

Лекція 5. Технології запобігання забрудненню водних об'єктів

Основні види стічних вод

Стічні води - води, які відходять після використання в побутовій, промисловій та сільськогосподарській діяльності людини або які пройшли через будь-яку забруднену територію чи об'єкт.

Стічні води умовно поділяються на 3 види:

- **виробничі** - використані в технологічному процесі виробництва або утворені при видобутку корисних копалин (вугілля, нафти, руди і т. п.);
- **побутові** - від санітарних вузлів виробничих і невиробничих корпусів і будівель, а також від душових установок;
- **атмосферні** - дощові і від танення снігу.

У різних технологічних процесах у промисловості використовують воду, внаслідок чого утворюються такі відпрацьовані стічні води:

- **реакційні води**, що виділяються під час реакцій. Вони забруднені домішками сировини і продуктів реакції;
- **промивні води** після промивання сировини, продуктів, обладнання, тари, маточні водні розчини;
- **води, що надходять із сировиною** у вигляді вільної та зв'язаної води;
- **водні екстрагенти і абсорбенти**;
- **охолодні води**, що не стикаються з сировиною і продуктами; а також:
- **побутові води** з їдалень, душових, після миття приміщень, пралень, туалетів та ін.;
- **атмосферні опади**, що стікають з території промислових підприємств та інших господарських об'єктів.

Залежно від характеристики стічні води поділяють на умовно чисті (оборотні) і брудні.

Умовно чистими (оборотними) стічними водами вважають води після охолодження технологічного обладнання, компресорів та іншого устаткування.

Після використання в технологічних процесах їх охолоджують у градирнях і заводських ставках, у деяких випадках звільняють від зависей і знову повертають на охолодження.

Брудні стічні води різняться за складом забруднювачів, який визначається технологією виробництва.

Забруднені виробничі стічні води містять різні домішки і підрозділяються на три групи:

- забруднені переважно мінеральними домішками (стоки заводів, що виготовляють мінеральні добрива, кислоти, будівельні вироби і матеріали й ін.);
- забруднені переважно органічними домішками (стоки підприємств хімічної і нафтохімічної промисловості, що виготовляють полімерні плівки, пластмаси, каучук та ін.);
- забруднені мінеральними й органічними домішками (стоки підприємств нафтовидобувної, нафтопереробної, нафтохімічної промисловості, що виготовляють продукти органічного синтезу й ін.).

До першої групи відносяться стічні води содових, сірчаноокислотних заводів, збагачувальних фабрик, свинцевих, цинкових, нікелевих руд, шахт, копалень та інших галузей промисловості. У цих водах містяться кислоти, луги, солі, сірчисті з'єднання, тонни важких металів, зважені мінеральні речовини й інші речовини, що несприятливо змінюють властивості води у водоймищах - її прозорість, колір, смак, рН, жорсткість.

До другої групи відносяться стічні води хімічної і нафтохімічної промисловості, що виготовляють пластмаси, каучук і т.д. У цих стоках містяться аміак, вуглеводні, спирти, альдегіди, кетон, феноли, смоли, сірководень і т.п. Їх шкідлива дія виявляється, в основному, в окислювальних процесах, що знижують у воді вміст кисню, збільшують її окислюваність і біологічну потребу в кисні, погіршуються й органолептичні показники води.

Речовини третьої групи - нафтопродукти, які потрапляючи у водоймища створюють плаваючі плівки, розчинені або такі, що емульсують у воді, нафтопродукти, важкі фракції, що осіли на дно, продукти адсорбції ґрунтом дна або берегів водоймища.

За концентрацією забруднюючих речовин виробничі стічні води розділяються на чотири групи:

- I – 50 мг/л;
- II – 500...5000 мг/л;
- III – 5000...30000 мг/л;
- IV – більше 30000 мг/л;

За ступенем агресивності стічні води поділяють на:

- неагресивні – $\text{pH}=6,5-8,0$;
- малоагресивні – $\text{pH}=8-9$;
- сильноагресивні – $\text{pH} > 9$

Особливості забруднення побутовими стічними водами

Особливо небезпечним для здоров'я людини є забруднення природних вод *побутовими стоками*. Така забруднена вода зовсім непридатна для постачання населенню.

Забруднення побутовими стічними водами довгий час вважалося менш небезпечним, оскільки забруднюючі водоймища речовини були малостійкими. Проте останніми роками були синтезовані і стали широко застосовуватися *миючі речовини*, які стійкі й отруйні для мешканців водоймищ (у т.ч. й морів).

Значним джерелом забруднення водоймищ можуть бути побутові стічні води, які несуть із собою фізіологічні виділення людини, забруднення від купання, умивання, прання білизни, миття приміщень, а також папір, обривки тканин, сміття. У цих стоках 60 % складають органічні речовини. Відмінною рисою побутових стічних вод є їх *бактеріальне зараження*: в 1 мм³ води можуть міститись десятки мільйонів бактерій, у тому числі і хвороботворні, а також яйця гельмінтів. Підраховано, що на нашій планеті майже 500 млн. людей щорічно хворіє че рез користування забрудненою водою, оскільки вона містить збудники різномантних *інфекційних захворювань* (паратиф, дизентерія, інфекційний вірусний гепатит, туляремія та ін.).

Зливові стоки змивають у водоймища забруднення з поверхні землі: при

сильних зливах і затяжних дощах їх кількість може перевищувати побутові стоки, а концентрація забруднюючих речовин у них бути високою.

Слід зазначити, що **основна маса побутових відходів піддається очищенню і знезараженню перед скиданням у водоймища**. Спочатку для видалення щільних зважених частинок проводиться *механічне очищення* стоків, потім вони піддаються *біологічному очищенню* шляхом окислення мікроорганізмами в полях фільтрації або в полях зрошування, а частіше в спеціальних очисних пристроях (біофільтри, аеротенки й ін.), що імітують і прискорюють процес природного очищення.

Крім очищення від забруднень побутові стоки повинні бути звільнені від мікробів і яєць гельмінтів, що і досягається на полях зрошування (до 98%); для інших способів очищення необхідне *додаткове знезараження хлором або іншими дезинфікуючими речовинами*.

Отже, особливо сильно забруднюють природні поверхневі води промислові стічні води *хімічних, нафтопереробних, металургійних, шкіряних заводів, текстильних і целюлозно-паперових фабрик, м'ясокомбінатів та інших підприємств*.

Усі *види забруднень* можна розподілити на хімічні, фізичні, біологічні й теплові.

Залежно від виду виробництва стічні води містять різні *шкідливі сполуки неорганічної* (луги, кислоти, мінеральні солі) *та органічної* (органічні сполуки, поверхнево-активні речовини, мийні засоби, пестициди, нафтопродукти тощо) *природи*. Більшість з них отруйні для біоти водойм. Ці сполуки поглинаються фітопланктоном і передаються ланцюгами живлення більш високоорганізованим організмам. У результаті вміст шкідливих речовин у м'ясі хижої риби (щука, судак, окунь) може в тисячі разів перевищувати їх вміст у воді. Це дуже небезпечно для людей, птахів і тварин, що споживають цю рибу.

Біологічне забруднення води відбувається за рахунок надходження зі стічними водами різних мікроорганізмів, рослин і тварин (найпростіші, гриби, черви, бактерії, віруси та ін.). Найбільшими біологічними забрудниками є комунально- побутові стічні води. Промисловими біологічними забрудниками є

підприємства шкірообробної промисловості, м'ясокомбінати й цукрові заводи.

Фізичне забруднення води пов'язане зі зміною її фізичних властивостей: прозорості, вмісту зависей та інших нерозчинних домішок, температури й радіоактивності.

Теплове забруднення спричиняє спускання у водоймища теплих вод з різних енергетичних установок. Надходження нагрітих вод у ріки й озера істотно змінює їх термічний і біологічний режими.

Забруднення промисловими відходами, скидання недостатньо очищених стічних вод, термічні води, змивання сільськогосподарських добрив і пестицидів, а також кислотні дощі стали реальною загрозою всій гідрографічній системі Землі та існуванню людини.

Технології та обладнання для очищення промислових стоків

Механічні методи очищення стічних вод

Механічне очищення застосовують для вилучення зі стічних вод (СВ) нерозчинених грубодисперсних домішок методами **проціджування, відстоювання, фільтрування**.

Очищення механічними способами зазвичай застосовують як першу стадію в загальній системі очищення стічних вод.

Основними процесами механічного очищення є:

- проціджування стічної води на решітках і сітках для вилучення великих шматків домішок і сторонніх предметів;
- уловлювання в пісковловниках важких домішок, які проходять через ґрати і сітки;
- відстоювання для видалення нерозчинних, тих що тонуть і плавають, органічних і неорганічних речовин, які не затримані решітками і пісковловниками;
- видалення твердих завислих частинок у гідроциклонах;
- фільтрування через різні фільтри для затримування тонкодисперсних суспензій.

Той або інший процес механічного очищення або їх комбінацію застосовують залежно від властивостей домішок і необхідного ступеня їх вилучення.

Проціджування та відстоювання

Для попереднього видалення плаваючих великих або волокнистих забруднювачів (шматки дерева, ганчірки), частинок, що плавають, застосовується проціджування стоків через решітки і сита. За значного вмісту в стічних водах грубодисперсних суспензій першою стадією очищення повинне бути відділення частинок у піскових фільтрах різних конструкцій (пісковловниках). Проціджування як різновид механічного очищення призначене в основному для вилучення із стічних вод великих твердих нерозчинених частинок розміром до 25 мм, а також дрібних волокнистих частинок, які при подальшій обробці стоків є перешкодою для нормальної роботи очисного обладнання.

Решітки, через які проціджують стічні води, виготовлені з металевих прутів (стрижнів) із проміжком 5–25 мм, установлюють у колекторах очисних споруд вертикально або під кутом 60–75° до горизонту. Їх розраховують на максимальний притік стічних вод або на пропускну здатність очисної станції.

