

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

С. М. Епоян, Т. С. Айрапетян

ЗВОРОТНІ ТА БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИ ВОДОКОРИСТУВАННЯ
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
за спеціальністю*

*194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія
та водні технології)*



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2022

Епоян С. М. Зворотні та безстічні системи водокористування промислових підприємств : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / С. М. Епоян, Т. С. Айрапетян ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 113 с.

Автори:

д-р техн. наук, проф. С. М. Епоян,
канд. техн. наук, доц. Т. С. Айрапетян

Рецензенти:

С. С. Душкін, доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова);

Т. О. Шевченко, кандидат технічних наук, доцент (Харківський національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 01.09.2021

© С. М. Епоян, Т. С. Айрапетян, 2022

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
ЗМ 1.1 ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД В СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	7
1 ЗВОРОТНІ ТА БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ	7
1.1 Раціональні схеми використання води на промислових підприємствах.....	7
1.2 Основні принципи створення зворотних та повністю замкнених (безстічних) систем водного господарства промислових підприємств.....	11
1.3 Баланси води і солей в системах зворотного водопостачання.....	14
2 МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ І СТІЧНИХ ВОД, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДЛЯ ПІДЖИВЛЕННЯ ЗАМКНЕНИХ ЗВОРОТНИХ СИСТЕМ.....	17
2.1 Формування сольового складу і стабілізація іонного складу води в безпродувочних системах зворотного водопостачання.....	17
2.2 Прояснення підживлювальної води і стабілізуючої витрати зворотної води.....	20
2.3 Іонообмінне коректування мінерального складу очищених стічних вод й стабілізуючої витрати перед підживленням замкнених зворотних систем.....	22
3 НЕТРАДИЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ...	26
3.1 Використання біологічно очищених стічних вод як джерела технічного водопостачання. Вимоги до якості очищених стічних вод, що застосовують для підживлення зворотних систем водопостачання.....	26
3.2 Доочищення біологічно очищених стічних вод коагулянтами та активним вугіллям.....	31
3.3 Технологічні схеми підготовки стічних вод для використання у промисловості.....	33

3.4 Коректування сольового складу води у замкнених зворотних циклах.....	35
4 ПОВЕРХНЕВИЙ СТІК - РЕЗЕРВ ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	39
4.1 Особливості складу поверхневого стоку.....	39
4.2 Приклади використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання.....	42
ЗМ 1.2 ОЧИЩЕННЯ І БАГАТОРАЗОВЕ ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД В СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	45
5 СТВОРЕННЯ ЗВОРОТНИХ ТА ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ	45
5.1 Водне господарство підприємств чорної металургії.....	45
5.2 Досвід проектування і практика експлуатації замкнених (безстічних) й маловідходних систем водного господарства. Значення хвостових установок.....	49
6 ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ЦЕХІВ МАШИНОБУДІВНИХ ЗАВОДІВ ТА ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ ВІД ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ.....	54
6.1 Гальванічне виробництво машинобудівних підприємств і металургійних заводів. Особливості стічних вод.....	54
6.2 Огляд основних методів, технологічних схем й обладнання процесів очищення стічних вод гальванічних виробництв.....	55
6.3 Маловідходні іонообмінні технології очищення гальваностоків від хроматів.....	60
7 МЕТОДИ ІОННОЇ ФЛОТАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІОНОАКТИВНИХ ПАР ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД.....	64
7.1 Очищення промислових скидів із використанням хімічно активних реагентів.....	64
7.2 Доочищення виробничих стічних вод від іоноактивних ПАР.....	66

7.3 Відстійники, шламонакопичувачі і хвостосховища стічних вод і шламів гірничо-металургійних підприємств, їх вплив на водний басейн р. Дніпро.....	69
ЗМ З СПОРУДИ ЛОКАЛЬНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	73
8 ВИВЧЕННЯ СКЛАДУ ТА МЕТОДІВ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ.....	73
8.1 Стічні води гірничорудних підприємств. Стічні води збагачувальних фабрик та агломераційних виробництв.....	73
8.2 Стічні води установок очистки доменного газу.....	75
8.3 Стічні води сталеплавильних цехів.....	76
9 СПОРУДИ ЛОКАЛЬНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД З МЕТОЮ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ В ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	78
9.1 Конструкції відстійників для очистки виробничих стічних вод.....	79
9.2 Відкриті гідроциклони, флокулятори.....	81
9.3 Сучасні споруди для очистки промислових стічних вод.....	85
9.4 Фільтрування води.....	89
10 ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД ВІД СУСПЕНЗІЙ І РОЗЧИНЕНИХ ХІМІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ.....	94
10.1 Основне обладнання для очищення стічних вод металургійних і машинобудівних заводів, забруднених суспензіями й солями важких металів, розроблене в ДП УкрНТЦ «Енергосталь».....	94
10.2 Зниження вмісту цинку в зворотній воді систем газоочисток доменного виробництва.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	109

ВСТУП

Промислове виробництво є основним споживачем води і характеризується різноманітними способами використання водних ресурсів у виробничому процесі. Найбільші обсяги води використовуються в металургійному комплексі, енергетиці, хімічній та харчовій промисловостях. Кожна з цих сфер господарської діяльності включає системи водопостачання та водоспоживання, які значно різняться між собою і, відповідно, по-різному впливають на стан природних водних об'єктів. Тому однією з основних проблем раціоналізації водокористування є впровадження маловодних та безводних технологій у промислове виробництво й теплоенергетику. Це дозволить забезпечити економію свіжої води і тим самим зменшити скиди стічних та технічних вод у природні водні об'єкти.

Останнім часом з особливою гостротою піднімаються проблеми впровадження маловодних та безводних технологій у сфері промислового виробництва, щоб максимальною мірою зменшувати порушення екологічної рівноваги.

На сьогодні практично всі регіони України потребують широкомасштабної реконструкції і модернізації існуючої матеріально-технічної бази суспільного виробництва з урахуванням ресурсно-екологічних вимог, стандартів та обмежень. Це може здійснюватися на основі застосування новітніх екологічно збалансованих, енерго- і ресурсозберігаючих технологій, маловідходних замкнених виробничих циклів, а також подальшого розвитку систем зворотного і повторного використання прісних, морських і стічних вод, що дасть можливість комплексно використовувати матеріально-сировинні ресурси, знижувати собівартість продукції та зводити до мінімуму викиди забруднюючих речовин у навколишнє середовище.

ЗМ 1.1 ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД В СИСТЕМАХ ЗВОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ 1 ЗВОТНІ ТА БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

План

1.1 Раціональні схеми використання води на промислових підприємствах.

1.2 Основні принципи створення зворотних та повністю замкнених (безстічних) систем водного господарства промислових підприємств.

1.3 Баланси води і солей в системах зворотного водопостачання.

1.1 Раціональні схеми використання води на промислових підприємствах

При виборі системи і розробці схеми водовідведення промислових підприємств необхідно враховувати такі фактори:

- кількість, склад і динаміку утворення різних промислових стоків від установок, цехів і всього промислового підприємства;
- можливість повторного використання промислових стоків без очистки або з частковою очисткою у зворотних циклах;
- можливість скорочення промислових стоків за рахунок застосування маловодних технологій;
- можливість сумісного або роздільного водовідведення різних категорій стічних вод;
- можливість скиду стічних вод у міську систему водовідведення;
- необхідні ступені очистки при повторному використанні або випуску промислових стоків;
- можливі системи і схеми очистки.

Для більшості промислових підприємств вимоги до якості води значно менш жорсткі, ніж до складу стічних вод, які підлягають скиду у водні об'єкти або міську систему водовідведення. Тому виробничі стічні води значно

вигідніше спрямовувати на повторне використання у системах оборотного та послідовного водопостачання, ніж направляти їх на очистку.

В цілому системи і схеми водопостачання та водовідведення промислових підприємств бувають такі:

- прямоточні;
- з повторним використанням води;
- зворотні з охолодженням води;
- зворотні з очищенням води.

Зворотні схеми з очищенням води – це такі системи, в яких вихідна вода використовується, а стічна вода очищається на очисних спорудах від домішок і використовується знову в тому самому виробництві. Наприклад, в гальванічному виробництві, стічні води забруднюються солями важких металів, проте очищення води на досить складних очисних спорудах дозволяє повернути воду у виробництво і захистити водойми від забруднення токсичними елементами.

При обґрунтуванні вибору системи виробничого водопостачання та водовідведення пром підприємства необхідно зважати на такі чинники:

1. Раціональність використання води й екологічні фактори, пов'язані з захистом водоймищ від виснаження і забруднення.

2. Технологічні вимоги до якості води й характеристики джерела водопостачання (потужність, віддаленість від пром підприємства, температуру і якість води).

3. Техніко-економічні фактори.

З погляду раціональності використання водних ресурсів доцільно прагнути до мінімального споживання свіжої води, тобто застосуванню зворотних і замкнених систем промислового водопостачання. Однак, це не завжди економічно вигідно. Отже під час проектування здійснюють техніко-економічне порівняння варіантів, на підставі якого обирають варіант з найменшими приведеними витратами.

Окремим варіантом зворотної системи водопостачання є *замкнена система виробничого водопостачання*, коли скид відпрацьованої води за межі підприємства відсутній. Воду з джерела або іншої системи додають у неї тільки для поповнення втрат. З погляду захисту навколишнього середовища та захисту водоймищ від забруднення стічними водами ця система найпрогресивніша.

У сучасній літературі, при розгляді систем використання води у виробництві, зустрічається багато різних термінів, таких як безстічні системи водокористування, повністю замкнені, максимально замкнені системи, замкнені системи з мінімальним скидом.

Під *замкненою системою водного господарства* промислового підприємства розуміють систему, в якій воду використовують у виробництві багато разів або без очищення, або після відповідної обробки, що виключає утворення будь-яких відходів і скидання стічних вод у водоймище.

Однак при повністю замкненій системі дуже складно забезпечити стабільність води у зворотному циклі. Істотно збільшуються вимоги до якості підживлювальної (свіжої) води. Доводиться застосовувати складніші технологічні схеми очищення як свіжої, так і зворотної води на локальних очисних спорудах, ускладнюється експлуатація всієї системи водного господарства промислового підприємства, збільшуються безповоротні втрати води.

Різноманіття промислових виробництв зумовлює структуру водозберігальних заходів, спрямованих на зменшення питомої витрати води і споживання свіжої води (рис. 1.1). Насамперед під час розроблення раціональних систем і схем водозабезпечення промислових підприємств прагнуть застосовувати маловодні технології виробництва.

Зменшити споживання води з природних джерел можна також завдяки багаторазовому їх використанню в промисловості та утилізації стічних вод. У разі використання стічних вод вимоги до їх якості визначають потрібний ступінь очищення. Під час вирішення питання доцільності створення систем водопостачання з багаторазовим використанням води у технологічних процесах

велике значення має встановлення закономірностей формування її складу і властивостей. Можливість прогнозування складу надасть змогу визначити умови використання води й розробити комплекс керування системою багаторазового використання води у технологічних процесах.



Рисунок 1.1 – Структура водозберігальних заходів

Наявність зворотних систем водного господарства є одним з найважливіших показників технічного рівня промислових підприємств. Упровадження систем зворотного водопостачання дає змогу значно зменшити кількість стічних вод, що скидаються та скоротити споживання свіжої води, що дає значний економічний і екологічний ефект.

У процесі розроблення технічних завдань зі створення ефективно функціонуючих зворотних циклів водопостачання необхідно враховувати такі принципові питання:

- прогнозування складу води й можливості утворення щільних сольових відкладень;
- мінімізація витрати підживлювальної води;

- раціональне поєднання локальних і зворотних циклів з загальною зворотною системою підприємства;
- застосування нових розробок ефективних очисних споруд і апаратів для очищення води;
- використання сучасних методів стабілізаційної обробки води;
- спеціальна підготовка води для підживлення зворотних систем.

Створення економічно обґрунтованих замкнених систем водного господарства є досить важким завданням. Складний фізико-хімічний склад стічних вод, різноманітність хімічних сполук, які в них містяться роблять неможливим підбір універсальної безстічної схеми, придатної для застосування в різних галузях народного господарства.

Основою створення раціональної схеми водокористування підприємства є його водний баланс, складений на підставі обліку водоспоживання і водовідведення. Ретельний аналіз водного балансу дозволяє визначити місце й причини втрат води, скоротити загальне споживання і скид води в середньому на 30 % тільки за рахунок проведення внутрішніх заходів і використання адміністративного ресурсу, не вдаючись до кардинальних заходів і повної реконструкції системи.

1.2 Основні принципи створення зворотних і повністю замкнених (безстічних) систем водного господарства промислових підприємств

Однією з головних причин, що перешкоджають повному використанню забруднених або нагрітих стічних вод у звороті є утворення щільних сольових відкладень по тракту руху води – в одних випадках і корозійні процеси – в інших. Дуже часто ці обидва процеси протікають одночасно і нерозривно пов'язані.

Таким чином, перехід від частково зворотних систем до повністю замкнених зворотних систем пов'язаний не тільки з додатковими капітальними витратами на будівництво відповідних очисних споруд, але і з вирішенням двох головних завдань: усуненням мінералізації і покриттям втрат зворотної води.

Повністю замкнена система водозабезпечення передбачає постійний кількісний і якісний склад води, запобігання корозії устаткування, забруднення системи як мінеральними, так і біологічними відкладеннями, відсутність скидання забруднених вод у водоймища, ліквідацію скидів іншими способами.

Створення економічно обґрунтованих замкнених систем водного господарства є досить важким завданням. Складний фізико-хімічний склад стічних вод, різноманітність хімічних сполук, які в них містяться роблять неможливим підбір універсальної структури повністю замкнених (безстічних) схем, придатної для застосування в різних галузях народного господарства.

Розроблення замкнених систем водного господарства промислових підприємств краще здійснювати поетапно, з поступовим збільшення частки води, що використовують в обороті. Найважливішими питанням у процесі створення замкнених зворотних систем є розробка науково-обґрунтованих вимог до якості води, що використовують у всіх технологічних процесах і операціях.

Під час створення замкнених зворотних систем водопідготовку та очищення стічних вод потрібно розглядати як єдину систему. Проектування замкнених систем проводити одночасно з проектуванням головного виробництва.

Переведення на замкнений режим роботи може бути здійсненим тільки на підприємстві з достатньо розвиненим зворотним водопостачанням.

Максимальне залучення води у зворот досягається шляхом таких додаткових інженерних рішень:

- значним скороченням об'єму стічних вод, що скидають із продувкою зворотних систем шляхом водопідготовки підживлювальної води й стабілізаційної обробки зворотної води;
- послідовно-повторним застосуванням води при використанні частини або всієї води з системи з високими вимогами до якості води у системі з нижчими вимогами;

- глибоким доочищенням забруднених стічних вод у кінці ланцюга з метою повторного використання з поверненням їх у початок ланцюга;
- очищенням і використанням поверхневого стоку з території підприємства у системі зворотного водопостачання.

Отже, створення зворотних й замкнених систем водного господарства промислових підприємств базується на таких принципах:

1. Водопостачання і каналізація повинні розглядатися в єдиному комплексі, коли на підприємстві створюється єдина система водного господарства, що включає водопостачання, водовідведення та очищення стічних вод, як підготовку для повторного використання. При цьому необхідно встановити науково обґрунтовані вимоги до якості споживаної у виробництві води й води, що відводиться.

2. Використовувати для водопостачання замість свіжої води очищені виробничі й міські стічні води, а також поверхневий стік. Свіжу воду з джерел використовувати для особливих цілей та поповнення втрат.

3. Забезпечувати очищення стічних вод і регенерацію відпрацьованих технологічних розчинів із метою їх повторного використання у виробництві. Створення замкнених систем водозабезпечення повинне поєднуватися з організацією маловідходного виробництва, технологія якого орієнтована на максимальне витягання з сировини основних продуктів з одночасною регенерацією цінних компонентів і доведенням відходів, що утворюються, до товарного продукту або вторинної сировини при мінімальних матеріальних і енергетичних витратах.

У процесі розроблення зворотних систем охолодження насамперед необхідно розглядати технічну й економічну доцільність використання повітряного охолодження замість водяного, головна перевага якого перед охолодженням на градирнях, бризкальних басейнах і водосховищах-охолоджувачах полягає у відсутності втрат води на випаровування і віднесення вітром.

1.3 Баланси води і солей в системах зворотного водопостачання

Основні питання, що характеризують роботу систем зворотного водопостачання:

- водний і сольовий баланси;
- оцінка небезпечності та інтенсивності утворення щільних сольових відкладень у обладнанні та трубопроводах;
- оцінка небезпечності корозійного зносу;
- методи стабілізації при обробці води.

Під час використання й охолодженні води у системах зворотного водопостачання частина її втрачається за рахунок випаровування, винесення дрібних крапель води повітрям, втрачається у виробництві, з осадом, що видаляється з очисних споруд, зі скидом води з системи (продувкою). Унаслідок випаровування в середньому втрачається десь 0,15 % води, що охолоджується при зниженні її температури на 1°C, виноситься повітрям в градирнях 0,2–0,3 % води.

Для поповнення безповоротних втрат води й підтримки постійного складу води, в систему зворотного водопостачання постійно надходить деяка кількість свіжої, так званої підживлювальної води, обробленої у тому чи іншому ступені.

Вважають, що розчинені солі води, які випарилися (повністю або частково) залишаються у зворотній воді й підвищують їхню концентрацію. Ступінь підвищення концентрації розчинених у воді речовин називають коефіцієнтом концентрування солей або коефіцієнтом упарювання. Чисельне значення цього коефіцієнта може бути виражено за випаровуванням води як

$$K_y = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{P_2 + P_3 + P_4} = \frac{P_d}{P_d - P_1}, \quad (1.5)$$

де P_1 – втрати води, що відбуваються в системі внаслідок випаровування;

P_2 – втрати води на краплинне винесення при охолодженні води;

P_3 – продувка системи;

P_4 – втрати води з системи, що відбуваються з інших причин (втрати води зі зневодненим шламом, втрати води при аваріях, переливи внаслідок порушення режиму водопостачання тощо).

Для будь-якої системи водопостачання повинен дотримуватись баланс води, що надходить до системи і втраченої в системі води:

$$\sum Q_{НАДХ} = \sum Q_{ВТР} \cdot \quad (1.6)$$

Стабілізація сольового складу відбувається за умови, якщо кількість солей, що виводяться з системи з продувкою та внаслідок винесення крапель води з охолоджувача, дорівнюватиме кількості солей, що надходять із підживлювальною водою.

Солі, що надходять до системи водопостачання, поділяють на дві основні групи:

1. Солі, що добре розчиняються у воді й не випадають в осад ні за яких умов роботи системи (хлориди калію, натрію, кальцію і магнію, сульфати).

2. Солі, що внаслідок недостатньої розчинності у разі порушення вуглекислотної рівноваги випадають в осад.

Зазвичай для контролю складу води у системах зворотного водопостачання використовують коефіцієнт концентрування хлоридного іона

$$K_{Cl} = \frac{Cl_{зг}^-}{Cl_n^-},$$
 величину якого порівнюють із коефіцієнтами концентрування

карбонатної жорсткості $K_{ж.к} = \frac{Ж_{к.зг}}{Ж_{к.л}}$, кальцію $K_{Ca} = \frac{Ca_{зг}^{2+}}{Ca_n^{2+}}$ чи інших іонів.

Порівнюючи величину коефіцієнтів концентрування хлоридного іона, карбонатної жорсткості або інших речовин, отримані по воді та обчислені за даними аналітичного визначення, можна отримати уявлення про надходження нових речовин та випадіння їх в осад (відкладання), тобто про термостабільність води.

За умов стабільності зворотної води (відсутності інкрустації поверхонь відкладаннями $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$ або зміни складу води за допомогою продуктів корозії труб і теплообмінної апаратури) зберігається рівність коефіцієнтів

випаровування, які визначаються за поступовим підвищенням у зворотній воді концентрацій різних іонів – хлоридів, сульфатів тощо.

$$K_{\text{вип}} = \frac{[Cl^-]_{зв}}{[Cl^-]_n} = \frac{[SO_4^{2-}]_{зв}}{[SO_4^{2-}]_n} = \dots = \frac{C_{зв}}{C_n} = \frac{C_n + \Delta C}{C_n} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} \quad (1.16)$$

де P_1, P_2, P_3 – втрати води на випаровування, винесення крапель води повітрям і стабілізаційна витрата;

$C_{зв}$ – солеміст зворотної води, мг/л;

C_n – солеміст підживлювальної води, мг/л;

$\Delta C = C_{зв} - C_n$ – збільшення солемісту зворотної води внаслідок випаровування.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть безповоротні втрати води у відкритих системах зворотного водопостачання.
2. Що являє собою продувка і з якою метою її здійснюють? Які труднощі виникають у зворотних системах у разі зменшення продувки?
3. Якими факторами обумовлюється необхідність і доцільність створення замкнених систем виробничого водопостачання?
4. На яких принципах базується створення зворотних і повністю замкнених систем водопостачання?
5. Що характеризує коефіцієнт концентрування добре розчинних солей і чому дорівнює його величина?
6. За якої умови в системах зворотного водопостачання буде спостерігатися стабілізація сольового складу?

2 МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ І СТІЧНИХ ВОД, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДЛЯ ПІДЖИВЛЕННЯ ЗАМКНЕНИХ ЗВОРОТНИХ СИСТЕМ

План

2.1 Формування сольового складу і стабілізація іонного складу води в безпродувочних системах зворотного водопостачання.

2.2 Прояснення підживлювальної води і стабілізуючої витрати зворотної води.

2.3 Іонообмінне коректування мінерального складу очищених стічних вод й стабілізуючої витрати перед підживленням замкнених зворотних систем.

2.1 Формування сольового складу і стабілізація іонного складу води в безпродувочних системах зворотного водопостачання

У процесі експлуатації зворотних систем водопостачання промислових підприємств дуже важливо знати динаміку зміни у воді концентрації окремих іонів і загального солемісту. Підвищення концентрації солей може призвести до процесів корозії теплообмінних систем і комунікацій. Зміна концентрації іонів у циркуляційній воді залежить від умов експлуатації системи, тобто від величини продувки і методу обробки підживлювальної води, а також від якості води у водоймищі-охолоджувачі.

У деяких випадках унаслідок попадання у зворотну систему продуктів вироблення хімічних виробництв з'являється необхідність у коректуванні рН циркуляційної води. Найпростішим способом регулювання рН циркуляційної води є підкислення води або підлугування. Іншим способом зміни рН циркуляційної води є часткове Н-катіонування або ОН-аніонування і подальше змішення фільтрату з основною витратою води.

Вибір способу зниження рН циркуляційної води залежить від допустимого вмісту в ній сульфат-іонів. За можливості продувки системи застосовують порівняно дешевий метод - підкислення води сірчаною кислотою, у разі обмеження продувки – часткове Н-катіонування або комбінацію його з

підкисленням, при повній відсутності продувки – тільки часткове Н-катіонування.

Залежно від якості вихідної води та вимог, що ставляться до якості споживаної води, частина загальної витрати зворотної води може піддаватися обробці (зм'якшуванню, знесолюванню, видаленню суспензій тощо) з подальшим поверненням її в систему.

При стабільності зворотної води (за відсутністю інкрустації поверхонь відкладаннями CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ або зміні складу води за допомогою продуктів корозії труб і теплообмінної апаратури) зберігається рівність коефіцієнтів упарювання, визначених за поступовим збільшенням у зворотній воді концентрацій різних іонів $k_x = k_{жс} = k_y$ (k_x , $k_{жс}$ – коефіцієнти упарювання по хлоридах, жорсткості). Вказаний випадок можливий при декарбонізації підживлювальної води, тобто при повному або частковому її зм'якшуванні.

За відсутності виділення солей жорсткості у зворотній системі водопостачання загальний солевміст визначається за коефіцієнтом упарювання:

$$C_{зв} = K_y \cdot C_{п}, \quad (2.1)$$

де $C_{п}$ – загальний солевміст підживлювальної води, мг/л.

Приріст концентрації хлоридів у зворотній системі:

$$X = X_{зв} - X_{п}, \quad (2.2)$$

де $X_{зв}$ і $X_{п}$ – вміст хлоридів у зворотній і підживлювальній воді, мг/л.

Стабілізація зворотної води, що в звичайних зворотних системах водопостачання досягається продувкою, в замкнених системах (системах без продувки) здійснюється шляхом виведення частини оборотної води для коректування її мінерального складу й подальшого повернення в цикл окремо або спільно зі свіжою підживлювальною водою. Необхідний ступінь знесолення цієї частини води залежить від коефіцієнта випаровування зворотної води в системі й відносної кількості води, що виводиться з системи для обробки замість продувки.

Ця кількість води, що називається *стабілізуючою витратою* в замкнених системах зворотного водопостачання, обчислюється з урахуванням того, що

об'єм підживлювальної свіжої води в замкнених системах водопостачання повинен компенсувати тільки втрати від винесення води при її розбризуванні й випаровуванні в охолоджувальних пристроях, а також втрати, обумовлені витратами води на власні потреби (тобто на експлуатацію споруд для коректування сольового складу й освітлення стабілізуючої витрати зворотної води).

Підживлювальна вода при замкненому зворотному водопостачанні становить суміш свіжої (зазвичай освітленої та зм'якшеної) води і стабілізаційної витрати. Іонний склад її визначається складом і об'ємним співвідношенням обох компонентів суміші:

$$C_{\text{д}} = \frac{C_{\text{зм}}(P_1 + P_2) + C_{\text{стаб.в.}}P_1}{P_1 + P_2 + P_3}, \quad (2.3)$$

де $C_{\text{стаб.в.}}$ – іонний склад води *стабілізуючої витрати* (після іонообмінного коректування мінерального складу та освітлення);

$C_{\text{зм}}$ – іонний склад зм'якшеної підживлювальної води.

