концентрацій деяких речовин у воді, що направляється на біоочищення. При підвищених концентраціях ці речовини стають отруйними для мікроорганізмів.

Максимально допустимі концентрації речовин у воді, що направляється на біологічне очищення, складають, мг/кг:

- гідразину 0,1;
- заліза сульфату 5;
- хлору активного 0,3;
- фталевого ангідриду 0,5.

Трилон Б в чистому вигляді пригнічує процеси нітріфікації при концентрації більше 3 мг/л. Трилонати при початкових концентраціях менше 100 мг/л повністю поглинаються активним мулом очисних біологічних споруд.

На практиці застосовується також сумісне очищення освітленої води з побутовими стоками на районних і міських очисних спорудах. Таке рішення узаконене існуючими санітарними нормами і правилами, в яких указуються також і умови прийому на очисні споруди стоків і гранично допустимі концентрації в них шкідливих речовин.

На ТЕС із замкнутою системою ГЗУ можливе скидання розчинів для промивання і консервацій безпосередньо на золівдвали, якщо $\text{pH} > 8$. Інакше промивальна вода заздалегідь нейтралізується щоб уникнути корозії устаткування трубопроводів системи ГЗУ. Токсичні домішки сорбують золою.

При відсутності оборотної системи ГЗУ на ТЕС розчини консервацій піддаються обробці різними окислювачами: киснем повітря, хлорним вапном і т.ін.

На рис. 16.13 наведена принципова схема установки для очищення розчинів консервацій. Відпрацьований розчин збирається в баку, місткість якого повинна бути достатньою для прийому відразу всієї його кількості. До баку підводяться пара і реагенти. Для прискорення процесу організовується циркуляція розчину з одночасним підведенням повітря за допомогою ежектора. Продування повітрям сприяє розкладанню нітриту і гідразину.

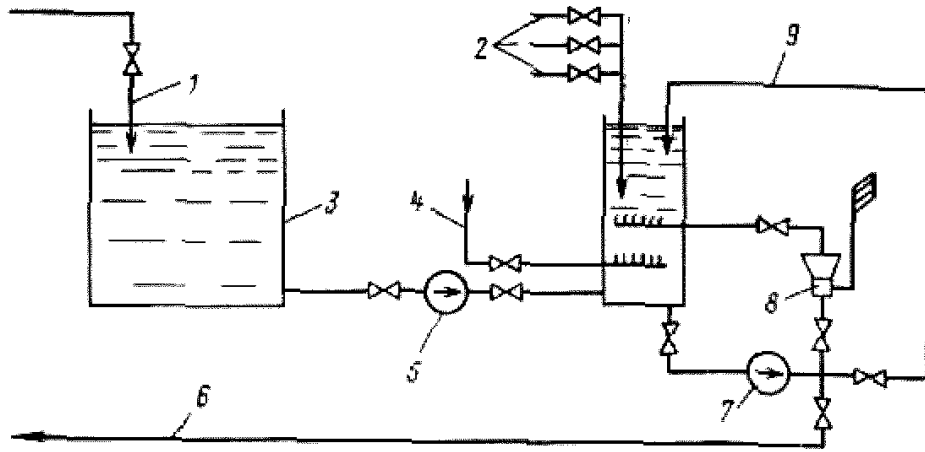


Рис. 16.13. Схема вузла очищення консервуючих розчинів:

- 1 – скидання консервуючого розчину; 2 – підведення реагентів; 3 – бак збирання консервуючого розчину; 4 – підведення грійочої пари; 5 – насос; 6 – скидання знешкодженого розчину; 7 – циркуляційний насос; 8 – ежектор; 9 – лінія рециркуляції.

16.5.5.6. Знешкодження стічних вод систем гідрозоловидалення

Кількість стічних вод систем ГЗУ в багато разів перевищує сумарний об'єм всієї решти забруднених стоків ТЕС. З цієї причини очищення стічних вод систем ГЗУ для оборотних систем очищення продувочної води вельми утруднені. Очищення цих стоків ускладнюється високою концентрацією фторидів, миш'яку, ванадію, ртуті, германію та деяких інших елементів, що мають токсичні властивості. У застосуванні до таких вод більш доцільне їхнє знешкодження, тобто зниження концентрації шкідливих речовин до значень, при яких можливі їхнє скидання у водоймища.

Основні методи знешкодження:

- осадження домішок;
- сорбція домішок на різних сорбентах, зокрема на золі;
- попередня обробка із застосуванням окислювально-відновних процесів.

Найбільш перевіреним методом, вживаним для видалення токсичних домішок зі стічних вод, є осадження домішок в результаті утворення малорозчинних хімічних сполук або в результаті їхньої адсорбції на поверхні утворюваних у воді твердих частинок. Як реагент використовується, як правило, вапно. При необхідності застосовуються додаткові реагенти, що підсилюють процес осадження.