Швидкість стічної води на решітці не повинна перевищувати 0,8–1,0 м/с при максимальному потоці стічних вод.

Під час роботи решітки повинні постійно очищатися механічним способом за допомогою вертикальних чи поворотних граблів. Зняті з решітки домішки подрібнюють у спеціальних дробарках і скидають у потік стічної води за решіткою або спрямовують на переробку.

Для видалення більш дрібних зважених частинок застосовують сита, які бувають двох типів: барабанні й дискові. Перші являють собою сітчасті барабани з отворами 0,5–1,0 мм. При обертанні барабана стічна вода фільтрується через його зовнішню або внутрішню поверхню в залежності від подачі води. Затримані домішки змиваються з сітки водою і відводяться в жолоб. Продуктивність сита залежить від діаметра барабана, його довжини і властивостей домішок. Сита широко застосовують у целюлозно-паперовій промисловості, а також у виробництві деревиноволокнистих плит.

За невеликого об'єму уловлених твердих відходів їх збирають в контейнери і видаляють, а за значного – розмелюють на дробарках. У разі наявності в стічних водах значної кількості грубодисперсних суспензій першою стадією очищення повинно бути відділення частинок у *пісковловниках*, які розраховують на максимальну витрату стічних вод і перевіряють розрахунок за мінімального притоку.

Основне призначення пісковловників – затримання мінеральних частинок розміром, більшим за 0,2 мм (пісок).

Пісковловники бувають горизонтальні з коловим рухом стічної води і горизонтальні з прямолінійним рухом стічної води, а також пісковловники, що аеруються.

Для підтримання в горизонтальних пісковловниках постійної швидкості руху стічних вод на виході з них необхідно встановлювати водозлив з широким порогом.

Стічна вода підводиться до пісковловників і відводиться від них по лотках. Після заповнення пісковловників осад видаляють по гідроелеваторах. Для великогабаритних пісковловників розроблено пристрій, який збирає нафтопродукти. Пісковловники можна встановлювати після нейтралізаторів сірчаноокислих стічних вод в тому випадку, коли випадання нерозчинних домішок вапняного молока (або меленого вапняку) і валиків кристалів гіпсу призводять до появи важких зважених частинок, які були відсутні у водах до нейтралізації. Аеровані пісковловники у вигляді горизонтальних резервуарів застосовуються для виділення мінеральних частинок з одночасною аерацією стічних вод повітрям, що подається від насосно-повітряної станції.

Конструкції застосовуваних відстійників залежать від витрати, складу і т.д. Найбільш поширені *горизонтальні відстійники*, в яких частинки суспензії, осідаючи на дно або спливаючи, рухаються горизонтально разом з очищеною водою. Затримуються частинки, які встигають осісти на дно або піднятися на поверхню води в межах робочої довжини.

Швидкість руху шкребків (шкребки згрібають шлам до приямка, а речовини, які випливають на поверхню – до лотка А або труби для їх видалення,

в залежності від характеру шламу, становить 20–30 м/год й ефективність їх роботи складає 85% щодо завислих частинок і 50–80% щодо нафтопродуктів.

За великих кількостей СВ застосовують радіальні відстійники – це конструктивний різновид горизонтальних. Застосовують також тонкошарові відстійники для очищення низькоконцентрованих СВ, які містять дрібнодисперсні нерозчинні домішки. Утворений у відстійнику або гідроциклоні шлам, що уявляє собою суміш піску й олії, перед вивезенням у відвал зневоднюється на фільтр-пресах або вакуум-фільтрах.

Ефективність відстоювання СВ можна підвищити, здійснюючи його двічі – у первинних і вторинних відстійниках (у випадку застосування біохімічного очищення вторинне відстоювання зазвичай виконується після нього). З іншого боку, ефект очищення оливомістких СВ може бути зведений нанівець несвоєчасним очищенням відстійників і відсутністю систем збирання олії.

Таким чином, відстоювання будучи основним і часто єдиним методом очищення стоків від механічних домішок і нафтопродуктів, має низку істотних недоліків:

- громіздкість, велика площа;
- видалення тонких суспензій вимагає тривалого перебування стічних вод у відстійнику, що знижує продуктивність;
- ступінь очищення відносно низька.

Нафтовловлення та усереднення

Полютанти з густиною, нижчою за густину води, необхідно видаляти, змушуючи їх спливати на поверхню води. Це – нафтопродукти, олії, смоли й інші речовини, які вловлюють в пастках, олієвловниках, смоловідстійниках.

Нафтовловник – прямокутний, витягнутий у довжину залізобетонний відстійник, що розділений на декілька секцій, щоб можна було періодично виключити одну з них для очищення або ремонту.

До недоліків нафтовловників відносять:

- вони займають багато місця;
- забруднюють атмосферу виділеннями;
- потік води в них розподіляється нерівномірно;

- шкребковий механізм ненадійний в роботі;
- низький ступінь очищення;
- правильна експлуатація є складною.

Необхідно передбачити пристрої для збирання нафтопродуктів, які спливали, і вилучення осаду.

За таким самим принципом працюють олієвловники.

Якщо необхідно усереднити вміст і витрати виробничих стічних вод передбачаються усередники, об'єм яких визначається за графіками притоку стічних вод і коливань концентрацій забруднень в них.

Виділення механічних домішок у полі дії відцентрових сил та фільтрування

Виділення механічних домішок у полі дії відцентрових сил здійснюється в гідроциклонах і центрифугах, де зважені частинки виділяються з рідини під дією відцентрових сил, які виникають від того, що рідина, яка очищується, вводиться в пристрій тангенційно. Це викликає її обертовий рух і прояв відцентрових сил.

Швидкість відбору зі стічної води завислих твердих частинок може бути збільшена дією відцентрових сил у гідроциклонах, що бувають напірні і безнапірні (відкриті).

У напірній гідроциклонній конструкції (закриті гідроциклони) стічна вода подається під тиском тангентально. Основний потік її рухається в білястінковому просторі по спіралі донизу. У кінцевій частині потік повертає до центру апарата і рухається нагору до вихідного патрубку. Завислі частинки переміщуються в білястінковий шар, сповзають до вершини конуса і видаляються через розвантажувальний отвір.

Напірні гідроциклони затримують частинки суспензії величиною 0,1–0,5 мм і більше. У випадку очищення стічних вод, що містять абразивні домішки, застосовуються напірні гідроциклони з внутрішньою поверхнею, футерованою зносостійким литтям. Напірні гідроциклони застосовують для видалення зі стічних вод механічних частинок зі швидкістю осадження менше 0,02 м/с.

Очищувана вода подається по патрубку в циліндричну частину гідроциклона зі швидкістю до 20 м/с і рухається вздовж стінок по спіралі донизу;

в кінчній частині – вона повертається до вертикальної осі апарата і по внутрішній спіралі піднімається догори до вихідного патрубка. Під дією відцентрової сили зважені частини випадають з потоку і через спуск для шламу виводяться з системи.

Для збільшення пропускної здатності і ступеня очищення встановлюють групу з паралельно включених гідроциклонів.

Істотним *недоліком напірних гідроциклонів* є їх відносно велика енергоємність і складність видалення речовин, які спливають.

Недоліків напірних гідроциклонів не мають *відкриті (безнапірні) гідроциклони*, що працюють за порівняно невеликих швидкостей потоку, унаслідок чого завислі частинки видаляються, в основному, внаслідок дії гравітаційних, а не відцентрових сил. Проте вони затримують лише великі частинки (10 мм і більш).

Відкриті гідроциклони застосовуються для виділення зі стічних вод великих механічних частинок зі швидкістю осадження більше 0,02 м/с. *Переваги відкритих гідроциклонів* – велика продуктивність і незначні втрати тиску (не більше 0,5 Па). Ефективність очищення в них залежить від характеристик забруднень (виду матеріалу, розміру і форми частинок тощо), а також від конструктивних і геометричних характеристик самого гідроциклону.

Застосовуються *відкриті гідроциклони трьох типів*:

- *гідроциклони без внутрішніх пристроїв* для виділення домішок, а також зкоагульованих зважених частинок нафтопродуктів;

- *гідроциклони з діафрагмою і циліндричною перегородкою* за витрати стічних вод на один апарат до 220 м³/год – для частинок розміром 0,2 мм і більше, а також зважених нафтопродуктів;

- *багатоярусні* – за витрати стічних вод на один апарат більше 200 м³/год – для виділення частинок розміром 0,2 мм/с і більше і нафтопродуктів.

Оскільки відцентрові сили в багато разів перевищують сили тяжіння, гідроциклони в десятки разів менші за об'ємом або площею за відстійники, в них значно збільшується швидкість осадження зважених частинок і зменшується площа, яку вони займають. Їх дуже зручно використовувати для

замкнених зворотних циклів. До *недоліків* треба віднести – значні витрати електроенергії для створення необхідного тиску і швидке зношування апаратів.

Фільтрування застосовується також після застосування фізико-хімічних і біологічних методів очищення, тому що деякі з цих методів супроводжуються видаленням у воду, яка очищається, механічних домішок.

Процес фільтрування полягає у тому, що стічна вода проходить (фільтрується) через пористе середовище, яке знаходиться у спеціальних установках-фільтрах. При цьому зважені частинки затримуються на поверхні і в тілі фільтрувальних речовин. Найчастіше для фільтрування застосовують кварцовий пісок із зерном діаметром 0,5–2,0 мм. Чим дрібніший пісок, тим вищий ступінь очищення, але тим скоріше забруднюється фільтрувальний матеріал і виникає необхідність його регенерації.

