

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

**Т. С. Айрапетян, С. М. Епоян**

**ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
всіх форм навчання зі спеціальності  
194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)*



**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2024**

**Айрапетян Т. С.** Технології переробки та утилізації відходів : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Т. С. Айрапетян, С. М. Епоян ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 116 с.

Автори:

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

Рецензенти:

**О. А. Сироватський**, доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова);

**Т. О. Шевченко**, кандидат технічних наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

*Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 29.08.2022*

© Т. С. Айрапетян, 2024

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Змістовий модуль 1 Види відходів та методи переробки	5
Тема 1 Поняття «відходи», класифікація відходів. Основні стратегії управління відходами.....	5
Тема 2 Осади стічних вод.....	12
Тема 3 Осади водопровідних очисних станцій.....	17
Тема 4 Обробка осадів стічних вод.....	23
Тема 5 Ущільнення та згущення осадів.....	26
Змістовий модуль 2 Переробка та утилізація осадів комунальних очисних споруд природних та стічних вод.....	34
Тема 6 Стабілізація осадів.....	34
Тема 7 Кондиціонування осадів.....	43
Тема 8 Зневоднення осадів.....	50
Тема 9 Знезараження осадів та утилізація осадів.....	65
Змістовий модуль 3 Технології переробки промислових та побутових відходів .....	75
Тема 10 Джерела, класифікація та переробка твердих побутових відходів.....	75
Тема 11 Технології, що застосовуються для переробки твердих побутових відходів.....	87
Тема 12 Сортування відходів для вторинного використання.....	96
Тема 13 Переробка промислових відходів.....	102
Список використаних джерел.....	113

## ВСТУП

Конспект лекцій складено відповідно до програми навчальної дисципліни «Технології переробки та утилізації відходів».

Програма вивчення обов'язкового навчального компоненту «Технології переробки та утилізації відходів» складена відповідно до освітньо-професійної програми «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» другого (магістерського) рівня вищої освіти.

Метою навчальної дисципліни «Технологія переробки та утилізації відходів» є опанування основ сучасних методів і технологій переробки побутових та промислових відходів.

Міждисциплінарні зв'язки: вивчення цієї дисципліни безпосередньо спирається на базові знання з водопостачання та водовідведення, очищення стічних та природних вод, методи та технології очищення стічних вод, методи очищення природних вод, водовідведення промислових підприємств, промислової екології, оцінки впливу на довкілля.

Програма навчальної дисципліни містить такі змістові модулі:

Змістовий модуль 1 Види відходів та методи їх переробки.

Змістовий модуль 2 Переробка та утилізація осадів комунальних очисних споруд природних та стічних вод.

Змістовий модуль 3 Технології переробки промислових та побутових відходів.

# ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

## ВИДИ ВІДХОДІВ ТА МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ

### Тема 1 Поняття «відходи», класифікація відходів. Основні стратегії управління відходами

1. Види, класифікація відходів.
2. Основні поняття у сфері поводження з відходами.

Українськими фахівцями за час становлення законодавчо-нормативної бази поводження з відходами створено вже цілий комплекс термінів і понять, який розкриває різні аспекти й напрями поводження з відходами як з наукового, так і практичного боку.

У світі, зокрема в європейському законодавстві та у науково–практичній діяльності, також сформований і діє потужний понятійний комплекс у сфері поводження з відходами, який останнім часом достатньо активно застосовується в українській науці та практиці.

Базовим поняттям цієї сфери є поняття «відходи», що закріплене у Законі України «Про відходи» № 187/98–ВР від 05.03.1998.

**Відходи** – будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворилися у процесі виробництва чи споживання, а також товари (продукція), що повністю або частково втратили свої споживчі властивості і не мають подальшого використання за місцем їх утворення чи виявлення і від яких їхній власник позбувається, має намір або повинен позбутися шляхом утилізації чи видалення.

Відходи, як результати господарської та промислової діяльності, класифікуються за різними параметрами:

за сферою утворення;	відходи виробництва та споживання і побутові відходи;
за ступенем небезпечності та характером впливу на навколишнє природне середовище і людину;	токсичні, вибухові, вогнебезпечні, радіоактивні відходи тощо (небезпечні відходи);
залежно від стану, в якому перебувають відходи;	газоподібні, рідинні, тверді, сумішеві.

### *Нагромадження відходів виробництва і споживання.*

Сьогодні Україна лідирує в Європі за кількістю відходів. Показники утворення й нагромадження відходів в Україні свідчать про загрозову екологічну ситуацію в державі. За даними Міністерства екології та природних ресурсів України, у нашій державі нагромаджено близько 35-36 млрд тонн відходів, що займають 7 % території.

Відходами виробництва й споживання (відходи) називають залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, інших виробів або продуктів, які утворилися в процесі виробництва або споживання, а також товари (продукція), що втратили свої споживчі властивості.

*До відходів споживання та побутових відходів відносять:*

- зіпсовані (пошкоджені) і неремонтопридатні чи відпрацьовані, фізично або морально зношені вироби та матеріали, які втратили свої споживчі властивості (відходи споживання);
- залишки продуктів харчування, побутових речей, пакувальних матеріалів тощо (тверді побутові відходи), господарсько-побутові та каналізаційні стоки (за винятком промислових) за відсутності централізованого водовідведення (рідкі побутові відходи).

До відходів споживання також відносять відходи, у яких закінчився термін придатності у побуті, а також непотрібні людині продукти або їхні залишки, що утворилися в системі міського господарства. Найпоширеніші відходи споживання:

- тверді побутові відходи (ТПВ), великогабаритні відходи (холодильники, пральні машини, плити, дивани);
- автопокришки;
- ртутні лампи.

*Відходи споживання* поділяють на **комунальні стоки і тверді побутові відходи** (харчові залишки, використана упаковка, відпрацьовані матеріали).

**Побутові відходи** – відходи, що утворюються в процесі життя і діяльності людини у житлових та нежитлових будинках (тверді, великогабаритні, ремонтні, рідкі, крім відходів, пов'язаних з виробничою діяльністю підприємств) і не використовуються за місцем їх накопичення.

*Відходи виробництва* (або *промислові відходи*) утворюються в результаті виробничих циклів, це: залишки сировини, залишки матеріалів, залишки

напівфабрикатів, що утворилися під час виробництва і частково або повністю втратили свої початкові споживчі якості.

Основні джерела промислових відходів в Україні – це сталеплавильне виробництво, титано-магнієве, коксохімічне, залізо- і марганцеворудне виробництва, тепла енергетика, виробництво мінеральних добрив. До промислових відходів відносять шлами, недогарки, шлаки, відходи текстилю, відпрацьовані мастила і нафтопродукти, зола, пил, дими, аерозолі, смоли тощо.

Відповідно до місця утворення відходи поділяють на такі види:

- побутові;
- промислові;
- сільськогосподарські,
- медичні.

На жаль, проблемі знешкодження побутових відходів до теперішнього часу приділялось вкрай недостатньо уваги, а тим більше зараз, коли на перше місце висувається нестача грошових коштів. Наша країна за рішенням цієї проблеми відстала на десятиліття від таких країн, як Німеччина, Японія, Франція, США, Італія тощо.

Сьогодні Україна лідирує в Європі за кількістю відходів. Показники утворення й нагромадження відходів в Україні свідчать про загрозливу екологічну ситуацію в державі. За даними Міністерства екології та природних ресурсів України, у нашій державі нагромаджено близько 35–36 млрд т відходів.

Видалення ТПВ на звалища (полігони) слід розглядати як вимушене, тимчасове розв'язання проблеми, яке в принципі суперечить екологічним і ресурсним вимогам. Оскільки звалища розташовані поряд з містами, а нескінченно площа вивезення ТПВ збільшуватися не може, для всіх країн актуальною є проблема промислової переробки ТПВ.

Наразі ситуацію, яка склалася в Україні у сфері поводження з ТПВ, можна розглядати як кризову. Необхідність утилізації твердих побутових відходів набуває гострого значення, оскільки продовжується накопичення відходів як у промисловому, так і побутовому секторах. Ця проблема вирішується дуже повільно: якщо у розвинених країнах переробляється більше половини відходів, то в Україні – лише 2–3 %. Щорічно відводяться значні

території землі для організації додаткових сміттєзвалищ, тоді як наявні переповнені вкрай.

В економічно розвинених країнах (Німеччина, Бельгія, Японія, Швейцарія тощо) достатньо широко розповсюджені заводи з переробки відходів. Але будівництво та експлуатація таких заводів потребує значних капіталовкладень, а також застосування високотехнологічних методів очищення газів та утилізації шлаків, утворюваних при спалюванні ТПВ, що не завжди можливо в реальних умовах.

Така ситуація з відходами зумовлена низкою проблем, серед яких необхідно виділити такі: накопичення відходів як на спеціально улаштованих полігонах, так і на несанкціонованих звалищах; відсутність підготовчих заходів із сортування відходів та технологій їх ефективною переробки та утилізації; прогресоване навантаження на оточуюче середовище токсичних компонентів ТПВ; недосконалість моніторингу та законодавчо-нормативної бази; зростання соціальної напруги через невдоволеність населення станом полігонів і звалищ тощо.

Незважаючи на те, що міські звалища побутового сміття зазвичай розташовані на околиці міст або за межами міста, ці відходи становлять дуже серйозну небезпеку.