Деякі комплекси токсичних речовин, що утворюються з кальцієм, мають достатньо високу розчинність. Наприклад, навіть найменш розчинний з комплексів миш'яку з кальцієм $3\text{Ca}(\text{AsO}_4) \cdot 2(\text{CaOH})_2$ має розчинність 4 мг/кг, що у 18 разів перевершує санітарну норму концентрації миш'яку у водоймищах.

Для поліпшення виведення миш'яку з води одночасно з вапном використовують сульфат заліза (залізний купорос) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. При цьому утворюється важкорозчинна сплука FeAsO_3 . Цей процес посилюється адсорбцією миш'яку пластівцями гідроксиду заліза. В результаті сумісної з вапнуванням коагуляції можна знизити вміст миш'яку в стічній воді ГЗУ при

pH=9-10 до його ГДК у водоймищах (нижчий 0,05 мг/кг). Одночасно відбувається і соосадження хрому.

Сполуки фтору добре осідають при додатковому введенні хлористого магнію ($MgCl_2$) у стічну воду. Фтор осідає спільно з пластівцями гідроксиду $Mg(OH)_2$, що утворюється.

На ТЕС повинно бути створене спеціальне сховище для поховання там осаджених речовин з продувочних вод систем ГЗУ.

Використовуються й інші речовини для осадження фтору, наприклад, шляхом коагуляції сульфатом алюмінію. При pH=4,5-5,5 і додаванні сульфату алюмінію у вигляді безводного $Al_2(SO_4)_3$ у кількості 18-23 мг на 1 мг фтору, що видаляється, його концентрація знижувалася майже до нуля.

Сорбційне очищення засноване на здатності сорбентів витягувати токсичні домішки зі стічних вод з утворенням або без утворення з сорбентами хімічних сполук. Стічні води ГЗУ містять сорбент – золу. У золі більшості вугілля міститься до 60% SiO_2 і до 30% Al_2O_3 , які утворюють в процесі спалювання палива алюмосилікати. Останні є іонообмінними матеріалами, здатними сорбувати іони багатьох металів. Наявність в золі недопалених частинок призводить до сорбції золою органічних і малодисоційованих сполук з води.

Налагодження системи ГЗУ дозволяє відкоригувати співвідношення води і золи, значення pH і в результаті одержати достатньо глибоке видалення токсичних домішок зі стічних вод ГЗУ, використовуючи властивості золи. Завдяки такому налагодженню можна уникнути будівництва спеціальних очисних споруд.

Принциповим рішенням проблеми знешкодження стічних вод систем ГЗУ є перехід на пневматичні сухі системи транспортування і зберігання золи і шлаку з повним їхнім використанням в народному господарстві.

На завершення розділу пропонується таблиця, у якій порівнюється ефективність деяких технологій очищення стічних вод.

Таблиця 16.3

Порівняння ефективності технологій очищення стічних вод

Параметр	Відстоювання	Електро-коагуляція	Електрофільтрація
Ступінь очищення, %	70-75	80-85	96-98
Продуктивність, $m^2/(5 m^3/год.)$	7-10	3-4	1,5
Вторинне забруднення води	Відсутнє	Fe 1 мг/л, Al 0,5-1 мг/л	Відсутнє
Енерговитрати, кВт год./ m^3	Відсутні	1-1,5	0,25-0,5
Вторинне забруднення твердих відходів	Відсутнє	до 30% (Fe, Al, Cr^{6+})	Відсутнє
Змінні елементи обладнання для операцій	Відсутні	Fe, Al – анод (20-30 днів)	Ti – анод (5-10 років)
Режим експлуатації	Безперервний	Періодичний	Безперервний
Твердий відхід	Пульпа 99% вологості	Пульпа 99% вологості	Флотоконцентрат 94-96% вологості

Наведені дані свідчать про те, що, грамотно використовуючи розглянуті нами методи, можна досягти високої ступені очищення стічної стічної води від різноманітних домішок.

Розглянуті методи очищення стічних вод придатні, якщо концентрації певних забруднюючих агентів не перевищують припустимі величини. Як правило, необхідно проводити три-чотири ступені попереднього очищення стоків. Окрім цього, для скидання очищених стічних вод у водоймища після біоочищення буває необхідне їхнє доочищення – наприклад, за допомогою озонування.

Глибоке очищення стічних вод досягається шляхом їхнього упарювання. Для цього використовують апарат з заглибними пальниками (розділ 7.1.2.1), де упарювання проводиться до отримання осаду з низьким вмістом вологи, який складають у нефільтрованому сховищі.

16.6. Умови спуску стічних вод у водоймища

Скидання стічних вод у водоймище можливе при дотриманні певних умов. Оцінюючи можливість скидання, враховують об'єм водойми, степінь змішування скидної води з природною, кількість кислоти, що скидається, реакцію середовища природної водойми.