Робота фільтра характеризується швидкістю фільтрування, яка визначається в $\text{м}^3/\text{год}$ на 1 м^2 площі поверхні фільтрувального шару. Розрізняють швидкісні фільтри зі швидкістю 6–10 $\text{м}^3/\text{год}$ і надшвидкісні, які працюють з початковою швидкістю 50–100 $\text{м}^3/\text{год}$ і кінцевою швидкістю – 20 $\text{м}^3/\text{год}$. Перші – виготовляються відкритими (безтисковими), другі – закритими (тисковими), причому тиск в них створюється водою або подачею стисненого повітря.

Вода, що очищується, вводиться у фільтр по лотку 1 на фільтрувальний матеріал 5, що розташований на дренажній основі 9 з отворами для проходження води. Проходячи через фільтрувальний шар, вода очищається, поступає у підфільтровий простір 8 і виводиться з фільтра по трубі 7. Після деякого часу роботи, визначеного регламентом, фільтрувальний матеріал регенерують, промиваючи його зворотнім потоком води. Для цього фільтр відключають шибером 2 (включаючи одночасно другий резервний фільтр), по входу промивальної води 6 подають воду, часто гарячу, іноді разом зі стисненим повітрям. Вода і повітря, проходячи через фільтрувальний матеріал, промивають його, виносячи бруд через отвір 3 в очисні споруди.

Найкращі характеристики мають **комбіновані фільтри**, в яких процес фільтрування поєднаний з іншими методами очищення стічної води.

Механічне очищення є попереднім, рідше – кінцевим етапом очищення стічних вод, і забезпечує виділення зважених речовин до 90–95% і зниження органічних поллютантів до 20–25% (за БСК).

Хімічні та фізико-хімічні методи очищення стічних вод

Хімічні методи очищення стічних вод

Хімічне очищення застосовують у тих випадках, коли вилучення забруднювачів можливе лише в результаті хімічних реакцій між поллютантами і реагентами, що вводяться, з утворенням нових речовин, які легко видалити зі стічних вод.

Під час хімічного очищення *відбуваються реакції конденсації, окислювання, нейтралізації*, в результаті яких утворюються:

- нетоксичні або менш токсичні речовини;
- розчинні у воді сполуки перетворюються на нерозчинні і легко відокремлюються;
- кислоти і лужні стоки – нейтралізуються.

Цей метод очищення вимагає великої витрати реагентів. Крім того, нові сполуки, що утворилися, хоча і нетоксичні, однак забруднюють водойми, тому потрібне додаткове очищення стоків іншими способами.

Інколи можна знайти кілька *хімічних реакцій, критеріями у виборі яких є:*

- ефективність процесу очищення,
- швидкість реакції,
- вартість реактивів,
- зручність наступного вилучення після реакції речовин
- інші фактори.

Оскільки після реакції необхідно видалити зі стоку речовини, що утворилися, методи хімічного очищення зазвичай поєднують з механічним або фізико-хімічним очищенням.

Методи хімічного очищення найбільш прийнятні в системах локального очищення стоків, де обсяги води, що очищається, відносно невеликі, а концентрації забруднюючих речовин значні.

Відстоюванням, флотацією і фільтруванням зі стічних вод можуть бути вилучені суспензії з діаметром частинок $d_4=5$ мкм. Для видалення більш дрібних частинок і для інтенсифікації осадження частинок $d>5$ мкм застосовується **реагентна обробка**, яка полягає в коагуляції забруднень за допомогою реагентів-коагулянтів і флокулянтів (від лат. *coagulatio* – згортання, згущення, *floculi* – пластівці).

Неорганічні коагулянти (сірчаноокислий алюміній $Al_2(SO_4)_3$, залізний купорос $FeSO_4 \cdot H_2O$, хлорне залізо $FeCl_3$, бентоніт і ін.) гідролізуються у воді з утворенням пластівців гідроокисів, які у процесі осадження сорбують тонкодисперсні забруднення, включаючи колоїдні, завдяки чому прискорюється процес очищення. На машинобудівних заводах як коагулянт використовують оброблені травильні розчини, що містять сульфат заліза $FeSO_4$. Таким чином, **коагулянти** – речовини, введення яких у рідину спричиняє злипання і випадання в осад дрібних частинок.

Флокулянти (поліакриламід, активована кремнієва кислота) сприяють утворенню більш великих і міцних пластівців або інтенсифікують процес *самокоагуляції частинок* (об'єднання колоїдних частинок у пухкі пластівчасті агрегати). Застосування реагентної обробки дозволяє досягти ефективності уловлювання $\eta = 99,5\%$. Проте, така обробка істотно ускладнює експлуатацію очисних споруд і тому доцільна лише в тих випадках, коли до очищення ставляться підвищені вимоги – у разі скидання очищених стоків у водойми або їх спрямування у системи чистої охолоджувальної води.

Пил, що викидається зі сталеплавильних печей та інших агрегатів металургійного циклу і забруднює стічні води при мокрому очищенні газів, містить до 60% заліза і його окислів. Використовується **безреагентна коагуляція** феромагнітних дрібнодисперсних суспензій, яка здійснюється шляхом впливу на стічні води магнітними полями (за допомогою електромагнітного коагулятора, що встановлюється на трубопроводі, які подають стічні води у відстійник).

Стоки гальванічних і травильних цехів – це порівняно концентровані відпрацьовані розчини переважно кислот, лугів, солей і промислових вод. Такі стоки підлягають **нейтралізації** (доведення реакції до нейтральної $pH=6,5-8,5$).

Для виконання операцій нейтралізації в стічні води додаються реагенти, під впливом яких кислоти або луги, що містяться в стоках, нейтралізуються, а інші забруднення, в основному, іони важких металів, випадають в осад.

Можуть використовуватися й інші реагенти – *луги, сода, вода* – у випадках, коли вони містяться у твердих або рідких відходах виробництва (тобто вирішуються два завдання – нейтралізація стічних вод й утилізація відходів – *комплекс- ний підхід*). За нейтралізації сірчаноокислотних стічних вод вапном утворюється гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, який відкладається на стінках трубопроводів і арматури. Для боротьби з цим використовується регулярне промивання трубопроводів, застосування вінілпластових або поліетиленових труб замість металевих, тобто таких, що мають *антиадгезійні властивості*.

Реагенти вибирають залежно від складу і концентрації кислої стічної води.

При цьому враховують, буде в процесі утворюватися осад чи ні.

Розрізняють **три види кислотовмісних стічних вод**:

Води, що містять слабкі кислоти (H_2CO_3 , CH_3COOH).

Води, що містять сильні кислоти (HCl , HNO_3). Для їх нейтралізації може бути використаний будь-який названий вище реагент. Солі цих кислот добре розчинні у воді.

Води, що містять сірчану і сірчисту кислоти. Кальцієві солі цих кислот погано розчинні у воді і випадають в осад.

Нейтралізацію можна проводити:

1. **Змішуванням** – для очищення кислих і лужних вод, які не забруднені іншими компонентами.
2. **Додаванням реагентів** – для очищення кислих вод NaOH , Na_2O_3 , KOH , CaCO_3 , MgCO_3 , соди тощо.
3. **Фільтруванням** через нейтралізуючі матеріали (магnezит, доломіт, вапняк, шлак, золу).
4. **Кислими газами** – для лужних стічних вод – газами з CO_n , SO_n , NO_n (димовими газами).

Метод **етерифікації** полягає в перетворенні низькомолекулярних кислот (масляна, оцтова і т.д.) в ефіри з низькою температурою кипіння, які видаляються

зі стічних вод відгоном. Для прискорення реакції етерифікації застосовуються *каталізатори* – мінеральні кислоти. Процес очищення виконують в апаратах періодичної або безперервної дії з використанням цінних вилучених складних ефірів. Застосування етерифікації для очищення стічних вод можливе у виробництвах синтетичних жирних кислот, оцтового ангідриду, триацетату целюлози й ін. Можлива переробка розчинних забруднювачів стічних вод у малорозчинний стан.

Окислювання забруднювачів застосовується тоді, коли їх неможна вилучити або видозмінити іншими способами. Високу окисну здатність хлору, наприклад, використовують для очищення стічних вод від сірководню, гідросульфідів, метилсірчаних сполук, фенолу. Особливо слід зазначити можливість застосування **хлорування** для руйнування канцерогенних речовин (спричиняють онкологічні захворювання) таких, як 1,2-бензапірен.

Окислювання можна проводити:

- *перекисом водню змішаним з водою* – використовується для окислення нітритів, альдегідів, фенолів, барвників тощо. Для активізації процесу додають каталізатори – іони металів змінної валентності;
- *киснем повітря* – для очищення води від заліза, сульфідних стоків тощо;
- *нітромозитом*.

Озонування забезпечує знебарвлення води, усунення присмаків і запахів, знезараження, очищення стічних вод від фенолів, нафтопродуктів, сірководню, миш'яку, ПАР, ціанідів, пестицидів тощо.

Застосування озону для глибокого очищення стічних вод обумовлено його високою реакційною здатністю і сильною окисною дією.

Даний метод не призводить до збільшення сольового складу очищеної води, не забруднює воду продуктами реакції і реактивами; його можна застосовувати для очищення стічних вод від фенолів, нафтопродуктів, поверхнево-активних речовин, канцерогенних речовин, від тетраетилсвинцю і т.д. Проте цей метод достатньо коштовний.

Очищення відновленням застосовується за необхідності видалення зі

стічних вод речовин, які легко розчиняються (сполуки ртуті, миш'яку, хрому тощо). Для відновлення *сполук ртуті* застосовується сульфід заліза, гідросульфід *Na*, залізний порошок, сірководень, гідросульфід тощо. Для відновлення *хрому* використовується активоване вугілля, бісульфат натрію, діоксид сірки, сульфат заліза тощо. Як відновник використовується гідросульфід цинку, сполуки, які містять фосфор, природний газ, аміак, деревне вугілля, водень тощо.