Для попередніх розрахунків величину P_3 приймають 0,2–0,5 % і потім уточнюють за формулою:

$$P_3 = \frac{C_{\text{д}}K \cdot \Delta t - \Delta C \cdot P_2}{\Delta C}. \quad (2.4)$$

де $C_{\text{д}}$ – солеміст у підживлювальній воді, мг/л;

$\Delta C = C_{\text{зв}} - C_{\text{д}}$ – збільшення солемісту у зворотній воді внаслідок випаровування;

Якщо зворотна вода стабільна, то загальний солеміст у ній знаходять, враховуючи коефіцієнт упарювання або концентрування за рівнянням сольового балансу системи.

Критерієм задовільної якості зворотної води є відповідність загального солемісту й окремих іонів гранично допустимим концентраціям, перевищення яких призводить до інтенсивної корозії або до інкрустації теплообмінних поверхонь трубопроводів і арматури. Гранично допустима концентрація CaCO_3 визначається його розчинністю при температурі зворотної води. Вміст іонів Ca^{2+} , компенсованих іонами HCO_3^- , а також вміст цих іонів безпосередньо не

нормується. Гранично допустимі концентрації їх у зворотній воді залежать від теплового режиму системи і вживаних матеріалів. Отже, визначають їх у кожному конкретному випадку за попередніми корозійними випробуваннями в розчинах, що моделюють зворотну воду; або на підставі експлуатаційних даних аналогічних діючих промислових систем зворотного водопостачання.

Прогноз сольового складу і концентрації солей зворотної води має важливе значення при оцінці корозійної дії її на метал теплообмінної апаратури і комунікацій, а також при оцінці можливості відкладення солей жорсткості на теплообмінних поверхнях. Методи оцінки і нормування якості охолоджувальної води визначають максимально допустимий вміст солей не більше за 3000 мг/л, хлор-іонів – не більше за 400 мг/л. Дослідження показують, що при підвищенні вмісту хлоридів і сульфатів зворотну воду необхідно обробляти інгібіторами.

2.2 Прояснення підживлювальної води і стабілізаційної витрати

Основним джерелом накопичення завислих речовин у зворотній воді може бути суспензія природних вод, використовуваних для підживлення систем водопостачання. Суспензії накопичуються також унаслідок біологічних обростань теплообмінних і особливо охолоджувальних поверхонь, що контактують зі зворотною водою.

Одним із головних заходів, що забезпечують стабільність вмісту завислих речовин у зворотній воді, є фільтрування частини зворотної води в кожному циклі. Найдоцільніше в замкнених системах зворотного водопостачання цей процес поєднувати з коректуванням мінерального складу стабілізаційної витрати. У замкнених системах, що працюють зазвичай із високим коефіцієнтом упарювання, необхідно здійснювати ретельне освітлення свіжої підживлювальної води на суміщених станціях прояснення-зм'якшування.

Підживлювальна вода одночасно є джерелом накопичення у зворотній воді іонів кальцію та бікарбонатів, що обумовлює можливість порушення стабільності зворотної води при високих коефіцієнтах упарювання. Отже, для

підживлення замкнених (безпродувочних) систем водопостачання потрібно здійснювати порівняно глибоке зм'якшування підживлювальної води та усунення тимчасової жорсткості.

Застосування фільтрування після реагентного зм'якшування істотно збільшує капіталовкладення на водопідготовку, але дає змогу знизити залишкову тимчасову жорсткість до 0,7–0,9 мг-екв/л.

Найбільш характерними спорудами для прояснення і хімічної обробки річкової води є вихрові реактори, заповнені контактною масою, коридорні освітлювачі із зваженим шаром осаду, грубозернисті кварцові фільтри або фільтри КФ-5.

Як фільтрувальний матеріал застосовують суміші керамзит – аглопорит – кварцовий пісок, керамзит – антрацит – кварцовий пісок, керамзит – доменний шлак – кварцовий пісок, аглопорит – доменний шлак – кварцовий пісок. Швидкість фільтрування на фільтрах КФ-5 становить 12–20 м/год, інтенсивність промивки – 15 л/с-м², тривалість – 6–8 хв, граничні втрати напору – 2,5–3 м.

Фільтри КФ-5 дають змогу економити 30–60 % коагулянту і досягти високого технологічного ефекту в ті періоди, коли звичайна двоступінчата схема водопідготовки (відстійники – фільтри) через низьку температуру і низький лужний резерв працює погано.

Одночасно з освітленням відбувається хімічне зм'якшування води за допомогою аміаку або вапна, що подаються на споруди. Ці реагенти вводять на початку процесу у вихрові реактори. Для укрупнення завислих речовин і кристалізації карбонату кальцію та магнію після вихрових реакторів воду коагулюють хлорним або сірчаноокислим залізом. Величина продувки для зм'якшеної води коливається в межах 0,5–1 % від кількості води, що циркулює в системі.

Процеси зм'якшування та прояснювання води при реагентних методах оброблення, а також при використанні осаду як контактної середовища значною мірою залежать від температури води. Якщо при температурі 25–35 °С

залишкова лужність води становить 0,5–0,75 мг-екв/л, а висхідна швидкість води в освітлювачі має бути не більше 1,6 мм/с, то при температурі 20 °С ці величини відповідно становитимуть 0,3–0,5 мг-екв/л і 2 мм/с, а час обробки води скоротиться на 35 %. У разі зниження температури до 5 °С залишкова лужність води підвищується до 1,5 мг-екв/л, а швидкість знижується до 0,9 мм/с. Унаслідок цього час на оброблення води збільшується в 1,5 рази.

Аби не знижувати глибину зм'якшування, не ускладнювати технологічний процес і не збільшувати розміри споруд зі зм'якшення води, при можливих сезонних коливаннях температури в джерелах водопостачання від 25 °С до 5 °С воду необхідно підігрівати. Отже, в холодну пору року передбачають підігрів і підтримання постійної температури зм'якшованої води за допомогою скидного тепла, придбаного водою в теплообмінній апаратурі. У холодну пору року відбувається загальне скорочення кількості споживаної у зворотному водопостачанні води через температурні перепади і нижчі температури води джерела водопостачання, зменшення втрат на градирнях унаслідок виключення частини їх із роботи за метеорологічними умовами.

2.3 Іонообмінне коректування мінерального складу очищених стічних вод й стабілізуючої витрати перед підживленням замкнених зворотних систем

Для підживлення зворотних систем теплообмінного водопостачання іноді достатньо усунути карбонатну жорсткість води. Використання реагентних методів для коректування мінерального складу води, призначеної для підживлення зворотних систем, дає змогу тільки зм'якшити воду або перевести тимчасову жорсткість у постійну та підвищити за допомогою цього стабільність води в теплообмінних системах. Однак у замкнених системах водопостачання необхідно не тільки зм'якшення зворотної води, але і зменшення її загального солевмісту й послаблення корозійної активності шляхом коректування концентрації сульфатів, хлоридів та регулювання рН.

Загалом же потрібно скоректувати їх іонний склад так, щоб не тільки запобігти утворенню карбонатних відкладень, але також виключити відкладення гіпсу і накопичення розчинних солей у зворотній воді, не вдаючись до так званого стабілізаційного скиду частини зворотної води з системи для заміни її менш мінералізованою.

Використання очищених стічних вод для промислового водопостачання підприємств залежно від призначення технічної води пов'язане з більш менш глибоким зм'якшуванням води, зниженням її мінералізації до певного рівня або практично з повним знесолюванням води.

Такі системи, в яких підтримується тривалий час постійний склад циркулюючої води, отримали назву замкнених зворотних циклів. Підживлення їх свіжою водою здійснюється тільки в кількостях, необхідних для компенсації втрат унаслідок випаровування, віднесення дрібних крапель води з вітром па градирнях й інших неминучих виробничих втрат. Сума всіх цих втрат зазвичай не перевищує 1–2 %, тоді як у вигляді стабілізаційного скиду зі звичайних зворотних систем виводиться від 6 % до 10 % зворотної води, і отже, для компенсації втрат води необхідно додавати в систему щодоби від 8 % до 12 % води, що циркулює в системі.

Визначення необхідного рівня знесолювання води здійснюють на підставі матеріального балансу втрат солей унаслідок випаровування і краплинного віднесення і надходження солей з водою, що додається в систему для компенсації втрат зворотної води.

Для вирішення завдання зм'якшування очищених стічних вод застосовують Na-катіонування. Якщо разом зі зм'якшуванням необхідно також зменшення загального солевмісту води, то замість Na-катіонування або спільно з ним застосовують H-катіонування води. Часткова або глибока демінералізація води досягається послідовним іонним обміном на катіоніті в H^+ -формі й аніоніті у OH^- -формі.

Знесолювання і зм'якшування очищених стічних вод дає змогу багато разів використовувати їх як технічну воду в більшості технологічних і

теплообмінних процесів. Разом зі скороченням споживання свіжій прісної води підприємством при цьому створюється реальна можливість організації замкнутого циклу промислового водопостачання, що виключає скид стічних вод у водоймища. Застосування іонного обміну для цих цілей потребує зміни технології регенерації іонообмінних смол, оскільки на звичайних іонообмінних установках кількість солей, а також кислот і лугів, що скидаються з промивними водами, у декілька разів перевищує кількість солей, що вилучають у процесі її знесолювання. Отже, іонообмінна технологія демінералізації води може стати безвідходною тільки за умови економічно доцільної утилізації всіх відпрацьованих розчинів і забруднених промивних вод.

Зазвичай регенерацію здійснюють 5 %-ми розчинами кислот і лугів. Проте необхідність повної утилізації відпрацьованих розчинів при коректуванні сольового складу води зворотних замкнених (безстічних) систем водопостачання змушує переходити до використання малих об'ємів концентрованих розчинів, застосовуючи для регенерації катіонітів азотну кислоту, а для регенерації аніонітів – аміак.

Отже, безвідходність процесу підготовки підживлювальної води з біологічно очищених стічних вод забезпечується багаторазовим регенеруванням активованого вугілля та використанням для регенерування іонообмінних смол концентрованих розчинів азотної кислоти та аміаку замість звичайних розбавлених розчинів сірчаної кислоти та гідроксиду натрію. Така заміна реагентів разом із порційною технологією регенерування іонообмінних фільтрів дає змогу утилізувати відпрацьовані регенераційні розчини у вигляді добрив.

Класичні прямоточні установки іонного обміну, що широко застосовуються для зм'якшення та знесолення води з нерухомим шаром смоли мають певні принципові недоліки. Працюють вони періодично, оскільки із насиченням смоли установку відключають на регенерацію. При прямоточній регенерації реагенти використовуються недостатньо повно, тому витрата їх вище. Унаслідок неповного використання реагентів іонообмінне завантаження

регенерується тільки частково, що призводить до підвищеного проскоку іонів і у такий спосіб до погіршення ступеня очищення води.

Інтенсифікації іонообмінного процесу в умовах безстічних замкнених систем зворотного водопостачання досягають шляхом заміни періодичної апаратури іонообмінними установками безперервної дії.

Однією з останніх конструкцій широко розповсюджених фільтрів періодичної дії є *фільтр змішаної дії ФСД*. Він становить частково видозмінений вертикальний фільтр періодичної дії, який завантажують аніонітом і катіонітом у співвідношенні 1:2, після чого зерна смоли перемішують повітрям. При пропусканні через нього води відбувається глибоке знесолювання її та знекремнення. Проте для таких фільтрів важко підібрати відповідний гранулометричний склад і підготувати рівномірно перемішану шихту. Неоднорідність шихти призводить до зниження динамічної змінної ємкості та впливає на якість фільтрату.

Вживання *апаратів безперервного іонного обміну* дає можливість кардинально вирішити низку головних завдань водопідготовки, а саме:

- проводити іонообмінні процеси в умовах, близьких до оптимальних, інтенсифікувати процеси очищення води шляхом вживання високих швидкостей фільтрування (до 75 м/год);
- істотно знизити витрати реагентів і відмивної води;
- знизити вартість і поліпшити якість фільтрату;
- знизити капітальні витрати на 20–40 % шляхом зменшення габаритів фільтрів, будівель і зменшення кількості арматури і іонообмінних матеріалів.

Використання апаратів безперервної дії дає змогу повністю автоматизувати технологічний процес іонообмінного коректування сольового складу води, отже, поліпшити умови праці, підвищити продуктивність установки, скоротити чисельність обслуговуючого персоналу. Найбільшою перевагою процесу безперервного іонообмінного очищення води є безперервне відновлення працездатності іонообмінного матеріалу, що дає змогу отримувати у декілька разів більшу кількість очищеної води.

Питання для самоперевірки

1. Стабілізація зворотної води за допомогою продувки.
2. Як здійснюють стабілізацію зворотної води в замкнених системах без продувки?
3. Як визначають іонний склад підживлювальної води при замкненому зворотному водопостачанні?
4. Які методи застосовують для корегування мінерального складу води, призначеної для підживлення замкнених зворотних систем? Чи достатньо тільки реагентного зм'якшення води?
5. Які апарати застосовують для іонообмінного корегування мінерального складу підживлювальної води?
6. Установки безперервного іонного обміну.
7. Фільтри безперервної дії зі змішаним шаром іонітів, їх недоліки.

ТЕМА 3 НЕТРАДИЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

План

- 3.1 Використання біологічно очищених стічних вод як джерела технічного водопостачання.
- 3.2 Доочищення біологічно очищених стічних вод коагулянтами та активним вугіллям.
- 3.3 Технологічні схеми підготовки стічних вод для використання у промисловості.
- 3.4 Коректування сольового складу води у замкнених зворотних циклах.

3.1 Використання біологічно очищених стічних вод як джерела технічного водопостачання

Використання доочищених стічних вод як джерела технічного водопостачання дає змогу значно скоротити потребу підприємства у свіжій прісній воді й найбільш належно й економічно вирішити завдання захисту водних басейнів від забруднення.

На сьогодні вважається принципово можливим за певних умов використання доочищених міських стічних вод у технічному водопостачанні. При цьому вирішуються два головні завдання:

- зменшується скидання міських стічних вод у поверхневі водоймища, і тим самим покращується їх санітарний стан;
- скорочується або повністю виключається забір свіжої води для технічних потреб.

Відповідно до цього доля стічних вод для підживлення зворотних систем може змінюватися від 5–10 % до 100 %.

Можливість використання біологічно очищених міських стічних вод у технічному водопостачанні визначається не тільки технічними й економічними, але і санітарно-гігієнічними вимогами. Санітарно-гігієнічні аспекти проблеми використання міських стічних вод, що доочищують, пов'язані насамперед із їх епідемічною небезпечністю зважаючи на наявність у них господарсько-фекальних стоків.

Здебільшого необхідне додаткове очищення фізико-хімічними методами і знезараження такої води, що може бути досягнуте фільтруванням через шар зернистого завантаження з подальшим хлоруванням фільтрату. Проте і за дотриманням цих умов необхідне певне обмеження для використання біологічно очищених міських стоків у промисловості замість свіжої води, наприклад, недопустимо використання очищених міських стічних вод у харчовій, м'ясомолочній, фармацевтичній промисловостях, де їх вживання може завдати шкоди здоров'ю людей. Доочищені міські стічні води не можна використовувати на підприємствах для поливу території, миття устаткування, у випадках, коли у складі міських стічних вод містяться промислові стоки, що спричиняють появу запаху і забарвлення.

Доочищені міські стічні води доцільно використовувати передусім на водоемких підприємствах, де технологічні процеси не пов'язані з безпосереднім контактом працівників із технічною водою.

У АКХ РСФСР ім. К. Д. Памфілова розроблені рекомендації з основних методів доочищення міських стічних вод при повторному використанні їх у технічному водопостачанні.

У процесі використання очищених стічних вод як основне джерело технічного водопостачання промислових підприємств необхідно, аби якість очищених стоків відповідала вимогам, що ставляться до органічного і мінерального складів води, використовуваної в промисловості для різних технологічних цілей. Максимальна жорсткість води в одних випадках не повинна перевищувати декількох десятків мікрограмів, а в інших – допускається тимчасова жорсткість 2,5–3 мг-екв/л. Допустимий вміст сульфатів зазвичай залежить від загальної жорсткості води і має бути достатньо малим, для того, щоб у теплообмінних системах не утворювалися відкладення гіпсу.

При підвищеному вмісті у воді солей кальцію або магнію в технологічну схему доочищення стічних вод доводиться вводити зм'якшування.

Жорстке дотримання вимог до усунення з підживлювальної води солей, що містять біогенні елементи (азот і фосфор), або виключення одного з них є надійною гарантією запобігання розвитку біологічних обростань у теплообмінних системах. Основним критерієм придатності води для зворотного водопостачання (окрім систем, в яких використовують глибоко знесолену воду) є термостабільність, що забезпечує відсутність інкрустації трубопроводів і теплообмінних поверхонь карбонатом кальцію та основними солями магнію, що кристалізуються у разі порушення вуглекислотної рівноваги. За умов високої мінералізації стічних вод і великої загальної жорсткості води термостабільність води визначається також вмістом іонів SO_4^- настільки малим, аби при зміні температури води вміст $CaSO_4$ залишався значно менше за його розчинність.

Корозійна активність зворотної води визначається загальною мінералізацією, значенням рН, концентрацією сульфатів і хлоридів і кількістю розчиненого кисню. Що стосується допустимого вмісту органічних речовин в очищених стічних водах, використовуваних для зворотного водопостачання, то

за відсутності обмежень окремих виробництв значення ХПК води не повинне перевищувати 15 мг/л. За умов більшого вмісту цих речовин посилюється біологічне обростання у зворотних системах, а інколи і посилюється біологічне обростання, а інколи й корозія сталі та бетону.

Основні вимоги до якості доочищених стічних вод після адсорбційного доочищення біологічно очищених стічних вод: завислих речовин – до 3 мг/л, фосфатів – 4 мг/л PO_4^{3-} , поверхнево-активних речовин – 0,25–0,5 мг/л; БПК₅ – 2 мг/л. Вміст органічних речовин враховують за БПК₅. Це пов'язано з тим, що обмеження концентрації органічних речовин обумовлене лише вимогами до біообростання, але не до корозії, або особливостями подальшої обробки води. Орієнтовний перерахунок цих даних на ХПК дає граничне значення – 8–10 мг O_2 /л. Ці вимоги до очищеної стічної води можуть бути справедливими і для підживлення зворотних систем, що працюють без продувки.

Додатковою та дуже істотною умовою при підготовці стічних вод для підживлення безстічних (замкнених) зворотних систем є постійність загального солемісту і співвідношення концентрації різних аніонів, що дає змогу відмовитися від скидання вод із продувкою теплообмінних систем.

У звичайних зворотних системах промислового водопостачання потреба у воді задовольняється за допомогою додавання свіжої води з природних джерел, яка проходить необхідне очищення і коректування складу. У безстічних (замкнених) системах водопостачання підприємств замість свіжої води використовують доочищену до норм якості технічної води суміш промислових і побутових стічних вод, що попередньо пройшли біологічне очищення, або промислові стоки після достатньо глибокого локального фізико-хімічного очищення.

Обов'язковою умовою застосування доочищених міських стічних вод є їх хлорування.

Можливості повторного використання біологічно очищених стічних вод на підприємствах різних галузей промисловості неоднакові, і відповідно до

цього істотно розрізняється необхідна міра складності додаткового очищення і підготовки води для технічних потреб.

У разі використання очищених стічних вод як теплоносія для доочищення рекомендують такі методи: освітлення на швидких фільтрах при швидкості фільтрації 7–8 м/год (завантаження – пісок з крупністю зерен 1–2 мм і товщиною шару 1–1,5 м); освітлення на двошарових фільтрах при швидкості фільтрації 9–10 м/год (завантаження - пісок з крупністю зерен 0,8–1,4 мм і товщиною шару 0,5 м, а також антрацит крупністю зерен 1–2 мм і товщиною шару 0,5 м); фільтрація на контактних освітлювачах типа КО-3 при швидкості 8–9 м/год, завантаження – пісок із крупністю зерен 1–2 мм і товщиною шару 1,5 м); фільтрація на мікрофільтрах при швидкості 25–30 м/год (розмір отворів – 40 мкм). Фільтри промивають водою протягом 5–7 хв. Інтенсивність водяного промивки становить 15–16 л/с·м². Витрата промивної води – 5–6 % фільтрованої витрати. Контактні фільтри типу КО-3 продувають повітрям протягом 1–1,5 хв при інтенсивності 18–20 л/с·м², потім одночасно продувають повітрям при інтенсивності 12–20 л/с·м² і промивають водою при інтенсивності водяного потоку 2–3 л/с·м² протягом 6–7 хв; після цього промивають водою інтенсивністю 6–7 л/с·м² протягом 4–5 хв. Витрата промивної води в цьому разі скорочується на 2,5–3 %. Як при водяній, так і при водоповітряній промивках 1–2 рази в рік фільтри промивають хлорованою водою з концентрацією хлору 200 мг/л. У всіх випадках необхідно виконувати знезараження очищених стоків хлоруванням дозами 5–10 мг/л. Вживання цього методу доочищення забезпечує зниження вмісту зважених речовин на 55–75 % і БПК – на 25–50 %.

Під час використання очищених стічних вод як поглинального середовища застосовують освітлення, а у разі необхідності – мікрофільтрацію. Знезараження очищених стоків здійснюють хлором дозою 10 мг/л.

Загалом використання біологічно очищених стічних вод для підживлення зворотних систем теплообмінного водопостачання або систем гідротранспорту матеріальних потоків не вимагає складної додаткової підготовки води, якщо не передбачається повне замикання циклу без скиду стічних вод з продувкою

зворотних систем. Додаткова підготовка біологічно очищених стоків повинна забезпечити практично повне видалення органічних речовин, сполук, що містять біогенні елементи, а також солей жорсткості і забезпечити збереження солевмісту у зворотній воді на постійному рівні.

3.2 Доочищення біологічно очищених стічних вод коагулянтами та активним вугіллям

Фільтрування біологічно очищених стічних вод було одним з перших технічних прийомів отримання води, придатної для технічного водопостачання промислових підприємств. У нашій країні та за кордоном побудовані й експлуатуються досить багато фільтрувальних станцій, що обумовлене насамперед простотою та надійністю роботи фільтрувальних споруд, а також невисокою собівартістю такого очищення. Однак простим фільтруванням зі стічних вод не вдається видалити колоїдні, і більше того, розчинені забруднення. Унаслідок стічні води, доочищені тільки фільтруванням в системах технічного водопостачання знаходять обмежене застосування. Зокрема, такі води не можуть використовуватися для підживлення повністю замкнених циклів зворотного водопостачання.

Як методи доочищення стічних вод застосовують мікрофільтрацію, фільтрацію через зернисті матеріали, відстоювання з коагуляцією, флотацію з використанням реагентів або без них, біологічне окислення в ставках із природною або штучною аерацією, сорбцію, окислення, методи видалення азоту і фосфору.

При доочищенні міських стічних вод попереднє освітлення біологічно очищених стоків коагулянтном дає змогу скоротити витрату активного вугілля в 3–4 рази. Тому раціональне вирішення задачі ліквідації або утилізації шламів, що утворюються при освітленні стічних вод, дало б істотний економічний ефект.

Вживання коагулянтів перед адсорбційним доочищенням біологічно очищених міських стічних вод дає змогу істотно знизити вміст у воді фосфатів,

що особливо важливе для запобігання інтенсивному біологічному обростанню зворотних систем, підживлювальних міськими стоками.

Застосування активного вугілля для глибокого очищення стічних вод від органічних речовин

За умов порівняно невисокого вмісту органічних речовин в стічній воді та їх обмеженій розчинності вживання адсорбентів, насамперед активного вугілля, у багатьох випадках дає найвищий ефект. У таких локальних адсорбційних установках, що розміщуються безпосередньо на тих ділянках виробництва, де утворюються стоки, поєднується повернення продуктів, що витягують зі стічних воді з регенерацією поглинальної здатності адсорбенту. Регенерація адсорбенту створює можливість його багатократного використання, інколи протягом декількох років, що істотно підвищує економічність процесу очищення.

Локальні адсорбційні установки застосовуються і в тих випадках, коли в стічних водах міститься суміш речовин, що включає біохімічно стійкі або високотоксичні компоненти. Такі стічні води без локального очищення не можна подавати на загальнозаводські або міські біологічні очисні споруди, оскільки токсичні компоненти спричиняють порушення нормального перебігу процесів біологічного окислення або проходять через споруди біологічного очищення без руйнування.

Якщо адсорбент поглинає зі стічних вод усі органічні компоненти, то стічні води після локальної адсорбційної установки можна повертати в технологічний процес або використовувати для підживлення найближчої зворотної теплообмінної системи за умови, що солеміст і рН цих вод не перешкоджають цьому.

Для ефективного очищення водних розчинів адсорбенти повинні найслабше взаємодіяти з молекулами води при високій енергії взаємодії з витягуваними органічними речовинами. Ці властивості характерні для гідрофобних вуглецевих матеріалів, до яких відноситься активне вугілля.

Мінеральні адсорбенти – силікагелі, алюмогелі, глинисті мінерали які є гідрофільними матеріалами, що володіють високою енергією є взаємодії з молекулами води.

Глибоке очищення стічних вод методом сорбції активними вуглецьвміщуючими сорбентами в комплексі з механічним, фізико-хімічним або хімічним очищенням дає змогу видалити зі стічних вод органічні біохімічно неокислювані розчинені домішки. При цьому з води, що очищається, можна видалити органічні забруднення до практично нульових залишкових концентрацій. І, нарешті, при регенерації відпрацьованого активного вугілля не утворюються шкідливі відходи.

Адсорбційне очищення стоків активованим вугіллям є найбільш універсальним методом глибокого доочищення біологічно очищених міських і промислових стічних вод від органічних речовин а також забезпечує можливість подальшого знесолювання стічних вод і коректування їх мінерального складу відповідно до технологічних вимог конкретних виробництв.

3.3 Технологічні схеми підготовки стічних вод для використання у промисловості

Глибоке очищення досягається шляхом поєднання реагентної обробки стічних вод з адсорбційним ступенем очищення – фільтрування стічних вод через активоване вугілля. За необхідності витягування зі стічних вод з'єднань азоту технологічні схеми доповнюють ступенем очищення, заснованим на одному з фізико-хімічних методів (іонний обмін, віддувка, окислення) або біологічному процесі нітрифікації-денітрифікації.