Тверді побутові відходи, поряд із промисловими, є одними з основних джерел забруднення природного середовища у містах і на прилеглих територіях. Це пов'язано, з одного боку, з високим вмістом хімічних, зокрема токсичних речовин у відходах, з іншого – з різноманіттям і великими обсягами відходів, що утворюються.

В Україні систематизація відходів та відповідних їм кодів закріплені у **Державному класифікаторі відходів ДК 005–96**, затвердженому Наказом Держстандарту України 29.02.1996 № 89.

Відповідно до цього документа до **ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА** належать:

- залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів тощо, утворені в процесі виробництва продукції або виконання робіт, які втратили цілком або частково вихідні споживчі властивості (відходи виробництва);
- розкривні і супутні гірничі породи, що видобуваються у процесі розроблення родовищ корисних копалин;



- залишкові продукти збагачення та інших видів первинної обробки сировини (шлак, пил, відсів тощо);
- новоутворені речовини та їх суміші, утворені в термічних, хімічних та інших процесах, які не є метою даного виробництва (шлак, зола, кубові залишки, інші тверді та пастоподібні утворення, а також рідини та аерозолі);
- залишкові продукти сільськогосподарського виробництва (зокрема тваринництва), лісівництва і лісозаготівель;
- бракована, некондиційна продукція усіх видів економічної діяльності або продукція, що забруднена небезпечними речовинами і не придатна до використання;
- неідентифікована продукція, застосування (експлуатація) або вживання якої може спричинити непередбачені наслідки, у т. ч. мінеральні добрива, отрутохімікати, інші речовини;
- осади очисних промислових споруд, споруд комунальних та інших служб;
- залишки від медичного та ветеринарного обслуговування, медико–біологічної та хіміко-фармацевтичної промисловості, аптечної справи;
- залишкові продукти усіх інших видів діяльності підприємств, установ, організацій і населення;
- матеріальні об'єкти та субстанції, активність радіонуклідів або радіоактивне забруднення яких перевищує межі, встановлені чинними нормами, за умови, що використання цих об'єктів та субстанцій не передбачається (радіоактивні відходи).

**Небезпечними відходами** називаються відходи, що містять шкідливі речовини, які мають небезпечні властивості (токсичність, пожежовибухонебезпечність, високу радіаційну активність) або містять збудників інфекційних хвороб, а також становлять потенційну небезпеку для навколишнього природного середовища і здоров'я людини самостійно або при контакті із іншими речовинами.

Практика управління відходами виявила необхідність використання низки специфічних понять і визначень. Розглянемо деякі з них.

Обіг відходів – діяльність, у процесі якої утворюються відходи, а також відбувається збір, використання, знешкодження, транспортування і розміщення відходів.

Розташування відходів – зберігання і поховання відходів. Своєю чергою зберігання відходів – це комплекс робіт, що забезпечують розташування відходів на об'єктах розміщення відходів з метою їхнього наступного поховання, знешкодження або використання.

Захоронення відходів – ізоляція відходів, які не підлягають подальшому використанню, у спеціальних сховищах, що виключають попадання шкідливих речовин у навколишнє природне середовище.

Використання відходів передбачає застосування відходів для: виробництва товарів (продукції); виконання робіт; надання послуг або для одержання енергії.

Знешкодження відходів – обробка відходів, у тому числі спалювання і знешкодження відходів на спеціалізованих установках, з метою запобігання шкідливому впливу відходів на здоров'я людини і навколишнє природне середовище.

Під об'єктом розміщення відходів слід розуміти спеціально обладнані споруди, призначені для розміщення відходів (полігон, шламосховище, хвостосховище, відвал гірських порід тощо).

Кожному виробникові продукції встановлюється норматив утворення відходів, тобто кількість відходів конкретного виду при виробництві одиниці продукції.

Побутові відходи найчастіше класифікуються за їх агрегатним станом на тверді та рідкі.

До твердих (ТПВ) відносять: паперові вироби (папір газетний, споживчий, пакувальний, картон), вироби з дерева, металу, пластику, текстилю, шкіри, скла, гуми, електронні відходи, великогабаритні відходи предметів, які вийшли з ужитку: побутова техніка, меблі, різні прилади та інструменти, органічні харчові відходи та сільськогосподарські відходи.

До рідких побутових відходів відносять: стічні побутові стоки від населених пунктів та приватних господарств.

Особливості поводження з ТПВ незмінно пов'язані з поняттям їх морфологічного складу, який визначає шляхи подальшого використання, обробки та розміщення.

Особливу небезпеку для навколишнього середовища й населення становлять радіоактивні відходи.

Із усього різноманіття відходів особливий інтерес викликають відходи виробництва і споживання, з якими доводиться мати справу переважній більшості населення у різних країнах світу. Серед таких відходів особливе місце займають тверді побутові відходи (ТПВ). Побутові («муніципальні») відходи потрібно відносити до непромислових відходів. Але при цьому не варто забувати, що розподіл відходів на побутові і промислові досить умовний, тому що в промислові відходи потрапляють залишки деревини, гуми, шкіри, паперу та інших органічних речовин і полімерні матеріали. Наприклад, полімерні відходи становлять до 15 % загального об'єму побутових і промислових відходів великих міст. Низька культура збору відходів стає причиною того, що до побутових відходів потрапляють батарейки, фарби, люмінесцентні лампи й багато чого іншого.

Відсутність дієвого контролю за процесами утворення, нагромадження, транспортування і знищення відходів, з одного боку, та «екологічної свідомості» – з іншого, призводять у багатьох випадках до об'єднання промислових і побутових відходів і розміщення їх на полігонах і смітниках.

Наприклад, щорічно тільки на санкціоновані смітники і полігони ТПВ в порушення діючих норм і правил направляються десятки мільйонів тонн промислових відходів. Особливо цим грішать дрібні і середні підприємства, що не мають достатніх засобів і технологічної оснащеності, необхідних для переробки й утилізації відходів. На жаль, у більшості регіонів і міст України має місце вивіз промислових відходів на несанкціоновані смітники, причому основну частину цих відходів становлять небезпечні відходи (до 80 %).

Підвищену небезпеку для навколишнього середовища становлять стоки великих тваринницьких комплексів, які щорічно викидають близько 150 млн т розрідженого гною і калу, з яких приблизно 70 % використовується як добриво, а більше 40 млн т цих відходів, потрапляють разом зі стоками у поверхневі і підземні води, забруднюють їх, роблячи непридатними для питного водопостачання.

У класифікації відходів особливо потрібно виділити *осади стічних вод* (каналізаційні відходи), які являють собою відпрацьований біологічно активний мул; частинки текстилю, паперу, піску тощо. Вміст великої кількості солей

важких металів у відпрацьованому мулі не дозволяє використовувати його як добриво, а тому він накопичується на спеціальних територіях.

### Питання для самоперевірки

1. Визначення поняття відходів за законом України «Про відходи».
2. Як класифікують відходи господарської та промислової діяльності?
3. Класифікація відходів за місцем утворення.
4. Основні джерела утворення твердих промислових відходів.
5. Які відходи відносять до небезпечних?
6. Надати визначення небезпечних відходів.

### Тема 2 Осади стічних вод

1. Види осадів. Склад і властивості осадів.
2. Питомий опір осаду фільтрації. Форми зв'язку вологи з частинками твердої фази.

Осади стічних вод – складна багатокомпонентна система, що складається з органічної і мінеральної частин. В осадах міських стічних вод міститься велика кількість мікроорганізмів, зокрема патогенних, токсичних сполук, зокрема іонів важких металів. Об'єм вологих осадів, що утворюються на каналізаційних очисних спорудах, становить від 0,5 до 1,0 % від об'єму стічної води залежно від технологічної схеми очистки.

Забруднення стічних вод можуть переходити в осад – без зміни свого хімічного складу і структури (осад з решіток, з піскоуловлювачів, з первинних відстійників), а також – зі зміною складу і структури (надлишковий активний мул або надлишкова біоплівка, осади після реагентної обробки води тощо).

Залежно від умов формування і особливостей відділення розрізняють осади первинні та вторинні.

**До первинних осадів** відносять грубодисперсні домішки, які містяться у твердій фазі й виділені з води такими методами механічного очищення, як проціджування, седиментація, фільтрація, флотація, осадження у відцентровому полі. **До вторинних осадів** відносять домішки, що спочатку містяться у воді у вигляді колоїдів, молекул та іонів, але в процесах біологічного або фізико–

хімічного очищення води або обробки первинних осадів утворюють тверду фазу.

Залежно від типу споруд, вживаних для очищення стічних вод і обробки осадів, останні поділяють на такі види: грубі домішки, що затримуються решітками; важкі домішки (пісок), що затримуються піскоуловлювачами; плаваючі домішки, спливаючі у відстійниках; сирий осад – суспензія, що включає завислі речовини, які в основному осідають і які затримуються первинними відстійниками.

*Грубі осади (відходи)* затримуються на решітках. До складу таких відходів входять крупні завислі й плаваючі речовини, переважно органічного походження: вміст паперу – 68,5 %, ганчір'я – 26,6 %, кухонних відходів – 2,7 %. Кількість відкидів на решітках з прозорами 16 мм дорівнює 8 л/люд. на рік – за вологості 80 % та об'ємній масі 750 кг/м<sup>3</sup>. Затримані осади піддають подрібненню з подальшим випуском їх у канал перед решіткою або пресують у прес–транспортерах та вивозять на утилізацію.