Для видалення *іонів важких металів* застосовують **реагентні методи очищення**, суть яких полягає в переведенні розчинених у воді речовин у нерозчинні і наступним виділенням їх з води у вигляді осаду. У ролі реагентів використовуються гідроксиди натрію та кальцію, сульфід натрію, різні відходи тощо.

Фізико-хімічні методи очищення

Фізико-хімічні методи вимагають застосування реагента і базуються на зміні фізичного стану політантив, що спрощує їх видалення зі стоків.

До них відносяться:

- коагуляція, яка збільшує розмір частинок забруднюючих речовин і полегшує їх осадження;
- флоатація, за якої домішкам надають велику плавучість і вони спливають на поверхню води;
- сорбція;
- адсорбція;
- дезодорація;
- екстракція.

Політанти поглинаються твердими або рідкими сорбентами і видаляються з ними, а із застосуванням методу евапорації – відганяються з розчину при нагріванні як більш леткі, ніж вода. Останніми роками широкого застосування набув іонний обмін – вилучення з водних ресурсів різноманітних катіонів і аніонів за допомогою твердих речовин-іонітів, з наступною регенерацією і використанням забрудника.

Методи фізико-хімічного очищення потребують використання дорогих

реактивів, проте завдяки їх ефективності, а іноді неможливості вирішити завдання очищення іншим способом, дані методи широко застосовують у промисловості, особливо для очищення багатокomпонентних стічних вод з малою концентрацією поллютантів.

Останнім часом широко застосовується метод флотації для очищення стічних вод, забруднених легкими і високодисперсними суспензіями. Ефект флотацій полягає в тому, що дисперговані в тонкій суспензії пухирці повітря прилипають до частинок суспензії і спливають разом з ними на поверхню рідини, утворюючи над нею піну (флотаційний шлам). У процесі флотації в пінний шар крім твердих речовин переходять багато емульсій, у тому числі емульсії нафтопродуктів і жирів, а також розчинені в стічних водах поверхнево-активні речовини.

Переваги флотації:

- високий ступінь очищення (до 90–98%);
- порівняно незначний час перебування стічних вод (20–40 хв.) у флотаційних установках;
- очищення одночасно супроводжується аерацією, зниженням вмісту бактерій і мікроорганізмів, що поліпшує загальний санітарний стан стічних вод;
- флотаційний шлам має більш низьку вологість (90–95%), ніж вологість шламу, отриманого в результаті відстоювання (95– 99,8%);
- флотація є універсальним методом очищення стосовно різних видів забруднень.

Усе це дозволяє розглядати флотацію як перспективний процес знезараження стічних вод.

Один з поширених типів флотаторів базується на принципі диспергування повітря турбіною насосного типу (імпелером). Застосовується він для видалення зі стічних вод емульгованих нафтопродуктів. На рис. 9 наведена *двокамерна імпелерна флотаційна машина*.

Повітря засмоктується імпелером по спеціальній трубі. Лопатками обертового пропелера вода і повітря перемішуються і суміш, що утворюється, викидається зі статора (диск з отворами для внутрішньої циркуляції води).

Решітка, яка оточує статор сприяє більш дрібному диспергуванню повітря у воді. У флотаційній камері над решіткою повітряні пухирці з частинками забруднень, які прилипли до них, спливають на поверхню. Піна, яка містить нафтопродукти видаляється з поверхні води лопатковим пінознімачем. З першої камери частково очищена і насичена повітрям вода надходить у другу камеру, де відбувається додаткове очищення.

Розчинені у воді гази і леткі органічні сполуки (бензин, деякі сірчисті сполуки, низькомолекулярні ефіри і т.п.) вилучаються і стічні води очищаються шляхом аерування, тобто продуванням через неї диспергованого повітря. При барботуванні повітря через стічні води пара розчиненого компонента дифундує усередину повітряних пухирців і виноситься ними на поверхню води. Цей процес називається десорбцією або видуданням. Установка для видудання летких компонентів – скруббер, через який за допомогою вентилятора продувається повітря, попередньо нагріте у калорифері (можливе застосування інертних газів – N_2 , CO_2 і ін.).

Найбільше поширення одержав спосіб напірної флотації, рідше застосовують флотацію турбінкою насосного типу.

Описана *схема флотації має наступні недоліки*: у результаті очищення стічних вод, що містять нафтопродукти, відбувається утворення емульсії в процесі перекачування води відцентровим насосом, крім того, доводиться прокачувати через систему весь обсяг води, яка очищається. Існують схеми, в яких насиченню повітрям підлягає лише частина води, яка береться з флотовідстійника і подається насосом у напірний резервуар; тоді зменшується емульгування, але виникає необхідність збільшення об'єму флотовідстійника. Ефективність флотації може бути збільшена введенням у процес очищення коагулянтів і флокулянтів.

Напірну флотацію застосовують для очищення стічних вод нафтопереробних заводів, виробництва віскозних волокон, целюлози й в інших випадках.

Флотаційна установка з використанням турбіни складається з корпусу, на дні якого встановлені одна або декілька турбін. Вони засмоктують атмосферне

повітря і розпилюють його в стічній воді. Вода, яка очищається, рухається згори донизу, очищена іде знизу, піну, що утворюється на поверхні, спеціальний пристрій зганяє в збірний лоток.

Сутність *способу екстракції* полягає в тому, що стічну воду змішують з екстрагентом, тобто з такою рідиною, у якій речовина-забруднювач розчиняється краще, ніж у воді, а сам екстрагент не змішується з водою. При цьому речовина, яка забруднює стічну воду (її називають екстрагованою речовиною), певною мірою, іноді значною, переходить в екстрагент. Відокремлюючи екстрагент від води і разом з ним частину екстрагованої речовини, можна досягти значного зменшення концентрації поллютанта в стічній воді. А екстрагент із розчиненою у ньому забруднюючою речовиною можна регенерувати: вилучити з нього екстраговану речовину, а екстрагент знову застосувати для процесу екстракції. Завдання полягає в тому, щоб підібрати потрібний екстрагент для конкретної речовини, що забруднює стічну воду.

Для більшого ступеня очищення іноді встановлюють послідовно кілька екстракторів. Як екстрагент застосовують бутилацетат, іноді в суміші з бутиловим спиртом, рідше – бензол; використовують і інші органічні розчинники.

Очищення екстракцією стічних вод від фенолу ефективні, наприклад, у процесах термічної переробки горючих сланців при вмісті фенолу у стоках 10–12 г/л. Після очищення екстракцією вміст фенолу знижується до 600–800 мг/л, тобто до концентрацій, за яких можливе додаткове очищення від забруднювача біохімічними способами; в даному випадку утилізація уловленого фенолу для виробництва смол, дубильних засобів і т.п. не лише покриває видатки на очищення, але і виявляється *прибутковою*.

Принцип *адсорбції* застосовують для очищення стічних вод від найрізноманітніших органічних сполук, у тому числі багатокomпонентних і настільки низькоконцентрованих, що застосування інших способів очищення є малоефективним

Адсорбційне очищення стічних вод може бути *регенеративним*, тобто з вилученням з адсорбента уловлених ним речовин і подальшим їх використанням,

або **деструктивним**, при якому вилучені зі стічних вод забруднення знищують, як такі що не мають технічної цінності, іноді разом з адсорбентом.

Цінні, поглинуті адсорбентом речовини, можуть бути вилучені з нього *екстракцією органічними розчинниками, відгоном адсорбованої речовини з водяною парою, випаровуванням цієї речовини потоком нагрітого інертного газу й іншими способами.*

У випадку деструктивного очищення стоків від багатокomпонентних речовин вилучена їх суміш зазвичай не має технічної цінності і, якщо адсорбент був теж малоцінним (наприклад, буре вугілля, торф, коксовий дріб'язок, тирса й ін.), їх знищують спільним спалюванням або вивозять у місця зберігання відходів. Якщо адсорбентом було активоване вугілля, яке є цінним продуктом, то його вивільняють від поглиненого забруднення продуванням сумішшю продуктів горіння горючих газів з перегрітою водяною парою при $t=700-800\text{ }^{\circ}\text{C}$. При цьому полютанти випалюються, а сорбційна активність адсорбента навіть підвищується і його знову можна використовувати для процесу очищення.

Евапорацією називають відгін з водяною парою летких речовин, які забруднюють стічну воду. Через стічну воду, нагріту приблизно до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, пропускається насичена водяна пара, що захоплює леткі домішки. Далі пара проходить че рез адсорбент, теж нагрітий приблизно до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, в якому з пари вилучаються захоплені ним, домішки. Перевага цього способу очищення полягає в тому, що в стічну воду не вводять реактиви, які додатково її забруднюють.

Леткі компоненти зі стічних вод видаляють також за допомогою **нагрітого повітря, топкових або інертних газів.**

Одним з перспективних способів очищення стічних вод є **іонний обмін**. Іонітами можна вилучати зі стічних вод сполуки миш'яку і фосфору, ціаністі сполуки і радіоактивні речовини, солі важких металів: хрому, нікелю, цинку, свинцю, ртуті й ін.

Більшість вилучених речовин токсичні для водних організмів і людини. Часто очищення від цих речовин іншими способами малоефективне або в результаті утворюються значні обсяги сильно заводнених осадів, чого не відбувається із застосуванням іонного обміну. Крім того, солі кольорових металів

мають технічну цінність і їх утилізацією знижують витрати на очищення. Тому іонообмінне очищення все ширше застосовують у промисловості.

З метою очищення використовують синтетичні іонообмінні смоли різних марок, а саме очищення виконують в апаратах періодичної і безперервної дії. **Апарати періодичної дії** завантажують шаром іонообмінної смоли висотою 1,5–2,5 м, і процес очищення складається зі стадій сорбції, які чергуються між собою, регенерації і промивання від регенеруючого реагента за аналогією до регенеративних адсорберів. В **апаратах безперервної дії** іонообмінна смола рухається по замкненому контуру, послідовно проходячи стадії сорбції, регенерації і промивання.