У технологічних схемах більшості станцій глибокої доочищення біологічно очищених стічних вод, що діють, і проєктованих, передбачається попереднє оброблення води вапном для видалення найбільшої маси колоїдних органічних речовин і аміаку, рекарбонізація і осадження карбонату кальцію, фільтрування через фільтри із зернистим завантаженням. Потім здійснюється адсорбційне

очищення води активним вугіллям для максимального видалення низькомолекулярних розчинених органічних забруднень і знезараження води хлором. У деяких випадках до складу споруд, зважаючи на характер забруднень біологічно очищених стічних вод, додатково включають установки флотації для видалення поверхнево-активних речовин.

Спрощену принципову технологічну схему такої установки наведено на рисунку 3.1.

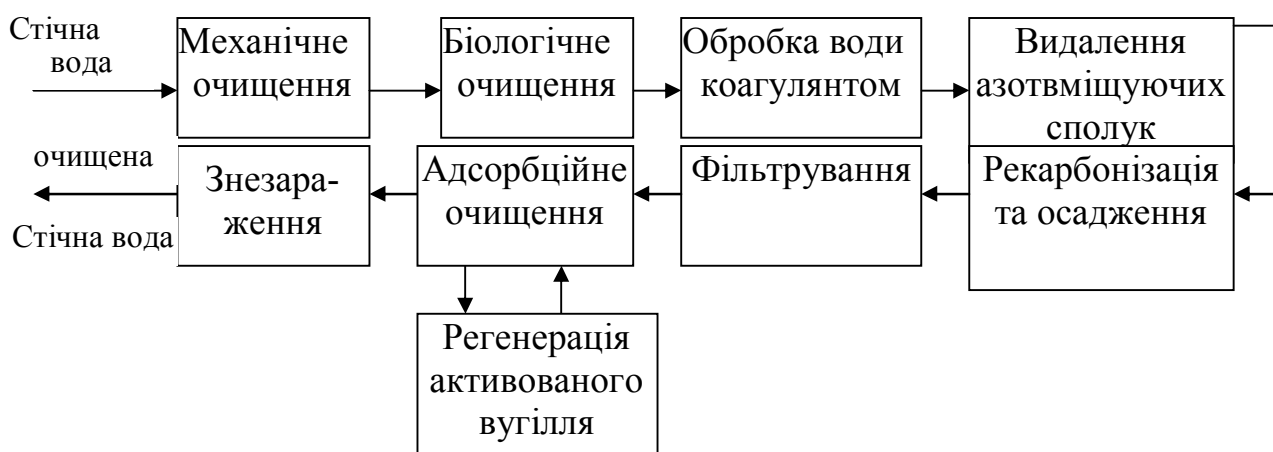


Рисунок 3.1 – Технологічна схема установки глибокого очищення стічних вод із використанням адсорбційних методів вилучення органічних забруднень

Для адсорбційного очищення стічних вод на різних установках використовують апарати з рухомим, нерухомим або псевдорідким шаром, а також цілі комплекси споруд для очищення води порошкоподібним активованим вугіллям. Застосування того чи іншого різновиду апаратного оформлення адсорбційного процесу, як і методу регенерування відпрацьованого активованого вугілля, може вносити певні зміни у послідовність окремих технологічних операцій, але загалом технологічна схема глибокого доочищення стічних вод не зазнає істотних змін.

Якість отриманої очищеної води дає змогу застосовувати її для різних виробничих цілей, підживлення систем зворотного водопостачання промислових підприємств, а також для сільськогосподарського зрошення.

Нині час найбільш розробленим є процес сорбції розчинених органічних речовин з очищених стічних вод гранульованим активним вугіллям.

При сорбційному доочищенні стічних вод необхідно попередньо освітлювати воду, аби понизити навантаження на сорбент. Глибоке освітлення вод покращує кінетику сорбції, значно подовжує термін служби активного вугілля, полегшує його подальшу регенерацію. Здебільшого для прояснення біохімічно очищених стічних вод перед надходженням на адсорбери піддаються очищенню на зернистих фільтрах.

Варто зазначити також, що залежно від марки, дисперсності використовуваного активного вугілля, апаратного оформлення адсорбційного очищення води і характеру витягуваних зі стічних вод забруднень технологія регенерації відпрацьованого адсорбенту може бути різною.

3.4 Коректування сольового складу води у замкнених зворотних циклах

Використання очищених стічних вод для промислового водопостачання підприємства залежно від призначення технічної води пов'язане з більш-менш глибоким зм'якшуванням води, зниженням її мінералізації до певного рівня або практично з повним знесолюванням води.

Найчастіше в промисловості реалізують схеми зворотного водопостачання, в яких вода не забруднюється, а підігріта в теплообмінних апаратах охолоджується на градирнях, у бризкальних басейнах чи інших пристроях і знову повертається в теплообмінники. При цьому вода багаторазово і послідовно зазнає фізико-хімічного впливу (випаровується, підігрівається, охолоджується, втрачається під час випаровування тощо) і поступово стає більш мінералізованою.

Унаслідок цього стабільність зворотної води порушується, вода стає корозійно активною або здатною до відкладання мінеральних солей. Через це для поповнення втрат зворотної води та відновлення її якості в систему додають підживлювальну воду. При цьому для запобігання підвищенню

загального солевмісту у зворотній воді застосовують «продувку» системи, тобто скид частини води. Однак з економічного та екологічного погляду доцільніше створювати системи замкненого водопостачання (тобто такі, що працюють без «продувки») на основі повторного використання глибоко очищених та частково знесолених стічних вод.

Визначення необхідного рівня знесолювання води здійснюють на підставі матеріального балансу втрат солей унаслідок випаровування і краплинного віднесення, втрат зворотної води у виробничих процесах і надходження солей із водою, що вводиться в систему для компенсації втрат зворотної води.

Для підживлення зворотних систем теплообмінного водопостачання інколи достатньо усунути карбонатну жорсткість води. Загалом потрібно скоректувати їх іонний склад так, щоб не тільки запобігти утворенню карбонатних відкладень, але також виключити відкладення гіпсу і накопичення розчинних солей у зворотній воді, не удаючись до так званого стабілізаційного скидання частини зворотної води з системи для заміни її менш мінералізованою.

Усунути скидання води з продувкою зворотних систем і перетворити тим самим систему зворотного водопостачання на замкнену, а також отримати технічну воду, придатну для будь-яких промислових потреб, дають змогу адсорбційно-іонообмінні установки доочищення стічних вод.

У системах замкненого водопостачання на основі повторного використання очищених стічних вод необхідне коректування сольового складу води досягається послідовним Н-катіонуванням і ОН-аніонуванням стічної води після адсорбційного доочищення. Залежно від обраної технологічної схеми водопідготовки і вимог до сольового складу підживлювальної води оброблення методом іонного обміну може піддаватися вся вода, яка пройшла через адсорбційні колони, або частина її з подальшим змішуванням знесоленої і не знесоленої води.

Знесолювання і зм'якшування очищених стічних вод дає змогу багаторазово використовувати їх як технічну воду в більшості технологічних і

теплообмінних процесів. Разом зі скороченням споживання свіжої прісної води підприємством при цьому створюється реальна можливість організації замкненого циклу промислового водопостачання, що виключає скид стічних вод до водоймищ.

На рисунку 3.2 наведено схему адсорбційно-іонообмінної установки доочищення стічних вод.

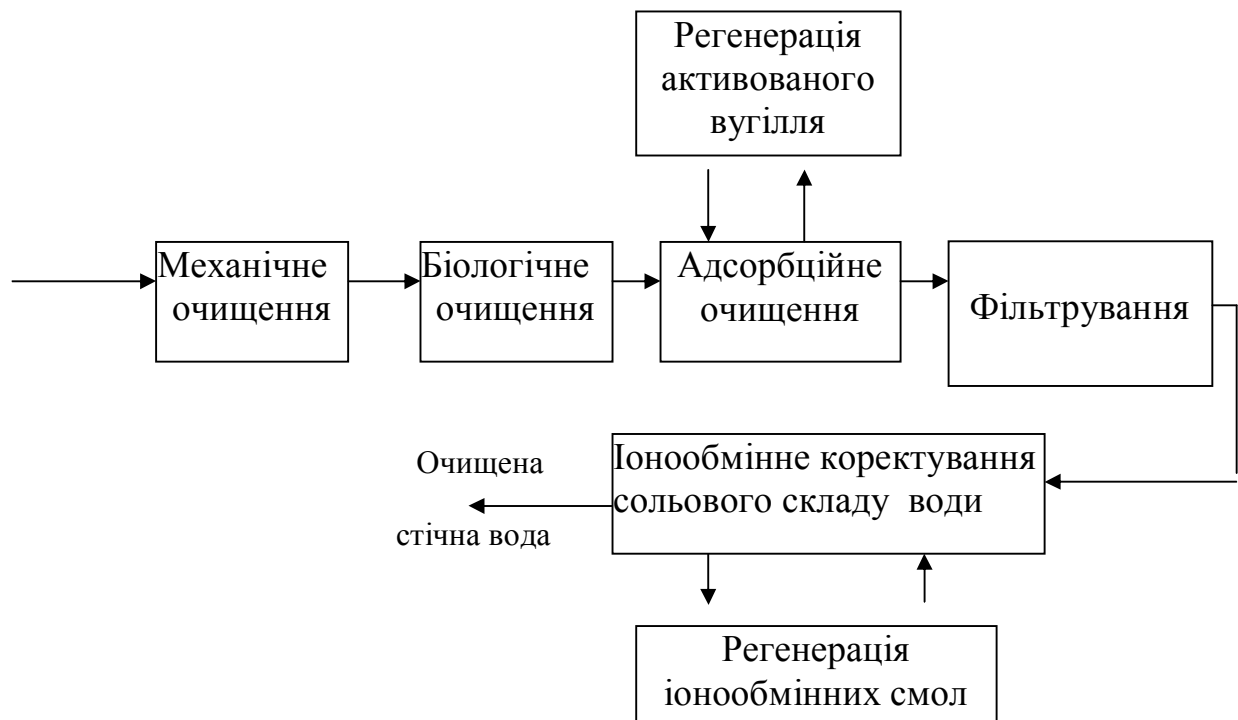


Рисунок 3.2 – Технологічна схема адсорбційно-іонообмінної установки доочищення стічних вод

Ця схема включає такі етапи оброблення води: адсорбційне доочищення біологічно очищених стічних вод, яке забезпечує зниження ХПК до 8–16 г O_2 г/м³; вилучення з очищеної води пилу активованого вугілля та інших завислих речовин відстоюванням та фільтруванням; Н-катіонування адсорбційно очищеної води для вилучення з неї катіонів жорсткості; зменшення вмісту іонів лужних металів та амонію; віддувка оксиду вуглецю (IV) з Н-катіонованої води в дегазаційних колонах; ОН-аніонування води для вилучення аніонів сульфатів, фосфатів, зниження вмісту хлоридів та нейтралізації кислотності Н-катіонованої води.

Використання глибоко очищених та частково знесолених стічних вод за цією схемою дає можливість усунути скид води з продувкою зворотних систем і перетворити тим самим систему оборотного водопостачання на замкнену, а також отримати технічну воду, придатну для будь-яких промислових потреб.

Вживання іонного обміну для цих цілей вимагає, проте, зміни технології регенерації іонообмінних смол, оскільки на звичайних іонообмінних установках кількість солей, а також кислот і лугів, що скидаються з промивними водами у декілька разів перевищує кількість солей, що витягують при її знесолюванні. Отже, іонообмінна технологія демінералізації води може стати безвідходною тільки за умови економічно доцільної утилізації всіх відпрацьованих розчинів і забруднених промивних вод.

Питання для самоперевірки

1. Чим обумовлюється доцільність використання очищених стічних вод як джерела технічного водопостачання?
2. Умови використання для технічного водопостачання очищених міських промислових стічних вод і поверхневого стоку.
3. Які методи доочищення міських стічних вод застосовують із метою їх використання в системах технічного водопостачання?
4. Які вимоги ставляться до біологічно очищених стічних вод, що використовують для підживлення зворотних систем?
5. Застосування активованого вугілля для глибокого очищення стічних вод від органічних домішок.
6. Як впливає застосування коагулянтів перед адсорбційним доочищенням біологічно очищених стічних вод?

4 ПОВЕРХНЕВИЙ СТІК – РЕЗЕРВ ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

План

- 4.1 Особливості складу поверхневого стоку.

4.2 Приклади використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання.

4.1 Особливості складу поверхневого стоку

Поверхневий стік представляє собою особливий вид стічних вод з притаманними тільки йому особливостями формування і режиму надходження у водні об'єкти. По-перше, він є періодичним і в окремих регіонах країни більшу частину року відсутній. Об'єм і рівень його забруднення змінюються в широких межах і залежать від кліматичних умов (інтенсивність і тривалість дощу, частота його випадіння, кількість опадів, тривалість періоду сухої погоди), а також від санітарного стану басейна водозбору (рівня благоустрою, типу поверхневого покрову, ступеня забрудненості території і атмосфери тощо).

Поверхневий стік з майданчиків промислових підприємств являє собою складну суміш сполук і речовин, оскільки на їх якісний склад істотно впливає культура виробництва на підприємстві, характер технологічних процесів, організація складського господарства. В багатьох випадках саме ці чинники визначають склад і концентрацію домішок стоку.

Систематичні багаторічні спостереження за якістю поверхневого стоку на промислових майданчиках багатьох підприємств крупних міст країни дозволяють зробити висновок про те, що концентрація забруднень у стоці, що стікає з територій промислових підприємств набагато вище, ніж у міських стічних водах. Концентрації забруднень, що містяться в поверхневому стоці з територій промпідприємств за величиною прирівняні до вмісту забруднень у виробничих стічних водах. Збільшення концентрації забруднень на водозбірних майданчиках і майданчиках відкритого складування матеріалів може бути результатом інтенсивного вантажного руху (в тому числі й залізничного транспорту). Особливо високі концентрації забруднюючих речовин у поверхневому стоці характерні для металургійних заводів, гірничо-

збагачувальних комбінатів, підприємств будівельної індустрії, автотранспортних, хімічних, машинобудівних і нафтопереробних підприємств.

Особливо забруднений поверхневий стік формується під час танення снігу й проведення поливально-мийних робіт. Вміст завислих речовин у такому поверхневому стоці досягає 4–5 кг/м³, вміст нафтопродуктів – до 40 г/м³ і більше, ХПК – до 1 500 г О₂/м³, БПК_{повн} – 300 г О₂/м³ і більше.

Склад поверхневого стоку з територій промислових підприємств визначається продукцією, що випускається, технічним рівнем технології виробництва, ефективністю роботи системи пило- і газозловлювання, очищення стічних вод, організацією складування, транспортування та переробки сировини й відходів виробництва, санітарним станом території промислового майданчика.

Залежно від складу поверхневого стоку промислові підприємства поділяють на дві групи. До першої групи належать підприємства, поверхневий стік із території яких не містить токсичних речовин і за своїм складом близький до зливогого стоку з районів житлової забудови (підприємства енергетики, чорної металургії, машинобудування, легкої, харчової та електротехнічної галузей промисловості, приладобудівні й нафтопереробні заводи). Інші підприємств належать до другої групи і характеризуються наявністю в поверхневому стоці великої кількості органічних домішок і специфічних речовин (важкі метали, роданіди, аміак, феноли тощо).

Одним з раціональних шляхів виключення забруднення водних об'єктів поверхневим стоком із заводської території – використання його після акумуляції та відповідного очищення для технічного водопостачання, наприклад, для підживлення оборотних циклів водопостачання або низки виробництв із прямоточним водопостачанням і подальшим відведенням стічних вод у систему виробничо-побутової каналізації. При вмісті завислих і ефіророзчинних речовин, відповідно, не більше 30 мг/дм³, поверхневий стік може бути використаним майже в усіх технологічних процесах. Якщо поверхневий стік і частина виробничих стічних вод відводяться по одній

каналізаційній мережі, необхідно передбачати використання в технічному водопостачанні суміші цих стічних вод.

Відведення поверхневого стоку з території промислових підприємств у водні об'єкти допускається в тих випадках, коли його використання в промисловому водопостачанні опиняється технічно неможливим або економічно недоцільним. При цьому повинні дотримуватися нормативи і вимоги «Правил охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами», враховуватися особливості хімічного складу стоку й умови його формування. Місця випуску поверхневого стоку у водний об'єкт потрібно погоджувати з органами з регулювання, використання й охорони вод, санітарно-епідеміологічної служби й рибоохорони.

У разі наявності в поверхневому стоці специфічних домішок до випуску його у водний об'єкт ставлять ті самі вимоги, як і до випуску виробничих стічних вод. Під час використання в промисловому водопостачанні якість стоку повинна відповідати вимогам, що ставлять споживачі.

Очищення і використання поверхневого стоку в замкнених системах водопостачання можуть здійснюватися на самостійних очисних спорудах, а також на спорудах, що забезпечуватимуть їх сумісне очищення з господарсько-побутовими або виробничими стічними водами.

Склад очисних споруд визначають залежно від якісної характеристики і необхідного ступеня очищення поверхневого стоку, його розрахункової витрати або кількості, що прямує на очищення з урахуванням можливості очищення або доочищення спільно з виробничими, побутово-виробничими стоками.

Для очищення поверхневого стоку з території промислових підприємств, що не містить специфічних забруднень із токсичними властивостями, можна використовувати самостійні споруди, а також відводити його на міські чи заводські споруди, очищуючи разом із побутовими або виробничими стічними водами.

4.2 Приклади використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання

Найефективнішим вирішенням проблеми запобігання забрудненню водоймищ поверхневим стоком є повторне його використання в системах технічного водопостачання промислових підприємств. Таке рішення часто буває економічно вигіднішим, оскільки скорочується споживання природної води, а також потрібне менш глибоке його очищення у порівнянні з варіантом скидання у водоймище. Проте у зв'язку з імовірнісним характером утворення поверхневого стоку потрібна аккумуляюча ємність. Отже, повторне використання поверхневого стоку в системі технічного водопостачання, маючи екологічні й у ряді випадків економічні переваги, вимагає зазвичай значних виробничих площ.

Ступінь очищення поверхневого стоку при використанні його в системах технічного водопостачання промпідприємств визначається вимогами до якості технічної води. Як показують розрахунки поверхневого стоку, що формується на території промпідприємств, буде недостатньо для забезпечення технологічних потреб. Цей стік можна використовувати в суміші з річковою водою або очищеними стічними водами. На підприємствах металургійної, нафтопереробної, нафтохімічної, хімічної та деяких інших галузей промисловості, розташованих у кліматичних зонах із середньою річною кількістю опадів 400–600 мм, утворюваний на проммайданчиках поверхневий стік сягає до 30 % річного споживання води підприємством. Враховуючи, що вимоги ставляють до загальної витрати використовуваної води на технологічні потреби, ступінь очищення поверхневого стоку визначають відповідно до кількості й якості окремих джерел водопостачання.

Підготовка поверхневого стоку для використання в системах технічного водопостачання повинна забезпечувати не тільки певні вимоги до технологічних властивостей води, але й повну санітарну безпеку для працівників. Санітарно-гігієнічні вимоги полягають у гарантуванні безпечних епідеміологічних і токсикологічних умов для персоналу. Оскільки в деяких

випадках поверхневий стік забруднений бактеріями, під час його використання в системах технічного водопостачання необхідно передбачити можливість знезараження.

Вимоги до ступені очищення поверхневого стоку у разі використання його на технологічні потреби підприємства: за нафтопродуктами – 10–20 мг/л, завислими речовинами – 20–50 мг/л; при скиданні у водоймище нафтопродуктів – 0,3–0,05 мг/л; завислих речовин до 5 мг/л.

На сьогодні на багатьох закордонних заводах поверхневий стік використовують у зворотних системах водяного охолодження і для пожежогасіння, до того ж очищення і підготовка його до використання в цих системах водопостачання обмежується зазвичай відстоюванням у ставках. Показовим прикладом використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання може слугувати нафтопереробний завод (далі – НПЗ). Основна продукція – бензин, дизельне пальне, мазут і бітум. Для максимального затримання атмосферних опадів по периметру території заводу, площею 200 га, на глибину до водонепроникних пластів, побудовано залізобетонну стіну завтовшки 50 см. Протяжність цієї стіни в ґрунті 5 км.

Поверхневі стоки НПЗ несуть пісок, завислі речовини різної природи, зокрема плаваючі й емульговані нафтопродукти. Унаслідок періодичності випадіння опадів і значного коливання їх інтенсивності, забрудненість поверхневих вод змінюється в широких межах, тому зливі ставки, окрім функцій акумулятора стічних вод виконують функції очисних споруд.

При високому вмісті завислих речовин у поверхневому стоці перед ставками рекомендують влаштовувати піскоуловлювачі для очищення стоку від основної маси крупнодисперсних забруднень. Включення в схему піскоуловлювачів не є рішенням однозначним і вимагає додаткової перевірки в умовах експлуатації. Включення піскоуловлювачів до схеми очищення виправдано тільки в тому разі, якщо забезпечується їх надійна експлуатація, тобто своєчасне звільнення піскоуловлювачів від уловленого осаду. У разі

застосування піскоуловлювачів у період найбільш інтенсивних дощів необхідно передбачати відведення частини стоку в ставок, обминувши піскоуловлювач.

Ставок-накопичувач повинен складатися з двох секцій: першої для первинного відстоювання від основної кількості завислих частинок і нафтопродуктів і другої, такої, що виконує функцію акумулятора. Об'єм секцій первинного відстоювання приймають 20 % від загального об'єму ставка. Зменшений об'єм секцій первинного відстоювання викликаний необхідністю скорочення поверхні, де можуть накопичуватися нафтопродукти й нафта.

Унаслідок тривалого перебування в ставку вода практично повністю освітлюється. За відсутності забруднень ($\text{БПК}_{\text{повн}} = 20\text{--}25 \text{ мг/л}$) стік направляють на підживлення оборотних систем; при $\text{БПК}_{\text{повн}} > 25 \text{ мг/л}$ – на споруду біохімічного очищення стоків першої системи каналізації.

Секції первинного відстоювання по всьому периметру обладнують нафтозбірними поворотними трубами. Уловлені нафтопродукти збирають періодично з накопиченням нафтової плавки, що зганяється вітром, біля однієї з нафтозбірних труб. Уловлений нафтопродукт збирають у приймальному резервуарі, потім направляють на утилізацію.

Секції ставка очищають від осаду періодично, залежно від кількості продуктів, що накопичилися, в середньому один раз на 5–7 років. Перед очищенням секцію звільняють від води, осад підсушують, а потім вивозять машинами на спеціально відведені майданчики. Корисний об'єм ставка-накопичувача розраховують з огляду на з об'єм талих і зливових вод, об'єм осаду, що накопичується в період між очищеннями, мертвий об'єм і залишок води попереднього року.

Питання для самоперевірки

1. Особливості формування складу й основні різновиди забруднень поверхневого стоку.
2. Назвіть основні системи відведення поверхневого стоку з територій промислових підприємств.
3. Методи й споруди для очищення поверхневого стоку.
4. Наведіть приклади використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання.

ЗМ 1.2 ОЧИЩЕННЯ І БАГАТОРАЗОВЕ ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБНИЧИХ СТИЧНИХ ВОД В СИСТЕМАХ ЗВОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

5 СТВОРЕННЯ ЗВОТНИХ ТА ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ

План

- 5.1 Водне господарство підприємств чорної металургії
- 5.2 Досвід проектування і практика експлуатації замкнених (безстічних) й маловідходних систем водного господарства. Значення хвостових установок

5.1 Водне господарство підприємств чорної металургії

До складу металургійного комбінату входять такі виробництва:

- агломераційна фабрика (підготовка (ошматкування) руди і шихти для доменних печей – сировини для виробництва чавуну);
- коксохімічний завод (виробництво коксу, призначеного для відновлення руди);
- доменні печі (виробництво чавуна);
- сталеплавильний цех (виробництво сталі різних сортів);
- цех безперервного розливання сталі (формування слябів і блюмів - заготівок для виробництва кінцевої продукції);
- цех гарячої прокатки (виробництво листів, брусів тощо);

- цех холодної прокатки (виробництво готової продукції (тонкий лист різних сортів).

У комплексі цих виробництв організовано роздільну систему водовідведення. Очищення стічних вод вирішується самостійно для окремих виробництв.

Вода, що використовується металургійними підприємствами, повинна володіти певними якісними характеристиками: температура, вміст завислих речовин, вміст масел і смол, показник рН.

Всі стічні води забруднені завислими речовинами, що утворюються при очищенні від пилу, золи та інших твердих матеріалів. Прокатне виробництво, окрім того, є джерелом забруднення маслами, емульсіями і травильними розчинами. Велика кількість води, споживаної металургійними підприємствами потребує створення на підприємствах ефективних систем водоочистки.

Переважну кількість води на металургійних заводах використовують на охолодження й очищення газів, що виділяються під час плавлення металу, охолодження обладнання, гідротранспорт, промивання металу після травлення і знежирювання, охолодження прокатних станів.

При охолодженні й очищенні газів та гідротранспорті у зворотні системи включають споруди з очищення і охолодження води. За наявності сольових відкладень у трубопроводах і обладнанні зворотні системи водопостачання працюють із продувкою, яка становить 3–5 % загальної витрати води в системі, досягаючи максимуму в окремих випадках 10 %.

У доменному цеху воду витрачають на зволоження шихти, охолодження доменних печей і арматури повітрянагрівачів, очищення доменного газу, грануляцію шлаку, охолодження чавуну на розливальних машинах і гідроприбирання підбункерних приміщень.

При доменному цеху в самостійний комплекс виділяють споруди з очищенні доменного газу та з обробки стічних вод, що утворюються при його очищенні. Водне господарство доменної газоочищення приймають за

замкненим зворотним циклом. У цехах очищення доменного газу вода слугує поглиначем механічних домішок, розчинником газів, а також охолоджувачем і транспортувальним середовищем поглинених домішок.

Сумарна витрата води при підвищеному і високому тиску газу під колошником складає біля 3,2–4,5 м³ на 1 000 м³. Склад газу і відповідно склад стічних вод залежить від багатьох факторів: виду палива, режиму плавки (температура, тиск у печі), якості руди, особливостей обладнання та ін.