*Важкі осади* затримуються піскоуловлювачами (пісок, обломки мінералів тощо). Об'єм затриманого піску – 0,02–0,03 л/люд. на добу, об'ємна маса – 1,5 т/м<sup>3</sup>, вологість 60 %.

Плаваючі осади затримуються жироловками або спливають у відстійниках. Кількість 2 л/люд. на рік за вологості 60 % та об'ємній масі 0,6 т/м<sup>3</sup>.

**До вторинних осадів** відносять осади сирі, виділені зі стічної води після біологічного або фізико-хімічного очищення. Залежно від споруд біохімічного очищення виділяють такі види осадів: біоплівка після біофільтрів або активний мул після аеротенків, що затримують у вторинних відстійниках.

Осади також можуть містити канцерогенні і токсичні речовини, солі важких металів, синтетичні ПАВ та ін., вміст яких визначається наявністю у господарсько-побутових стоках домішок виробничих стічних вод, а також характеризуються бактеріологічним забрудненням живими мікроорганізмами (бактерії, водорості, простіші) та паразитами (містять яйця гельмінтів). На очисних спорудах промислових підприємств утворюються осади та шлами (мінерального походження) виробничих стічних вод.

Ви рішення питань, пов'язаних з обробкою та знешкодженням осадів, є надзвичайно складним. Осади міських стічних вод мають великі об'єми (1–4 % від витрати очищуваних стічних вод); 60–70 % загальної кількості

осадів при цьому становить надлишковий активний мул; мають високу вологість, неоднорідний склад і змінювані властивості, характеризуються наявністю великої кількості органічних сполук, які швидко розкладаються і загнивають з утворенням колоїдних систем і неприємного запаху, а також наявністю в їх масі бактеріальної мікрофлори та яєць гельмінтів.

До основних видів осадів, які підлягають багатоетапній обробці, відносяться:

- *сирий осад з первинних відстійників* – в'язка суспензія неоднорідного складу, з кислуватим запахом, органічна частина становить 75–80 %. Осад відрізняється високою вологістю – 93,5–96 % і погано віддає воду. У зв'язку з високим вмістом органічних речовин сирий осад здатний швидко загнивати, змінюючи колір на темно-сірий або чорний з поширенням неприємного запаху. Вологість осаду залежить, головним чином, від способу його вивантаження (при вивантаженні під гідростатичним тиском вологість осаду дорівнює в середньому 95 %, при відкачуванні плунжерними насосами – 93–93,8 %;

- *активний мул із вторинних відстійників після аеротенків або біоплівка після біофільтрів* – біоценоз мікроорганізмів та простіших. Структура активного мулу – пластивцеподібна маса бурого кольору. У свіжому вигляді активний мул майже не має запаху або пахне землею, але загниваючи, виділяє специфічний гнилісний запах. Осад має відносно однорідний склад, складається на 98 % за масою з частинок розмірами менше 1 мм. Органічна частина осаду становить 70–75 %. Активний мул після аеротенків відрізняється високою вологістю – 99,2–99,7 %. Біоплівка, що відокремлюється у вторинних відстійниках після біофільтрів, має вологість у середньому 96 %. Такий осад є небезпечний у санітарно-епідеміологічному відношенні і потребує знезараження.

#### ***Хімічний і гранулометричний склад осадів.***

Осад, що утворюється в процесі очистки стічних вод, характеризується різними складом і властивостями, які залежать від умов утворення, методу очистки та умов експлуатації очисних споруд.

Осади стічних вод складаються з рідкої й твердої фази і характеризуються вологістю і масою сухої речовини. Більшу частину сухої речовини сирого осаду первинних відстійників (у середньому 60–75 %) і надлишкового активного

мулу (у середньому 70–75 %) становить органічна речовина. Водовіддача осадів багато в чому залежить від розмірів частинок їх твердої фази. Із зменшенням розмірів частинок осад гірше віддає вологу і навпаки. Осад первинних відстійників має неоднорідний фракційний склад: частинки крупністю більше 7–10 мм становлять 5–20 %, крупністю 1–7 мм – 9–33 %, а крупністю менше 1 мм – 50–88 % маси сухої речовини. В активному мулі кількість частинок розміром менше 1 мм досягає 98 %, розміром 1–3 мм – 1,6 %, більше 3 мм – 0,4 % маси сухої речовини. Порівняно із сирим, осад, зброджений у метантенках, стає більш однорідним, розміри його частинок при цьому зменшуються (частинки розміром менше 1 мм становлять 85 %).

Осади з первинних відстійників (сирі осади) дуже різноманітні за хімічним і гранулометричним складом, що пов'язано зі складом і концентрацією забруднень стічних вод, конструкцією і умовами експлуатації споруд. Сирий осад може містити канцерогенні і токсичні речовини, у тому числі солі важких металів, ПАР, а також значну кількість різноманітних мікроорганізмів (патогенні бактерії, віруси, яйця гельмінтів тощо).

Властивості суспензії головним чином залежать від вмісту в ній води. Загальний вологовміст в осадах прийнято визначати поняттям «вологість».

*Вологість* — вміст маси води в 100 кг осаду, виражений у відсотках.

Основною складовою частиною осадів є вода, яка погано відокремлюється від мінеральних та органічних частинок. В усіх видах осаду (окрім відкидів з решіток та осадів з піскоуловлювачів) міститься 90–99 % вологи, яка складається з вільної, колоїдно-зв'язаної і гігроскопічної води. Високий вміст в осадах зв'язаної води обумовлює погану вологовіддачу осадів при зневодненні.

*Форми зв'язку вологи.* У структурі осаду волога може перебувати у формі вільної води, у фізико–механічному зв'язку з твердими частинками, а також у фізико–хімічній і хімічній формах зв'язку.

Вільна волога має найменшу енергію зв'язку зі структурою осаду і легко може бути з нього видалена (не зв'язана з твердими частинками і легко видаляється сушкою на мулових майданчиках), колоїдно-зв'язана або зв'язана (21,5–25,5 %) видаляється з осадів складніше, частково може бути видалена фільтрацією та віджиманням при коагуляції, а хімічно зв'язана вода, що входить до складу речовин, не видаляється навіть при термічній сушці осадів, а

видаляється тільки при спалюванні осаду. Вільна вода відокремлюється від осаду простою фільтрацією або віджиманням, колоїдно-зв'язана вода може бути частково переведена у вільну форму коагуляцією хімічними реагентами.

Співвідношення між кількістю вільної і зв'язаної води визначає властивості водовіддачі осадів, водовіддача вимірюється показником питомого опору, який прийнято вважати основним узагальнюючим параметром, що дозволяє враховувати зміни складу і властивості осаду, і є вихідною величиною при виборі методу обробки осадів та розрахунку відповідних споруд. Чим вище питомий опір, тим гірше йде фільтрація і зневоднення. Питомий опір можна зменшити обробкою осадів хімічними реагентами, впливом тепла або холоду.

На водовіддачу осадів також впливає гранулометричний склад осадів, розмір частинок їх твердої фази. Чим дрібніші частинки, тим гірша водовіддача осадів.

Отже, здатність осадів віддавати воду характеризується *питомим опором фільтрації*, який враховує зміну складу і властивостей осадів. Питомий опір залежить від хімічного і гранулометричного складу осадів, їх концентрації, форми зв'язку вологи з твердими частками та інших факторів.

Питомий опір осадів фільтрації  $r$  – це опір одиниці маси твердої фази осаду, що відкладається на одиниці площі фільтра при фільтруванні під постійним тиском осаду, в'язкість рідкої фази якого дорівнює одиниці. Питомий опір осадів фільтрації виражається у см/г і визначається на спеціальних лабораторних установках. Питомий опір фільтрації для сирого осаду становить  $200\text{--}900 \cdot 10^{10}$  см/г, а для активного мулу –  $100\text{--}5000 \cdot 10^{10}$  см/г.

Здатність осадів до зневоднення під дією механічних сил (вакуум-фільтруванням, центрифугуванням або фільтр-пресуванням) характеризується показниками вологовіддачі: питомим опором фільтрації, стисливістю, індексом центрифугування.

*Стисливість осаду.* Зі збільшенням перепаду тиску пори у структурі осаду зменшуються, викликаючи зростання опору фільтрації.

*Бактеріальна забрудненість осадів.* В осадах, як і в стічних водах, містяться всі основні форми бактерій. Бактеріальна забрудненість осадів на порядок вища, ніж стічних вод.



Теплотворна здатність осадів визначається елементарним складом сухої речовини і вологовмістом. Теплотворна здатність осадів з первинних відстійників становить 18–22 МДж/кг, активного мулу – 15–18 МДж/кг у перерахунку на суху речовину.

Високі концентрації органічних речовин викликають здатність сирого осаду та активного мулу швидко загнивати, а висока бактеріальна забрудненість і наявність яєць гельмінтів викликає небезпеку виникнення інфекції. До того ж, висока вологість осаду утруднює його транспортування, тому необхідно:

- знешкодження сирого осаду і активного мулу для запобігання процесу їх гниття;
- зневоднення зброженого або стабілізованого осаду.

Знешкодження осадів здійснюють шляхом збродження або стабілізації у відповідних спорудах.

### **Питання для самоперевірки**

1. На яких спорудах станції очищення стічних вод утворюються осади?
2. Як поділяють осади залежно від виду обробки?
3. Які типи осадів відносять до первинних та вторинних?
4. Чому дорівнює вологість осадів стічних вод?
5. Який об'єм осадів стічних вод, що утворюються на міських очисних спорудах?
7. Як питомий опір осадів впливає на процес фільтрування?