Для регенерації застосовують, у залежності від виду іоніта і характеру стоків, які очищаються, різні реагенти: для очищення стічних вод виробництва віскозних волокон від окису цинку – 2-5% розчин кальцинованої соди, в інших випадках – соляну кислоту, розчин хлористого натрію й ін.

Вищеописані основні фізико-хімічні методи очищення стічних вод застосовуються в різних модифікаціях і в різних поєднаннях у промисловості. Але розроблені і частково використовуються у виробництві й інші перспективні способи очищення, зокрема **магнітним полем, електрохімічним способом**. Поширення набуває очищення методом **зворотного осмосу (гіперфільтрування)**.

Переваги способу гіперфільтрування:

- простота апаратури;
- можливість роботи при звичайній температурі;
- очищення води від неорганічних і бактеріальних забруднень;
- мала залежність ефективності очищення від концентрації забруднень;
- можливість отримання і використання цінних продуктів.

Недоліками є висока вартість мембран і їх швидка зношуваність.

На етапі проектування очисних споруд часто досить складно здійснити правильний вибір методів і схем очищення, а також вирішити питання про ефективне поєднання локального і загального очищення. Оптимальним рішенням є таке поєднання локальних і загальних методів, яке дозволило б вилучати з локальних стоків цінні компоненти, що підлягають утилізації, а також речовини,

які утруднюють загальне очищення, а потім у загальному стоці використовувати нейтралізуючі і коагулювальні властивості компонентів локальних стоків підприємства.

Біологічне та термічне очищення стічних вод

Біологічне очищення стічних вод

Біологічне очищення – метод очищення стічних вод від органічних і деяких неорганічних домішок, що здійснюється спільнотою мікроорганізмів (біоценозом), яка включає велику кількість різних бактерій, простіших і ряд більш високоорганізованих організмів – водоростей, грибків тощо, пов'язаних між собою в єдиний комплекс складними взаємовідносинами (метабіоз, симбіоз і антагонізм).

Головна роль у цих процесах відводиться бактеріям, кількість яких знаходиться у межах від 10^6 до 10^{14} клітин на один грам сухої біологічної маси (біомаси). Кількість родів бактерій може сягати 5–10, кількість видів – кілька десятків і навіть сотень. Така велика кількість бактерій обумовлена наявністю у стічній воді органічних речовин різних типів.

У процесі очищення стічних вод беруть участь **бактерії гетеротрофи і автотрофи**, причому, перевагу отримує та чи інша група в залежності від умов роботи системи (відносно джерела вуглецевого живлення).

Біохімічне очищення стічних вод базується на здатності певних мікроорганізмів руйнувати органічні і деякі неорганічні сполуки (наприклад, сульфіді і солі амонію), перетворюючи їх на нешкідливі продукти окислювання: воду, двоокис вуглецю, нітрати і сульфатіони й ін.

Існує багато видів бактерій, кожен з яких здатний окисляти певні речовини. Наприклад, бактерії типу *псевдомонади* – окислюють метан, жирні кислоти, спирти; типу *мікробактеріум* – нафтопродукти і т.п.

Під дією мікроорганізмів можуть відбуватись окислювальний (аеробний) чи відновлювальний (анаеробний) процеси.

Аеробний метод здійснюється бактеріями за наявності у воді кисню. Аеробний процес може нормально протікати, якщо концентрація органічної

речовини у воді, що очищується, виражена у біохімічній потребі в кисні (БСК), не буде перевищувати певної величини. Тому, в біологічному очищенні концентровані стічні води розбавляють низьконцентрованими побутовими стічними водами, а в окремих випадках чистою водою.

Мікроорганізми, що беруть участь у процесі біологічного очищення, формуються у вигляді активного мулу або біоплівки.

Активний мул – буро-жовті дрібні пластівці розміром 3–150 мкм, які зважені у воді і уявляють собою колонії живих мікроорганізмів, в тому числі бактерій, які утворюють слизові капсули – *зооглеї*.

Біоплівка – слизові обростання товщиною 1–3 мм живими організмами фільтрувального матеріалу очисних споруд.

Ефективність процесів біологічного очищення залежить від:

- температури, яка перебуває в межах 20–30 °С;
- активної реакції середовища (рН середовища), яка є оптимальною в межах 6,5–7,5;
- біогенних елементів – органічного вуглецю (БСК), азоту, фосфору.
- рівня живлення мікроорганізмів, який визначається за кількістю забруднень, що припадає на одиницю об'єму очисної споруди, на 1 грам сухої біомаси або на 1 грам беззольної частки біомаси;
- кисневого режиму, який має бути не нижчий за 2 мг/л;
- токсичних речовин, для яких встановлені ГДК, тобто межі, в яких вони не впливають негативно на роботу очисних споруд.

Анаеробний метод здійснюється бактеріями, які не потребують кисню і полягає в зброджуванні сильно зневоднених органічних забруднювачів у закритих апаратах без доступу кисню – метантенках. Його застосовують обмежено, в основному – для попередньої підготовки стоків, що дозволяє знизити концентрацію органічних забруднювачів у 10–20 разів і проводити подальшу очистку вже аеробним методом.

Усі споруди біологічного очищення поділяються на три групи за розташуванням в них активної біомаси:

- біомаса закріплена нерухомо, а стічна вода – рухається;

- біомаса знаходиться у стічній воді у вільному (зваженому) стані;
- суміщаються обидва варіанти.

До першої групи споруд відносяться фільтри;

- до другої – аеротенки, циркуляційні окислювальні канали, окситенки;
- до третьої – занурювальні біофільтри, біотенки, аеротенки з наповнювачами.

Біофільтри – очисні споруди, в яких стічну воду пропускають через шар крупнозернистого матеріалу, покритого біоплівкою, заселеною аеробними бактеріями і простішими організмами, що адсорбують і окислюють органічні речовини.

Біофільтр – це прямокутний або круглий резервуар з цегли або бетону, завантажений фільтрувальною масою. *Основна частина біофільтра* – змінний матеріал для підтримання активної біомаси. *Пропускна здатність біофільтра* визначається площею поверхні, що зайнята біомасою, і вільним доступом кисню повітря до неї. Чим більша площа і чим легший доступ кисню, тим вища пропускна здатність.

Як кускові насадки (завантаження) у біофільтрі використовують: щебінь; гравій; шлак; керамзит; керамічні пластмасові кільця; куби; кульки; циліндри; тканинні і пластмасові сітки, скручені в рулони.

У табл. 1 наведена характеристика біофільтрів для різних виробництв, яка свідчить, що пропускна їх здатність дуже залежить від складу стічних вод.

Таблиця 1 – Характеристика біофільтрів для різних виробництв

Біофільтр	Виробництва	Глибина очищення БСК, мг/л		Продуктивність, м ³ /добу
		До	Після	
1	2	3	4	5
Крапельне завантаження висотою 1,5 м	Диметилтерефталату Натрійбутадієнового каучуку Оксиду фтилена Полівінілацетату Хлоропренового каучуку	320–580	10–25	400 400 175 500 400
Високонапірний, висота шару 3 м, витрата повітря 20 м ³ /м ³	Нафтопереробний завод	400–600	20–25	300
Високонапірний, висота шару 4 м, витрата	Бутадієн-стирольного каучуку	400–600	20–25	250

та повітря 60 м ³ /м ³				
3 пласким навантаженням, висота шару 4 м	Підприємство органічного синтезу	250	25	7–9

Крапельні біологічні фільтри застосовуються на станціях очищення стічних вод продуктивністю не більше 1000 м³/добу, а **високонапірні** – до 50000 м³/добу.

Крапельні біологічні фільтри встановлюються:

- в опалювальних приміщеннях за середньорічної температури повітря до 3 °С будь-якої продуктивності, а за температури 3-6°С – продуктивністю до 500 м³/добу;
- у неопалювальних приміщеннях за середньорічної температури повітря 3-6°С – продуктивністю до 500 м³/добу;
- БСК стічних вод має бути не більшим за 220 мг/л; для вихідної стічної води з БСК більшим за 220 мг/л необхідно передбачати рециркуляцію; за БСК=220 мг/л і менше необхідність рециркуляції встановлюється розрахунком.

Аеробні методи очищення здійснюються в **аеротенках, біологічних фільтрах і біологічних ставках**.

В **аеротенках** активний мул перебуває у зваженому стані в усьому об'ємі стічної води, яка очищається.

Принцип побудови аеротенків: суміш води й активного мулу повільно рухається по прямокутних резервуарах аеротенка і безупинно насичується повітрям, подається у воду через фільтроси, укладені на дні резервуара уздовж його довгої сторони або іншим способом.

Пухирці повітря, піднімаючись, перемішують активний мул зі стічними водами і не дають пластівцям мулу осідати на дно аеротенка; зовні це виглядає так, начебто вода кипить.

Установлено, що **біохімічне окислювання органічних речовин відбувається у дві стадії**: на першій стадії мікроорганізми адсорбують забруднюючі речовини; на другій – завершують їх окислювання і відновлюють свою початкову здатність до окислювання; обидві стадії починаються одночасно, але друга триває довше.

За високої вихідної концентрації забруднень, а також за наявності в ній речовин, здатність до окислювання яких різко відрізняється, застосовують двоступінчасте очищення, за якого стоки, що очищаються, проходять послідовно через два аеротенки.

Перший ступінь – анаеробне бродіння в метантенках або аеробне окислення в аеротенках; другий ступінь – біологічне очищення.

Анаеробне бродіння застосовується за БСК стічної води, що поступає, від 6000 до 20000 мг/л і концентрації мінеральних солей не більше 30000 мг/л.

Анаеробне окислення застосовується за БСК стічної води, що поступає, від 1000 до 6000 мг/л.