До водного господарства газоочистки входять насосна станція, зазвичай суміщена з насосною станцією доменного цеху, вентиляторна градирня, радіальні відстійники зі шламовою насосною станцією, самопливні лотки і напірні трубопроводи.

Шлак, що утворюється під час плавлення чавуна відводять від доменних печей до грануляційних установок. Грануляція шлаку полягає в перетворенні його з рідкого стану у твердий зернистий матеріал шляхом швидкого охолодження водою. Стічні води залежно від складу чавуна мають кислу або лужну реакцію і містять сірководень, хлориди, сульфати і 300–650 мг/л завислих речовин. Для освітлення стічних вод грануляційних установок застосовують горизонтальні відстійники. Кислі води нейтралізують вапном. Вода після очищення у відстійниках повертається знову у виробництво.

Сталеплавильні цехи мають зазвичай два цикли зворотного водопостачання. В одному з них вода виконує функцію теплоносія, у другому вода виконує функцію охолоджувача та середи, що поглинає й транспортує механічні домішки до водоочисних споруд (металевий пил, окалину тощо).

Водопостачання конверторного цеху здійснюють тільки за зворотною схемою.

Нижче наведено одну зі схем зворотного водопостачання, що найчастіше застосовують. На схемі оборотного водопостачання газоочистки (рис. 5.1) стічні води від газоочисних установок самопливом надходять у приймальну камеру, куди також підводиться пара.

Передбачається попереднє уловлювання завислих частинок крупністю більше 500 мкм, віддувка у разі необхідності вільного оксиду вуглецю, прояснення в радіальних відстійниках або флокуляторах і подальше охолодження на градирнях. Віддувка вільного оксиду вуглецю потрібна для того, щоб поблизу прояснювачів приземна її концентрація не перевищувала рівень, шкідливий для обслуговуючого персоналу. Питоме гідравлічне навантаження на радіальні відстійники приймають $1 \text{ м}^3/\text{год}\cdot\text{м}^2$.

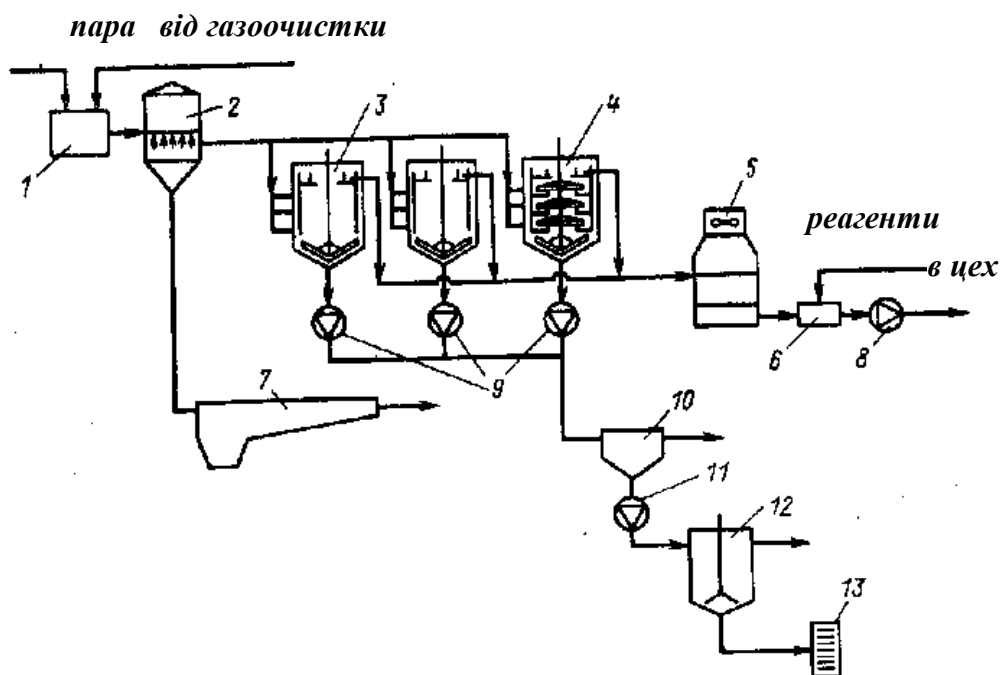


Рисунок 5.1 – Схема зворотного водопостачання газоочисток киснево-конвертерного цеху металургійного комбінату «Азовсталь»

При питомому гідравлічному навантаженні $6 \text{ м}^3/\text{год}\cdot\text{м}^2$ і концентрації завислих речовин у вихідній воді оборотного циклу 20 000–30 000 мг/л, вміст завислих речовин у проясненій воді на виході з флокуляторів без застосування коагуляції не перевищує 300 мг/л, а з застосуванням коагуляції та флокуляції поліакриламідом (ПАА) в середньому 60–80 мг/л.

5.2 Досвід проєктування і практика експлуатації замкнених (безстічних) й маловідходних систем водного господарства. Значення хвостових установок

Впровадження замкнених (безстічних) систем водокористування в даний час вважається практично єдиним раціональним вирішенням ефективного використання води в металургії.

Створення замкнених систем зворотного водопостачання промислових підприємств базується на корінній зміні існуючих принципів організації водопостачання, водовідведення та очищення стічних вод.

Водне господарство підприємства необхідно розглядати як комплексну систему, що включає водопостачання і каналізацію, до того ж очищення стічних вод розглядається як підготовка їх для повторного використання. Основою замкнених систем водного господарства є локальні зворотні цикли водопостачання, в яких єднують споживачів з однаковими вимогами до якості води й аналогічними забрудненнями. При цьому якість повторно використовуваної води визначається на підставі науково обґрунтованих вимог. Локальні зворотні системи єднують у єдиний комплекс водного господарства з використанням *каскадного принципу* – первинна подача води споживачам із підвищеними вимогами до якості води, а продувка цих систем слугує для підживлення систем з водою нижчої якості.

Основним джерелом виробничого водопостачання мають бути очищені виробничі й міські стічні води, а також поверхневий стік із території підприємства. Свіжа вода з водних джерел повинна використовуватися лише для особливих цілей і заповнення втрат води в системах. При очищенні стічних вод і регенерації технологічних розчинів, вживані методи повинні забезпечувати одночасне вилучення цінних компонентів з отриманням товарного продукту або вторинної сировини для подальшого використання.

Створення замкненої системи водопостачання є комплексним завданням, що передбачає:

- впровадження ефективних фізико-хімічних методів очищення стічних вод;
- встановлення гранично допустимих концентрацій солей і інших компонентів у зворотній воді з огляду на її безпеку для кожного замкненого циклу;
- створення максимально можливої кількості локальних замкнених циклів з багатократним використанням води;
- вилучення зі стічних вод цінних компонентів;
- переробку в цілях утилізації виділених осадів і засолених вод.

Створення систем безстічного водопостачання потребує глибокої оцінки якості води, точного визначення джерел і величини безповоротних втрат, максимально можливого спрощення загальнозаводської схеми водопостачання. Головною вимогою до якості води, що визначає необхідність продувки систем зворотного водопостачання, є її стабільність: хімічний склад зворотної води повинен виключати утворення відкладень і корозію.

Створення замкнених безстічних і безвідходних систем водного господарства металургійних підприємств передбачає знесолювання продувочних вод на заводських демінералізаційних установках з поверненням отриманої чистої води у виробничий процес.

Практика експлуатації подібних систем показує, що визначальними чинниками під час їх створення є вибір і влаштування хвостових очисних установок. Адже саме вони дають змогу зробити систему замкненою. До хвостових установок належать установки переробки продувочних вод, утилізації концентрованих відпрацьованих технологічних розчинів, кристалізації, збезводнення і сушіння осадів, а також стабілізаційні установки, установки спалювання, доочищення тощо.

Організація замкнених систем водопостачання потребує також одночасного опрацювання всіх елементів водного господарства в їх взаємозв'язку, а не тільки окремих частин (чистих і брудних зворотних циклів, локальних споруд з очищення стоків тощо). На практиці в таких системах

очищають і використовують зливові води, на хвостових установках переробляють відходи від локальних циклів тощо.

Створення режиму роботи зворотних систем без продувки, а також використання для підживлення очищених стічних вод насамперед пов'язане з вирішенням проблеми боротьби з корозією трубопроводів і апаратури та відкладенням солей, з кондиціонуванням води. Існують багато методів, успішно вживаних на практиці й докладно розглянутих у літературі.

У практиці експлуатації водного господарства вітчизняних і закордонних промислових підприємств широкого застосування набули фосфорвміщувальні комплекси, які при додаванні у зворотну воду інгібують процеси відкладання солей, корозії та біообрастання.

У системах водяного охолодження при обробці води комплексом ІОМС (інгібітор відкладень мінеральних солей) при карбонатній жорсткості води до 7,0 мг-екв/л досягається практично повне запобігання утворенню відкладень мінеральних солей, при цьому експлуатаційні витрати менші, ніж під час використання традиційних методів кондиціонування води. За умов великої жорсткості води доцільно поєднувати обробку підживлювальної води ІОМС із підкисленням, вапнуванням або іншими методами зниження карбонатної жорсткості. Унаслідок впровадження нових технологій обробки води забезпечується можливість переведення діючих систем зворотного водопостачання і створюваних на схемі безстічного водокористування без великих капітальних витрат.

В Україні величезний досвід у розробленні безстічних замкнених систем водопостачання металургійних підприємств має український науково-технічний центр «Енергосталь». Останнім часом за проектами ДП УкрНТЦ «Енергосталь»¹ на ВАТ «Алчевський металургійний комбінат» створені практично безстічні системи зворотного водопостачання.

¹ДП УкрНТЦ «Енергосталь» – одна з головних й найбільш значних науково-дослідних і проектно-конструкторських організацій України в області промислової екології, використання вторинних ресурсів, енергозбереження, розробки і впровадження нових технологій в металургії і машинобудуванні.

Прикладом високоефективної замкненої системи, розробленої за технічними рішеннями ДП УкрНТЦ «Енергосталь», є система зворотного водопостачання стану «3 000» ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча».

Значних успіхів у сфері очищення і скидання стічних вод вдалося досягти і на ВАТ «Запоріжсталь». На комбінаті розроблена і цілеспрямовано виконується програма технічного переозброєння основних потужностей із максимальним впровадженням ресурсозберігальних технологій. У програмі значне місце займає впровадження заходів щодо охорони водного господарства. Серед найбільших об'єктів, введених в експлуатацію, – замкнені системи з очищення промислових вод аглофабрики, доменного, мартенівського виробництв, ливарного і прокатних цехів. Нині побудовані й ефективно використовуються 11 замкнених зворотних циклів, за допомогою яких яким вдалося зменшити скиди стічних вод на 30 % і підвищити повторне використання технічної води на 86 %. Крім того, через встановлені системи, щорік уловлюється і повертається у виробництво більше 200 тис. т залізовмісних шламів.

Цей досвід доводить, що проблема впровадження замкнених систем очищення води досить актуальна для металургійної галузі нашої країни. Багато масштабних металургійних підприємств заявляють сьогодні про активну роботу з проектування, будівництва і налагодження таких систем.

Значення хвостових установок

Відмітною особливістю замкнених безстічних і безвідходних систем водного господарства є необхідність мати в їх складі так звані хвостові установки, наявність яких і дає змогу зробити систему замкненою. До них належать установки переробки і утилізації концентрованих відпрацьованих технологічних розчинів, збезводнення і сушки осадів, спалювання, стабілізації, демінералізації. Установки переробки концентрованих розчинів зазвичай входять до складу основного технологічного цеху, а стабілізаційні – до складу чистих і «брудних» зворотних циклів. Широко використовують установки

обробки осадів, що утворюються під час очищення стічних вод. До їх складу входять вузли згущування, кондиціонування, механічного збезводнення і сушки осадів.

Під час створення замкнених систем водопостачання найбільші труднощі викликають процеси *демінералізації* стічних вод. Стічні води, що поступають в довкілля, умовно розділяють на «керовані» (пов'язані з окремими технологічними процесами) і «некеровані», такі, що є безповоротними втратами води зі зворотних систем (краплинне віднесення води вітром, інфільтрація тощо). У чорній металургії, наприклад, дві третини солей, що скидаються, доводиться на керовані скиди. Зазвичай вони складаються із продувочних вод різних зворотних циклів (зокрема травильних і гальванічних відділень), стічних вод енергетичних установок (стоки водопідготовчих установок, води від продувки котлів, пароперетворювачів та ін.), шахтних вод. Ці стоки є багатокомпонентною системою непостійного складу.

Відомо декілька методів демінералізації стічних вод: термічний, іонообмінний, зворотний осмос, електродіаліз. На сьогодні для вирішення цієї проблеми застосовують випаровування і термічне знесолення.

Знесолення виробничих стоків може здійснюватися із застосуванням іонообмінних установок, які давно використовують у вітчизняній практиці. У технологічному й економічному плані іонообмінне знесолення – процес, що має найбільші переваги. Проте він має і принципові недоліки: наявність сильномінералізованих стоків, що утворюються при регенерації іонообмінних смол, і значна кількість слабкоконцентрованих промивних вод.

Проблемам очищення, кондиціонування і повторного використання стічних вод промислових підприємств завжди приділяли більшу увагу, ніж питанням переробки осадів з раціональним їх використанням. Зазвичай, здійснюють складування осадів у різних накопичувачах, відвалах і полігонах, де вони зрештою становляться щонайпотужнішими джерелами вторинного забруднення довкілля.

Питання для самоперевірки

1. На яких основних принципах базується створення замкнених систем?
2. Каскадний принцип подачі води споживачам в єдиному комплексі водного господарства.
3. Головні джерела утворення мінералізованих стічних вод.
4. Значення установок демінералізації стічних вод і хвостових установок при створенні замкнених зворотних систем.
5. Методи обробки осадів, що утворюються у разі очищення й повторного використання стічних вод.
6. Методи знесолення продувочних стічних вод.

6 ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ЦЕХІВ МАШИНОБУДІВНИХ ЗАВОДІВ ТА ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ ВІД ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

План

- 6.1 Гальванічне виробництво машинобудівних підприємств і металургійних заводів. Особливості стічних вод.
- 6.2 Огляд основних методів, технологічних схем й обладнання процесів очищення стічних вод гальванічних виробництв.
- 6.3 Маловідходні іонообмінні технології очищення гальваностоків від хроматів.

6.1 Гальванічне виробництво машинобудівних підприємств і металургійних заводів. Особливості стічних вод

Гальваніка – електролітичне осадження тонкого шару металу на поверхні металевого предмета для захисту його від корозії, підвищення зносостійкості, запобігання від цементації, у декоративних цілях тощо.

У процесі нанесення гальванічних покриттів застосовуються добре розчинні у воді солі важких металів: міді, нікелю, цинку, кадмію, хрому й інших металів. У процесі промивання готових виробів солі попадають у воду, а

потім можуть потрапити й у каналізацію. При цьому більшу частину домішок вдається очистити методами реагентного очищення відновниками й вапном або електрокоагуляцією.

У процесі гальванічного виробництва утворюється значний обсяг токсичних стічних вод і шламів, що забруднюють навколишнє природне середовище і негативно впливають на здоров'я людини. Але при цьому містять безліч коштовних важких і рідкісних металів (далі – ВРМ).

За концентрацією розчинених речовин, що втримуються в них, стічні води гальванічних виробництв поділяють на дві основні групи:

- малоконцентровані, що утворюються в різних промивних операціях;
- висококонцентровані, що становлять відпрацьовані розчини й електроліти.

За хімічним складом їх поділяють на три основні групи:

- утримуючі ціаністі сполуки (ціаніди);
- утримуючі сполуки шестивалентного хрому (хромати);
- утримуючі вільні мінеральні кислоти або луги.

6.2 Огляд основних методів, технологічних схем й устаткування процесів очищення стічних вод гальванічних виробництв

Для очищення гальванічних стоків від іонів шестивалентного хрому й важких металів зазвичай застосовують реагентні або електрохімічні методи. Однак ці методи не дають змогу очищати воду до необхідних вимог по вмісту шкідливих компонентів, через що в поєднанні з ними застосовують інші методи [8–11].

Стічні води травильних і гальванічних відділень характеризуються тим, що забруднення, що містяться в них, неможливо видалити за допомогою фільтрування й інших методів, що зазвичай застосовують для очищення комунальних стічних вод.

Найчастіше зустрічаються такі забруднювачі: неорганічні кислоти, луги, поверхово активні речовини й неорганічні солі ВРМ. Для очищення стічних вод

гальванічних виробництв застосовують реагентні, електрохімічні, іонообмінні й деякі інші фізико-хімічні способи, здійснювані на установках безперервної та періодичної дії й засновані на хімічному окислюванні, відновленні й осадженні розчинених речовин, а також на нейтралізації вільних кислот і лугів.

Для знешкодження ціановмісних стічних вод застосовують переважно реагенти-окислювачі, що містять активний хлор (хлорне вапно, хлорне вода тощо). Необхідний час контакту стічних вод із реагентами за умов інтенсивного перемішування реакційної суміші становить 3–5 хв [12–14].

Гальванічні стоки можуть бути очищені різними способами. Класифікація способів очищення гальванічних стоків залежить від обраного критерію.

Загальноприйнятою вважається класифікація за способом очищення гальванічних стоків:

1. Механічний спосіб. Сутність механічного способу полягає в тому, що зі стічних вод шляхом відстоювання й фільтрації видаляються механічні домішки. Грубодисперсні частинки, залежно від розмірів, уловлюються решітками, ситами, піскоуловлювачами, септиками тощо.

Механічне очищення дають змогу виділяти з побутових стічних вод до 60–75 % нерозчинних домішок, а із промислових до 95 %, багато з яких використовуються у виробництві як коштовні домішки.

2. Реагентний спосіб. Цей спосіб є одним із основних методів очищення стічних вод. У його основі лежать хімічні реакції, які переводять шкідливі забруднювачі у воді з розчину в нерозчинний осад із подальшим витягом осаду зі стоку.

Для проведення хімічних реакцій необхідні відповідні умови. Наприклад, у гальванотехніці виділяється декілька типів стоків: ціановмісні; хромовмісні; що утримують солі важких металів; кислотно-лужні.

Для застосування реагентного методу очищення цих стоків на попередній стадії необхідно провести корекцію рН середовища. Потім проводяться хімічні реакції, які переводять метали в нерозчинну форму.

3. *Електрохімічний спосіб.* Цей спосіб очищення стічних вод гальванічного виробництва володіє низкою переваг: проста технологічна схема у процесі експлуатації обладнання, зручність автоматизації його роботи, скорочення виробничих площ під розміщення очисних споруджень, можливість очищення стічних вод без попереднього розведення, зниження солевмісту й зменшення обсягу осаду, що утвориться в процесі очищення [13–15].

4. *Електрофлотація* – процес очищення стічних вод, при якому електролітично отримані газові пухирці, спливаючи в обсязі рідини, взаємодіють із частинками забруднень, унаслідок чого відбувається їхнє взаємне злипання, обумовлене зменшенням поверхневої енергії частинки й пухирця газу на границі поділу фаз «рідина-газ».

Щільність пінного продукту, що утворюється в електрофлотаторі нижче щільності води, що забезпечує його спливання й нагромадження на поверхні очищуваної води. Флотошлам періодично видаляється з електрофлотатора автоматичним пристроєм збору шламу.

5. *Іонообмінний спосіб.* Досить ефективним методом очищення промивних стічних вод є іонний обмін, за допомогою якого повертається знесолена вода, а сорбовані забруднення витягаються з іонообмінних смол при регенерації. Доцільність використання іонного обміну як технології очищення й повернення 85–95 % води обмежується приростом вмісту солей від 50 мг/л до 250 мг/л.

При багатоступінчастому каскадному промиванні в декількох ваннах, у зв'язку з високою концентрованістю промивних вод, застосування технології іонного обміну є недоцільним, а кращим є метод зворотного осмосу.

6. *Мембранний спосіб (зворотний осмос).* Установки зворотного осмосу забезпечують можливість очищення води одночасно від розчинних неорганічних (іонних) і органічних забруднювальних домішок, високомолекулярних сполук, завислих речовин, вірусів, бактерій та інших шкідливих домішок.

Оскільки потік фільтрату прямо пропорційний площі поверхні мембрани й обернено пропорційний її товщині, у процесі проектування установок зворотного осмосу необхідно підбирати мембрани з максимально можливою площею й мінімально можливою товщиною на одиниці об'єму апарата.

Надійність установок зворотного осмосу підвищують через установлення резервного обладнання, з можливістю його багатофункціонального застосування, оптимізації кількості мембранних елементів у кожній секції апарата, а також підвищуючи надійність фільтрувальних елементів [8–10, 13].

Нижче (рис. 6.1) наведено сучасні методи очищення промивних СВ, відпрацьованих електролітів та інших стічних вод основного гальванічного виробництва.



Рисунок 6.1 – Методи очищення стічних вод гальванічних виробництв

Для скорочення кількості гальванічних стоків, що підлягають очищенню на очисних спорудах, використовуються системи локального очищення гальванічних стоків. Для локального очищення використовуються іонообмінні й мембранні методи.

На очисних спорудах гальванічних цехів багатьох промислових підприємств успішно реалізується ресурсозберігаючу технологію очищення стічних вод й зворотного водопостачання [15–17]. Відповідно до схеми, кислотно-лужні промивні води та відпрацьовані концентровані кислотно-лужні розчини електролітів надходять до усереднювачів. З усереднювача стічні води подаються в реактор-флокулятор, у який дозуються робочі розчини реагентів: їдкий натр для підтримання рН, гідроксидоутворення важких металів, аніонний флокулянт для укрупнення дисперсної фази й інтенсифікації процесу електрофлотації. Далі стічні води надходять в електрофлотатор, з якого прояснена вода подається на комплекс автоматизованих механічних фільтрів, де відбувається фінішне очищення води від залишкового вмісту дисперсних речовин. Далі прояснена вода з нейтральним значенням рН подається на сорбційний фільтр із завантаженням активованого вугілля БАУ, де відбувається фінішне очищення води від залишкового вмісту розчинних органічних сполук. Очищена вода, що відповідає вимогам до подачі на установку промислового зворотного осмосу надходить на установку зворотного осмосу з метою знесолення. Знесолена вода подається на повторне використання в гальванічних цех на операції промивання деталей і готування розчинів електролітів. Технологія передбачає попереднє знешкодження хромовмісних стічних вод у самостійному технологічному ланцюжку, де шестивалентний хром повністю відновлюється до тривалентного бісульфітом натрію в кислому середовищі. Потім знешкоджений хромовмісний стік для змішання із загальним потоком стічних вод.

Основним технологічним вузлом очисних споруд є електрофлотатор з нерозчинними електродами. Допоміжним технологічним вузлом очищення стічних вод є комплекс автоматизованих механічних фільтрів. Механічні

напірні фільтри, заповнені гранульованими завантаженнями, здебільшого це дроблений антрацит, керамзит, фільтроматеріал АС й/або FC. Фільтрація забрудненої води здійснюється зверху вниз. Фільтрат механічних фільтрів містить розчинні солі, такі як Na_2SO_4 , NaCl та NaNO_3 (у разі вихідної наявності іонів NO_3^-), і збирається в проміжній ємності для коректування рН перед скиданням у міську каналізацію або подачею на установку зворотного осмосу. Для захисту зворотно-осмотичних мембран від розчинних органічних забруднень перед установкою зворотного осмосу встановлений сорбційний фільтр.

За середньостатистичними результатами очищення стічних вод гальванічних виробництв технологія із застосуванням електрофлотації, механічній фільтрації та сорбції забезпечує глибоке очищення стічних вод від важких металів до рівня 0,04 мг/л і нафтопродуктів до 0,05 мг/л. Однак при використанні зазначеної технології практично неможливо домогтися залишкового вмісту іонів міді й кадмію в очищеній воді менше за 0,04 мг/л.

6.3 Маловідходні іонообмінні технології очищення гальваностоків від хроматів

Унаслідок промивання деталей і виробів після процесів хромування, пасивації, оксидування тощо утворюються розведені хромовмісні стоки гальванічного виробництва, основними компонентами яких є хромовий ангідрид (суміш поліхромових кислот H_2CrO_4 і H_2CrO_7), хромати, біхромати.

Високі вимоги до якості очищення гальваностоків від сполук хрому обумовлені їхньою токсичністю. Гранично припустима концентрація Cr (VI) у воді, що скидається в каналізацію, становить 0,10 мг/дм³, а у водойми – 0,05 мг/дм³.

Реагентний метод і методи електро- гальванокоагуляції, які використовуються на вітчизняних підприємствах, не забезпечують необхідного ступеня очищення промивних стічних вод. При низьких концентраціях Cr (VI) не

завжди ефективно проходить його відновлення до Сг (III) і відстоювання після нейтралізації розчину.

Особливо різко знижується ефективність відстоювання гідроксиду хрому (III) при використанні надлишку відновника. До недоліків зазначених методів належить також вторинне забруднення води реагентами, а також утворення шламів, утилізація яких є проблемою (виділення з них корисних продуктів - складний і дорогий процес). Найперспективним методом витягу хроматів із промивних вод гальванічних виробництв є іонний обмін.

Схему іонообмінної установки очищення промивних стічних вод процесу хромування представлено на рисунку 6.2.