### **Тема 3 Осади водопровідних очисних станцій**

1. Особливості утворення, основні властивості і склад водопровідного осаду.

#### 2. Класифікація осадів

При двоступінчастій схемі очищення води осад утворюється або в горизонтальних, або у вертикальних відстійниках і в освітлювачах із завислим осадом (в осадощільнювачах). Якщо застосовується одноступенева схема очищення, осад утворюються при відстоюванні промивних вод контактних освітлювачів, швидких фільтрів.

Кількість і склад водопровідного осаду, що утворюється, залежать від якості вихідної води, що істотно визначається сезонними варіаціями каламутності поверхневих вод, виду, дози і типу застосовуваних коагулянтів та інших реагентів, технологічної схеми обробки та конструктивних особливостей споруд, в яких осаджується осад, і змінюється зазвичай від 0,1 % до 1 %, а в окремих випадках досягає 5 % об'єму води, що очищується.

Переважає більшість осадів природних вод утворюються при використанні солей алюмінію або заліза як коагулянтів. Такі осади називають «алюмовмісні» і «залізовмісні».

Осади природних вод – сильно обводнені системи. Склад та властивості осаду визначаються насамперед якістю води у водному джерелі, реагентами, що застосовуються для підготовки води (коагулянти, флокулянти, підлужувальні реагенти, окислювачі тощо), і технологією обробки води. Ці фактори призводять до великої різноманітності складу та властивостей осадів.

Використання коагулянтів на основі солей алюмінію або заліза обумовлює гідроксидну природу осадів, що утворюються. Коагуляційний осад, що утворюється на водопровідних станціях під час очищення поверхневих вод, є складною багатокомпонентною системою з сильно розвиненою поверхнею, що поєднує в єдине ціле комплекс різних за походженням, якістю і властивостями речовин. Дисперсійний склад осадів природних вод поверхневих водних джерел представлений грубодисперсними мінеральними та органічними частинками розміром від  $10^{-4}$  см і більше, які підтримуються у вихідній воді у завислому стані за рахунок гідродинамічних сил води, що рухається, а також високодисперсними колоїдними системами, що включають високомолекулярні речовини.

Основними компонентами осаду, що має вигляд гелеподібної маси сіро-коричневого кольору, є продукти гідролізу хімічних реагентів (гідроксиди алюмінію і заліза, кремнієва кислота неорганічних флокулянтів) у поєднанні з мінеральними та органічними речовинами (планктон, мікроорганізми та бактерії, продукти життєдіяльності водних організмів та рослин, гумінові та фульвокислоти тощо) Зазвичай для свіжого осаду високобарвних і малокаламутних вод вміст сухої речовини становить 0,3–0,4 %, а для осаду вод середньої забарвленості – 0,4–0,8 %, однак для осаду каламутних вод цей

показник становить 0,8–3 % і більше. Крім того, властивості осадів, що утворюються у спорудах, можуть відрізнятися за сезонами року.

Основним компонентом водопровідного осаду є гідроксид алюмінію, який утворюється в процесі гідролізу коагулянту  $Al_2O_3$  (25–45 %). Головними домішками водопровідного осаду є глинисті частинки, що містяться в очищуваній воді, дрібний пісок, частинки карбонатних порід, органічні речовини, фітопланктон тощо ( $SiO_2$  – 8–20 % , органічні речовини – 15–40 %;  $Fe_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$  – від 0,1 % до 30 %). В осадах зазвичай також містяться різні метали, нафтопродукти, бактерії тощо.

Основні параметри осадів: маса сухої речовини, вологість осадів та кеку, питомий опір фільтрації, які можуть змінюватися за сезонами року та відрізнятися для різних споруд.

Вологість – один з основних показників, що показує вміст води в осаді, що визначає кількість та якість осаду, а відповідно обсяги та вартість споруд для його обробки. Зазвичай вологість осадів, що утворюються в процесі реагентного очищення вод поверхневих джерел, коливається в широких межах – від 92–94 % до 99,5–99,8 %, залежно від якості вихідної води та технологічної схеми її очищення, при цьому вода може перебувати у різних формах зв'язку (за наростанням ступеня пов'язаності): вільна вода, фізико-механічно пов'язана з твердими частинками, фізико-хімічно зв'язана і хімічно зв'язана вода, що входить до складу речовини і не видаляється навіть при термічному сушінні осадів.

Умови формування осаду в процесі освітлення природних вод значною мірою впливають на водовіддавальну здатність осадів, а також дози реагентів, що вводяться для досягнення більш глибокого ступеня їх зневоднення.

Водовіддавальна здатність – основний технологічний показник водопровідних осадів, який визначає вибір способу їх обробки.

Питомий опір фільтруванню змінюється від  $(7-20) \cdot 10^{10}$  см/г для осадів, отриманих обробкою висококаламутних вод до  $(1\ 200-1\ 400) \cdot 10^{10}$  см/г для осадів, отриманих коагулюванням малокаламутних вод високої забарвленості у абсолютно сухому водопровідному осаді. Такі коливання властивостей створюють додаткові труднощі і вимагають попередніх випробувань для рекомендацій з кондиціонування осадів природних вод. Якщо в осаді переважає органічна складова природних вод, то це підвищує ефективність

кондиціювання. Попередня обробка таких осадів флокулянтами призводить до агрегації частинок дисперсної фази осаду, скорочення активної питомої площі поверхні частинок, збільшення розміру пір, перерозподілу форм зв'язку вологи у бік збільшення кількості вільної та скорочення зв'язаної води.

Показник «питомий опір фільтруванню» є найважливішою характеристикою хімічного складу осадів, його фізичних та технологічних властивостей. На водопровідних станціях, де водопідготовка здійснюється із застосуванням коагулянту на основі алюмінію, утворюються осади, які за вмістом алюмінію (за сухою речовиною) можуть бути поділені на такі технологічні групи:

1) осад у вигляді гелю із вмістом алюмінію понад 15 %; утворюється у процесах очищення поверхневих високобарвних вод низької каламутності; характеризується незадовільною здатністю до гравітаційного ущільнення;

2) глинистий осад із вмістом алюмінію до 10 %; утворюється в процесах очищення поверхневих вод низької забарвленості і середньої каламутності; характеризується задовільною здатністю до гравітаційного ущільнення;

3) евтрофований осад із вмістом алюмінію 10–15 %; утворюється в процесах очищення поверхневих вод низької та середньої каламутності у періоди евтрофування водного джерела; характеризується погіршенням здатності до гравітаційного ущільнення порівняно з типовими для даного джерела седиментаційними властивостями.

Осади перших двох груп є біологічно інертними, як правило, не схильні до загнивання і характеризуються відносно невисоким вмістом органічних забруднень. Евтрофований осад є перехідною групою, що відрізняється підвищеним вмістом органічних речовин та схильністю до загнивання.

Застосування полімерних флокулянтів на стадії коагуляції природної води частково згладжує технологічні відмінності між групами осадів, покращує його седиментаційні властивості, здатність до ущільнення та механічного зневоднення. Як правило, осад, що утворюється при обробці води катіонними флокулянтами, характеризується більш крупнішими і міцними пластівцями, ніж це спостерігається при використанні мінеральних коагулянтів.

Гранулометричний склад осадів залежить від сезону року, а також від технологічної схеми очищення води та конструктивних особливостей споруд, у яких він утворюється.

Склад та властивості осадів, що залежать від якості вихідної води, впливають на інтенсивність та глибину їх ущільнення. В осаді каламутних вод нерозчинний осад становить 40–50 %, тоді як в осаді забарвлених вод – лише 2–15 %. Зі збільшенням у вихідній воді мінеральних домішок осад виходить більш щільним і зростає швидкість перебігу процесу ущільнення. Збільшення забарвленості води та скорочення вмісту в ній мінеральних домішок призводить до утворення легкого (пухкого) осаду високої вологості, ступінь ущільнення якого знижується, а тривалість ущільнення зростає. До прикладу, якщо для гравітаційного ущільнення осаду вод підвищеної каламутності достатньо всього кілька годин, то для ущільнення осаду малокаламутних високобарвних вод потрібні десятки годин, при цьому у першому випадку в процесі ущільнення вологість осаду знижується до 92–94 %, а в другому – до 98–99 %.

Зростання каламутності вихідної води призводить до збільшення щільності утворюваного осаду. Під дією власної ваги відбувається деформація структури осаду та видавлювання вільної вологи. Введення високомолекулярних флокулянтів разом із мінеральними коагулянтами дозволяє отримати більш щільний осад. Кількісне співвідношення гідроксиду коагулянту та інших компонентів визначає структуру осаду та його щільність. У середньому осади із відстійників мають щільність 1 002–1 030 кг/м<sup>3</sup>.

Підвищена каламутність поверхневих вод зазвичай сприятливо позначається на седиментаційних (межа ущільнення за вологістю 97–98 ± 0,5 %) та водовіддавальних властивостях. Висока забарвленість і низька каламутність оброблюваних вод, навпаки, призводять до утворення осаду, що практично не ущільнюється (межа ущільнення за вологістю 98 ± 0,5 %), при механічному зневодненні якого необхідні високі дози флокулянту (10–12 кг/т сухої речовини). Різкі коливання каламутності річкових вод обумовлюють нерівномірність утворення осаду у відстійних спорудах, отже, неритмічність його видалення та обробки. Підвищена кількість завислих частинок (особливо грубодисперсних) у вихідних поверхневих водах спостерігається у період весняної повені та після випадання дощів.