Для першого ступеня необхідно передбачити:

- рівномірну, на протязі доби, подачу стічних вод в обидва ступені метантенків;
- рівень стічних вод у метантенках нижче горловини на 0,5 м;
- повернення активного анаеробного мулу з другого ступеня метантенків у перший в кількості 30% від кількості стічних вод, що подаються;
- об'єм метантенків другого ступеня таким, що дорівнює 50% об'єму першого ступеня;
- подачу стічних вод і зворотного мулу: у перший ступінь – у верхню частину, у другий ступінь – у нижню частину;
- перемішування стічної води внаслідок рециркуляції газу, що утворюється, з інтенсивністю $6 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ год.}$;
- аеротенки-змішувачі з регенераторами об'ємом, що дорівнює 30% від об'єму аеротенків;
- відстійники з тривалістю відстоювання 1,5 години.

Для другого ступеня очищення необхідно передбачати аеротенки-витиснювачі, відстійники з тривалістю відстоювання 2 години.

Ефект очищення за анаеробного збродження приймається 90%; вихід газу – 0,5–0,6 м^3 на 1 кг зниження БСК; склад: метану – 65–73%, вуглекислого газу – 20–23%.

Ефект очищення при аеробному окисленні – 95–98%.

Метантенки. У результаті обробки промислових стічних вод утворюються осади – водні суспензії мінеральних або органічних речовин, що відрізняються за фізичними і хімічними якостями.

Сучасна техніка обробки осадів спрямована на доведення їх до стану, за якого виключається забруднення навколишнього середовища і можлива утилізація корисних компонентів, що в них є.

Надлишковий активний мул, частинки відмираючої біоплівки, а також деякі органічні осади погано віддають воду, мають неприємний запах, легко загнивають. Тому їх стабілізують, зброджуючи без доступу кисню анаеробними бактеріями в спеціальних апаратах – метантенках. Метантенки уявляють собою залізобетонні герметично закриті резервуари з конічним дном.

У процесі зброджування утворюється суміш газів, яка складається з метану (до 65–70%) і двоокису вуглецю (до 30%). Газ подається в газгольдери, які є накопичувачами і регуляторами рівномірної подачі його на опалювання для отримання пари, що йде на нагрівання процесу бродіння.

Для бродіння осадів у метантенках приймають мезофільний (температура бродіння становить 33°C) і термофільний (температура бродіння 53°C) процеси.

На даний час здійснюється також очищення стічних вод в **окситенках** з використанням замість повітря чистого кисню.

Біологічні ставки – система земляних резервуарів глибиною 1,0–1,5 м, по яких протікає вода і відбувається її очищення від забруднень в умовах, близьких до самоочищення в природних водоймах.

Термічне очищення стічних вод

Термічне очищення полягає у повному окислюванні за високої температури (згоряння) забруднюючих речовин з одержанням нетоксичних продуктів згоряння і твердого залишку. Термічний метод економічно недоцільний за великих об'ємів стічних вод і малих концентрацій забруднювачів, тому що вимагає великих витрат тепла. Проте, часто він незамінний, наприклад, за наявності високо мінералізованих вод і тих, що містять органічні токсичні речовини.

Можливі *два напрями в застосуванні методу термічного очищення* знач- но мінералізованих стічних вод:

1) істотне зменшення обсягу стоків випарюванням з доведенням домішок до гранично можливих концентрацій і збереження розчинів у природних і штучних відвалах.

Таке очищення можливе лише за невеликого обсягу стічних вод і його слід розглядати як тимчасове вирішення питання, поки не буде знайдений спосіб використання відходів;

2) виділення зі стоків солей та інших цінних речовин з наступним їх використанням.

Процес упарювання можна виконувати також в *апаратах із зануреними пальниками*, в яких стічні води нагріваються від безпосереднього контакту з димовими газами, що утворюються від спалювання газоподібного або рідкого палива в пальниках, занурених у воду.

Випарні апарати із зануреними пальниками використовуються для упарювання стічних вод у виробництвах синтетичних смол і лакофарбових матеріалів, хімічних реактивів, епоксидних смол і ін.

Результати їх експлуатації доводять, що може бути досягнутий тридцятикрат- ний ступінь впарювання стоків, що відповідає вмісту сухої речовини 300–400 г/л.

Як уже зазначалося, впарена рідина зазвичай проходить другу стадію – стадію утворення твердого продукту, для чого використовують розпильні сушарки й апарати з киплячим шаром.

У *розпильних сушарках* впарена рідина (або стічні води високої мінералізації) надходить зверху сушильної камери через форсунку і зверху також паралель- ним потоком подають нагріте повітря або димові гази. Унаслідок тонкого розпилення води досягається інтенсивне її випаровування, дрібні (розміром у кілька мікрон) частинки політанта опускаються на дно камери і відводяться шнеком. Відпрацьований сушильний агент після очищення від пилу в циклонах викидається в атмосферу. Питома кількість води, що випаровується у цих сушарках не- велика – 10-14 кг/(м³год), тому розпилувальні сушарки

громіздкі, що обмежує їх застосування.

Більш компактним є *апарат з киплячим (псевдозрідженим) шаром*, до складу якого входять піч та циклон для очищення димових газів від пилу. Вертикальний корпус печі, футерований вогнетривкою цеглою, має в нижній частині газорозподільну решітку, під яку подають псевдозріджувальний газ – гаряче повітря або димові гази. Він переводить у зважений стан суміш, яка подається зверху і складається з впареної рідини (або стічної води) і вже зневоднених частинок забрудника. Зважений шар складається з декількох фаз: у верхній фазі починається процес сушіння, у нижній - знаходиться відносно щільний шар сухих частинок, які видаляються із системи шнеком. Можна також виділити середню фазу, яка є перехідною. Псевдозріджувальний газ, пройшовши через зважений шар, потрапляє в циклон і у вигляді димових газів викидається в атмосферу. Існують й інші конструкції апаратів для сушіння в киплячому шарі.

Метод термічного очищення стічних вод дедалі ширше застосовується для очищення значно мінералізованих стоків нафтопереробних заводів.

У проектуванні нових нафтопереробних заводів, які повинні працювати без скидання стічних вод у водойми, передбачають термічне очищення стоків, що спрямовується у так звану другу систему каналізації. У цю каналізацію скидають води від продування систем оборотного водопостачання, води, що виділяються із сирової нафти (із вмістом солей до 8500 мг/л), нейтралізовані сірчанолужні води, солевмісні води з ТЕЦ та інші стоки, очищення яких неможливе будь-яким іншим способом, крім термічного.

Очищення виконують на *установках термічного знешкодження і знесолення, які складаються з трьох відділень*:

- у першому здійснюється содово-вапняне зм'якшення стоків;
- у другому – розпарювання стічних вод у багатокорпусних випарних установках з десятикратним ступенем розпарювання (водний конденсат, який утворюється, повертається в оборотну систему водопостачання);
- у третьому – одержання твердого продукту – сухих солей.

Масштаби цих процесів: на заводі, що переробляє за рік 12 млн. тонн нафти, щодня на установках термічного знешкодження і знесолення отримують

понад 80 т сухих солей. Завдання полягає в тому, щоб зменшити вартість очищення, використовуючи вихідне тепло для інших процесів і знайшовши спосіб утилізації сухих солей, які утворюються в результаті.

Методи біохімічного та термічного очищення є ефективними і виступають не- від'ємною складовою системи очищення стічних вод будь-якого підприємства.

Так, *технологічна схема комбінату безвідходного виробництва* може бути організована таким чином, що агресивні пилогазові, рідкі і тверді відходи промислових підприємств за допомогою спеціальних засобів їх вилучення, перемішування і переміщення нейтралізуються в підземному реакторі, суміщеному із системою промислової каналізації.

Пилогазові викиди подаються в реактор завдяки розрідженню, яке створюється потужною вентиляційною установкою. У скруберах і самому реакторі гарячі пилогазові викиди проходять через слаболужний оборотний розчин, який розбризкується за допомогою системи розпилення (зрошувачів) і розчиняє в собі хімічно активні газові компоненти, а також насичує гази водяною парою й осаджує пил. Багатокомпонентна газова суміш, яка формується у реакторі, містить меншу (у порівнянні з повітрям) кількість O_2 і підвищену CO_2 . Ця суміш охолоджується розчином і по пласкому наземному газоводу надходить на біологічне оброблення, попутно обігрівуючи тепличне господарство. Біологічне оброблення газів може бути поєднане з виробництвом біомас.

Агресивні промислові стоки надходять у реактор і змішуються зі стікаючим потоком оборотного розчину, компенсуючи його втрати внаслідок випаровування і втрати з осадом. Основна маса твердих відходів (шлаки) транспортуються до наземних пристроїв реактора – нейтралізатора, де лужні шлаки промиваються по- даним наверх і освітленим у відстійнику оборотним розчином. Після промивання шлаків розчин відстоюється і знову подається на зрошення.

Певна частина твердих відходів (пил, шлам) подається на знешкодження в реактор, минаючи нейтралізатор.

Промислові стоки, забруднені нерозчинними речовинами, минаючи реак

тор, подаються в загальний відстійник, де звільняються від суспензій і заново спрямовуються в систему водообороту.

Горючі відходи подаються на спалювання в піч, недогарки – на комплексне перероблення твердих продуктів, газ – у реактор, тепло – утилізується.

Побутові стічні води зазнають попереднього знешкодження, а потім природного оброблення в ставках, де доводяться до стану, близького до природного. Вода використовується для технічного водопостачання і подається на зрошення.

У результаті всі промислові і побутові стічні води замикаються в загальній системі водокористування, їх скидання в природні водойми ліквідується.