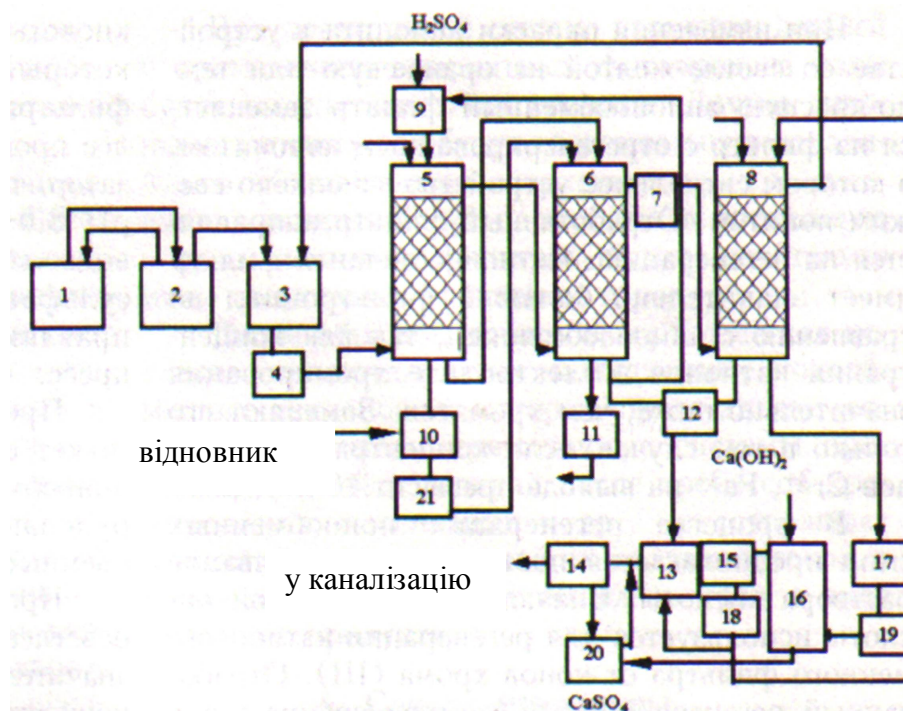


Рисунок 6.2 – Схема іонообмінної установки очищення промивних стічних вод процесу хромування:

- 1 – ванна хромування; 2 – ванна вловлювання; 3 – ванна промивання деталей; 4, 18, 19, 21 – насоси; 5 – катіонообмінний фільтр; 6 – аніонообмінний фільтр (A1); 7 – сигнальний пристрій; 8 – аніонообмінний фільтр (A2); 9 – витратний бак кислоти; 10 – бак розчину відновника; 11 – бак сульфату хрому; 12 – усереднювач промивних вод; 13 – нейтралізатор; 14 – тонкошаровий відстійник; 15 – бак розчину вапна; 16 – реактор; 17 – бак відпрацьованого регенерованого розчину; 20 – фільтр-прес

У запропонованій установці вода за допомогою насоса (4) циркулює через катіонообмінний фільтр, аніонообмінні фільтри А1, А2 і ванну промивання деталей. Катіонообмінний фільтр заповнений катіонітом КУ-2-8 і призначений для сорбції катіонів Сг (III). Аніоніт у фільтрі А1 призначений для вловлювання хроматів. Сульфати затримуються на фільтрі А2. Промивна вода циркулює у циклі до насичення фільтра А1 хроматами-аніонами, які можна зафіксувати по сигнальному пристрою – прозорій проточній ємності, заповненій свіжим аніонітом тієї самої марки.

При зміні забарвлення аніоніту в пристрої з ясно-жовтого на жовтогарячий або темно-червоний аніонообмінний фільтр замінюється на фільтр із регенованим аніонітом, у якому сигнальний пристрій заповнений свіжим іонітом. Відпрацьований фільтр направляється на регенерацію. Катіонообмінний фільтр має значно більший фільтрувальний цикл порівняно з аніонообмінним, оскільки концентрація катіонів в електроліті хромування значно нижче, ніж хроматів. Заміняють його тільки в тому разі, якщо концентрація катіонів Cr^{3+} , Fe^{3+} на виході перевищує 10 мг/дм^3 .

У процесі регенерації іонообмінних смол передбачається повторне використання розчину кислоти. Спочатку розчин сірчаної кислоти використовується для регенерації катіонообмінного фільтра від іонів хрому (III). Відпрацьований регенераційний розчин збирають у бак (10), у який додають відновник (гліцерин або цукор), коректують концентрацію сірчаної кислоти й подають його на регенерацію фільтра А1 від хроматів. Відпрацьований розчин, що містить сульфат хрому, збирають у бак (11) і відправляють на підприємства з оброблення шкіри.

Аніоніт А2 регенерують за безстічною технологією. Через нього з бака (15) пропускається розчин вапна, приготовлений у реакторі. Відпрацьований регенераційний розчин, що містить сульфат кальцію й надлишок вапна, збирають у бак відпрацьованого регенераційного розчину, звідки насосом (19) подають у реактор. У ньому відбувається насичення розчину вапном з одночасним осадженням з нього $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$.

Насичений вапном і сульфатом кальцію розчин, що містить 30–35 мг-екв/дм³ кожного із цих компонентів, подають у бак розчину вапна й далі на повторну регенерацію фільтра А2. Отже циркуляція регенераційного розчину в замкнутому контурі «бак (15) – фільтр (8) – бак (17) – реактор (16) – бак (15)» визначає безстічну регенерацію аніонітного фільтра А2. При цьому концентрація аніоніту в робочій обмінній ємності підтримується на рівні 1 200 г-екв/м³.

Для промивання іонообмінних фільтрів від кислоти вода проходить послідовно через катіонообмінний фільтр і фільтр А1. Перша порція промивної води направляється в бак (9) для готування розчину кислоти, залишок подається в усереднювач (12), у який також подається промивна вода з фільтра А2, що містить залишки вапна.

Далі промивні води направляють у нейтралізатор, де за допомогою вапна встановлюють рН = 8,0–8,5. Після тонкошарового відстійника вода скидається в каналізацію. Осад сульфату кальцію з реактора й відстійника направляють для зневоднення на фільтр-прес.

Питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте основні види забруднень стічних вод гальванічних виробництв.
2. Які реакції лежать в основі реагентного методу знешкодження ціановмісних стічних вод? Які реагенти при цьому застосовують?
3. Наведіть основні рішення з очищення стічних вод гальванічних виробництв.
4. Надайте порівняльну характеристику методів очищення стічних вод від іонів важких металів.

7 МЕТОДИ ІОННОЇ ФЛОТАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІОНОАКТИВНИХ ПАР ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД

План

7.1 Очищення промислових скидів із використанням хімічно активних реагентів.

7.2 Доочищення виробничих стічних вод від іоноактивних поверхнево-активних речовин.

7.3 Відстійники, шламонакопичувачі і хвостосховища стічних вод і шламів гірничо-металургійних підприємств, їх вплив на водний басейн р. Дніпро.

7.1 Очищення промислових скидів із використанням хімічно активних реагентів

Одним з ефективних способів витягу й поділу сполук рідких і важких кольорових металів зі стічних вод є *іонна флотація*. Її характеризують висока продуктивність, універсальність й економічність. Унаслідок взаємодії полііонів металу (Me) зі збирачами – поверхнево-активними речовинами (далі – ПАР) утворюються осади, які відокремлюють від розчину флотацією або фільтруванням для подальшої утилізації [18–20].

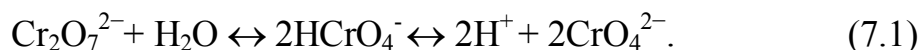
Склад стічних вод, що утворюються після технологічних процесів у кольоровій металургії, у цехах гальванічного виробництва машинобудівних заводів, визначається, хімічним складом сировини, технологічними режимами й ін.

Для розроблення ефективної схеми очищення стічних вод від іонів Me необхідно мати уяву про сполуки, у яких вони перебувають у водяних розчинах. Оскільки хімічне поведіння кожного Me має свої особливості, необхідно їх урахувати в кожному конкретному випадку.

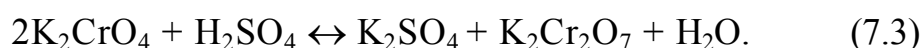
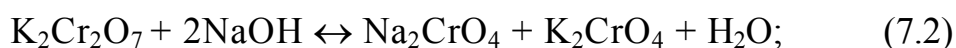
Хімічне поводження металів у водяному розчині

Катіони Me у водяному розчині перетерплюють перетворення внаслідок гідратації й комплексоутворення й утворюють асоціати різного складу та знаку. Комплексоутворення призводить також до того, що в розчинах Me одночасно може бути присутнім як у катіонній, так і в аніонній формі. Із видаленням однієї форми рівновага зрушується у бік її утворення [18].

Поводження Cr у розчині досить складно. Вихідні розчини біхроматів мають кислу реакцію, обумовлену тим, що іон $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ реагує з водою:



Додавання до розчину кислот зміщує рівновагу вліво, а підлугування розчину – вправо. Відповідно до цього з біхроматів легко виходять хромати і навпаки:



Виділення іонів металів із розчинів

Серед катіонних збирачів широкого практичного використання набули аліфатичні аміни та їхні солі, наприклад, АНП – амін на основі фракцій жирних кислот C_{17} – C_{20} . тощо. Значно збільшився останнім часом інтерес до класу катіонних ПАР – четвертинних амонієвих основ (далі – ЧАО), що володіють низкою переваг перед амінами: більш високою розчинністю, стійкістю до лужності середовища, антикорозійністю й нетоксичністю.

Для виділення металів з розчинів, що містять аніони металів, застосовуються такі ЧАО й аміни:

1) алкілтриметиламоній хлорид (далі – АТМ) – $[\text{C}_n\text{H}_{2n+1} (\text{CH}_3)_3 \text{N}]\text{Cl}$, де $n = 18$ – 20 , середня молекулярна маса (с. м.м.) – 278 г;

2) алкілбензилдиметиламоній хлорид (АБДМ), – $[\text{C}_n\text{H}_{2n+1} (\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2) (\text{CH}_2)_2 \text{N}]\text{Cl}$, де $n = 18$ – 20 , с.м.м. – 355 г.

Усі технічні суміші ЧАО становлять 50–75 % розчини активної речовини в ізопропіловому спирті. З амінів застосовуються препарати АНП-2 ($\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{NH}_2\text{HCl}$ та $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{NH}_2\text{HCl}$), що мають с.м.м. 247 та 264 г відповідно.

Аліфатичні аміни й ЧАО в кислому середовищі перебувають переважно в іонній формі, а в лужному середовищі – у молекулярній. Осади, що утворюються внаслідок взаємодії поліаніонів Nb, Cr, Mn й інших Me з катіонними ПАР містять селективно вилучуваний Me й можуть бути використані, наприклад, у феросплавному виробництві тощо практично без додаткової переробки.

Ефективність процесу здебільшого залежить від рН оброблюваного розчину.

Найменш негативно позначається на витягу Cr соляна кислота. Процес максимально ефективний навіть при її концентрації 10 моль/дм³. При підлогуванні розчину утворюється усе більше хроматів і ступінь витягу падає, оскільки для їхнього повного витягу потрібно по стехіометрії ПАР удвічі більше, ніж при виділенні біхроматів. При рН > 12,0 взаємодія хроматів й ПАР остаточно пригнічується. Оптимальні значення досягали для Cr при рН = 0,5–4,5. Витрата ПАР залежить від хімічної форми знаходження Me в розчині та його концентрації.

У разі флотації Cr підвищення домішкових концентрацій NaCl, CaCl₂, NaNO₃, Na₂SO₄ до 0,1 моль/дм³ при рН = 4,7–5,2 знижує ступінь витягу хрому до 70–75 %. Наявність такої ж кількості домішкових солей при рН = 1,0–1,5 не впливає на перехід Cr у піну.

Отже, вивчення можливості витягу аніонних сполук Me з помірковано кислих розчинів (рН = 0,5–4,0) при взаємодії їх з катіоноактивними ПАР показало, що ступінь взаємодії використовуваних реагентів із Me характеризується величинами, що убувають у ряду АНП-2 > АТМ > АБДМ.

7.2 Доочищення виробничих стічних вод від іоноактивних ПАР

Метод піноутворення

Досить широке поширення набув термін «доочищення» промислових стічних вод, під яким мається на увазі комплекс заходів й апаратурно-технологічних схем, що доповнює сформовані технологічні схеми очищення

виробничих стічних вод конкретного складу від використовуваних у технологіях реагентів-збирачів, замість яких застосовують катіоно- або аніоноактивні ПАР.

Розробка методів доочищення виробничих стічних вод дає змогу проектувати й експлуатувати так звані очисні «хвостові» установки, за допомогою яких створюються безстічні й маловідходні системи водопостачання промислових підприємств. Доочищення виробничих стічних вод призначене для видалення надлишкової кількості ПАР, присутність яких строго нормується.

Застосування методу іонної флотації в технологічній практиці потребує введення в оброблювані розчини поверхнево-активних збирачів, що неминуче призводить до появи останніх у виробничих стічних водах певного підприємства. Водночас створення замкнених систем промислового водопостачання вимагає вирішення питань очищення стоків від надлишку ПАР, що вводять. Крім цього, проблема очищення виробничих стічних вод від ПАВ давно має самостійне практичне значення.

Одним з можливих методів очищення виробничих стічних вод від ПАР є *метод піноутворення*. Іноді в літературі метод називають пінним фракціонуванням, пінною сепарацією, пінною флотацією тощо. Суть методу піноутворення полягає в адсорбції ПАР границею розділу фаз «рідина–газ» й у безперервному знятті поверхневого шару, що утворюється. При цьому необхідно дотримання принаймні двох умов: ПАР, що виділяються повинні володіти гарними піноутворювальними властивостями й піна повинна бути стабільною. Застосування даного методу й опис способів його здійснення висвітлені в роботах [18, 20, 21].

ДП УкрНТЦ «Енергосталь» виконано низку комплексних досліджень процесів очищення стічних вод від іоноактивних ПАР методами іонної флотації. Процес піноутворення оцінювали за такими параметрами: ступінь витягу ПАР у пінну фракцію – S , %; ступінь зміни обсягу системи $R_v = V_{\text{пін}}/V_{\text{ост}} \cdot t$, де $V_{\text{ост}}$ – кінцевий об'єм розчину; $V_{\text{пін}}$ – об'єм пінного продукту; t – час перебігу процесу.

Технологічна схема промислової установки очищення простоків від ПАР наведена на рисунку 7.1.

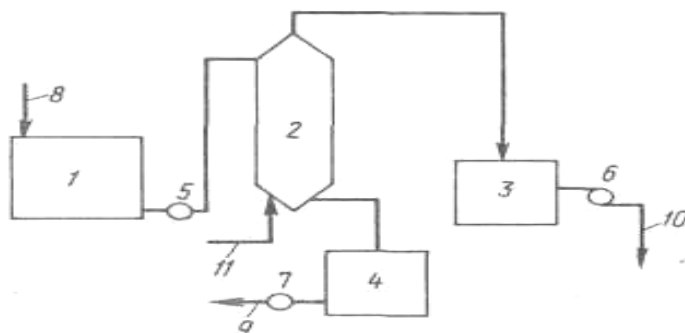


Рисунок 7.1 – Принципова технологічна схема установки очищення простоків від ПАР:

1 – приймальний резервуар; 2 – флотоколонна; 3 – пінний продукт;
4 – очищена вода; 5–7 – насоси перекачування стоків, пінного продукту й очищеної води; 8 – стоки, що містять ПАР; 9 – очищена вода у зворотний цикл;
10 – пінний продукт на спалювання; 11 – стиснене повітря

Однією з найважливіших характеристик, що впливають на перехід іоногенних ПАР у пінну фракцію, є величина рН розчину. Ступінь виносу ПАР у пінний шар збільшується із підвищенням кислотності або лужності розчину. У нейтральній області рН величина виносу АТМ у піну не перевищує 40 %, АБДМ – 80 %, ДБСNa – 60 %. При концентрації в розчині H_2SO_4 вище $0,1 \text{ моль/дм}^3$ витяг АТМ становить приблизно 100 %, АБДМ – 91 %, ДБСNa – 90 %. Присутність у розчині $0,01 \text{ моль/дм}^3$ NaOH збільшує перехід АТМ у пінну фракцію – до 80 %, АБДМ – до 90 %, ДБСNa – до 90 %.

Кінетика процесу флотаційного виділення з водяних розчинів ПАР, як і будь-якого процесу, що відбувається в гетерогенній системі, складна й залежить від багатьох факторів: рН середовища, зміни поверхневого натягу розчину із видаленням з нього ПАР; часу встановлення істинної термодинамічної рівноваги між кількістю ПАР, адсорбованим на поверхні пухирця, і його концентрацією в розчині; обсягу системи через віднесення з піною певної кількості води.

7.3 Відстійники, шламонакопичувачі та хвостосховища стічних вод і шламів гірничометалургійних підприємств і їх вплив на водний басейн р. Дніпро

Учені й фахівці України приділяють досить серйозну увагу проблемам очищення стічних вод від розчинних токсичних сполук ВРМ й утилізації одержуваної твердої фази, зниженню енергетичних витрат на всіх ступенях технологічного процесу виробництва промислової продукції.

Стічні води й шлами гальванічних виробництв, що містять іони важких і рідких металів, є одним із головних джерел забруднення водойм, водоносних горизонтів і ґрунтів сільськогосподарських угідь. Відомі методи очищення технологічних стічних вод зводяться до їхнього перероблення й виділення їх у вигляді гальваношламів. При неефективному очищенні гальваностоків ВРМ попадають у водойми, ґрунт і трофічними шляхами харчування доходять до організму людини.

Аналогічна ситуація виникає при вилуговуванні ВРМ кислотними дощами й природними органічними кислотами зі шламів у місцях їхнього складування й поховання. Отже, коло замикається, і розчини солей ВРМ зрештою попадають у водний басейн.

На сьогодні спостерігається забруднення поверхневих і ґрунтових вод унаслідок скидання неочищених й умовно очищених стічних вод підприємств гірничо-металургійного комплексу, надходження фільтрату з обсягу шламонакопичувачів (далі – ШН) або хвостосховищ, розміщених на території підприємств або поблизу джерел питного й господарського водопостачання й утворюючих техногенні джерела забруднення постійної дії.

Надходження значних обсягів Me-вмісних стічних вод гальванічних виробництв машинобудівних підприємств на очисні споруди комунального господарства міст України призводить до виникнення низки серйозних еколого-економічних, соціальних проблем і проблем, зв'язаних зі здоров'ям населення.

Сполуки ВРМ, що втримуються в складі стічних вод, у вигляді солей різного ступеня розчинності, попадають у поверхневі й ґрунтові води. У результаті виникає низка екологічних проблем:

- губиться природна здатність водойм до самоочищення;
- порушується функціонування активного мулу на станціях очищення міських стоків;
- гальваностоки й шлами неконтрольовано взаємодіють із відходами металургійної, хімічної, нафтохімічної, харчової промисловості, крім того, при стандартному хлоруванні води на станціях водозабору додатково виникають органічні хлорпохідні;
- складні металорганічні сполуки, що утворюються високотоксичні, не видаляються кип'ятінням, володіють мутагенною і тератогенною дією, придушують імунітет.

Запобігання скидання Ме-вмісних стічних вод у міську каналізаційну мережу забезпечить досягнення таких позитивних результатів:

- можливість переробляти активний мул міських очисних споруд, що не вміщують токсичних сполук важких металів, у високоефективні добрива для потреб сільського господарства;
- одержання з утилізованих осадів, виділюваних з очищуваних стічних вод, дорогої та дефіцитної імпортозамінної продукції у вигляді комплексних лігатур і феросплавів для потреб металургійної промисловості;
- захист навколишнього природного середовища й здоров'я населення від техногенного забруднення, оскільки існуючі методи біологічного очищення комунальних міських стоків не дають змогу витягати з них іони ВРМ (Cu^{+1} , Cu^{+2} , Zn^{+2} , Cd^{+2} , Pb^{+2} , Ni^{+2} , Fe^{+2} , Fe^{+3} , $\text{Cr}^{+(4-6)}$), сорбіруємих активним мулом.

У зв'язку із цим виникає необхідність розробки нових технологій скорочення обсягів промислових стоків, надходження токсичних фільтратів зі шламонакопичувачів (ШН) і хвостосховищ у водний басейн.

Басейн р. Дніпро. Найпоширенішими забруднювальними речовинами у водних об'єктах басейну залишаються сполуки ВРМ (іони Mn, Cu, Zn, Fe, Pb),

сполуки азоту, феноли. За даними гідрохімічних спостережень середній вміст розчиненого у воді кисню в більшості рік і водоймищ було достатнім і находилось у межах 6,06–14,67 мг/дм³.

Загалом у ріках басейну за більшістю показників якість води істотно не змінилася. Середньорічні концентрації основних забруднювальних речовин у басейні Дніпра перевищували гранично припустимі концентрації, а за деякими перебували на рівні високого забруднення. Середньорічні концентрації азоту амонійного й нафтопродуктів були в межах <1–4 ПДК, азоту нітритного – <1–12 ПДК, сполук Zn – <1–5 ПДК, фенолів – <1–6 ПДК, Fe – <1–7 ПДК, Cr⁺⁶ – 1–13 ПДК, Mn – 1–18 ПДК.

Важливим напрямом у дослідженні процесів ресурсозбереження та скорочення негативного впливу ШН і хвостосховищ гірничо-металургійних підприємств на водний басейн і здоров'я людини є вивчення складу й шляхів міграції в ґрунті поверхневих стоків і фільтратів, що містять розчинні сполуки важких і рідких металів ВРМ.

Головними різновидами впливу шламонакопичувачів на навколишнє природне середовище (далі – НПС) є діяльність основних і допоміжних виробництв: надходження в атмосферу, водний басейн, ґрунтові води й на земну поверхню токсичних компонентів сировини, напівпродуктів, відходів.

Головними джерелами впливу промислових підприємств на водний басейн є скидання неочищених й умовно очищених стічних вод у поверхневий водний басейн, надходження фільтратів і поверхневих стоків із території шламо-шлаковідвалів, осадження твердої фази організованих і неорганізованих пилегазових викидів у питні, рибогосподарські й рекреаційні водні об'єкти.

Індикатори забруднення НПС – хімічні сполуки, що відповідають складу сировини, напівпродуктів і промислових відходів (далі – ПВ) з урахуванням фону в районі розміщення підприємства-забруднювача.

У басейні Дніпра налічується більше 300 накопичувачів, з яких 279 – шламонакопичувачів та 22 – хвостосховища.

Близько 50 % накопичувачів сконцентровано в південній частині басейну, особливо в Дніпропетровській області. Зазвичай це фільтрувальні накопичувачі, з яких у поверхневі води й підземні горизонти надходять нафтопродукти й розчини солей. Сьогодні 40 % накопичувачів басейна належать до особливо небезпечних.

ШН комбінату в балці Капустянка ємністю 10,5 млн м³ запроектований Харківським Водоканалпроектом. Скидання в нього завислих речовин становить 1,1 млн т/рік, термін служби – 25 років, площа – 135 га, експлуатується з 1958 р.

У шламонакопичувачі у балці Капустянка передбачене скидання стічних вод і шламів:

- ВАТ «Запоріжсталь» – шламів мокрих газоочисток аглофабрики, доменних, мартенівських печей, розливальних машин чавуну, стоків ТЕЦ, обводненої окалини прокатних цехів, цеху виливниць, відпрацьованих емульсій тощо;
- коксохімічного заводу – шламів вуглемийки, частина хімічно забруднених стічних вод;
- алюмінієвого заводу – шламів мокрих газоочисток ТЕЦ, що працювала на твердому паливі, і шламів глиноземного виробництва;
- заводу «Дніпроспецсталь» – обводненої прокатної окалини, нейтралізованих і не нейтралізованих кислих стічних вод, шламів мокрих газоочисток;
- метизного заводу – нейтралізованих і не нейтралізованих кислих стічних вод;
- заводу «Кремнійполімер» – шламів хімічного виробництва.

Питання для самоперевірки

1. Іонна флоатація, суть методу.
2. Які катіонні збирачі (ПАР) використовують для виділення іонів металів із розчинів?

3. Суть методу піноутворення для очищення виробничих стічних вод від ПАР.

4. Наведіть принципову технологічну схему установки очищення промстоків від ПАР:

5. Чим обумовлюється необхідність розробки нових технологій скорочення обсягів промислових стоків, надходження токсичних фільтратів зі шламонакопичувачів (ШН) і хвостосховищ у водні басейни?

6. Які екологічні проблеми виникають у разі надходження у поверхневі й ґрунтові води сполуки важких і рідкісних металів, що втримуються в складі стічних вод, у вигляді солей різного ступеня розчинності?

7. Головні джерела впливу промислових підприємств на водний басейн.

ЗМ 3 СПОРУДИ ЛОКАЛЬНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД 8 ВИВЧЕННЯ СКЛАДУ ТА МЕТОДІВ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ

План

8.1 Стічні води гірничорудних підприємств. Стічні води збагачувальних фабрик та агломераційних виробництв.

8.2 Стічні води установок очистки доменного газу.

8.3 Стічні води сталеплавильних цехів.

8.1 Стічні води гірничорудних підприємств. Стічні води збагачувальних фабрик та агломераційних виробництв

У процесі здобування руди шахтним способом, утворюються шахтні води, що відкачують на поверхню та скидають у поверхневі водні об'єкти. Ці стічні води забруднені завислими речовинами, нафтопродуктами, вони мають високий солевміст, який досягає декілька г/л (до 10 г/л та більше).

Склад і властивості шахтних вод залежать від багатьох факторів, зокрема складу і властивостей підземних вод, що живлять горні виробки, складу і

властивостей гірських порід, властивостей вугільних пластів. Також на шахтні води впливають гірничо-геологічні і гірничотехнічні умови, засоби механізації виїмки вугілля та проходки підготовчих виробок. Допоміжні фактори: клімат, рельєф місцевості, рослинність тощо.

Шахтні води відрізняються великою різноманітністю хімічного складу, володіють властивостями, що виключають їх використання в технічних цілях без попередньої обробки. Найбільша кількість шахтних вод виходить у Західному Донбасі та Донецькому вугільному басейні.

Під час збагачення корисних копалин (залізна руда, вугілля) утворюється значна кількість стічних вод і відходів, що складає для великих збагачувальних фабрик і комбінатів 10–50 тис. м³/год. Стічні води збагачувальних фабрик містять десятки та сотні г/л забруднень у вигляді механічних домішок (завислих речовин, що являють собою порожню породу) концентрацією більш 10 г/л. Крім цього в стічних водах містяться дуже шкідливі, а іноді навіть токсичні забруднення – різні нафтопродукти, поверхнево-активні речовин природного та синтетичного походження. Концентрація цих речовин досягає 100-500 мг/л. Ці речовини ні що інше, як гідрофобізатори, що застосовують під час збагачення. Перелічені стічні води дуже важко піддаються очищенню, а якщо врахувати великі витрати цих стічних вод, задача їх очистки та використання є одним з дуже складних і мало вивчених питань.