При рішенні питання про умови або допустимість спуску стічних вод у водоймище останній піддають попередньому санітарному обстеженню. При цьому розрізняють водовикористання двох типів:

I – водоймище служить джерелом централізованого або нецентралізованого питного водопостачання;

II – водоймище є місцем купання, спортивних занять і відпочинку населення (сюди також відносяться водоймища, розташовані в межах населених пунктів).

Склад і властивості води в пунктах водовикористання визначаються нормативами, наведеними в Правилах охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами. Встановлено, зокрема, що після випуску очищених стічних вод концентрація зважених речовин не повинна збільшуватися більш ніж на 0,25 мг/л у водоймищі I типу і на 0,75 мг/л – II типу, БПК при 20°C для водоймищ I і II типів повинна складати відповідно не більше 3 і 6 мг/л, а кількість розчиненого кисню бути рівною не менше 4 мг/л.

При попередньому обстеженні місця передбачуваного спуску стічних вод збирають, крім того, докладні гідрологічні, гідрогеологічні та інші відомості про водоймище, зокрема, вивчають витрату річки, її кисневий баланс.

Водоймища як приймачі стоків діляться на проточні, в яких вода рухається з відносно великими швидкостями, проточні з малими швидкостями переміщення води і зовсім непроточні (водосховища, озера). Очевидно, що у кожному випадку перемішування стічної рідини з водою водоймища-приймача протікає по-різному.

Кратність розведення стічної рідини річковою водою в максимально забрудненому струмені будь-якого створу визначається за формулою:

$$n = \frac{g + G\gamma}{g}, \quad (16.1)$$

де g – витрата стічних вод, м³/с;

G – витрата річки, м³/с;

γ – коефіцієнт змішування, який показує, яка частина витрати річки змішується в даному створі зі стічною водою.

Ступінь можливого розведення стічних вод у водосховищі визначають за методом М.А.Руффеля. Відповідно до нього, повне розведення n є результатом сумісного впливу початкового розведення n_n , що відбувається при випуску стічних вод, і основного n_o , що продовжується у міру віддалення стічних вод від місця випуску:

$$n = n_n - n_o \quad (16.2)$$

Якщо стічні води випускаються в мілководій прибережній частині водосховища, то

$$n = \frac{g + 0,111H_{сер}^2 v_{сер}}{g + 0,111H_{сер}^2 r v_{сер}}, \quad (16.3)$$

де $H_{сер}$ – середня глибина прибережної смуги водосховища, в якій відбувається розведення, м;

$v_{сер}$ – середня швидкість течії, м/с;

r – відношення концентрації забруднень у водоймищі до концентрації забруднень у стічній воді.

Відповідно до вимог Правил охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами, необхідний ступінь очищення стоків розраховують за загальносанітарними показниками забрудненості: концентрації зважених речовин, БПК і балансу кисню. Розрахункова формула для визначення гранично допустимого вмісту зважених речовин у водах, що спускаються в непроточне водоймище, має вигляд

$$k_{np} = nk_{дон} + k_{\epsilon}, \quad (16.4)$$

де n – кратність розведення стічних вод в розрахунковому пункті;

$k_{дон}$ – допустиме збільшення вмісту зважених речовин у водоймищі, мг/л;

k_{ϵ} – концентрація зважених речовин у воді водоймища, мг/л.

Розрахунок за гранично допустимими значеннями БПК для водосховищ заснований тільки на обліку розведення стічних вод у водоймищі:

$$k_{np} = (k_{дон} + k_{\epsilon})n, \quad (16.5)$$

Для перевірки за кисневим балансом існує наближена формула вигляду

$$k_{дон} = 2,5(n-1)(O_p - 0,4k_{\epsilon} - 4) - 10, \quad (16.6)$$

де O_p – концентрація розчиненого кисню у воді водоймища до випуску стічних вод, мг/л.

Деструктивні методи очищення від забруднень стічних вод

Повністю позбутися шкідливих речовин можна шляхом *термічного знешкодження* стічних вод. Для цього сконструйовані спеціальні печі киплячого шару (КШ), де проводиться зневоднення стічних вод, що містять мінеральні солі, термічне розкладання мінеральних кислот, спалювання нафтового шламу і т.ін. Печі КШ являють собою термореактори зі зваженим шаром твердих частинок. На рис. 16.14 представлена піч КШ для термічного знешкодження стічних вод, що містять сульфіди і сульфати.

Піч КШ має виносну топку на газовому паливі, круглі, провальні ґрати діаметром 1510 мм. Стічні води розпилюються однією механічною форсункою, встановленою в центрі печі.

Паливом для печі КШ є природний газ. Як у даній конструкції, так і взагалі в печах з киплячим шаром топка зазвичай повинна працювати під тиском, достатнім для того, щоб теплоносій пройшов через розподільні ґрати і сам киплячий шар. Тому для спалювання газу використовуються пальники, що працюють під тиском. До пальників і їхньої установки пред'являються підвищені вимоги щодо герметичності, щоб уникнути вибивання гарячих газів через нещільності. Такі ж вимоги пред'являються до гляделок, розташованих у топці.