Тверді речовини – осад з реактора, виробниче і побутове сміття, шлаки, недогарки, органічні залишки від біологічного очищення побутових і промислових стічних вод надходять у блок цехів для комплексного перероблення – у добриво, будматеріали і різні види сировини. Такий комбінат безвідходного виробництва певним чином моделює, стосовно використання природних ресурсів, біогеохімічні системи, які розвинулися на Землі

Сучасний великий хімічний комбінат споживає до 1 млн. м³ води за добу. Тому виникла думка не скидати у водойми усю відпрацьовану воду, а частину її повертати у виробництво після деякого оброблення (очищення, охолодження, пом'якшення й ін.). Почалося це повернення води в оборот з умовно чистих вод,

– тому що їх простіше довести до необхідного стану. Потім поступово стали братися і за інші більш забруднені води, що відходять, і нарешті було поставлене питання про повернення в цикл водопостачання усіх відпрацьованих вод підприємства, тобто створення цілком замкненого циклу водопостачання. Принципова схема водообороту наведена на рис. 19.

Нагріта оборотна вода, що циркулює по замкненій системі, після використання в технологічних процесах, охолодження устаткування, охолоджується в градирнях. Частина оборотної води із системи подається на очищення, причому більш «брудні» стоки проходять через станцію очищення (нейтралізації) і станцію біохімічного очищення, де вони очищаються разом з побутовими стоками, після чого потрапляють у басейн додаткового очищення

загального стоку. Порівняно «чисті» стічні води відводяться із системи безпосередньо в басейн. Звідти очищена вода подається на повторне використання через фільтрувальну і насосну станції.

Неминучі втрати води внаслідок її випаровування компенсуються через водозабір. Надлишки води в системі (виникнення яких може бути спричинене, наприклад, залповими скиданнями окремих споживачів) з басейну скидаються у водойму. На перший погляд може видатись, що перехід до цілком замкнутого циклу водопостачання вимагає лише капітальних витрат на будівництво відповідних очисних споруд. Проте, на жаль, справа вирішується не так просто. Послідовність переходу від неповних оборотних систем до цілком замкнутої оборотної системи водопостачання всього підприємства пояснюється рис. 20, на якому наведена принципова схема системи роздільної каналізації підприємства з використанням частини виробничих відпрацьованих вод для оборотного водопостачання.

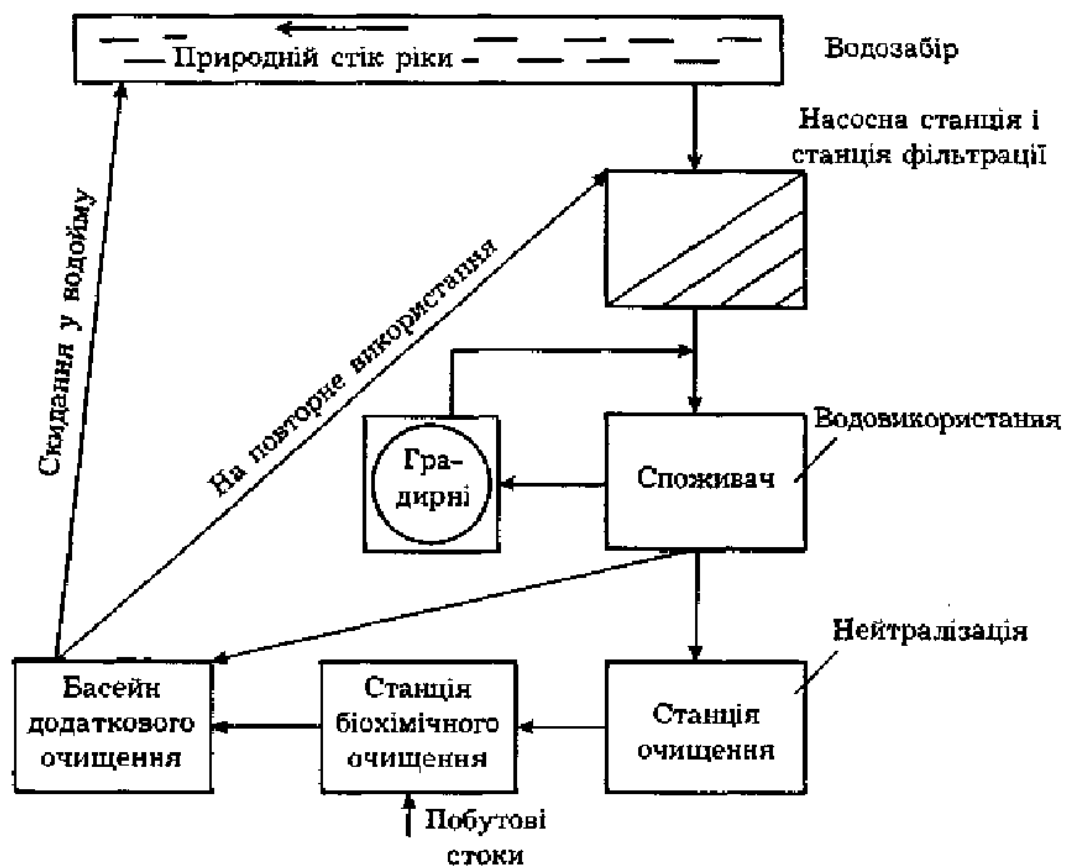


Рисунок – Система оборотного водопостачання

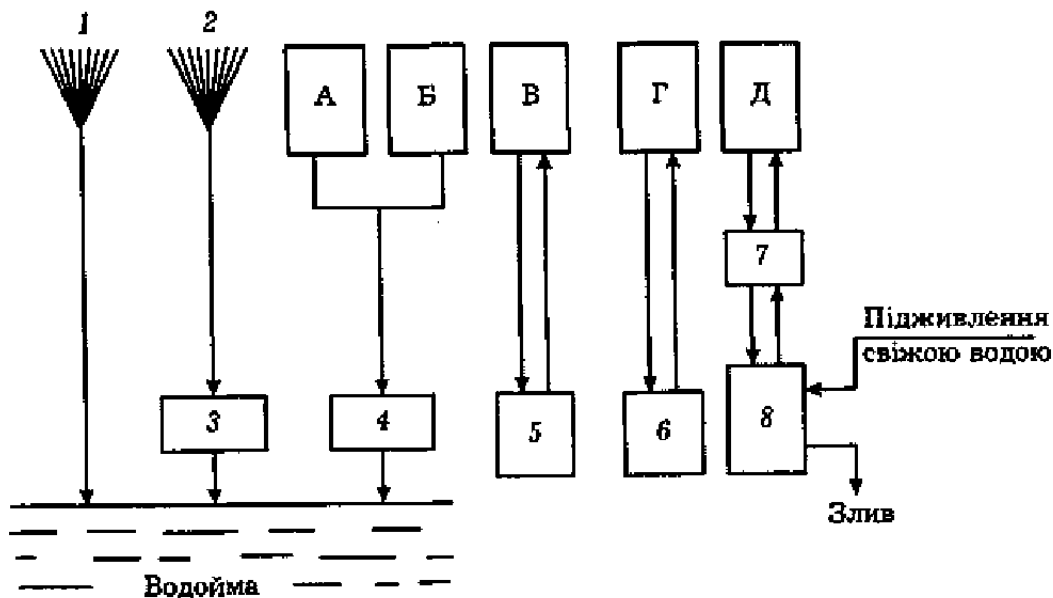


Рисунок – Схема системи роздільної каналізації підприємства:

А, Б, В, Г, Д – цехи підприємства, які скидають стічні води;

1 – мережа дощової каналізації; 2 – мережа господарсько-побутової каналізації; 3, 4 – очисні пристрої; 5, 6 – локальні очисні пристрої; 7 – насосна станція;

8 – охолоджувальні пристрої

Атмосферні води по мережі зливової (дощової) каналізації 1 скидаються безпосередньо у водойму. Побутові води по мережі господарсько-побутової каналізації 2 спрямовуються на очисні пристрої 3, після чого на даному підприємстві надходять у водойму. З цехів А і Б (а можливо, і з інших цехів) стоки, які поки ще не можна включити в оборотну систему, після очисних пристроїв 4 скидаються у водойму. Цехи В і Г мають свої замкнені (локальні) оборотні системи: ці стоки очищаються відповідно у своїх очисних пристроях 5 і 6 (можливо, з утилізацією забруднюючих речовин) і у водойму не скидаються, а повертаються в систему до свого споживача.

У цеху Д, де використовувана вода лише нагрівається, але не забруднюється (умовно чиста вода), вона надходить через насосну 7 на охолоджувальні пристрої 8 (градирні, бризкові басейни тощо) і знову повертається у свій цех. Таким чином, обсяг оборотного водопостачання на даному підприємстві обмежується кількістю води, що обертається в цехах В, Г і Д. Для повного замкненого обороту води на всьому підприємстві, очевидно,

необхідно знайти прийнятний для включення в оборотну систему спосіб очищення стічних вод з цехів А і Б, можливість включення в оборот побутових вод, а у випадку недостатньої кількості води у водоймах – способи використання дощових вод шляхом накопичення їх у штучних водоймах. За цими напрямками і здійснюється науково-практична робота в промисловості зі створення максимально замкнених оборотних систем.

Сутність замкненої оборотної системи полягає в об'єднанні водопроводу і каналізації й у виключенні зі схеми водойми. Один раз узята з водойми вода увесь час обертається в цій об'єднаній системі; забруднена в технологічних процесах – очищається, робиться придатною для обслуговування технологічних процесів, знову забруднюється, знову очищається і так продовжується безперервно. У цієї оборотної системи є певна схожість із системою кровообігу в людському організмі. Правда, ця людська «кругова система» не цілком замкнена: вона забирає з навколишньої атмосфери кисень для дихальних процесів і має «відходи», що потрапляють в атмосферу (двоокис вуглецю і пара води, які виділяються з по- дихом). Але й оборотна система водопостачання і каналізації в промисловості в сучасному її вигляді також не обмежується кількістю лише один раз узятої води в систему, їй доводиться покривати втрати води, яка обертається у виробництві, з водойми і скидати в неї деякі відходи.