Вміст сухої речовини в осаді високозабарвних малокаламутних вод становить 0,3–0,4 %, в осаді вод середньої забарвленості та каламутності – 0,4–0,8 % та в осаді каламутних вод – 0,8–3 % і більше.

Кут ковзання – важливий технологічний показник, що характеризує здатність осаду переміщатися під дією сили тяжіння по похилій поверхні. Зазвичай для осадів, що містять гідроксид алюмінію, він змінюється у межах не більше 50–70°.

Схеми обробки водопровідних осадів пропонується підбирати на підставі їхньої водовіддавальної здатності. Спираючись на якість води у водному джерелі та питомий опір фільтрації осадів водопровідних станцій, осади водопровідних очисних споруд України класифікують за чотирма групами водних джерел із зазначенням основних фізико–хімічних властивостей.

Перша група – осади, що володіють найбільш високим питомим опором фільтрації (800–1 600)  $10^{10}$  см/г, що погано віддають воду при ущільненні та зневодненні. Це осади станцій, водозабори яких розташовані на водосховищах, що характеризуються малою каламутністю води (3–5 мг/дм<sup>3</sup>) та середньою забарвленістю (35–120 град. пкш). Органічна частина таких осадів становить близько половини (58–63 %) маси сухої речовини і представлена переважно залишками водоростей. Незначна кількість мінеральних домішок у воді і висока забарвленість, наявність органіки і колоїдів призводять до утворення пухких осадів з гелеподібною структурою, що містять структурно зацмлену воду, яка важко звільняється при звичайних методах впливу.

Друга група – осади річок з малим (1–50 мг/дм<sup>3</sup>) вмістом суспензії і, зазвичай малої (до 35 град. пкш) забарвленістю води. Кількість органічних речовин становить 35–45 %. Розмір питомого опору фільтрації таких осадів становить (350–900)  $\cdot 10^{10}$  см/г. Ці осади краще віддають воду.

Третя група – осади, утворені при обробці вод, що характеризуються середньою каламутністю води (50–250 мг/дм<sup>3</sup>) та забарвленістю, що не перевищує 35 град. Такі осади мають значну кількість великих включень, вміст органічних речовин у них не перевищує 30 %. При ущільненні таких осадів спостерігається деформація їх структури, вони порівняно легко віддають воду, маючи при цьому невеликий питомий опір фільтрації (100–170)  $\cdot 10^{10}$  см/г.

Четверта група – осади річок, що беруть свій початок у горах і несуть значну кількість великодисперсної суспензії, у середньому понад 250 мг/дм<sup>3</sup>. Такі осади мають найбільш щільну структуру з незначним вмістом органіки. Питомий опір фільтрації таких осадів не перевищує (10–160)  $\cdot 10^{10}$  см/г.

### Питання для самоперевірки

1. У яких спорудах водопровідних станцій утворюються осади?
2. Як поділяють осади залежно від виду обробки?
3. Від чого залежить кількість і склад водопровідного осаду?
4. Які основні компоненти, домішки входять до складу водопровідного осаду?
5. На які групи поділяють водопровідні осади за вмістом алюмінію?
6. Як впливає якість вихідної води на склад та властивості осадів, що утворюються на водопровідних очисних станціях?
7. Яка вологість осадів, що утворюються в процесі реагентного очищення вод поверхневих джерел?
9. Основний технологічний показник водопровідних осадів, який визначає вибір способу їх обробки.

### Тема 4 Обробка осадів стічних вод

1. Стадії обробки осадів, їх призначення.
2. Основні технологічні схеми

Основне завдання обробки осадів, що виділяються в процесах очищення стічних вод, полягає в отриманні кінцевого продукту, властивості якого забезпечували б можливість його утилізації або звели до мінімуму шкоду, що наноситься довкіллю, і проводиться з метою зменшення об'єму осаду і його знезараження.

Обробка осадів, що виділяються в процесі очистки стічних вод, проводиться з метою отримання кінцевого продукту, який наноситиме мінімальну шкоду навколишньому середовищу або буде придатним для утилізації у виробництві. Ця мета досягається за рахунок здійснення трьох основних процесів у різних технологічних послідовностях: *зневоднення*, що забезпечує мінімальний об'єм осадів; *стабілізація*, що надає осадам здатність не виділяти шкідливі продукти розпаданя при тривалому зберіганні; *знезараження*, що робить осад безпечним за санітарно-бактеріологічними показниками.

Повною мірою ця мета досягається лише при вирішенні трьох основних технологічних завдань обробки осадів:

- зневодненням, що забезпечує зменшення об'єму осадів та їх вологості;
- стабілізацією, що надає осадам здатність не виділяти шкідливі продукти розкладання при тривалому зберіганні;
- знезараженням, що робить осад безпечним за санітарно-бактеріологічними показниками.

Принципову схему процесів обробки осадів наведено на рисунку 4.1.

Таким чином, основні стадії обробки осадів стічних вод: ущільнення, стабілізація органічної частини, кондиціонування, зневоднення, термічна обробка, утилізація цінних продуктів або ліквідація осадів. При ущільненні в середньому видаляється 60 %, при механічному зневодненні – 25 %, при термічній сушці і спалюванні – до 15 % від загальної кількості мулової води, що міститься у вихідному осаді. При цьому маса оброблюваного осаду зменшується в середньому при ущільненні у 2,5 рази, при зневодненні – у 12,5 рази.

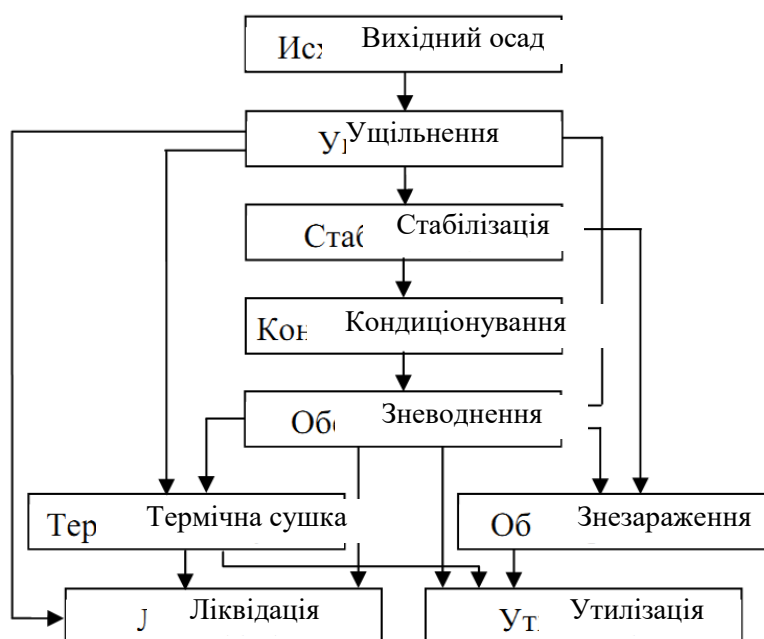


Рисунок 4.1 – Схема процесів обробки осадів стічних вод

Вибір конкретних технологічних процесів обробки осадів визначається їх кількістю, властивостями і умовами подальшого використання або ліквідації залишків.

На практиці не існує єдиної системи обробки осадів, тому для кожного конкретного випадку може бути використаний той або інший метод, який відповідає санітарним вимогам до кінцевого продукту і економічно доцільний.



*Ущільнення (згущення)* осадів стічних вод є первинною стадією їх обробки та призначено для зменшення їх об'ємів. Найбільш поширені – гравітаційний і флотаційний методи ущільнення. Гравітаційне ущільнення здійснюють у відстійниках–ущільнювачах; флотацію – в установках напірної флотації. Застосовують також відцентрове ущільнення осадів в циклонах і центрифугах. Перспективи має вібраційне ущільнення шляхом фільтрування осаду стічних вод через фільтрувальні перегородки або за допомогою занурених в осад вібраційних пристроїв.

*Стабілізацію* осадів використовують для руйнування біологічно розкладної частини органічної речовини, що запобігає загниванню осадів при тривалому зберіганні на відкритому повітрі (сушка на мулових площадках, використання як сільськогосподарські добрива).

Стабілізацію або мінералізацію органічної речовини осаду здійснюють в анаеробних (метанове бродіння) або аеробних умовах. Для стабілізації осадів промислових стічних вод застосовують, в основному, аеробну стабілізацію – тривале аерування осадів у спорудах типу аеротенків, внаслідок чого відбувається розпад основної частини речовин, що біологічно розкладаються і схильні до загнивання. Період аеробної стабілізації за температури 20 °С становить 8–11 діб, витрата кисню для стабілізації 1 кг органічної речовини мулу – 0,7 кг. Зброджування осаду в метантенках в анаеробних умовах здійснюють у мезофільному (за  $t = 33\text{ °C}$ ) або термофільному (за  $t = 53\text{ °C}$ ) режимах, що визначається способом подальшої обробки осаду.

*Кондиціонування* осадів проводять для руйнування колоїдної структури осаду органічного походження та збільшення його водовіддачі при зневодненні. У промисловості застосовують в основному реагентний метод кондиціонування за допомогою хлорного заліза й вапна.