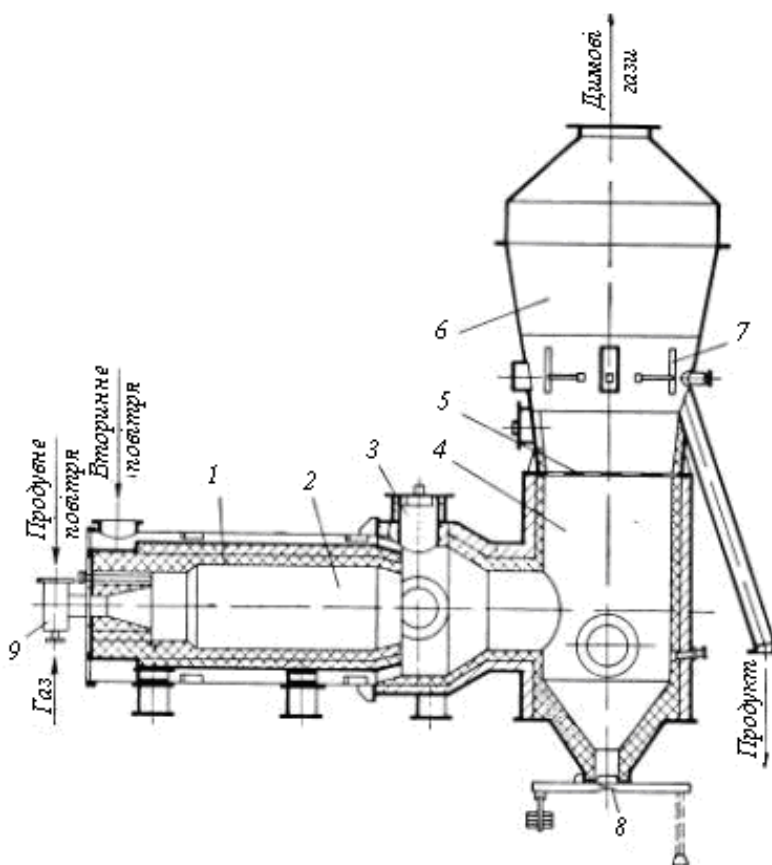


Рис. 16.14. Піч КШ для спалювання стічних вод:

- 1 – футеровка; 2 – камера згоряння; 3 – вибуховий клапан; 4 – камера змішування;
5 – газорозподільна решітка; 6 – корпус печі; 7 – форсунка для стічної води; 8 – затвор;
9 – пальник для газу.

Підгратчастий простір в даному випадку має циліндричну форму. У його нижній частині змонтований спеціальний розвантажувальний пристрій для звільнення підгратчастого простору від частинок, що провалилися, і гранул.

Розподільні ґрати є металевим листом завтовшки 20 мм. На листі в шаховому порядку розташовані отвори; діаметр отворів 5 мм, крок 18 мм. Отвори мають циліндрично-конічну форму, обернену розширенням вгору. Зважаючи на інтенсивне відведення тепла киплячим шаром, спеціального охолодження ґрати не потребують.

Топка печі циліндрична; вона виконана з високовогнетривкого матеріалу в два шари і має теплову ізоляцію з азбестового листу. Зовнішня поверхня топки укладена в металевий кожух з листової сталі. Топка в кінці звужується і має конічну форму. Кожух топки охолоджується вторинним повітрям, що подається вентилятором в кільцевий простір між кладкою топки і зовнішнім кожухом. Повітря вводиться в кільцевий канал тангенціально зі швидкістю 5-8 м/с.

Таким чином, теплоносій, що поступає в робочу камеру печі КШ, утворюється шляхом змішування димових газів з вторинним повітрям. Цей само теплоносій, що має під ґратами температуру 700°C і вище, є псевдозріджуючим агентом.

З проміжним патрубком топка сполучена фланцями. На проміжному патрубку встановлений вибуховий клапан, який призначений для оберігання конструкції печі від руйнування і обслуговуючого персоналу від травм у разі вибуху, а також є лаз, необхідний для огляду і ремонту топки.

Існує й інша конструкція печі киплячого шару (рис. 16.15), у якій знешкодження стічних вод і шламів проводиться на «подушці» твердого матеріалу, зазвичай кварцового піску. Такі печі, як правило, не мають топки і спалювання палива відбувається в шарі.