На даний час порожню породу, як при першому, так і при другому способі збагачення, у вигляді шламової пульпи відводять за межі підприємства у так звані шламонакопичувачі (хвостосховища – ця назва пішла від слова «хвости флотації»), що займають великі території та площі.

Агломераційні виробництва

Збагачену залізну руду перед подачею в домені печі для виплавки чавуна, направляють на фабрики з виробництва окатишів для збільшення крупності зерен і наступного їх ущільнення за допомогою термічної обробки.

Вихідним матеріалом для ошматкування є концентрат залізних руд (основний компонент), що містить сполуки заліза до 90–95 %, вапняк або

доломіт у якості флюсуєючої добавки, бентоніт – для підвищення міцності сирих окатишів.

Сумарне споживання води на агломераційних фабриках складає від 3,5 м³ до 6,8 м³ на 1 т агломерату і залежить від технологічних особливостей виробництва і від застосованих пилеуловлюючих апаратів, у яких пил змішується з водою.

Кількість стічних вод, що утворюються від однієї аглофабрики досягає до 2–3 тис. м³/год. Ці стічні води забруднені завислими речовинами в концентрації до 2 тис мг/л, лужними компонентами (в основному вапном, що сприяє появі у воді гідратної складної лужності, тобто групи ОН⁻). З іншого боку, стічні води забруднені кислими компонентами, що представлені в основному сірчаними сполуками у вигляді SO₃²⁻ і SO₄²⁻.

8.2 Стічні води установок очистки доменного газу

Під час плавки утворюється близько 4 000 м³ газів на 1 т чавуна, що містять від 5 до 20 г/м³ пилу. Ці гази проходять три етапи очистки: перший – «сухий», на якому затримується 70–80 % пилу, другий – «мокрый» у скруберах, що зрошуються водою, при якому виноситься близько 15 % пилу, і третій – на електрофільтрах, де затриманий пил змивається водою. Загальна витрата води складає 4–9 м³ на 1 000 м³ газу, що очищається або 20–30 м³ на 1 т чавуна, що виплавляється.

У цехах очистки доменного газу вода служить поглиначем механічних домішок, розчинником газів, а також охолоджувачем і транспортуєчим середовищем поглинених домішок.

Стічні води доменної газоочистки, склад і властивості яких залежать від складу шихти і тиску газів під колошником, освітлюються зазвичай у радіальних відстійниках різних конструкцій із застосуванням коагулянтів і флокулянтів. Освітлену воду після охолодження і стабілізаційної обробки використовують повторно, осад зневоднюють і утилізують.

Температура води, що відходить від газоочищення становить 45–55 °С. Для цієї води властивий високий вміст завислих речовин за рахунок частинок

пилу, що потрапляють з газу у воду, кількість яких коливається від 500 до 4 000 мг/л або в середньому при роботі печей з нормальним тиском 2900 мг/дм³, а при підвищеному до 170 кН/м² – 1 000 мг/л.

У стічних водах від газоочисток при виплавці передільного і ливарного чавунів вміст завислих речовин у воді крупністю 0,01–0,1 мм складає 85–90 % і крупністю менше ніж 0,01 мм складає 10–15 %; при виплавці феромарганцю вміст у воді часток крупністю 0,01 мм і менше складає 81 %.

Орієнтовно склад стічних вод від газоочистки характеризується наступними показниками: завислі речовини 1–2 г/л, жорсткість загальна – 5,0 мг-екв/л, рН–7–8. Сказане відноситься до доменних печей, що виплавляють ливарний і передільний чавун (м. Дніпропетровськ, м. Донецьк, м. Кривий Ріг та ін.).

8.3 Стічні води сталеплавильних цехів

У сталеплавильному виробництві утворюються стічні води у процесі очищення газів електросталеплавильних і киснево-конвертерних цехів. Їх відмітна особливість полягає в значній зміні складу стоку в процесі плавлення. Очищення стічних вод здійснюють шляхом виділення завислих речовин у відкритих гідроциклонах, флокуляторах і радіальних відстійниках.

Газоочистка конверторів. Стічні води від очистки конвертерного газу забруднені твердими частками і розчиненими хімічними речовинами. Склад і кількість забруднень залежать від схеми відведення й очистки газів, що відходять. При цьому відбувається зміна складу стічних вод за ходом плавки.

Гази, що утворюються під час виплавки сталі в кисневому конвертері містять металевий пил і частинки вапна (негашене СаО). Вапно, вживане в киснево-конвертерному процесі для його інтенсифікації, потрапляє в потік газів, що відходять і розчиняється у воді. Кількість розчинного вапна залежить від її якості й способу подачі. В зв'язку з цим збільшується гідратна лужність зворотної води.

Насичена вапном оборотна вода при повторному використанні реагує з вуглекислою газів, що відходять, в газоочисних апаратах, у результаті цього в

системі подачі води до сопел камери уприскування і скрубера утворюються дуже тверді відкладення карбонату кальцію з невеликим вмістом оксиду заліза, що обмежують подачу води з витратою, потрібною для належного очищення газу. Боротьба з цим явищем шляхом впровадження заходів щодо зменшення винесення частинок вапна з газами, що відходять, за рахунок відсіву дрібниць вапна перед подачею її в конвертер, а також застосуванням підкислення або карбонізації, виявилася малоефективною. Ефективнішим для подібних систем оборотного водопостачання є метод обмеження розчинення вапна, що поступає у воду і зниження гідратної лужності стічних вод. ДП «УкрНТЦ «Енергосталь» запропоновано два типи реагентів для здійснення цього методу — силікатний реагент (рідке скло) і фосфорвміщуючий реагент (триполіфосфат натрію).

При обробці води силікатним реагентом дозою 50 мг/л гідратна лужність зворотної води знижується з 24–25 мг-екв/л до 0–0,4 мг-екв/л, а інтенсивність відкладень карбонату кальцію знижується на 99 %.

Газоочистка електросталеплавильних печей. В електросталеплавильному цеху сталь виплавляють в електричних печах, плавка металу відбувається під дією електричного току за рахунок електричної дуги, яка утворюється між електродами. В процесі плавки сталі з електропечей відходить велика кількість газів, які очищаються найчастіше за допомогою води.

При виробництві сталі в дугових електропечах виділяється досить велика кількість газів – 200–500 м³/год на 1 т сталі, що виплавляють. Очищення газів, що відходять може здійснюватися в апаратах сухої газоочистки (мішкові тканинні фільтри, електростатичні фільтри) або застосовують мокру газоочистку.

Стічні води, що утворюються від очистки газів, містять дрібнодисперсні завислі речовини у концентрації до 2–3 тис. мг/л, окисли заліза та інші хімічні забруднення (іони важких металів, сірчані сполуки), рН на 1,5–2,5 одиниці менше, ніж рН вихідної води. Стічні води газоочистки електропечей можуть бути як з кислою, так і з лужною реакцією в залежності від марки виплавленої сталі. В зв'язку з цим, для повторного використання цих стічних вод у системах оборотного водопостачання, потрібна певна хімічна обробка

(нейтралізація, стабілізація тощо). Найбільш раціональним методом нейтралізації і знешкодження стічних вод при оборотному водопостачанні є застосування вапняного молока.

Прояснення стічних найбільш доцільно здійснювати у радіальних відстійниках або у відкритих гідроциклонах. Необхідний для повторного використання ступінь прояснення стічної води до залишкового вмісту завислих речовин у ній 150–200 мг/л досягається при гідравлічному навантаженні на відстійник 0,8–1 м³/(м²·год), а на гідроциклон 4 м³/(м²·год). В якості коагулянту застосовують поліакриламід з концентрацією 1 мг/л.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть основні переділи на підприємствах чорної металургії.
2. Методи збагачення руди.
3. Системи охолодження доменних печей.
4. Які види стічних вод утворюються у доменному виробництві?
5. Як здійснюється очистка газів доменних печей?
6. Водопостачання сталеплавильного виробництва.
7. Очистка стічних вод прокатних станів.

9 СПОРУДИ ЛОКАЛЬНОГО ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД З МЕТОЮ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ В ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

План

- 9.1 Конструкції відстійників для очистки виробничих стічних вод.
- 9.2 Відкриті гідроциклони, флокулятори.
- 9.3 Сучасні споруди для очистки промислових стічних вод.
- 9.4 Фільтрування води.

9.1 Конструкції відстійників для очистки виробничих стічних вод

Для очищення стічних вод промислових підприємств використовують як звичайні конструкції відстійних споруд, що застосовуються при очищенні міських стічних вод (піскоуловлювачі, відстійники), так і спеціальні. Залежно від вимог до якості проясненої виробничої стічної води застосовують горизонтальні й радіальні відстійники різних конструкцій, які можуть бути обладнані камерами флокуляції.

При виборі типу відстійників необхідно мати на увазі їх деякі експлуатаційні особливості. При значних витратах води горизонтальні відстійники доводиться влаштовувати багато секційними, бо зазвичай ширина однієї секції приймається 5–6 м (продуктивність – десь 100–120 м³/год). Загальним недоліком секційних відстійників є важкість правильного розподілення води за секціями, унаслідок чого окремі секції виявляються перевантаженими, унаслідок чого у них погіршується очищення. Крім цього, ефект очищення залежить від своєчасного видалення осадів із відстійників.

У конструкції *радіального* відстійника реалізовано принцип дії вертикального й горизонтального відстійників. Радіальний відстійник – зазвичай круглий у плані резервуар, вода в якому в процесі очищення рухається за радіусом від центра до периферії. Із віддаленням води від центру швидкість зменшується. Це сприяє випадінню завислих речовин на дно відстійника та спливанню речовин, щільність яких менше за 1. Стічна вода через центральний розподільчий пристрій надходить у відстійник, а освітлена вода збирається в круговий периферійний жолоб.

Осад, що випадає на дно відстійника, згрібається за допомогою скребкової ферми у центральний приямок, звідки видаляється за допомогою шламових насосів. Ефективність прояснення в радіальних відстійниках досягає 60 %. Глибина коливається від 1,5 м до 5 м.

Глибина проточної частини становить 1,5–5 м, діаметр – от 15 до 60 м. Тривалість перебування стічної води у відстійнику – 1,5–2 год.

Радіальні відстійники звичайних конструкцій діаметром 26–30 м упродовж багатьох років використовують для очищення стічних вод газоочисток доменних печей і інших металургійних агрегатів при питомому гідравлічному навантаженні $0,4\text{--}2 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$.

Горизонтальні відстійники найчастіше застосовують для очищення стічних вод підприємств чорної металургії, зокрема для первинного і вторинного очищення стічних вод станів гарячої прокатки металу. Задовільний ступінь очищення стічних вод у вторинних горизонтальних відстійниках може бути досягнутий при питомих навантаженнях, менших за $0,8\text{--}1,1 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$, а в умовах роботи замкнених систем оборотного водопостачання $0,4\text{--}0,8 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$, що потребує значних виробничих площ для розміщення очисних споруд.

При переведенні систем зворотного водопостачання на замкнений (безстічний) або близький до нього режим роботи стало очевидно, що горизонтальні й радіальні відстійники традиційних конструкцій не дадуть бажаного результату через низку наявних недоліків:

- низька продуктивність (питомі гідравлічні навантаження знаходяться в межах $1\text{--}2 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{год})$);
- непристосованість для роботи з коагуляцією і флокуляцією;
- недосконалість конструкції (коефіцієнт використання обсягу дорівнює 0,5, що свідчить про їхню гідравлічну недосконалість, періодичне відведення осаду тощо).

У горизонтальних відстійниках неможливо організувати безперервне видалення осаду, що випадає. Це призводить до порушення їх роботи і спричиняє труднощі при подальшому збезводненні, утилізації або складуванні шламів, а також низька ефективність маслоуловлювальних пристроїв. Крім цього, їм притаманні недосконалість пристроїв впуску, розподілу та збирання води.

9.2 Відкриті гідроциклони, флокулятори

Для уловлювання крупних твердих домішок і піску використовують напірні й безнапірні (відкриті) гідроциклони.

На відміну від споруд відстійного типу, в гідроциклонах процес очистки відбувається під дією відцентрових сил забруднюючих домішок, які виникають в результаті обертального руху води в апаратах. Поле відцентрових сил виникає завдяки тангенціальному підведенню води до циліндричного корпусу апарата.

У напірних гідроциклонах (рис. 9.1) відведення очищеної води здійснюється через центральну трубу. Уловлені частинки падають у конусну частину та видаляються через шламову насадку з частиною води. Основні переваги напірних гідроциклонів: компактність, висока продуктивність, простота конструкції.

Недоліки напірних гідроциклонів – великі втрати напору, швидке зношення елементів впуску води та небезпека засмічення шламових отворів. У цих апаратах не вдається затримувати дрібнодисперсні частки крупністю менше 1–5 мкн, які найбільш характерні для промислових стічних вод. Крім того, завислі речовини, що втримуються в стічних водах промислових підприємств, практично повсюди характеризуються полідисперсним складом, що приводить до забивання шламових отворів.

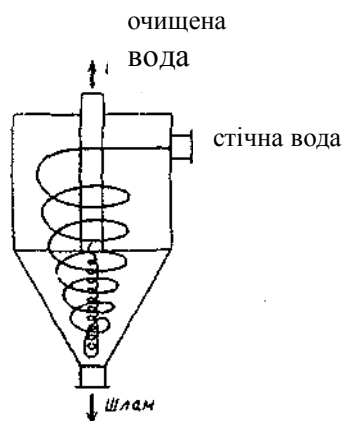


Рисунок 9.1 – Напірний гідроциклон

У відкритих гідроциклонах використовуються переваги відстійних апаратів і напірних гідроциклонів.

Відкриті гідроциклони доцільно застосовувати для освітлення порівняно невеликих кількостей стічних вод (100–200 м³/год), що володіють значною концентрацією суспензії та високими флокуляційними властивостями.

Відокремлення зависі від води здійснюється під дією як сил тяжіння, так і відцентрових сил.

У відкритих гідроциклонах можна очищати забруднені води від завислих речовин, нафтопродуктів, допускається також застосування коагуляції для інтенсифікації процесу очистки стічних вод.

Звичайний відкритий гідроциклон за конструкцією подібний до вертикального відстійника, у нього тільки відсутня центральна труба, а підведення води здійснюється тангенціально у нижній частині апарату.

Відкритий гідроциклон складається з трубопроводу подачі стічних вод, що очищаються, тангенціального до циліндричної частини апарату та циліндричного корпусу з витягнутим вниз конічним днищем. Вода рухається в апараті обертаючись уверх, проходить через отвір у конічній діафрагмі, збирається в кільцевий водозбірний лоток та відводиться з апарату. Осад випадає в конічну частину апарату.

Найбільшого поширення в чорній металургії одержали гідроциклони діаметром 6 м.

Завдяки тангенціальній подачі води в апараті створюється обертально-поступальний рух, який сприяє укрупненню, флокуляції завислих часток. Це укрупнення відбувається завдяки градієнтній коагуляції. Укрупненню часток сприяє також та обставина, що вода, яка очищується і домішки, що осаджуються, перебувають у зустрічному русі. Така гідродинаміка апарату дозволяє домогтися істотної інтенсифікації процесу очистки в порівнянні з вертикальними відстійниками і освітлювачами зі зваженим шаром осаду. Відвід проясненої води здійснюється через кільцевий лоток з водозливом.

Для підвищення ефективності конструкція гідроциклона доповнюється циліндричною перегородкою. Впуск води здійснюється тангенціально в

простір, обмежений внутрішнім циліндром. При цьому виникає замкнутий циркуляційний потік, який сприяє поліпшенню якості очистки.

Швидкості руху води у відкритих гідроциклонах значно менше, ніж у напірних гідроциклонах, тому вони забезпечують не відкидання часток до стінок апарата, а їхнє укрупнення в процесі повільного обертально-поступального руху. У нижній частині відкритого гідроциклона відбувається швидке укрупнення часток за рахунок кінетичної і градієнтної коагуляції.

Наявність діафрагми сприяє розширенню потоку води та відділенню завислих речовин, зменшенню обсягу застійних зон і як наслідок цього збільшенню коефіцієнта використання обсягу апарата. Цей коефіцієнт (α) для відкритих гідроциклонів дорівнює 0,8. При відсутності конічної діафрагми $\alpha = 0,5-0,6$.

Відкриті гідроциклони застосовують наступних типів: без внутрішніх устроїв, з діафрагмою, з діафрагмою і циліндричною перегородкою та багатоярусні.

Відкриті гідроциклони без внутрішніх устроїв (рис. 9.2, а) рекомендується застосовувати для затримання крупно- та дрібнодисперсних домішок гідравлічною крупністю 5 мм/с і більше. Значення коефіцієнта $K = 0,61$.

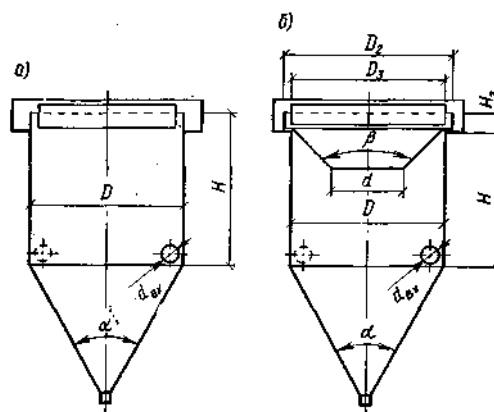


Рисунок 9.2 – Відкритий гідроциклон:

a – без внутрішніх пристроїв; b – з конічною діафрагмою

Гідроциклони з конічною діафрагмою призначені для видалення зі стічних вод дрібнодисперсних домішок гідравлічною крупністю більше за 0,2–0,3 мм/с. Їх доцільно застосовувати для обробки невеликих витрат води (до 200 м³/год). Значення коефіцієнта $K = 1,98$.

Головним недоліком відкритих гідроциклонів є небезпека забивання шламових отворів, що істотно ускладнює експлуатацію. Як можливі шляхи виключення цього явища можна відзначити: елемент скребкового пристрою, який приводиться в дію за допомогою електропривода; видалення осаду з гідроциклона за допомогою шламових насосів. Ці рішення дозволяють не тільки виключити забивання шламових отворів, але й зменшити кількість шламової пульпи, що видаляється з апарата і відповідно дозволяє збільшити концентрацію твердої речовини.

Інтенсифікація процесу очистки в гідроциклонах може бути досягнута при використанні принципу тонкошарового відстоювання шляхом влаштування в гідроциклонах декількох ярусів.

Окремою групою очисних апаратів є гідроциклони-флокулятори, у яких сполучені конструктивні елементи відкритого гідроциклона й радіального відстійника. Відмінною рисою цих агрегатів є відсутність високої конусної частини, днище виконується з невеликим ухилом до розташованого в центрі зумпфу. Шлам віддаляється за допомогою скребкової ферми із центральним приводом.

Відмінною рисою флокулятора є тангенціальна подача води, за рахунок чого в апараті створюється обертовий рух води, а також розосереджений збір і відвід очищеної води.

Флокулятор складається із циліндричного корпусу із плоским дном, тангенціальних патрубків для підведення забрудненої води, діафрагми з лотком для збору проясненої води. Також передбачений циліндричний водозлив, лоток для збору проясненої води й відвідний трубопровід. Підведення води в апарат передбачається тангенціальними патрубками в розподільну камеру, утворену між корпусом і перфорованою перегородкою, вона ж є камерою флокуляції. В

умовах повільного обертально-поступального руху води, що має місце в камері флокуляції, при оптимальних параметрах процесу відбувається укрупнення зважених часток і зростає швидкість їхнього осадження. Укрупненню часток сприяє спільна дія градієнтної і гравітаційної коагуляції.

Завислі частинки осаджуються на дно флокулятора й потім видаляються за допомогою скребкової ферми в прямок апарата, звідки осад видаляється шламовими насосами на подальшу обробку. Прояснена вода піднімається нагору апарата й через отвір у діафрагмі й переливається в кільцевий водозбірний лоток.

Флокулятор призначений для очищення стічних вод як із застосуванням реагентів для коагуляції й флокуляції, так і без них. Як коагулянт, можуть бути використані хлорне й сірчанокиисле залізо, сірчанокислий алюміній й ін., як флокулянт – використовують ПАА.

Установлено, що у флокуляторі із плоскою діафрагмою й розосередженим випуском води найкращі результати прояснення води виходять при навантаженні $10\text{--}11 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$.

9.3 Сучасні споруди для очистки промислових стічних вод

Для поліпшення роботи відстійників застосовують коагулянти і флокулянти, збільшують рівномірність подачі води, влаштовують усереднювачі.

При використанні реагентів показник продуктивності збільшується в 3–4 рази. Проте слід зазначити і недоліки реагентного освітлення. Введення коагулянту в стічну воду, що очищають, призводить до зміни характеру осаду (він стає менш щільним) і до збільшення його кількості за обсягом. Відстійники, що експлуатуються, не призначені для роботи в таких умовах, потрібне їх устаткування новими системами видалення осаду.

З урахуванням зазначеного вище НВФ «Еко-Проект» розробила нову конструкцію відстійника-флокулятора для очищення стічних вод від завислих речовин і нафтопродуктів. Апарат відрізняється високою питомою

продуктивністю, що в 2,5–3,5 рази вище, ніж у звичайного вертикального відстійника.

Особливості відстійника-флокулятора:

- невеликі габаритні розміри унаслідок високих питомих гідравлічних навантажень – до $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, що наближається по цьому показнику до флотаційних апаратів, але при значно менших енерговитратах. Так, апарат технологічним діаметром 10 м являє собою звичайний радіальний відстійник діаметром 30 м, що дозволяє знизити вартість відстійних споруд порівняно з аналогами в 2–2,5 рази навіть при розміщенні відстійника-флокулятора в будівлі. Останнє принципово покращує умови експлуатації і ремонту, а також надійність роботи;

- можливість застосування як в реагентних, так і в безреагентних схемах очищення води;

- проведення процесів коагуляції, флокуляції та осадження домішок води в гідродинамічних режимах, близьких до оптимальних, що забезпечує високу ефективність очищення води;

- висока стійкість процесу очищення при змінах витрати, концентрації домішок і температурі води;

- можливість оперативного ручного, а при необхідності – автоматизованого корегування гідродинамічного режиму роботи апарату при зміні умов очищення води;

- процеси постійного або періодичного відкачування осаду і видалення спливаючих нафтопродуктів механізовані і здійснюються в автоматичному режимі;

- апарати виготовляють з металу і поставляють транспортними вузлами, що дозволяє змонтувати їх на майданчику і запустити в роботу за 2–3 місяці.

Відстійник-флокулятор (рис. 9.3) має зони флокуляції (утворення пластівців), відстоювання і накопичення осаду. Зона флокуляції є камерою, в якій за рахунок енергії струменя води, що подається через сопла, здійснюється регульоване перемішування, сприяюче укрупненню частинок завислих

речовин. Зона відстоювання складається з однієї камери, заповненої тонкошаровими елементами (для уловлювання осідаючих або спливаючих речовин), або з двох камер (для виділення одночасно присутніх осідаючих і спливаючих речовин).

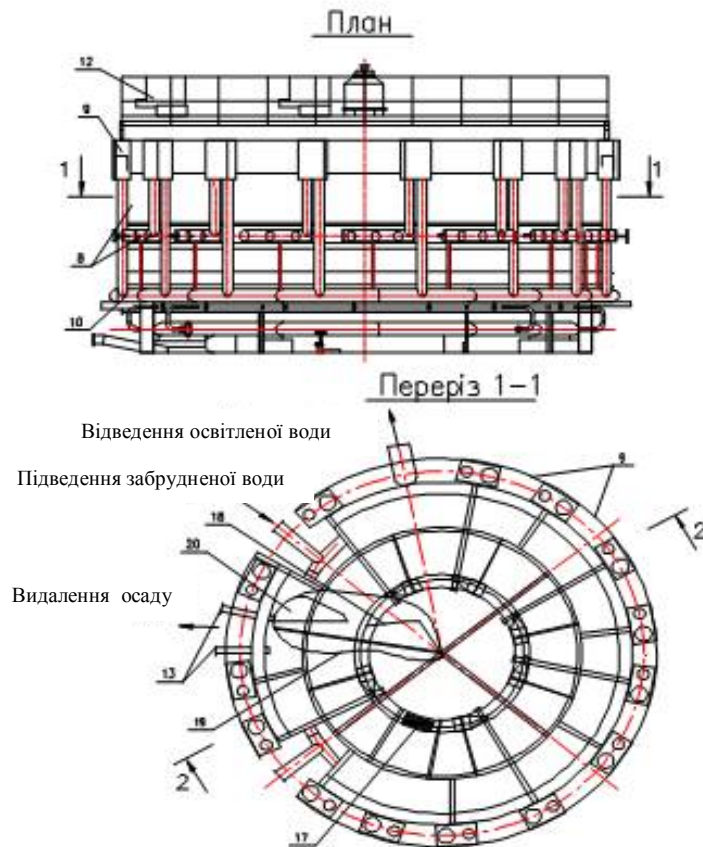


Рисунок 9.3 – Відстійник-флокулятор:

- 1 – підвідний колектор; 2 – сопла; 3 – камера флокуляції; 4 – кільцевий лоток; 5 – протиточний сепаратор; 6 – прямоточний сепаратор; 7 – осадочна частина; 8 – патрубки відвідного колектору; 9 – приймальний карман проясненої води; 10 – відвідний колектор; 11 – скребковий механізм; 12 – масло збірний пристрій; 13 – патрубки видалення осаду; 14 – трубопроводи видалення осаду; 15 – колектор збору осаду; 16 – вал скребкового механізму; 17 – перепускний клапан; 18 – нерухомий екран; 19 – скребок; 20 – піддон; 21 – зливний патрубок

Зона накопичення осаду розташована в нижній частині корпусу і передбачає первинне гравітаційне згущування осаду.