*Зневоднення* осадів стічних вод призначене для отримання шламу з об'ємною концентрацією полідисперсної твердої фази до 80 %. До недавнього часу зневоднення здійснювали в основному сушкою осадів на мулових площадках. Проте низька ефективність такого процесу, дефіцит земельних ділянок у промислових районах і забруднення повітряного середовища зумовили розробку і застосування ефективніших методів зневоднення: вакуум–фільтрування, центрифугування, вібраційне фільтрування, термічну сушку.

*Ліквідацію (деструкцію) осадів стічних вод застосовують у тих випадках, коли утилізація їх є неможливою або економічно недоцільною.*

Вибір раціональної технологічної схеми обробки осаду є складним інженерно–економічним і екологічним завданням, правильне вирішення якого вимагає обов'язкового врахування продуктивності очисної станції, місцевих умов (кліматичних, гідрогеологічних, містобудівельних, забезпеченості реагентами, паливом, технологічним транспортом тощо), виконання попередніх експериментальних досліджень здатності осадів до водовіддачі, їх фізико–хімічних, теплофізичних і агрономічних характеристик. Але у будь–якому випадку технологічну схему будують на комбінації різних методів обробки осадів, оскільки технологічні схеми обробки осадів залежать від багатьох чинників: властивостей осадів, їх кількості, кліматичних умов, наявності земельних площ тощо.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Які основні стадії обробки осадів на станціях очистки стічних вод?
2. Які існують методи обробки осадів стічних вод?
3. Надайте приклад технологічної схеми обробки осадів стічних вод?
4. Що впливає на вибір схеми обробки осадів міських стічних вод?
5. Для чого застосовується стабілізація осадів стічних вод?

#### **Тема 5 Ущільнення та згущення осадів**

1. Гравітаційне ущільнення осадів.
2. Флотаційне ущільнення осадів.
3. Згущення осадів на центрифугах.
4. Стрічкові та барабанні згущувачі.

*Ущільнення (згущення) осадів стічних вод є первинною стадією їх обробки. Це найбільш простий і дешевий метод зниження вологості і об'єму осадів, що підлягають подальшій обробці.*

Отже, практично будь-яка схема обробки осадів починається з попереднього ущільнення, що обумовлено високою вихідною вологістю осадів, зокрема надлишкового активного мулу (99,2–99,6 %). Метою попереднього ущільнення є скорочення обсягу осаду із виділенням частини вільно–защемленої води. Скорочення обсягу осаду при ущільненні дозволяє знизити

витрати на подальших етапах обробки, зокрема зневоднення. При ущільненні вміст сухої речовини в осаді за незначних витрат енергії збільшується за рахунок зниження вмісту води. При зменшенні вологості осаду з 99 % до 92 % об'єм осаду зменшується у 2 рази.

Інтенсифікація ущільнення здійснюється шляхом добавки ущільнювальних присадок та хімічних реагентів, а також під час постійного перемішування з малою швидкістю внаслідок порушення структури осаду. Хороший ефект спостерігається при ущільненні осаду, попередньо обробленого поліакриламідом, необхідна доза якого становить від 0,02 % до 0,044 % (від сухої маси осаду). Повільне перемішування осаду дозволяє збільшити швидкість його ущільнення на 30–70 % та підвищити вміст твердої фази у ньому.

Зазвичай ущільнюють надлишковий активний мул, в окремих випадках – суміш активного мулу і сирого осаду.

Ущільнювачі застосовують у технології обробки осадів перед спорудами зневоднення або зброджування.

Від міри ущільнення і згущування залежать продуктивність апаратів для подальшого їх зневоднення, розміри і об'єми споруд для зброджування в аеробних і анаеробних умовах, вихід газу при анаеробному зброджуванні осадів, витрата енергії, палива і реагентів на подальшу обробку осадів, навантаження на мулові майданчики. Наприклад, збільшення концентрації осадів шляхом згущування з 1 % до 6 % дозволяє підвищити продуктивність апаратів механічного зневоднення у 3–4 рази і скоротити загальну вартість обробки осаду у 1,5–2 рази. Згущування активного мулу дозволяє у 2 рази скоротити потрібні об'єми аеробних стабілізаторів. Збільшення концентрації осадів дозволяє підвищити навантаження на метантенки і подвоїти вихід газу. Ущільнення і згущування осадів отримало широке застосування на станціях аерації.

Ущільнення може бути гравітаційним (у вертикальних або радіальних мулоущільнювачах) і флотаційним, а згущування – за допомогою барабанних, стрічкових або шнекових згущувачів, а також на вібраційних фільтрах, сепараторах, центрифугах та інших апаратах.

Для ущільнення надлишкового активного мулу використовують вертикальні і радіальні ущільнювачі гравітаційного типу. Конструкції

вертикальних і радіальних ущільнювачів аналогічні до конструкцій первинних відстійників.

*Гравітаційне ущільнення* – найбільш поширений простий прийом зниження об'єму надлишкового активного мулу. Воно значною мірою зменшує об'єм споруд, потребу в реагентах і витрати електроенергії, необхідні для подальшої його обробки.

У процесі ущільнення активного мулу видаляється лише вільна вода. Міра ущільнення мула залежить від тривалості його перебування в зоні ущільнення і величини тиску в ній. На процес ущільнення надлишкового активного мулу негативно впливають ті ж чинники, які призводять до погіршення роботи вторинних відстійників: виділення газів у результаті загнивання мулу унаслідок денітрифікації або зміни температури осаду.

Застосовують зазвичай мулозгущувачі радіального типу, тобто звичайні радіальні відстійники. На станціях невеликої продуктивності використовують вертикальні мулозгущувачі, які влаштовують на базі звичайних первинних вертикальних відстійників з центральною трубою.

Для вертикальних мулозгущувачів розрахункова тривалість ущільнення надлишкового активного мулу із вторинних відстійників становить 10–12 год, із зони освітлення аеротенків–відстійників – 16 год, з аеротенків на неповне біологічне очищення стічних вод – 3 год. Вологість ущільненого активного мулу становить при цьому 98%.

Радіальні мулоущільнювачі повинні бути обладнані шкребковими устроями або мулососами. У сучасних конструкціях радіальних мулоущільнювачів передбачається устрій стрижневої мішалки, при повільному перемішуванні активного мулу знижується його в'язкість та електричний потенціал, що сприяє кращому утворенню пластівців та осіданню. Тривалість ущільнення та вологість залежать від типу і концентрації активного мулу в аеротенках.

Радіальні відстійники мають певні переваги перед вертикальними і дозволяють ущільнювати осад до вологості 97,3 %. Розрахункова тривалість ущільнення осаду в радіальних відстійниках становить: 5–8 год – для суміші мулу з аеротенків; 9–11 год – для активного мулу з вторинних відстійників; 12–15 год – для активного мулу із зони освітлення аеротенків–відстійників.

З мулозгущувачів радіального типу мул видаляють безперервно мулошкребами або мулососами та направляють на подальшу обробку.

Найбільшу ефективність мають радіальні мулоущільнювачі з мулошкребами за рахунок повільного перемішування активного мулу в процесі ущільнення, а також за рахунок меншої висоти радіальних мулоущільнювачів порівняно з вертикальними. При перемішуванні знижуються в'язкість активного мулу та його електрокінетичний потенціал, що сприяє кращому утворенню пластівців та осадженню, тому в сучасних конструкціях мулоущільнювачів передбачається влаштування низько градієнтних мішалок. Частота обертання мулошкребу становить 2–4 об./год; тривалість ущільнення – 4–24 год.

Роботу мулозгущувачів можна інтенсифікувати як шляхом поліпшення властивостей ущільнюваного осаду (хімічною коагуляцією або термічною обробкою), так і обладнанням самих мулозгущувачів стрижньовими мішалками

Як приклад на рисунку 5.1 наведено схему гравітаційного ущільнювача з мулошкребом.

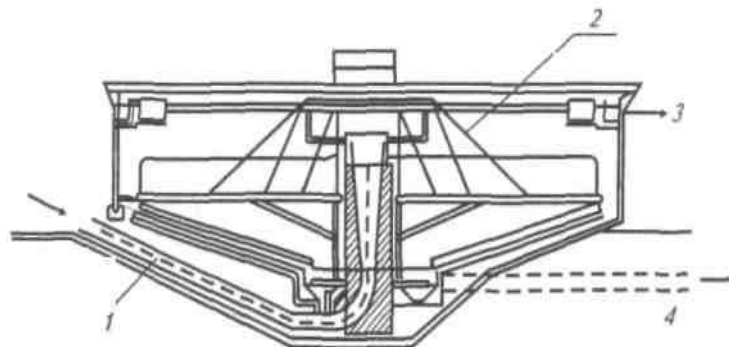


Рисунок 5.1 – Схема ущільнювача радіального типу з мулошкребом:

- 1 – подача активного мулу на ущільнення; 2 – мулошкреб; 3 – мулова вода на злив;  
4 – ущільнений активний мул

Для скорочення об'єму гравітаційних ущільнювачів і тривалості ущільнення застосовують модулі з тонкошаровим осадженням, методи ущільнення з повільним перемішуванням, прогріванням, добавкою до осаду хімічних реагентів або фільтрату від механічного зневоднення осадів тощо.

Об'єм ущільненого мулу визначають за формулою

$$V_2 = \frac{V_1(100 - P_1)}{100 - P_2}, \quad (5.1)$$

де  $V_1$ ,  $V_2$  – об'єм мулу до і після ущільнення, %;

$P_1, P_2$  – вологість мулу до і після ущільнення, %.