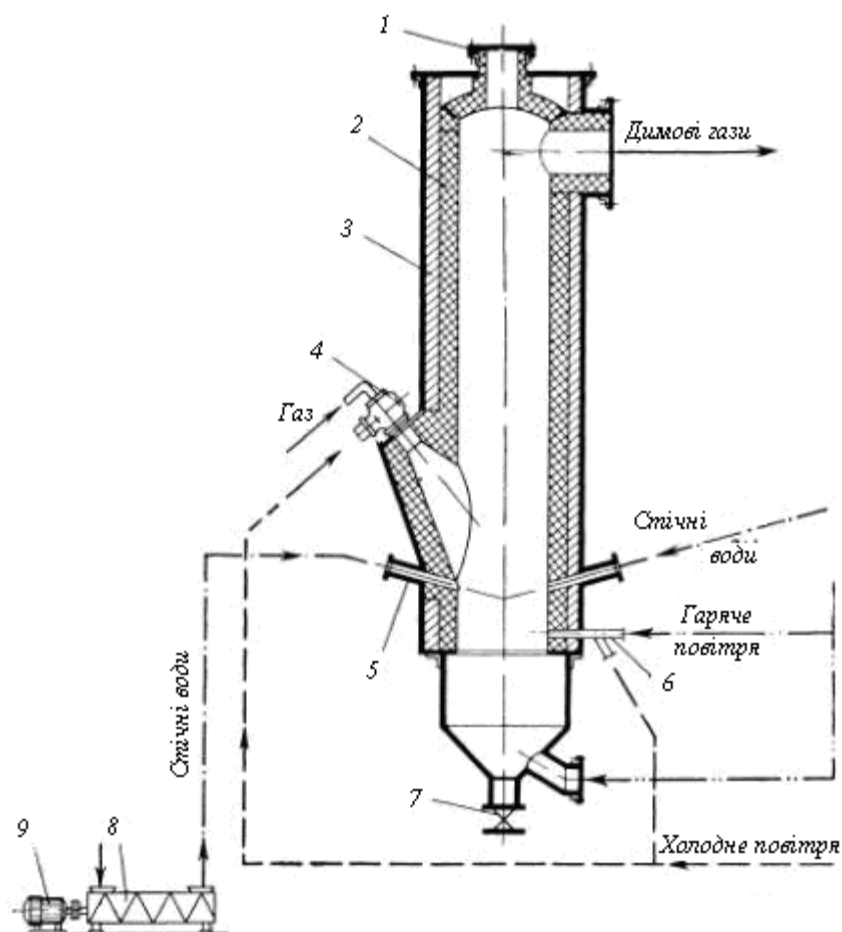


Рис. 16.15. Піч для спалювання стічних вод і шламів:

1 – вибуховий клапан; 2 – вогнестійка футеровка; 3 – теплоізоляційна футеровка; 4 – пальник для газу; 5 – форсунка для подачі стічних вод або шламів; 6 – пальник для підшарові подачі газу; 7 – затвор; 8 – шнек; 9 – електродвигун.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бахмачевский Б.И., Зах Р-Ю.Г., Лызо Г.П., Сушкин И.Н., Шукин А.А. Теплотехника. – М.: Изд. Металлургия, 1984. – 608 с.
2. Белан Ф.И. Водоподготовка (расчеты, примеры, задачи). – М.: Энергия, 1980. – 256 с.
3. Водоподготовка Учебник для вузов. Под ред. М.С. Шкроба – 2-е изд перераб. и доп. – М., Энергия, 1973. – 416 с.
4. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М., Брик М.Т., Гроздяк П.І., Князкова Т.В. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: – К.: Лібра, 2000.– 552 с.
5. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: Підручник. – К.: Вища шк., 2005. – 671 с.
6. Глеков О. Ржавчина? Вон кислород! // Наука и жизнь. - 2006. - № 12, , С. 52-55.
7. Захаров С.Л. Очистка сточных вод нефтебаз // Экология и промышленность России. - 2002. – Январь, С. 35-37.
8. Канализация населенных мест и промышленных предприятий/ Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др., – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
9. Карелин Я.А., Попова И.А., Евсеева Л.А. и др. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов – М.: Стройиздат, 1982.
10. Колесников В.А., Ильин В.И., Капустин Ю.И. и др. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий. – М., Химия, 2007. – 304 с.
11. Колесников В.А., Меньшутина Н.В. Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод. – М., ДеЛи принт, 2005. – 266 с.
12. Кульский Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды: – К.: "Наукова думка", 1972. – 500 с.
13. Колобанов С.К., Ершов А.В., Кигель М.Е.; Проектирование очистных сооружений канализации. – К, Будівельник, 1977. – 224 с.
14. Крылов И.О., Ануфриева С.И., Исаев В.И. Установка доочистки сточных и ливневых вод от нефтепродуктов // Экология и промышленность России. – 2002. – июнь С. 17-19.
15. Лифшиц О.В. Справочник проектировщика котельных установок: – М., Энергия, 1976. – 288 с.
16. Минаков В.В., Кривенко С.М., Никитина Т.О. Новые технологии очистки от нефтяных загрязнений // Экология и промышленность России. – 2002. – Май, С. 7-9.
17. Очистка производственных сточных вод: учебное пособие для вузов/ Под. ред. Яковлева С.В. – М: Стройиздат, 1985. – 341 с.
18. Павлов Д.В., Аверина Ю.М. Современная ресурсосберегающая система очистки промышленных сточных вод. // «Водоочистка» № 1/2012 г.
20. Проектирование и расчет очисных сооружений водопроводов./Л.А.Кульский, М.Н.Булава, И.Т. Гороновский – 2-е изд. перераб. и доп. – Киев, Будівельник, 1972, – 424 с.
21. Роев Г.А. Очистные сооружения. Охрана окружающей среды – М.: Недра, 1993. – 257 с.
22. Роев Г.А., Юфин В.А. Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов – М.: Недра, 1987. – 310 с.
23. Родионов А.И., Клушин В.П., Торочешников И.С. Техника защиты окружающей среды. Учебник для вузов – М.: Химия, 1989. – 275 с.
24. Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности. Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2000. – 800 с.
25. Средства очистки жидкостей на судах: Справочник/ Под общей ред. И.А. Иванова –