Отже **для створення цілком замкненої оборотної системи необхідно вирішити два основні завдання: перше** – знайти спосіб усунення мінералізації оборотної води, що обертається в системі, без використання для її розведення води водойми і **друге** – знайти спосіб покривати втрати оборотної води знову таки без забору води з водойми. Власне кажучи, це навіть одне завдання – необхідно знайти джерело води, яке не залежить від водойми. Таких джерел два: це **побутові стічні води й атмосферні дощові води.**

Побутові міські стічні води скидаються після їх очищення у водойми і є величезним резервом води, яку можна використовувати і уже використовують для потреб промисловості. Певною мірою це теж завуальований забір води з водойми, тому що побутові стічні води були узяті з водойми і повертаються до

неї назад. Проте слід врахувати, що задоволення потреби у воді для побутового споживання є неминучим, крім того, у ряді випадків комплексне очищення й оброблення побутових стічних вод і промислових стоків доцільне й економічне, тому що у цьому випадку можна об'єднати деякі каналізаційні системи й очисні споруди.

Побутові стічні води після біологічного очищення мають БСК, близько 15 мг O_2 /л і містять 15–25 мг/л завислих частинок, у тому числі рослинних і тваринних мікроорганізмів. Безпосереднє використання таких вод у системах оборотного водопостачання може призвести до інтенсивного розвитку біологічних обростань у водоймах і до посилення процесу мінералізації оборотної води. Тому побутові води, використовувані для заповнення втрат в оборотних системах, необхідно додатково очищати, щоб довести БСК₅ додаткової води до 5 мг O_2 /л, а концентрацію завислих частинок до 5–10 мг/л.

Атмосферні дощові води є нерегулярним джерелом водопостачання, тому що їх кількість залежить від кліматичних умов району. Але в умовах нашої країни (крім південних безводних районів) дощове та снігове водоживлення можуть дати значне поповнення водних ресурсів підприємства. Раніше часто у проектуванні каналізації передбачали відведення зливових вод із промислового майданчика в загальну систему каналізації. Це перевантажувало каналізаційну систему і погіршувало ступінь очищення стічних вод особливо під час сильних злив і в період сезонного танення снігів.

Таким чином, для створення цілком замкненої системи водопостачання необхідно:

- знайти способи підтримувати сталість води, яка обертається в системі, як за кількістю, так і за складом;
- здійснювати боротьбу із забрудненням системи як мінеральними, так і біологічними відкладеннями;
- забезпечити захист устаткування від корозії;
- організувати на всіх етапах, де відбувається забруднення води системи, її очищення до потрібного ступеня;
- не скидати у водойми те, що потрібно вилучати із системи, а

ліквідовувати іншими способами.

Щоб підтримати постійну кількість води в системі, необхідно покривати її витрати підживленням. Іноді це можна зробити, використовуючи побутові стічні або атмосферно-дощові води. Але, незалежно від цього, якщо взагалі зменшити кількість оборотної води у системі, то зменшиться і потреба в підживленні і можна буде цю невелику кількість підживлення брати з водойми без повернення. Нові системи замкненого оборотного водопостачання так і проектують: із забором невеликої кількості води на підживлення з водойми, але без скидання в неї стічних вод. Значно мінералізовану воду, яку потрібно було б скинути із системи замість підживлювальної води, знищують відомими способами. Таким чином, і кількісний і якісний склад води, що обертається в системі, залишається постійним. На рис.21 наведена модель безстічного оборотного водопостачання промислового підприємства (системи очищення стічних вод і підготовки їх до використання в оборотній системі водопостачання без якого-небудь скидання стічних вод у водойми). Частина стічних вод від технологічних установок підприємства надходить у системи локального очищення IV, інша частина – умовно чисті води – охолоджується і повертається у виробництво через вузол оборотного водопостачання I; інші стічні води (лінії 5) проходять очищення: механічне, фізико-хімічне або біохімічне і надходять очищеними (по лініях 6) у вузол додаткового (остаточного очищення) V і потім у вузол оборотного водопостачання I, звідки (по лінії 3) повертаються у виробництво, замикаючи таким чином цикл. Дуже зволожені відходи від очисних установок (по лініях 8), а також мінералізовані стоки, вилучені в процесі підживлення (на рисунку не вказані), надходять у вузол підготовки відходів VII. Тут від них відокремлюється вода, що повертається у виробництво (по лінії 7); тверді зневоднені відходи, якщо вони можуть бути використані у виробництві, повертаються туди (лінія 9) або потрапляють у відвали, але не скидаються у водойми. Воду для підживлення системи беруть з водойми (або інших джерел) по лінії 1.

Створення замкнених циклів водопостачання.

Можна сформулювати *загальні принципи створення оборотних систем водопостачання підприємств*:

– для підвищення ефективності очищення від забруднень водооборотних систем вони повинні бути багатоконтурними: стічні води із забруднювальними речовинами, близькими за властивостями, повинні знаходитися в окремому замкненому контурі;

– локальні системи очищення в оборотних системах водопостачання повинні забезпечувати демінералізацію стічних вод, вивільнення від механічних домішок, відсутність біозабруднень;

– з метою боротьби з біообростанням у системах оборотного водопостачання і корозією устаткування, яке контактує з водою, у цих системах повинно бути передбачене введення у воду відповідних інгібіторів. Як приклад ефективної системи оборотного водопостачання хімічного підприємства може бути Первомайське виробниче об'єднання. Продукція комбінату хлор, каустична сода, пластмаси, засоби захисту рослин, миючі засоби й ін. На цьому комбінаті створена замкнена система водопостачання (рис.), за якої цілком виключається скидання стічних вод у поверхневі водойми, а споживання води з джерел водопостачання передбачається лише для заповнення безповоротних втрат.

Рисунок – Комплексна схема і баланс споживання води з використанням



стічних вод хімічного комбінату, ТЕЦ, міста та підприємств промислового комплексу (цифри – витрата води в тис. $m^3/добу$ з вирахуванням безповоротних втрат)

У комплексній схемі стічні води технологічних процесів хімічного комбінату і ТЕЦ замкнені в локальних циклах водного господарства з очищенням виробничих стічних вод на певному ступені циклу. В окремі мережі каналізації ви- пускаються лише потоки, очищення яких передбачене на загальнозаводських очисних спорудах. Для окремих потоків передбачені різні мережі каналізації: з вмістом органічних забруднень, мінеральних забруднень зі значною мінералізацією (більш 3 г/л), побутових, умовно чистих і дощових.

Для ілюстрації ефективності водооборотних систем у табл. 3 наведені порівняльні дані про водоспоживання і використання стічних вод до і після впровадження комплексної схеми оборотного водопостачання й очищення стоків. З табл. 19.1 видно, що загальна витрата в промисловому регіоні свіжої води знизилася у 6 разів, а безпосередньо на хімічному комбінаті – більше ніж у 30 разів, скидання стічних вод у річку припинено, повернення стічних вод у виробництво становить 95,7%.

Використання в комплексній схемі окремих потоків дозволяє застосовувати **локальне очищення стічних вод**. Локальне очищення стічних вод має велику перевагу в порівнянні із загальним, тому що очищенню підлягає стічна вода, яка містить одне забруднення або кілька близьких за хімічними властивостями. Технологія такого очищення простіша, більш економна і ефективніша, ніж технологія очищення стічних вод, що містять багато різних забруднень. Локальне очищення повинне виконуватися на виході технічних стічних вод з підприємства, з його окремих цехів або з виробничих ліній. При цьому не допускається змішування стічних вод, що містять різноманітні забруднення.

Таблиця 3 – Порівняльні дані про споживання води і використання стічних вод до та після встановлення комплексної схеми очищення стоків і оборотного водопостачання, тис $m^3/добу$

Показники	До встановлення	Після встановлення
Загальна витрата свіжої води	175,6	29,4
В тому числі хімічним комбінатом	150,7	4,5
Загальна кількість води в обороті	551,2	688,4
Загальна кількість стічних вод, які надходять на біологічне очищення	137,2	16,8
в тому числі хімічного комбінату	128,1	7,6
Скидання стічних вод в річку	137,2	–
Закачування стічних вод в підземні пласти	–	1.8
Повернення стічних вод у виробництво, %	–	95,7

Важливим принципом формування систем оборотного водопостачання є комбінування потреб низки підприємств і організацій (хімкомбінат, ТЕЦ, житловий масив і ін.) у воді й очисних спорудах в межах одного промислового регіону. Лише в цьому випадку можливе створення економічно ефективних схем водооборотних систем. Масштаб водокористування для сучасних систем і устаткування очисних споруд можна умовно оцінити, як економічний у споживанні води, аналогічному споживанню містом з населенням 1 млн. осіб. Природно, що за промислового споживання води (як чистої, так і оборотної) ці потреби включаються в загальну оцінку, і сама ця оцінка дуже приблизна. Проте вона дає наочне уявлення про обсяги водогосподарчого використання. Такий принцип масштабності часто застосовують у передпроектних роботах.

Замкнене оборотне водопостачання промислових підприємств набуває в нашій країні дедалі більшого застосування. Воно дає економічний ефект, але набагато більше значення має екологічний ефект – припинення забруднення річок, у які раніше скидалися не зовсім очищені стічні води.

Контрольні питання до лекції 5:

1. Які види відпрацьованих стічних вод є?
2. Які методи очищення стічних вод існують?
3. В чому полягає хімічний та фізико-хімічний спосіб очищення стічних вод?

4. Поясніть суть поняття флотація?
5. В чому полягає біологічне та термічне очищення стічних вод?
6. Яка різниця між аеробним та анаеробним методом очистки?
7. Для яких процесів використовують аеротенки та метантенки?
8. В чому суть замкненої оборотної системи водопостачання?