Ущільнення активного мулу і суміші його з осадом первинних відстійників при додаванні флокулянта дозволяє скоротити тривалість ущільнення у декілька разів і одночасно підвищити концентрацію ущільненої суміші.

На вибір оптимальної міри ущільнення активного мулу впливають не лише тип ущільнювача, але і склад активного мулу, який залежить від складу стічних вод, міри очищення, умов підготовки мулу. Зокрема, активний мул після неповного біологічного очищення ущільнюється значно краще і швидше, ніж після повного біологічного очищення.

*При флотаційному ущільненні осадів* відбувається інтенсифікація звільнення вологи з порожнеч активного мулу за допомогою подачі повітря. Повітря, що вводиться у вигляді дрібних бульбашок, вступає у взаємодію зі зв'язаною водою на поверхні часток мулу, витісняє і переводить її у вільний стан.

Застосування флотації дозволяє за 10–20 хв досягти такого ж ступеня ущільнення мулу, як і після його гравітаційного ущільнення впродовж 2 год.

При цьому методі ущільнення активного мулу відзначається підвищена швидкість ущільнення і висока міра ущільнення порівняно з гравітаційним ущільненням. Швидкість ущільнення при флотації у 10–15 разів, а концентрація твердої фази активного мулу – у 2 рази є вищими, ніж при гравітаційному ущільненні.

Головними перевагами флотаційних мулоущільнювачів, порівняно з гравітаційними, є менша тривалість процесу ущільнення і менші об'єми споруд для ущільнення, нижча вологість ущільненого мулу і значно менший його об'єм, що дозволяє зменшити об'єм споруд для подальшої обробки осадів. Проте флотаційні мулоущільнювачі мають також і істотні недоліки: велика витрата електроенергії флотаційними насосами, певна складність конструкції і експлуатації.

Застосовують три основні методи флотаційного ущільнення: шляхом безпосереднього насичення активного мулу повітрям; шляхом застосування напірної флотації з використанням робочої рідини; комбінований.

Метод напірної флотації набув найбільшого поширення, оскільки дозволяє отримати більший ефект при меншому об'ємі споруд і меншій витраті

повітря. Насичений повітрям активний мул за допомогою бульбашок повітря легко спливає на поверхню флотатора, де його збирають. При безпосередньому насиченні активного мулу повітрям він поступає безпосередньо у флотатор.

Тривалість перебування суміші робочої рідини і ущільненого активного мулу в робочій зоні камери флотації – 40–60 хв. Висота робочої зони – 2–3 м. Надмірний активний мул подається у верхню частину камери, а робоча рідина – у нижню. Мул і робоча рідина розподіляються по площі камери за допомогою радіальних розподільних труб з отворами діаметром 0,5–1 см. Швидкість виходу рідини з труб, за допомогою яких розподіляється мул, 0,7–1 м/хв, а з труб, що подають робочу рідину, – 1,8–2,2 м/хв.

#### *Згущування осадів на центрифугах.*

Для згущування осадів можуть використовуватися різні типи центрифуг: шнекові центрифуги, тарілчасті і соплові сепаратори. Для згущування активного мулу найбільше застосування отримали *осаджувальні шнекові центрифуги* (ОГШ). Принцип дії осаджувальної шнекової центрифуги ґрунтований на тому, що при обертанні ротора створюється відцентрова сила, яка в 500–2000 разів перевищує силу тяжіння, яка наявна в ущільнювачах гравітаційного типу. Під дією цієї сили тяжіння частинки осаду, що подається у центрифугу, осідають на внутрішній поверхні ротора, звідки видаляються за допомогою шнека, що обертається із швидкістю відносно більшою або меншою, ніж швидкість обертання ротора. Згущений осад відводиться через вивантажувальні отвори. Фугат (рідка фаза згущеного осаду) через зливні отвори видаляється по зливній трубі.

Різними фірмами випускаються в основному дві системи центрифуг:

а) із співпадаючими потоками осаду, що поступає, і згущеного (зневодненого), і видаленням фугата у тому ж кінці ротора;

б) протитечійними потоками, коли концентрований (зневоднений) осад і фугат видаляються в протилежних кінцях ротора.

Незважаючи на однаковий принцип дії згущувальних і зневоднювальних центрифуг, між ними є істотні відмінності, з яких основними є довжина і конусність ротора, відстань між витками шнека і відносна швидкість обертання шнека стосовно ротора. Як правило, згущувальні центрифуги мають велику довжину ротора і менший кут конусності порівняно зі зневоднювальними центрифугами.

У процесі згущування осадів важливим чинником є ефективність затримання сухої речовини, що характеризує якість фугата, що видаляється.

Ефективність затримання сухої речовини, у відсотках від маси сухої речовини осаду – 90 %. Центрифуги для згущування активного мулу виготовляються фірмами «Альфа Лаваль» (Швеція), «Гумбольдт Ведаг» (Німеччина), «Крюгер» (Данія) тощо.

Найбільший ефект досягається при згущуванні активного мулу з додаванням флокулянтів. Розчин флокулянта може вводиться у згущуваний активний мул як перед центрифугою, так і безпосередньо в порожнину центрифуги. Фугат видаляється у відстійники очисних споруд або в осадощільнювачі.

Згущений активний мул спільно з осадом первинних відстійників піддається подальшій обробці: анаеробному зброджуванню в метантенках, зневодненню на шнекових центрифугах тощо.

Переваги відцентрового згущування осадів, порівняно з гравітаційним і флотаційним ущільненням:

- менша площа для установки устаткування;
- уникнення поширення запаху;
- менша тривалість процесу згущування;
- простота обслуговування.

Недоліками є висока вартість устаткування, більша витрата електроенергії, шум і вібрація в процесі роботи, необхідність періодичного відновлення шнека, що зношується, а також нерентабельність використання на очисних спорудах продуктивністю менше 15–20 тис. м<sup>3</sup>/добу.

*Стрічкові та барабанні згущувачі.*

Широке застосування на станціях аерації отримали відносно прості і надійні в експлуатації згущувачі стрічкового і барабанного типів, що дозволяють отримувати концентрацію активного мулу до 4–5 %. Таку концентрацію не можуть забезпечити гравітаційні ущільнювачі, а застосування для цієї мети центрифуг часто не виправдовує себе економічно. Стрічкові і барабанні згущувачі застосовуються у комбінації зі зневоднювальними апаратами, зокрема із стрічковими фільтр–пресами або шнековими пресами, а також для згущування осадів перед анаеробним зброджуванням у метантенках або перед їх термічною обробкою. Перед згущуванням до суміші додається



флокулянт катіонного типу. Осад, оброблений флокулянтом, легко згущується у барабанних або на стрічкових згущувачах під дією сил гравітації. У барабанних згущувачах осад вводиться всередину барабана, що обертається, і фільтрується через сито. Згущений осад за допомогою шнека видаляється із внутрішньої поверхні барабана, а фільтрат стікає у каналізацію. Згущувачі мають незалежний привід барабана і шнека. Сито періодично або безперервно промивається водою під тиском. У процесі експлуатації може регулюватися подавання осаду на згущування і частота обертання шнека.

*Принцип дії стрічкового згущувача.*

Згущуваний осад подається на поверхню фільтрувальної рухомої стрічки (сітки), проходячи по якій під дією сил гравітації згущується. Згущений осад видаляється з поверхні стрічки за допомогою ножа, а фільтрувальна стрічка піддається промиванню водою під тиском. Фільтрат збирається в кориті, звідки видаляється разом із промивною водою по скидній трубі. Стрічкові згущувачі мають один або декілька пристроїв для натягнення фільтрувальної стрічки, привід і систему направляючих роликів руху фільтрувальної стрічки.

Пропоновані системи включають стрічкові згущувачі з нескінченними фільтрувальними стрічками або згущувачі барабанного типу, насоси і пристрої для подавання осаду, приготування і дозування флокулянтів, для автоматичного регулювання процесу концентрації осаду і його розподілу по поверхні фільтрувальної стрічки, швидкості руху стрічки, транспортування згущеного осаду тощо.

Продуктивність барабанних згущувачів, що випускаються, залежно від габаритів, типу і складу згущуваного осаду коливається від 1 м<sup>3</sup>/год до 85 м<sup>3</sup>/год, стрічкових згущувачів – від 0,5 м<sup>3</sup>/хв до 4,0 м<sup>3</sup>/хв, в середньому 1,2 м<sup>3</sup>/хв на 1 м ширини стрічки. Наприклад, Bright Technologies випускає стрічкові згущувачі різного профілю з різним ухилом до горизонту фільтрувальної стрічки, що рухається, з шириною стрічки від 0,8 м до 3,2 м.

У процесі роботи стрічкових згущувачів можна регулювати швидкість руху фільтрувальної стрічки, висоту шару наливаного на стрічку осаду, частоту промивання фільтрувальної стрічки, міру її натягнення, систему розподілу осаду, що поступає, по поверхні стрічки, а також періодичність включення згущувача в роботу і його відключення.

Як барабанні, так і стрічкові згущувачі працюють з обробкою осадів

флокулянтами. На барабанних і стрічкових згущувачах осад первинних відстійників може згущуватися з концентрації 3–6 % до 7–9 % за умови ефективності затримання сухої речовини 93–98 %, активний мул – із концентрації 0,5–1,0 % до 4–9 % при ефективності затримання сухої речовини 93–99 %.