- Л: Судостроение, 1984. – 272 с.
25. Стахов Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов – Л.: Недра, 1983. – 356 с.
 27. Тимофеева С.С. Биотехнология обезвреживания сточных вод // Химия и технология воды, 1995. - Т. №5. С. 525-532.
 28. Тулепбаев В.Б., Дьяченко И.О. Применение вакуумных выпаривателей для очистки сточных вод гальванического производства. // «Гальванотехника и обработка поверхности» № 1/2008 г.
 29. Яковлев С.Б., Краснобородько И.Г., Рогов В.М. Технология электрохимической очистки воды. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд., 1987. – 312 с.

Электронні ресурси

1. <http://www.docme.ru/doc/185201/fiziko-himicheskie-processy-vodopodgotovki>
<http://voda-proekt.narod.ru/fiz-him.html>
2. <http://www.docme.ru/doc/185201/fiziko-himicheskie-processy-vodopodgotovki>
3. http://www.2hx.ru/672411712_181301219/26121112162047271218122972316127
4. <http://chem21.info/info/1827892/>
5. <http://chem21.info/info/146771/>
6. <http://ru-ecology.info/term/49406/>
7. <http://ru-ecology.info/term/15328/>
8. http://studopedia.su/10_123156_adsorbtsionnaya-emkost-adsorbentov.html
9. <http://www.ngpedia.ru/id16103p2.htm>
10. <http://www.dscrusher.com/v3/products/sand-making-machine/366.html>
11. <http://www.keytrade.by/rus/catalogue/17163/17165/17378/17337>
12. <http://ru-ecology.info/term/40793/>
13. <http://thesaurus.rusnano.com/wiki/article1945>
14. <http://ru-ecology.info/term/40793/>
15. http://www.o8ode.ru/article/planetwa/oprecnenie/biologi4eckaa_o4ictka_cto4nyh_vod.htm
16. http://mediana-eco.ru/information/stoki_biological/
17. <http://vseonefti.ru/downstream/>
18. <http://mirnefti.ru/index.php?id=11>
19. <http://www.ngfr.ru/ngd.html?neft21>
20. http://gazovik-pgo.ru/cat/articles/pererabotka_nefti/

ЗМІСТ

ВСТУП. Мета та задачі курсу. Структура дисципліни.....	3
Глава I. МЕТОДИ ОБРОБКИ РІДИН.....	7
1. ОСАДЖЕННЯ.....	10
1.1. Наукові підходи до вивчення процесів. Кінетика осадження.....	10
1.1.1. Подібність процесів. Критерії подібності. Критеріальні рівняння.....	11
1.1.1.1. <i>Подібність процесів</i>	11
1.1.1.2. <i>Критерії подібності</i>	12
1.1.2. <i>Розрахунки, пов'язаних з кінетикою осадження</i>	14
1.2. Процеси осадження.....	16
1.3. Обладнання для відстоювання.....	17
1.4. Осадження під дією відцентрової сили.....	20
1.4.1. <i>Основні розрахункові формули</i>	21
1.4.2. <i>Види і будова центрифуг</i>	22
1.4.3. <i>Приклад розрахунку, пов'язаного з роботою центрифуги</i> ...	24
1.4.4. <i>Сепаратори</i>	25
2. ФІЛЬТРУВАННЯ.....	27
2.1. Класифікація методів фільтрування.....	27
2.2. Фільтрувальні перегородки.....	28
2.2.1. <i>Перегородки з каміння й керамічних матеріалів</i>	29
2.2.2. <i>Перегородки з тканин</i>	29
2.2.3. <i>Використання наливних шарів як додаткових</i> <i>фільтрувальних матеріалів</i>	29
2.2.4. <i>Допоміжні речовини, що використовуються при</i> <i>фільтруванні</i>	30
2.3. Фільтрування під дією перепаду тисків з відкладенням осаду.....	30
2.3.1. <i>Кінетика фільтрування</i>	30
2.3.2. <i>Розрахункові рівняння процесу фільтрування</i>	31
2.4. Відцентрове фільтрування (з відкладенням осаду).....	31
2.5. Фільтрування із забиванням пор фільтру.....	32
2.6. Фільтрувальна апаратура.....	32
2.6.1. <i>Фільтри періодичної дії</i>	33
2.6.2. <i>Фільтри безперервної дії</i>	41
2.7. Мікрофільтрація, ультрафільтрація, нанофільтрація.....	44
2.8. Розрахунки фільтрів.....	44
2.9. Приклади розрахунків фільтрувальної апаратури.....	47
3. КОАГУЛЯЦІЯ І ФЛОКУЛЯЦІЯ.....	51
3.1. Коагуляція.....	51
3.2. Флокуляція.....	53
4. ФЛОТАЦІЯ.....	54
5. ІОНООБМІННИЙ МЕТОД.....	60
5.1. Зм'якшення води катіонітами.....	61
5.2. Обробка води аніонітами.....	62
5.3. Знесолення води іонообмінним методом.....	62
6 СОРБЦІЙНІ ПРОЦЕСИ.....	64