Відстійник-флокулятор обладнаний скребковим механізмом для згрібання і видалення осаду і пристроєм для видалення спливаючих речовин.

Видалення зі стічної води суспензії і нафтопродуктів складає 80–85 %.

Основними технологічними параметрами відстійників-флокуляторів, що визначають їх ефективність і розміри, є: продуктивність; гідравлічна крупність осідаючих і спливаючих домішок; тривалість флокуляції утворення пластівців); середній градієнт перемішування при флокуляції (утворенні пластівців).

В усіх апаратах передбачено можливість регулювання середнього градієнта швидкості перемішування при флокуляції в межах $20\text{--}70\text{ с}^{-1}$ за рахунок зміни числа сопел, що подають воду.

Відстійники-флокулятори можуть бути додатково обладнані системою контролю й управління, що забезпечує стабільність технологічного режиму роботи, вимірювання і сигналізацію основних режимних параметрів, автоматичне блокування при виникненні аварійних ситуацій.

На даний час на підприємствах Росії і країнах СНД працюють відстійників-флокуляторів. Невелика енергоємність, компактність, простота експлуатації, повна автоматизація процесу очищення води в схемах з використанням відстійників-флокуляторів забезпечують високі техніко-економічні показники в порівнянні з фільтруванням, флотацією та іншими процесами водопідготовки.

Для глибшого очищення води перед відстійниками-флокуляторами вводять реагенти. При дозуванні катіонного флокулянта Praestol перед відстійниками-флокуляторами системи оборотного водопостачання виробництва гарячого плющення вміст суспензії нафтопродуктів у очищеній воді складає відповідно 20 мг/л і 5 мг/л, а при обробці двома реагентами – «Екозоль-401» і «Praestol» – залишкова концентрація суспензії і нафтопродуктів знижується до 10 мг/л і 5 мг/л. При подальшому фільтруванні освітленої води через механічні фільтри з піщаним завантаженням

концентрація даних компонентів може бути понижена до величин менше 1,0 мг/л і 0,1 мг/л.

Приведені приклади показують можливість створення компактних очисних споруд на базі відстійників-флокуляторів для систем оборотного водопостачання, що забезпечують практично будь-яку якість води, що подають споживачам.

9.4 Фільтрування води

При підвищених вимогах технології до якості води та наявності в стічних водах великої кількості дрібнодисперсних часток відстоювання може виявитися недостатнім для очистки зворотної води, особливо, якщо його здійснюють без застосування коагулянтів. У таких випадках виникає необхідність у додатковій стадії очистки всієї або частини оборотної води.

За величиною швидкості фільтрування фільтри, що застосовують для прояснення стічної і зворотної води є швидкі, що працюють зі швидкістю 6-10 м/год, і надшвидкісні, що працюють зі швидкістю від 20 до 80 м/год.

Найбільш широко застосовують такі фільтруючі матеріали, як кварцовий пісок, подрібнений антрацит, мармур, керамічна крихта, доломіт, магнетит та ін. Останніми роками широкого поширення отримали керамзит, пористі матеріали (полістирол, поліуретан). Окрім зернистих матеріалів фільтрувати воду можна через різні металеві сітки, перегородки.

Найбільше поширення одержали двошарові фільтри. Як матеріал верхніх фільтруючих шарів використовується антрацит ($d_3 = 0,8-1,1$ мм), керамзит, полістирол, для нижніх шарів – пісок ($d_3 = 0,4-0,5$ мм), граніт, магнетит і ін.

Напірні фільтри являють собою закриті резервуари циліндричної форми, що можуть витримувати значний тиск (рис. 9.4).

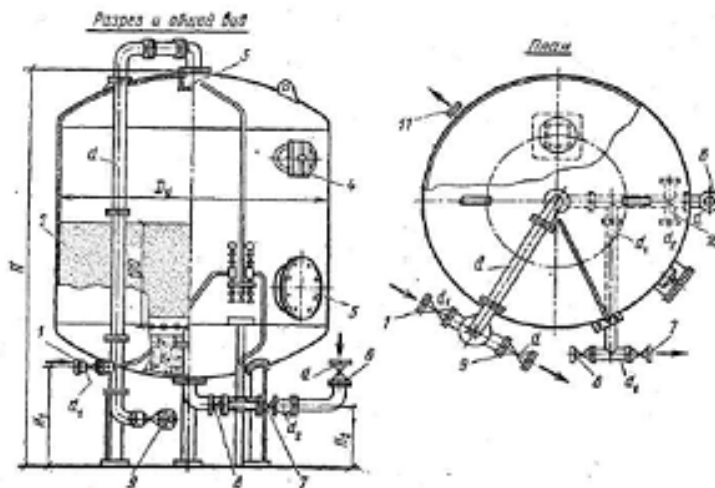


Рисунок 9.4 – Напірний вертикальний фільтр із зернистим завантаженням:

1 – подача води на очищення; 2 – фільтруючий шар із зернистого завантаження; 3 – верхній розподільний пристрій; 4 – контрольний еліптичний лаз; 5 – круглий лаз; 6 – підведення промивної води; 7 – відведення першого фільтрату; 8 – відведення очищеної води; 9 – відведення промивної води; 10 – підведення стислого повітря; 11 – штуцер для гідравлічного вивантаження і завантаження фільтру

Швидкість фільтрування води становить 10 м/год і більше (до 25 м/год), брудоемкість багат шарових фільтрів вище у 2–4 рази, а тривалість фільтроциклу – у 2–3 рази, ніж одношарових фільтрів.

Основні елементи напірних фільтрів такі самі, як в безнапірних фільтрах – фільтрувальне завантаження і підтримуючі шари, дренажна система, призначена для відведення проясненої води і подачі промивної води, розподільним пристроєм для стислого повітря та т.п. Фільтри розраховують на тиск 0,4–0,6 МПа.

Напірні фільтри мають напрямом фільтрування зверху вниз, швидкість фільтрування 5–12 м/год, а тривалість фільтроциклу 12–48 год залежно від якості стічних вод. Залишковий вміст у воді нафтопродуктів допускається 7–20 мг/л (початковий вміст 40–80 мг/л), механічних домішок – 10–20 мг/л (початковий вміст 30–60 мг/л).

Фільтри промивають через дренажну систему знизу нагору. При крупності частинок піску 0,6–0,8 мм інтенсивність промивання приймають 10–12 л/(м²·с), а при крупності 1–1,2 мм – 14–16 л/(м²·с). Тривалість промивки становить 10–20 хв.

Розрахунок фільтрів і їх комунікацій здійснюють на нормальний та форсований режими роботи. При форсованому режимі швидкість фільтрування приймають на 20–25 % більше, ніж при нормальному режимі.

У системах зворотного водопостачання для великих витрат застосовують надшвидкісні фільтри, які завантажуються кварцовим піском з крупністю зерен 1,8–2 мм. Висота завантаження – 0,6 м. Діаметр корпусу фільтра – 2 м. Камери промиваються поперемінно, автоматично за заданим режимом пристроєм, який обертається і що змонтований на кришці фільтра. Швидкість фільтрування за проектом – біля 50 м/год. Фільтр призначено для очистки стічних вод прокатного виробництва, що містять окалину і масла. Продуктивність його відносно невелика – 150 м³/год.

Напірний сітчастий фільтр з автоматичним промивним пристроєм ВСФ-2000 (рис. 9.5). Фільтруючим елементом є сітка з проволоки діаметром 0,25–0,12 мм. Сітки відрізняються за розміром, матеріалом і способом плетіння. Принцип роботи: вода, що очищається, подається у дві камери, розташовані зверху і знизу, а відводиться через патрубок, розташований у середній частині корпусу. Камери розділені між собою перегородками, які складаються з трьох шарів – фільтруючої металеві сітки, з двох боків затиснутої дірчастими плитами. Вода фільтрується через цю металеву сітку. Тиск у верхній і нижній камерах складає близько 5 атм., а в центральній камері – близько 4 атм. Забруднення, що утворилися на поверхні сіток видаляються за допомогою пристрою, що обертається, порожнина якого сполучається з атмосферою через патрубок (6) і центральну трубу. Пристрій, що обертається, за допомогою притискного механізму щільно прилягає до дірчастих плит (9).

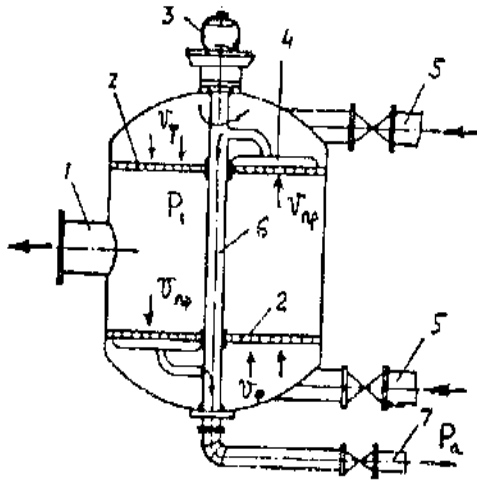


Рисунок 9.5– Високошвидкісний сітчастий фільтр ВСФ-2000:

1 – відведення очищеної води;

2 – фільтруючі елементи;

3 – електродвигун для переміщення коробів, що обертаються; 4 – короб, що обертається;

5 – подача стічних вод;

6 – полий вал; 7 – відведення промивної води

Промивка фільтра здійснюється механізмом з частотою обертання 2,3 об/хв, що розташований на кришці фільтра. На валу механізму закріплено вертикальну трубу, до якої прикріплені дві промивні камери, через які промивна вода відводиться по вертикальній трубі за межі фільтра. Сітки можуть промиватися безперервно або циклічно за заданою програмою.

Продуктивність фільтра – $2\,000\text{ м}^3/\text{год}$. Фільтр затримує завислі речовини крупністю $0,01\text{ мм}$ і більше при швидкості фільтрування $60\text{--}70\text{ м}/\text{год}$. Втрати напору при безперервній промивці сіток складають $0,3\text{--}0,5\text{ кгс}/\text{см}^2$. Ефект очистки залежить від вихідної концентрації і дисперсного складу забруднюючих речовин, розмірів комірок фільтруючої сітки та швидкості фільтрування.

Каркасно-засипний фільтр (КЗФ) є різновидом фільтрів, у яких використовується принцип фільтрування в напрямку зменшення крупності зерен завантаження. За конструкцією КЗФ подібний до звичайного фільтра з фільтруванням води згори вниз і верхнім відведенням промивної води.

У КЗФ на підтримуючий гравійний шар спочатку вкладають шар гравію крупністю $40\text{--}60\text{ мм}$ товщиною $1,8\text{ м}$ – так званий «каркас», який на висоту $0,9\text{ м}$ засипають піском крупністю зерен $0,8\text{--}1\text{ мм}$.

Таким чином, КЗФ – це фактично двошаровий фільтр, верхній гравійний шар якого затримує найкрупніші частинки (приблизно $20\text{--}40\%$ загальної кількості), а нижній – гравійно-піщаний, – інші частинки, що залишились у

воді. Завдяки цьому КЗФ має більшу брудоемкість, ніж фільтри інших конструкцій, і барабанні сітки перед ним не встановлюють.

Конструкція каркасно-засипного фільтра (рис. 9.6) аналогічна конструкції звичайного швидкого фільтра зі спадним рухом води й нижнім відводом промивної води.

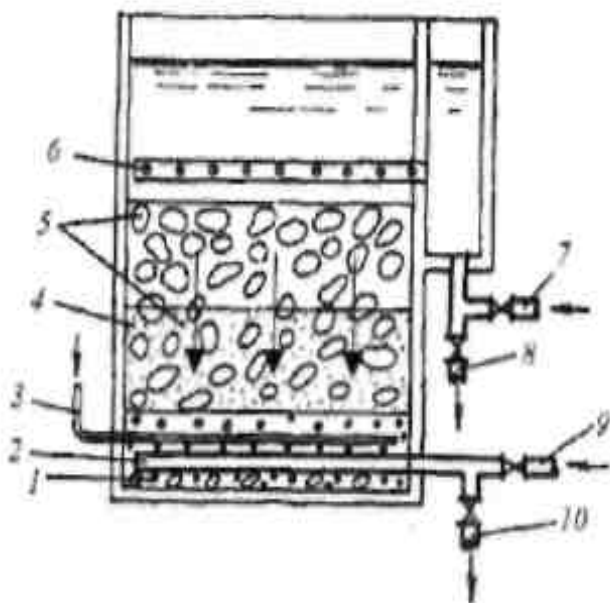


Рисунок 9.6 – Схема каркасно-засипного фільтра:

- 1 – підтримуючий шар з гравію;
- 2 – розподільна система для води;
- 3 – подача повітря при промивці; 4 – піщана засипка; 5 – гравійний каркас; 6 – трубочаста система для подачі вихідної та відведення фільтрованої води; 7 – подача вихідної води; 8 – відвід промивної води; 9 – подача промивної води; 10 – відвід фільтрованої води

Подача води здійснюється по системі жолобів. Дренажна система представлена у вигляді дірчастих труб з підтримуючими гравійними шарами. На підтримуючий гравійний шар завантажують гравій і пісок. Пісок заповнює міжпоровий простір гравійного каркаса. Замість гравію можна застосовувати щебінь, а замість піску шлак, керамзит, мармурову крихту, антрацит. Перевагами каркасно-засипного фільтра є висока якість фільтрату, підвищена брудоемкість завантаження.

Завантаження фільтра виконується у вигляді каркаса із гравію або щебенів і засипки із дрібнозернистого матеріалу, що заповнює частину порового простору каркаса. Як матеріал засипки використовують пісок, антрацит, мармурову крихту, керамзит, гранульований доменні шлаки.

При розрахунку КЗФ приймають: швидкість фільтрування – 10 м/с, тривалість фільтроциклу – 20 год, висоту шару води над піщаним

завантаженням – біля 2 м, втрати напору в завантаженні до кінця фільтроциклу – до 3–3,5 м. За початкових концентрацій в доочищуваних стічних водах завислих речовин до 20 мг/л, БПК_{повн} – до 15–20 і ПАР – до 2,5 мг/л, КЗФ забезпечує зменшення їх концентрацій відповідно на 70–80 %, 70 і 80 %. Промивка КЗФ може бути як водяною, так і водоповітряною.

Питання для самоперевірки

1. Переваги й недоліки горизонтальних відстійників.
2. Чим обумовлено створення спеціальних конструкцій відстійників для очистки виробничих стічних вод?
3. Типи гідроциклонів. Конструктивні особливості.
4. Призначення та принцип дії відкритих гідроциклонів.
5. Конструктивні особливості і принцип роботи флокулятора.

10 ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД ВІД СУСПЕНЗІЙ І РОЗЧИНЕНИХ ХІМІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ

План

1. Основне обладнання для очищення стічних вод, забруднених суспензіями й солями важких металів, розроблене в ДП «УкрНТЦ «Енергосталь».
2. Зниження вмісту цинку у зворотній воді систем газоочисток доменного виробництва.

10.1 Основне обладнання для очищення стічних вод, забруднених суспензіями й солями важких металів, розроблене в ДП УкрНТЦ «Енергосталь»

Одним із головних елементів систем зворотного водопостачання є установки й споруди для очищення стічних вод. Вони забезпечують ефективне видалення завислих часток і розчинених сполук, що надходять пізніше на перероблення й утилізацію, повернення очищеної води в основне виробництво,

а також створюють необхідні умови для проходження й завершення різних хімічних реакцій у рідкій фазі.

Це сприяє підвищенню стабільності води, що особливо важливо для створення оборотного водопостачання без скидання стічних вод у водойми, хвостосховища й шламонакопичувачі.

ДП УкрНТЦ «Енергосталь» проектує системи очищення стічних вод від розчинених сполук важких і рідкісних металів (далі – ВРМ), завислих речовин, масел і нафтопродуктів, виготовляє та поставляє необхідне обладнання для будівництва таких систем.

Нижче наведено короткий огляд основного технологічного обладнання, застосовуваного для очищення стічних вод, розглядаються конструкції сучасних апаратів і споруд для очищення стічних вод, розроблених ДП УкрНТЦ «Енергосталь», в яких найкращим чином реалізовано флокуляційні властивості завислих речовин. Врахування флокуляційних властивостей завислих речовин дає змогу значно збільшити продуктивність споруд та апаратів, що призначені для прояснення води.

Радіальний відстійник з камерою флокуляції розроблені для очищення води у зворотних циклах водопостачання машинобудівних і металургійних заводів: гальванічних цехів, газоочисток аглофабрик, доменних печей, конвертерів і станів гарячої прокатки.

Конструкція відстійника відрізняється наявністю убудованої камери флокуляції, що дає змогу підвищити питоме гідравлічне навантаження на відстійник у 1,5–2 рази порівняно з відстійниками інших відомих типів.

Відстійники з камерою флокуляції впроваджені на багатьох металургійних підприємствах України («Арселор Міттал Кривий Ріг» тощо).

Радіальні відстійники з камерою флокуляції також широко використовуються для очищення стічних вод в інших галузях промисловості.

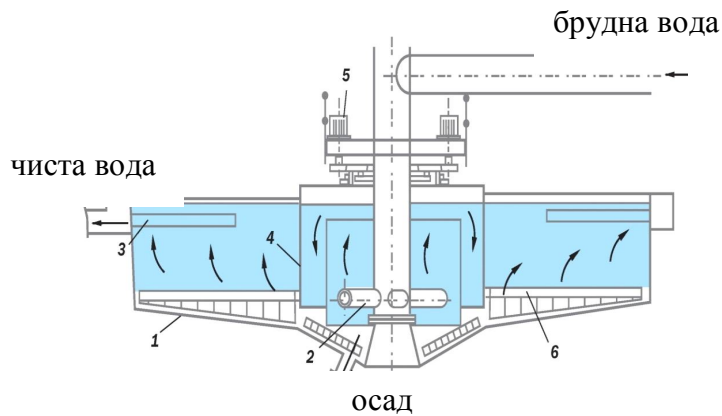


Рисунок 10.1 – Радіальний відстійник із камерою флокуляції:

1 – корпус; 2 – підведення забрудненої води; 3 – водозбірна система; 4 – камера флокуляції; 5 – електропривід; 6 – шкребоквий устрій; 7 – патрубок відведення осаду

Відкриті гідроциклони

Відкриті гідроциклони особливо ефективні в тому разі, коли завислі речовини мають схильність до флокуляції – природної або створеної шляхом додавання у воду хімічних реагентів (коагулянтів і флокулянтів).

Через інтенсивну градієнту флокуляцію, що спостерігається у відкритих гідроциклонах, питоме гідравлічне навантаження на них у 3–3,5 рази перевищує навантаження на радіальні відстійники.

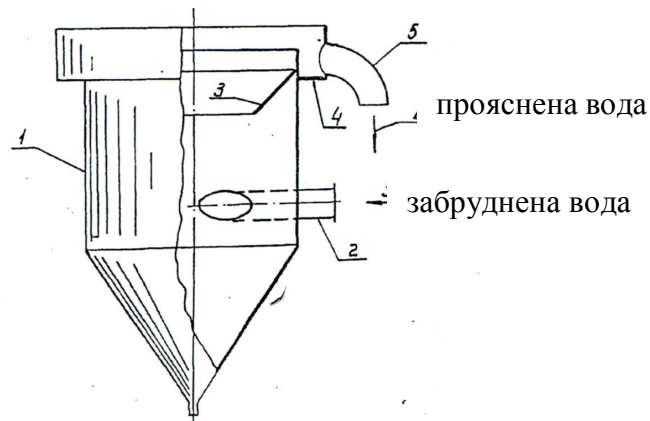


Рисунок 10.3 – Відкритий гідроциклон:

1 – корпус; 2 – тангенціальні підводи води; 3 – діафрагма; 4 – водозбірний лоток; 5 – зливна труба

Для більш надійнішого видалення осаду відкриті гідроциклони обладнані шкребковими вивантажувальними пристроями. Відкриті гідроциклони встановлені у зворотних циклах водопостачання на машинобудівних заводах і металургійних комбінатах «Запоріжсталь», «Дніпроспецсталь».

Флокулятори для очищення стічних вод

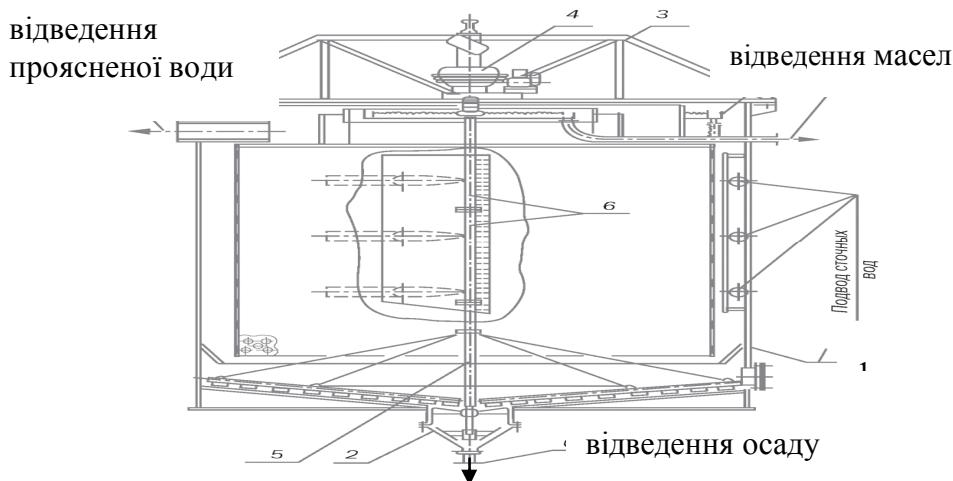


Рисунок 10.2 – Флокулятор:

- 1 – корпус флокулятора; 2 – приймач згущеного осаду; 3 – міст;
 4 – електропривід; 5 – вивантажувальний пристрій;
 6 – вал проміжний; 7 – маслзбірний пристрій

ДП «УкрНТЦ «Енергосталь» розроблено кілька конструкцій гідроциклонів-флокуляторів. На рисунку 10.4, а представлений флокулятор з розподільною камерою. Підведення води в нього передбачається тангенціальними патрубками в розподільну камеру, утворену між корпусом і перфорованою перегородкою. Вона ж є камерою флокуляції.

Ярусний флокулятор (рис. 10.4, б) також обладнаний перфорованою перегородкою, що утворює камеру флокуляції. У ньому передбачені проміжні діафрагми, які створюють додаткові яруси, що збільшує площу відстоювання.

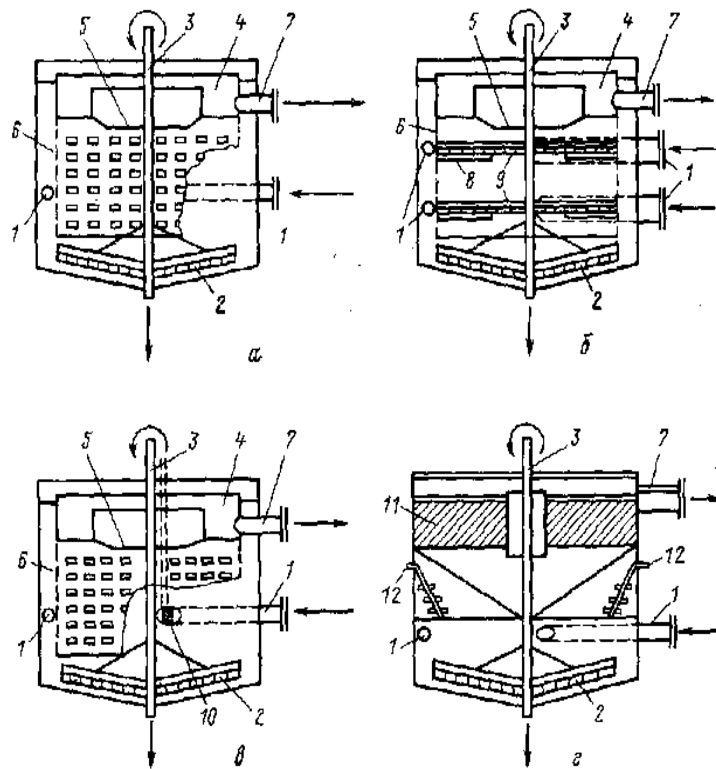


Рисунок 10.4 – Схеми флокуляторів:

а – флокулятор з розподільною камерою; б – ярусний флокулятор;
 в – флокулятор з пристроєм для регулювання швидкості; г – тонкошаровий флокулятор;

1 – тангенційний патрубков; 2 – ферма; 3 – вал; 4 – лоток; 5 – діафрагма;

6 – перфорована перегородка; 7 – відвідний патрубков; 8 – проміжні діафрагми;

9 – додаткові ферми; 10 – пристрій для регулювання швидкості потоку;

11 – тонкошарові модулі; 12 – труби із соплами для змиву осаду

Модифікацією флокулятора з розподільною камерою є апарат із пристроєм для коректування швидкості потоку (рис. 10.4, в), розташованим у корпусі на виході тангенціальних патрубків. Цей пристрій передбачає нерівномірний перетік забрудненої води в зону відстоювання, сприяє рівномірному розподілу води в повному обсязі флокулятора, що підвищує ефективність очищення.

Поряд з використанням природної схильності зважених речовин до флокуляції, для інтенсифікації процесу флокуляції в очищувану воду додають

коагулянти й флокулянти. Наприклад, при очищенні стічних вод газоочистки кисневого конвертера з початковим вмістом механічних домішок 20–30 г/л і із застосуванням поліакриламідів дозою 1 мг/л залишкова концентрація зважених речовин до 300 мг/л досягається в без'ярусних флокуляторах при питомих гідравлічних навантаженнях 6,5–8,0, а в ярусних флокуляторах – 9,0 м³/(м²·год).

На підставі вищезгаданих очисних апаратів розроблений тонкошаровий флокулятор (рис. 10.4, з). У цьому апараті поєднано безперервне механізоване збирання шламу за допомогою обертової скребкової ферми з максимальним ступенем заповнення поперечного перерізу апарата пластинчастими тонкошаровими модулями. Верхня прямокутна частина сполучається з нижньою циліндричною частиною чотирма конічними поверхнями, осад з яких змивається водою, що подається через щілинні сопла.