6.1. АБСОРБЦІЯ.....	65
6.1.1. Використання абсорбції при обробці води та водних стоків.....	65
6.1.2. Фізичні основи абсорбції.....	65
6.1.3. Швидкість масопередачі.....	66
6.1.4. Абсорбційні апарати.....	68
6.1.4.1. Насадкові абсорбери (скрубери).....	69
6.1.4.2. Барботажні тарілчасті абсорбери.....	69
6.1.4.3. Поверхневі абсорбери.....	69
6.1.4.4. Плівкові абсорбери.....	69
6.1.4.5. Розпилювальні абсорбери.....	69
6.1.4.6. Розрахунок абсорберів.....	70
6.2. АДСОРБЦІЯ.....	71
6.2.1. Роль процесу адсорбції в обробці рідинних систем.....	71
6.2.2. Адсорбенти.....	72
6.2.3. Використання активованого вугілля при очищенні стічних вод.....	75
6.2.4. Фізичні основи адсорбції.....	76
6.2.5. Масопередача в системах з твердою фазою.....	78
6.2.6. Обладнання для адсорбції.....	78
6.2.7. Регенерація адсорбенту.....	80
6.2.8. Принципові схеми адсорбції.....	82
6.2.9. Хемосорбція.....	82
6.3. ДЕСОРБЦІЯ	
Дегазація (Деаерація).....	83
6.3.1. Значення процесу та принципи, на яких він заснований.....	83
6.3.2. Фізичні методи деаерації і апарати для її проведення...	85
6.3.2.1. Ізотермічна деаерація при атмосферному тиску. Будова і робота деаераційної колони.....	85
6.3.2.2. Схема безвакуумного одноступінчастого деаератора.....	86
6.3.2.3. Вихровий аератор.....	88
6.3.2.4. Щілинний деаератор.....	88
6.3.2.5. Мембранна дегазація для глибокого видалення кисню.....	89
6.3.3. Хімічна деаерація.....	89
6.4.4. Розрахунки в процесах сорбції і десорбції.....	90
7. ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ РІДИН, ПОВ'ЯЗАНІ ЗІ ЗМІНОЮ АГРЕГАТНОГО СТАНУ	94
7.1. ВИПАРЮВАННЯ.....	94
7.1.1. Однокорпусна випарна установка.....	94
7.1.1.1. Будова і робота	94
7.1.1.2. Матеріальний баланс	95
7.1.1.3. Тепловий баланс	95
7.1.1.4. Поверхня нагріву випарного апарату.....	96