Фільтрування води

У разі підвищених вимог технології до якості води та наявності в стічних водах великої кількості дрібнодисперсних частинок відстоювання може виявитися недостатнім для очищення зворотної води, особливо, якщо його здійснюють без застосування коагулянтів. У таких випадках виникає необхідність у додатковій стадії очищення всієї або частини зворотної води.

Напірні фільтри з двошаровим антрацитом-кварцовим завантаженням

Напірні фільтри призначені для очищення промислових стічних вод від завислих речовин і масел (рис. 10.5).

Сфера застосування:

- очищення промислових стічних вод від забруднювальних речовин основних металургійних переділів підприємств чорної металургії з метою повернення очищеної технічної води в умовно-чисті зворотні цикли або використання для потреб споживачів, що вимагають для свого функціонування воду підвищеної якості;

- очищення промислових стічних вод на підприємствах машинобудування, промислової енергетики, нафтохімічній та інших галузях, де формуються промислові стічні води, що містять механічні домішки й масла.

Технічні характеристики фільтра

Швидкість фільтрування 30–50 м/год, при цьому фільтри забезпечують зниження концентрації завислих речовин у воді зі 100–150 мг/л до 10–20 мг/л, масел зі 100 мг/л до 20–40 мг/л, тривалість фільтроциклу – 24 год, промивка водоповітряною сумішшю – 30 хв.

Продуктивність: для фільтрів діаметром 3,4 м – до 360 м³/год; діаметром 3,0 м – до 280 м³/год; діаметром 2,0 м – до 120 м³/год.

Робочий тиск, МПа – до 0,6.

Фільтруюче завантаження – кварцовий пісок і антрацит.

Концентрація забруднень у вихідній стічній воді: завислих речовин – до 150 мг/дм³; масел – до 100 мг/дм³.

Концентрація забруднень в фільтраті: завислих речовин – до 20–30 мг/дм³; масел – до 25 мг/дм³.

Ефективність очищення: від завислих речовин – 90 %; від масел – 75 %

Габаритні розміри, м: – діаметр – 2–4; висота – до 6.

Відмінні особливості цих фільтрів, порівняно з відомими:

1. Велика товщина шарів завантаження (антрацит – 1,1 м, кварцовий пісок – 1,1 м) і велика крупність зерен (кварцовий пісок – 1,5– 2,4 мм, антрацит – 3–6 мм). Це дає можливість збільшити швидкість фільтрування до 30–50 м/год. При цьому якість одержаної води дозволяє використовувати її у технічних цілях.

2. Висока брудоемність.

3. Збільшення тривалості фільтроциклу в 2–3 рази.

У конструкції фільтра використано оригінальні технічні рішення, зокрема вдосконалений ковпачковий дренаж із неіржавної сталі.

Склад фільтрувального завантаження, продуктивність, режим регенерації залежать від складу стічних вод.

Фільтрувальна станція з використанням фільтрів конструкції ДП УкрНТЦ «Енергосталь» займає порівняно невелику площу, відрізняється надійністю і зручністю в експлуатації, може працювати в автоматичному режимі свіжої технічної води.

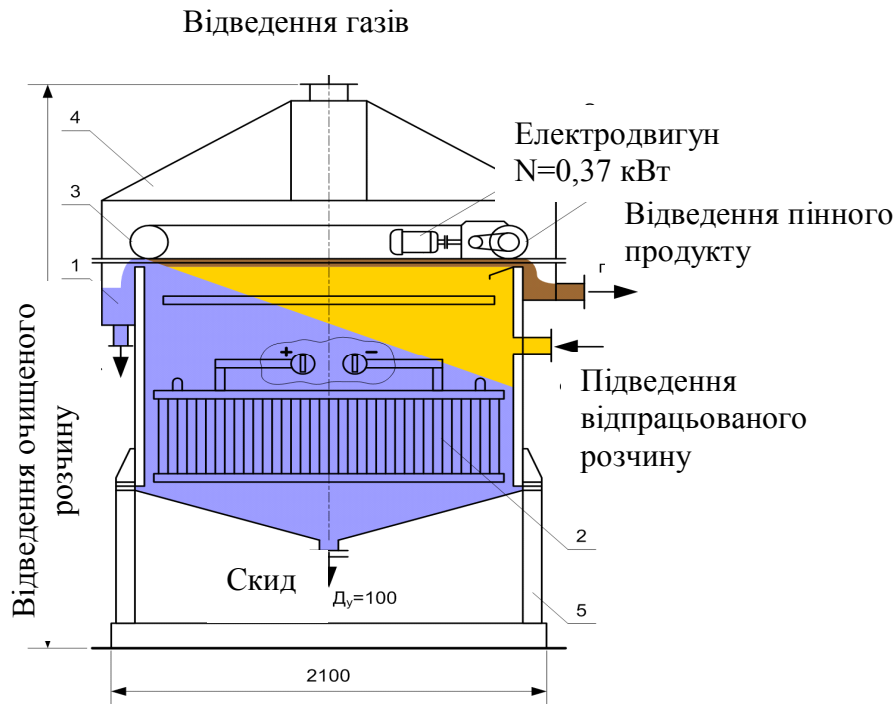
Напірні антрацито-кварцові фільтри, розроблені ДП УкрНТЦ «Енергосталь», встановлені в зворотних циклах прокатних станів і МНЛЗ на металургійних комбінатах України (ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча», м. Маріуполь, ВАТ «Запоріжсталь», м. Запоріжжя), м. Новотроїцьк, «Новоліпецький металургійний комбінат», м. Ліпецьк) і на деяких закордонних об'єктах у Нігерії, Алжирі, Туреччині.

Одночасно з розвитком і удосконалюванням методів відстоювання і фільтрування низкою науково-дослідних організацій як у нашій країні, так і за кордоном розробляються інші фізичні й фізико-хімічні методи очищення і доочищення стічних вод, що містять тверді домішки, олії та нафтопродукти. До них належать: магнітна обробка, використання ультразвуку, електромеханічні методи (електрокоагуляція, електрофлотація), а також флотаційні. З перерахованих вище методів у чорній металургії найбільш поширене використання набув метод напірної флотації.

Електрофлотаторна установка

Електрофлотатори призначені для очищення знежирювальних та мийних розчинів від механічних домішок і масел із метою їхнього повторного використання й скорочення скидання забруднених розчинів у навколишнє природне середовище. Основним вузлом електрофлотаційної установки є електрофлотатор (рис. 10.6).

Суть процесу електрофлотаційного очищення розчинів від суспензій полягає в утворенні при електролізі на катоді пухирців водню, які, спливаючи, захоплюють на поверхню забруднювальні речовини, що втримуються в рідкій фазі.



1 – ванна; 2 – блок електродів; 3 – пінознімач; 4 – зонт витяжний; 5 – рама

Технічні характеристики: ємкість – 0,6 м³; середовище – масло-окалиновмісні стічні води; температура води – до 100 °С; напруга на електроді – до 24 В; сила струму – до 2 000 А.

Підбиваючи підсумки викладеного, слід зазначити, що на сьогодні відомо багато різних методів і конструкцій, апаратів і споруд для освітлення стічних вод від механічних домішок і масел. На сучасному етапі можна виділити такі основні напрями, що характеризують розвиток техніки очищення стічних вод:

1. Відділення процесу коагуляції від процесу відстоювання з влаштуванням у відстійниках камер флокуляції різноманітних конструкцій.
2. Удосконалення конструкцій камер флокуляції, що полягає зокрема, в улаштуванні тангенціального підведення води на очищення.
3. Улаштування розосередженого відбору проясненої у відстійниках води.
4. Створення багаторушних відстійників і відстоювання в тонкому шарі.

5. Інтенсифікація очищення стічних вод за допомогою різних коагулянтів, флокулянтів і їх поєднань.

6. Тонке очищення стічних вод від механічних домішок на фільтрах різних конструкцій.

У разі переведення систем зворотного водопостачання на замкнений режим роботи найперспективнішим методом очищення, а в деяких випадках і доочищення стічних вод, є відстоювання в апаратах і спорудах, пристосованих для ведення коагуляції і флокуляції, спливання і видалення масел. Цей метод дає змогу надійно очищати значні кількості стічних вод, що досягають 10–30 тис. м³/год. Для доочищення води доцільне використання фільтрів різних конструкцій.

10.2 Зниження вмісту цинку в зворотній воді газоочисток доменного виробництва

Проблема зниження вмісту сполук цинку (Zn) у зворотній воді систем газоочисток доменного виробництва, зокрема Маріупольського металургійного комбінату виникла, оскільки підвищений їхній вміст спричиняє серйозні порушення роботи газовідвідних трактів і всієї системи газоочищення. Сполуки Zn, що виходять із пилегазовою сумішшю з доменних печей, частково осідають у газоходах, спричиняючи утворення «настилів» і заростання газоходів. Наявність їх у газах, що відходять, пов'язана з порівняно високим вмістом Zn у вихідній сировині основного металургійного виробництва.

Для підтримання працездатності газоочисток необхідне проведення регулярних робіт з очищення газоходів. Це потребує періодичної зупинки газоочистного обладнання на окремих ділянках для проведення регламентних робіт і великих трудовитрат. Отже, витяг сполук Zn з оборотної води систем газоочисток розглядається як метод усунення зазначених недоліків та як перспективний спосіб одержання коштовної вторинної Zn-утримуючої сировини.

Нині фахівці України приділяють досить серйозну увагу проблемам техногенних родовищ важких металів, створенню технологій переробки шламів чорної металургії, що містять – Zn і Fe.

Шлами й пил газоочисток і гідрозбирання в агломераційному, доменному, сталеплавильному й прокатному виробництвах чорної металургії можуть слугувати коштовною вторинною сировиною для основного виробництва й інших галузей промисловості.

Досить актуальна проблема утилізації сполук, що містять Zn, Pb, Fe зі шламів і пилів – крупнотоннажних відходів газоочисток металургійних заводів. Особливу увагу потрібно звернути на можливість економічно вигідного постачання вітчизняної промисловості стратегічно важливими дорогими й дефіцитними сполуками Zn і Pb із техногенних родовищ цих елементів, якими є шламонакопичувачі заводів чорної металургії.

У доменному й сталеплавильному виробництвах як сировину використовують залізорудні окатиші й несортований металолом. Через це в систему газоочищення основних металургійних агрегатів разом зі сполуками Fe надходять сполуки Zn, Pb та інші коштовні компоненти. Оскільки пил і шлами сухих і мокрих газоочисток, що містять 1,5–18 % Zn, до 2 % Pb та 45–57 % Fe, не можуть бути повернуті в основне виробництво через високий вміст сполук Zn і Pb, які руйнують футеровку агрегатів і забивають газоходи відкладеннями, їх направляють у шламонакопичувачі.

Головним джерелом утворення металутримувальних пилів і шламів у доменному виробництві є доменна піч, основна маса пилу з якої виноситься з колошниковими газами. Іншими джерелами утворення є між конусний простір, ділянки випуску чавуну й шлаків на ливарному дворі. Очищення доменного газу здійснюється в трьох послідовно встановлених газоочистних апаратах.

Попереднє очищення здійснюється в сухих радіальних пиловловлювачах, напівтонка – у мокрих форсуночних скруберах, а тонке очищення – у трубах Вентурі й дросельній групі. У процесі роботі доменної печі на підвищеному тиску остаточне очищення здійснюється в дросельній групі.

Контроль концентрації Zn у доменних шламах і його нагромадження в доменній печі дозволяє організувати періодичне (за один цикл) виведення із замкненої системи шламів із підвищеним вмістом Zn. Тривалість циклу залежить від способів зневоднювання й підготовки шламів до утилізації, від місткості складів при усередненні залізородних матеріалів.

Кількість лежалих шламів у кожному зі шламонакопичувачів великих металургійних заводів України становить 2–5 млн т при щорічному додатковому надходженні в кожний із них 150–350 тис. т. Тут зосереджені більші запаси дефіцитних і дорогих компонентів.

Утилізація кошовних компонентів із пилів і шламів металургійного виробництва – актуальне завдання для всіх індустріально розвинених країн миру. Комплексна утилізація сполук Zn, Fe зі ШН металургійних заводів у цих країнах не здійснюється через відсутність промислово випробуваних технологій їхньої переробки.

Витяг у напівпромислових і промислових масштабах Zn, Pb і Fe з пилів і шламів чорної металургії проводиться переважно в Німеччині, Японії та США. Основними способами є модифікації вельц-процесу – високотемпературного вуглетермічного відновлення Me-утримуючої сировини в обертових печах. Такі технології дають змогу одержувати концентрат зі вмістом Zn до 62 %, відрізняються складністю, енергоємністю, високою собівартістю продукту.

Відомий спосіб переробки пилів і шламів систем очищення газів доменних печей, що полягає в мокрій магнітній сепарації матеріалу з подальшим вилуговуванням Zn і Pb із магнітної фракції. Однак через високу дисперсність поділюваного матеріалу виникають проблеми з відстоюванням отриманих суспензій.

Існують пиро- і гідрометалургійні схеми витягу Zn з відходів металургійного виробництва. Однак застосування гідрометалургійного способу, що включає випал сировини, вилуговування, фільтрацію та оборотний цикл, економічно виправдано тільки для підприємств, що вже мають гідрометалургійні виробництва.

У більшості країн СНД такі технології розробляються на рівні дослідницьких робіт і напівпромислових випробувань.

Зворотна вода газоочисток, що циркулює в системі, здатна накопичувати порівняно високі концентрації сполуки Zn через явище деякої розчинності навіть найважче розчинних його сполук. Це пов'язано як із тією обставиною, що оксид й інші сполуки цинку, що втримуються в газах, що відходять, частково розчинні у воді, так і з наявністю в оборотній системі ряду розчинених газів кислотного характеру – насамперед вуглекислого газу CO_2 і сірчистого ангідриду SO_2 , що сприяють підвищенню розчинності сполук цинку шляхом утворення змішаних комплексів.

Як можливі шляхи виділення сполук Zn зі зворотної води висвітлені такі варіанти: осадження нерозчинних сполук цинку, упарювання води й концентрація цинкових сполук в оброблюваному розчині, іонний обмін, флотація малорозчинних сполук (замість осадження), екстракція комплексних сполук розчинниками.

Упарювання води або електрохімічне виділення Zn при настільки низьких концентраціях, які є в оборотній воді, занадто енергоємно, для іонного обміну потрібні установка складного й дорогого обладнання та створення системи елюації Zn, а для флотації й екстракції будуть потрібні рідкі й дорогі реагенти.

Для обслуговування обладнання вище вказаних технологій потрібен численний персонал високої кваліфікації.

Це робить зазначені шляхи нерентабельними, або технологічно малоперспективними для витягу цинку в наявній ситуації. Реальні тільки осаджувальні методи, які на сьогодні можуть бути досить дешеві, щоб використати їх для виділення Zn зі зворотних вод газоочищення доменного виробництва ММК ім. Ілліча. Устаткування для їхньої реалізації досить просто в монтажі й обслуговуванні, надійно в експлуатації та може бути повністю автоматизовано.

Для зв'язування й виділення іонів Zn у вигляді осаду з розчину можна використати низку реагентів-осаджувачів, здатних до утворення

малорозчинних сполук Zn. Їхній вибір визначається низькою розчинністю продуктів реакції та, бажано, відсутністю комплексоутворення з наявними акваіонами Zn або цинкатами-іонами.

Більша частина сполук Zn, що мають досить низьку розчинність, не може бути використана на практиці для виділення малорозчинних сполук Zn в умовах обробки зворотних вод систем газоочищення з екологічних (ціаніди, сульфід) або економічних (іодати, ферриціаніди) міркувань.

Найбільш прийнятні як реагенти-осаджувачі солі й інші сполуки, що сприяють формуванню малорозчинних сполук цинку, і мають невелику вартість. Як перспективні реагенти-осаджувачі розглянуто гідроксиди, карбонати; крім того, якщо перші будуть неефективні у виробничих умовах, можуть бути використані більше дефіцитні фосфати й оксалати.

Існує ще один перспективний реагент-осаджувач для двовалентних іонів – силікат-іон. Хоча точних даних про розчинність силікатів цинку не має, всі вони оцінюються в довідковій літературі як «нерозчинні». Як реагент-осаджувач у цьому разі можна використати широкий спектр доступних технічних продуктів – силікат натрію (натрій кремнекислий, силікат глиба), скло натрієве рідке.

Хоча фосфати й пірофосфати Zn розцінюються як дуже малорозчинні речовини, використання фосфатів, а також оксалатів менш бажано, оскільки через локальне утворення складних змішаних комплексів у нерівноважних умовах реального змішування, у присутності цих реагентів-осаджувачів, а також у присутності наявних у розчині гідроксо-, гідрокарбонат- або гідросульфід-, хлорид- та інших іонів в оборотній воді, можливе формування небажаних більш розчинних комплексів цинку.

Добуток розчинності чистого $Zn(OH)_2$ становить приблизно 10^{-11} , але насправді гідроксид помітно більш розчинний.

За результатами аналітичного дослідження в зворотній воді втримується 0,14–13,0 мг/дм³ розчинних сполук Zn (у перерахуванні на метал). Розчин безпосередньо після очищення має рН = 6,5–7,0. При русі в оборотному циклі, а

особливо при відстоюванні, рН середовища поступово змінюється, досягаючи значень 6,9–8,1. Це пов'язане із процесом видалення з розчину кислотних домішок – вуглекислого й сірчистого газів.

В осаді, що виділяється природним шляхом з оборотної води втримується значна кількість Zn – до 30,6 % (у перерахуванні на метал). Кількість осаду в оборотній воді мінлива й становить 0,1–2,0 г/дм³

Відстоювання цієї фракції Zn-утримувальних малорозчинних сполук відбувається на наявному встаткуванні в діючій системі газоочищення основного металургійного виробництва ММК ім. Ілліча.

Для виділення розчинних форм Zn зі зворотної води систем газоочисток були використані такі перспективні осаджувачі (найбільш дешеві, технологічно й екологічно прийнятні): карбонат натрію, гідроксид кальцію, силікат натрію («розчинне скло»).

Отже, з доступних осаджувачів тільки силікат натрію (або калію) Na_2SiO_3 або K_2SiO_3 , а також змішані технічні продукти – силікати лужних металів типу розчинів силікату-глиби марки АСКН-1 (калієво-натрієва), АСНК-1 (натрієво-калієва) здатні зруйнувати комплексні сполуки Zn і вивести їх в осад з зворотної води.

Для прискорення процесу прояснення зворотної води після введення реагента-осаджувача раціонально застосовувати крім наявних на підприємстві радіальних відстійників, також ефективніші апарати, особливо тонкошарові відстійники.

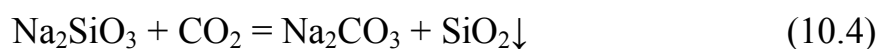
Після завершення утворення осаду зворотна вода має рН = 8–9 через невеликий надлишок силікату натрію, що легко гідролізується, формуючи лужне середовище.

Залишкові кількості силікатів рекомендується видалити за допомогою додаткової нейтралізації зворотної води до рН = 6,5–7,5. Це можна зробити за допомогою дозованого додавання невеликої кількості кислотних агентів, наприклад, сірчано-кислотних відходів травильного відділення, які на сьогодні на підприємствах піддаються нейтралізації вапном. При цьому шляхом

співосаджування з нерозчинною кремнекислотою, що утворюється з розчину видаляються практично всі двовалентні катіони (цинк, кальцій тощо).

Na_2SiO_3 майже так само ефективний, як $\text{Ca}(\text{OH})_2$, але швидкість реакції в цьому разі занадто мала, щоб ефективно використати його в реальних умовах. Отже, як реагент для осадження обраних дешевий, доступний й ефективний Na_2SiO_3 , інші реагенти прийняті як запасні. Невеликі кількості фосфат- або гідрофосфат- іонів можуть бути введені для нейтралізації лужності води після силікатної обробки.

Інший шлях нейтралізації – обробка зворотної води вуглекислим газом. Найбільш економічне повторне оброблення газами, що відходять, які направляють на доочищення:



Очищення зворотної води систем газоочисток доменного виробництва від сполук цинку має сприятливо позначитися на процесі газоочищення шляхом запобігання заростання газоходів сполуками цинку.

Наступний етапом після виділення сполук цинку зі зворотної води – утилізація цінної цинковміщувальної сировини.

Питання для самоперевірки

1. Радіальні відстійники з вбудованою камерою флокуляції, принцип роботи.
2. Конструктивні особливості ярусних флокуляторів.
3. Як впливає підвищений вміст сполук цинку на роботу систем газоочистки доменного виробництва?
4. Можливі шляхи виділення сполук Zn зі зворотної води.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айрапетян Т. С. Водне господарство промислових підприємств : навч. посібник / Т. С. Айрапетян ; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 280 с.
2. Браславский И. И. Проектирование бессточных схем промышленного водоснабжения / И. И. Браславский, В. Д. Семенюк, А. М. Когановский. – Київ : Будівельник, 1977. – 204 с.
3. Аксенов В. И. Водное хозяйство промышленных предприятий : справ. пособие / В. И. Аксенов. – М. : Теплотехник, 2005. – 640 с.
4. Иванов В. Г. Водоснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие / В. Г. Иванов. – СПб : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – 537 с.
5. Красавцев Г. Н. Рациональное использование и защита водных ресурсов в черной металлургии / Г. Н. Красавцев, Ю. И. Ильичев, А. И. Кашуба. – М. : Металлургия, 1989. – 288 с.
6. Защита водоемов от загрязнения сточными водами предприятий черной металлургии / Г. М. Левин, Г. С. Пантелят, И. А. Ванштейн, Ю. М. Супрун. – М. : Металлургия, 1978. – 216 с.
7. Левківський С. С. Рациональне використання і охорона водних ресурсів: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / С. С. Левківський, М. М. Падун. – Київ : Либідь, 2006. – 280 с.
8. Колесников В. А. Экология и ресурсосбережение в электрохимических производствах. Механические и физико-химические методы очистки промывных и сточных вод : учеб. пособие / В. А. Колесников, В. И. Ильин. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2004. – 220 с.
9. Киселева Н. В. Реагентная очистка сточных вод гальванического производства от ионов тяжелых металлов / Н.В. Киселева. – Казань, 1999. – 237 с.

10. Павлов Д. В. Очистка сточных вод гальванического производства : новые решения / Д. В. Павлов, В. А. Колесников // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 6. – С. 66–69.
11. Колесников В. В. Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод / В. В. Колесников, Н. В. Меньшутина. – М. : ДеЛи принт, 2005. – 266 с.
12. Долина Л. Ф. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов : монография / Л. Ф. Долина. – Дніпропетровськ : Континент, 2008. – 254 с.
13. Павлов Д. В. Очистка сточных вод различных производств с применением наилучших доступных технологий / Д. В. Павлов, В. А. Колесников // Чистая вода: проблемы и решения. – 2010. – № 2–3. – С. 50–59.
14. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий / В. А. Колесников, В. И. Ильин, Ю. И. Капустин и др. ; под ред. В. А. Колесникова. – М. : Химия, 2007. – 304 с.
15. Смірнова О. Л. Ресурсозберігаючі електрохімічні виробництва : навчальний посібник / О. Л. Смірнова, С. А. Лещенко. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2019. – 120 с.
16. Касимов А. М. Малоотходные и энергосберегающие технологии в производстве редких и тяжелых цветных металлов / А. М. Касимов. – М. : Metallurgia, 1990. – 112 с.
17. Павлов Д. В. Ресурсосберегающие очистные сооружения промышленных предприятий / Д. В. Павлов, П. Н. Кисиленко, В. А. Колесников // Чистая вода: проблемы и решения. – 2012. – № 3–4. – С. 74–78.
18. Касимов А. М. Управление промышленными отходами : учеб. пособие : в 2 кн. / А. М. Касимов. – Харьков : РИП «Оригинал», 2000. – Кн. 2: Технологии обезвреживания и утилизации промышленных отходов. – 288 с.

19. Березюк В. Г. Очищения сточных вод с применением поверхностно-активных веществ / В. Г. Березюк, О. В. Евтюхова, А. М. Касимов. – М. : Metallurgy, 1996. – 104 с.
20. Гольман А. М. Ионная флотация / А. М. Гольман. – М. : Недра, 1982. – 142 с.
21. Касимов А. М. Разработка способов очистки металлсодержащих сливных вод с использованием химически активных реагентов / А. М. Касимов, О. В. Голощапов // Вестник НТУ «ХПИ». – 2004. – Вып. 37. – С. 122–129.
22. Промышленные отходы. Проблемы и решения. Технологии и оборудование : учебное пособие / [А. М. Касимов, В. Т. Семенов, А. А. Романовский] ; под ред. А. М. Касимова. – Харьков : ХНАГХ. – 2007. – 436 с.
23. Современные проблемы и решения в системе управления опасными отходами: учебное пособие / [А. М. Касимов, В. Т. Семенов, Н. Г. Щербань, В. В. Мясоедов] ; под ред. А. М. Касимова. – Харьков : ХНАГХ, 2008. – 510 с.
24. Управление опасными отходами : монография. [А. М. Касимов, Л. Л. Товажнянский, В. И. Тошинский, Д. В. Сталинский] ; под ред. А. М. Касимова. – Харьков : Изд. Дом НТУ «ХПИ». – 2009. – 500 с.
25. Семиноженко В. П. Промышленные отходы : проблемы и решения : монография / В. П. Семиноженко, Д. В. Сталинский, А. М. Касимов. – Харьков : Индустрия, 2011. – 544 с.
26. Касимов А. М. Основные мероприятия по ликвидации ущерба окружающей природной среде в районе размещения накопителей отходов металлургических заводов / А. М. Касимов // Черная металлургия. – 2011. – Вып. 12 (1344). – С. 70–72.

Навчальне видання

ЕПОЯН Степан Михайлович,
АЙРАПЕТЯН Тамара Степанівна

**ЗВОРОТНІ І БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія
та водні технології)*

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *Т.С. Айрапетян*

План 2022, поз. 23Л

Підп. до друку 27.08.2022. Формат 60 × 84/16.
Електронне видання. Ум. друк. арк 6,5.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.