7.1.1.5. Температурні втрати.....	96
7.1.2. Багатокорпусні випарні установки.....	97
7.1.2.1. Установка з апаратом заглибного горіння (апарати з зануреними пальниками).....	97
7.1.3. Конструкції випарних апаратів.....	99
7.1.4. Прилад розрахунку випарного апарату.....	99
7.2. ПЕРЕГОНКА.....	102
7.2.1. Способи перегонки. Позначення.....	102
7.2.2. Характеристика двофазових сумішей рідина – пара.....	103
7.2.3. Графічні залежності.....	104
7.2.4. Проста перегонка.....	105
7.2.4.1. Фракційна перегонка.....	105
7.2.4.2. Проста перегонка з дефлегмацією.....	106
7.2.4.3. Перегонка з водяною парою.....	106
7.2.5. Ректифікація.....	107
7.2.5.1. Принцип ректифікації.....	107
7.2.5.2. Схема безперервної діючої ректифікаційної установки для поділу бінарних сумішей.....	107
7.2.6. Розрахунки ректифікаційних колон.....	108
7.3. КРИСТАЛІЗАЦІЯ.....	109
7.3.1. Способи кристалізації.....	109
7.3.1.1. Ізогідрична кристалізація.....	109
7.3.1.2. Ізотермічна кристалізація.....	109
7.3.2. Будова кристалізаторів.....	110
7.3.2.1. Кристалізатори для ізогідричної кристалізації.....	111
7.3.2.2. Кристалізатори для ізотермічної кристалізації.....	112
7.3.3. Розрахунки кристалізаторів.....	114
8. ЕКСТРАГУВАННЯ.....	116
8.1. Сутність методу та апаратура.....	116
8.2. Приклад розрахунку екстракції.....	119
9. ХІМІЧНІ МЕТОДИ В ОБРОБЦІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН ТА СТИЧНИХ ВОД.....	120
9.1. Хімічне осадження.....	120
9.2. Нейтралізація.....	123
9.3. Окислювальні методи.....	123
10. ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ МЕТОДИ В ПРОЦЕСАХ ОБРОБКИ РІДИН... ..	124
10.1. Основні напрямки використання електрохімічних виробництв.....	125
10.2. Робота гальванічного елементу.....	125
10.3. Ряд напруг металів.....	127
10.4. Електроліз	128
10.4.1. Електроліз розчинів солей.....	128
10.4.2. Електроліз води.....	128
11. МЕМБРАННІ МЕТОДИ.....	129
11.1. Сутність методу і види мембранної технології.....	129
11.1.1. Зворотній осмос	130

11.1.2. Мікрофільтрація.....	131
11.1.3. Ультрафільтрація.....	132
11.1.4. Нанофільтрація.....	133
11.1.5. Діаліз.....	133
11.1.6. Первапорація.....	134
11.1.7. Мембранна дистиляція.....	134
11.1.8. Електродіаліз.....	136
11.2. Мембранні фільтри.....	137
12. БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД.....	138
Глава II. ОБРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН.....	143
13. ОБРОБКА ВОДИ.....	143
13.1. Використання води та вимоги, що пред'являються до неї.....	144
13.2. Види води.....	144
13.3. Основні характеристики води.....	145
13.4. Водопідготовка.....	146
13.4.1. Обробка питної води та води для харчової промисловості.....	148
13.4.2. Підготовка води для міського господарства.....	149
13.4.3. Водопідготовка для котелень.....	150
13.4.3.1. Вимоги, що пред'являються до якості води для парових котлів.....	150
13.4.3.2. ХВО для парових котлів.....	153
13.4.3.3. ХВО для водогрійних котлів.....	159
14. ПЕРЕРОБКА НАФТИ.....	160
14.1. Етапи переробки нафти.....	160
14.1.1. Підготовка нафти до переробки (зневоднення і знесолення нафт).....	160
14.1.2. Первинна переробка нафти. Пряма перегонка нафти.....	163
14.1.3. Вторинна переробка нафти.....	166
14.1.4. Стабілізація і вторинна перегонка бензину.....	168
15. ОБРОБКА НАФТОПРОДУКТІВ.....	168
15.1. Види нафтопродуктів, що використовуються при експлуатації обладнання.....	168
15.1.1. Палива.....	168
15.1.2. Інші нафтопродукти.....	170
15.2. Методи і засоби підготовки палива для спалювання.....	171
15.3. Методи обробки масел і гідравлічних рідин.....	173
15.4. Мийні рідини.....	174
Глава III. ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД.....	175
16. ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД.....	175
16.1. Характеристика стічних вод та методи їхнього очищення.....	175
16.2. Основні показники забрудненості стічних вод.....	179
16.3. Стадії очищення стічних вод.....	179
16.4. Типи очисних споруд.....	184
16.5. Січні води деяких виробництв та їхнє очищення.....	185

16.5.1. Очищення стічних вод житлово-комунального господарства.....	186
16.5.2. Очищення стічних вод підприємств харчової промисловості.....	186
16.5.3. Очищення стічних вод підприємств мікробіологічної промисловості.....	188
16.5.4. Очищення стічних вод нафтопереробних підприємств і нафтобаз.....	188
16.5.5. Стічні води підприємств теплоенергетики та їхнє очищення.....	193
16.5.5.1. Класифікація стічних вод ТЕС.....	193
16.5.5.2. Очищення стічних вод водопідготовчих установок.....	195
16.5.5.3. Очищення стічних вод, що містять нафтопродукти.....	197
16.5.5.4. Очищення обмивальних вод регенеративних повітропідігрівників і поверхонь нагріву котлів..	202
16.5.5.5. Очищення стічних вод хімічних промивок і консервації устаткування.....	204
16.5.5.6. Знешкодження стічних вод систем гідрозоловидалення.....	207
16.6. Умови спуску стічних вод у водоймища.....	209
16.7. Деструктивні методи очищення від забруднень стічних вод...	211
ЛІТЕРАТУРА.....	214