Недоліками барабанних і стрічкових згущувачів є необхідність обробки згущуваних осадів флокулянтами, висока витрата промивної води для промивання фільтрувальної стрічки, можливість виникнення неприємних запахів.

### **Питання для самоперевірки**

1. З якою метою здійснюють ущільнення осадів?
2. Які види осадів стічних вод рекомендується піддавати ущільненню?
3. Конструкції гравітаційних мулоущільнювачів.
4. Технологічні схеми флотаційного мулоущільнення.
5. Апарати для згущування осадів.
6. Які переваги та недоліки відцентрового згущування осадів порівняно з гравітаційним і флотаційним ущільненням?

## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2**

### **ПЕРЕРОБКА ТА УТИЛІЗАЦІЯ ОСАДІВ КОМУНАЛЬНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД ПРИРОДНИХ ТА СТІЧНИХ**

#### **Тема 6 Стабілізація осадів**

1. Аеробна стабілізація осадів.
2. Анаеробна стабілізація осадів. Септики. Двоюрисні відстійники. Освітлювачі-перегнивачі.
3. Зброджування осадів у метантенках.
4. Аеробна стабілізація осадів.

Стабілізацію (мінералізацію) здійснюють з метою попередження загнивання осадів, зменшення маси сухої речовини за рахунок розпаду частини беззольної речовини. *Стабілізація* оснований на зміні фізико-хімічних властивостей осадів та пригніченні життєдіяльності гнильних бактерій.

Стабілізація досягається шляхом розкладання органічної частини до простих сполук або продуктів.

Термін «стабілізація осадів» може визначатися як процес обробки осадів з метою підготовки їх до зберігання, подальшої обробки або утилізації.

Стабілізацію органічної речовини осаду здійснюють за допомогою мікроорганізмів в анаеробних та аеробних умовах.

Аеробну стабілізацію здійснюють в аераційних спорудах типу аеротенків, вона полягає у тривалій аерації осаду.

Для анаеробної стабілізації або зброджування застосовують такі споруди:

- септики (за продуктивності станції до 25 м<sup>3</sup>/добу), у яких відбувається перегнивання осаду, що випав, та освітлення води;
- двохярусні відстійники або освітлювачі (за продуктивності станції до 10 тис. м<sup>3</sup>/добу), у яких відбувається відстоювання стічної води, зброджування і ущільнення осаду, що випав;
- метантенки (за продуктивності станції більше 10 тис. м<sup>3</sup>/добу), що набули найбільшого поширення у сучасних умовах і використовуються для зброджування осаду при одночасному підігріві та інтенсивному перемішуванні.

#### **Анаеробне зброджування осадів стічних вод**

Анаеробну стабілізацію, або зброджування, застосовують для стабілізації органічної частини речовини осаду та запобігання загниванню – за допомогою складного комплексу анаеробних бактерій за відсутності кисню повітря – до кінцевих продуктів, переважно метану та діоксиду вуглецю.

Анаеробне зброджування – складний мікробіологічний процес мінералізації, у ході якого органічна речовина без доступу повітря трансформується у газоподібний метан (СН<sub>4</sub>) та діоксид вуглецю (СО<sub>2</sub>). Здійснюється процес цей у закритих ємностях – метантенках. Умовно прийнято, що процес розпаду органічної речовини осадів в анаеробних умовах відбувається в декілька стадій:

- 1) гідроліз складних органічних речовин, у результаті якого утворюються жирні кислоти, спирти, альдегіди тощо;
- 2) утворення кислот (кислотогенна стадія)
- 3) метанова стадія – перетворення цих проміжних продуктів на метан і вуглекислоту.

Кінцевими продуктами процесу є зброджений осад, метан  $\text{CH}_4$  (60–70 %) двоокис вуглецю  $\text{CO}_2$  (16–34 %) і вода. У зв'язку з розпадом органічної речовини кількість сухої речовини зменшується приблизно на 30 %, але її об'єм практично мало змінюється у зв'язку з утворенням додаткової вологи.

Метантенки мають вигляд залізобетонних або металевих резервуарів з теплоізоляційним покриттям. Резервуари можуть бути циліндровими з конусним днищем і конічним або сферичним перекриттям, а також кулястої, яйцевидної форми. Часто для кращої теплоізоляції метантенки влаштовують заглибленими в землю або обволікають землею. Кожен метантенк обладнаний трубопроводами подачі вихідного осаду і видалення збродженого, системами нагрівання, перемішування, збору і видалення газу, розпушувачами кірки, що утворюється на поверхні, а також системою автоматики. Осад завантажують у верхню частину метантенка і вивантажують з його нижньої частини.

Основними конструктивними елементами метантенків, що виконують певні технологічні функції, є:

- система подачі осадів на зброджування та вивантаження стабілізованого осаду;
- система підігріву;
- система перемішування маси, що бродить;
- система збору і відведення газу, що виділяється.

Основними технологічними параметрами, що визначають ефективність процесу анаеробного зброджування осадів, є їх хімічний склад, температура і тривалість зброджування, навантаження за органічною речовиною, концентрація завантажуваного осаду, а також режим завантаження і перемішування вмісту камери зброджування.

У метантенках приймають мезофільний ( $t = 33\text{ }^\circ\text{C}$ ) або термофільний ( $t = 53\text{ }^\circ\text{C}$ ) режим зброджування. На більшості очисних станцій зброджування здійснюють у мезофільних умовах, що дає можливість вироблення біогазу в кількості, достатній як для підігріву метантенків, так і для отримання додаткового тепла.

Термофільний режим має переваги в санітарному відношенні, оскільки забезпечує повну дегельмінтизацію осаду (особливо якщо осад використовують як добриво), тоді як у мезофільних умовах гине тільки 50–80 % яєць гельмінтів. Термофільний процес відрізняється більшою інтенсивністю розпаду

органічних речовин і закінчується приблизно у 2 рази швидше, за рахунок чого удвічі скорочується необхідний об'єм споруд та капітальні витрати на будівництво, проте вимагає майже удвічі більшої витрати тепла. Але при цьому осад, зброджений у термофільних умовах, гірше піддається зневодненню, ніж осад, зброджений в умовах мезофільного процесу.

Час перебування осаду в метантенках при мезофільному режимі становить 20–25 діб. Перевагами обробки в мезофільних умовах є високий розпад беззольної речовини осаду (і відповідно вихід біогазу), гарні водовіддавальні властивості осаду, а також мінімальна витрата тепла на підтримку необхідної температури. Проте тривалий час перебування осаду в метантенках вимагає великих капітальних витрат на стадії будівництва.

У процесі анаеробного зброджування осадів утворюється біогаз, який відводиться з метантенка через спеціальний пристрій, накопичується у газгольдерах, а потім застосовується для побутових та промислових цілей. Його можна направляти в котельні очисних споруд і використовувати як паливо.

Отже, на відміну від двоярусних відстійників та освітлювачів–перегнивачів у метантенках здійснюють підігрівання осадів до 33 °С чи 53 °С, їх інтенсивне перемішування та утилізацію утворюваного біогазу.

У процесі зброджування у метантенках змінюється хімічний склад осадів. У результаті підвищується зольність, знижується концентрація вуглеводів, жирів, білків та виділяється біогаз.

Важливим фактором є *доза завантаження*. Зазвичай вказуються добові дози завантаження за обсягом та беззольною речовиною. Доза завантаження за обсягом, що виражається у відсотках, показує, яку частину від обсягу метантенка становить добовий обсяг завантаженого осаду. Доза завантаження за обсягом  $D$  та тривалість зброджування  $P$  пов'язані співвідношенням:  $P = 100/D$ .

Доза завантаження за беззольною речовиною  $D_{бз}$  – це маса беззольної речовини осаду, кг, що подається на 1 м<sup>3</sup> об'єму метантенка на добу кг/(м<sup>3</sup>·добу).

Для перемішування осаду застосовують насоси, гідроелеватори, пропелерні мішалки тощо. Для запобігання утворенню кірки рівень осаду в метантенках підтримують вище основи горловини, що забезпечує інтенсивне перемішування поверхні газами бродіння, що утворюються. Це забезпечує

також запобігання проникненню повітря в метантенк, що дуже важливо, тому що надходження повітря може створювати вибухонебезпечну суміш газу та кисню повітря. З метою запобігання надходженню повітря іноді застосовують метантенки з плаваючим перекриттям. Оскільки метаногенез протікає без виділення тепла, потрібен обігрів метантенків. Газ із метантенків виділяється нерівномірно, тому для його збирання, зберігання та подальшого використання застосовуються газгольдери.

На сьогодні розроблено типові проекти метантенків корисним об'ємом 500–4 000 м<sup>3</sup> та діаметром 10–20 м, для великих очисних станцій розроблено індивідуальні проекти метантенків з корисним об'ємом 6 000–8 000 м<sup>3</sup>.

За неможливості збирання газу метантенків передбачають його спалювання, використовуючи спеціальний пристрій – газову свічку.

*Двоюрсні відстійники* застосовують для попереднього освітлення стічних вод і одночасного анаеробного зброджування утворюваного осаду. Зазвичай це круглі (іноді прямокутні) за формою споруди з конічним дном. У верхній частині споруди розміщені відстійні жолоби, нижня частина (мулова або септична камера) виконує функції камери зброджування (рис. 6.2).

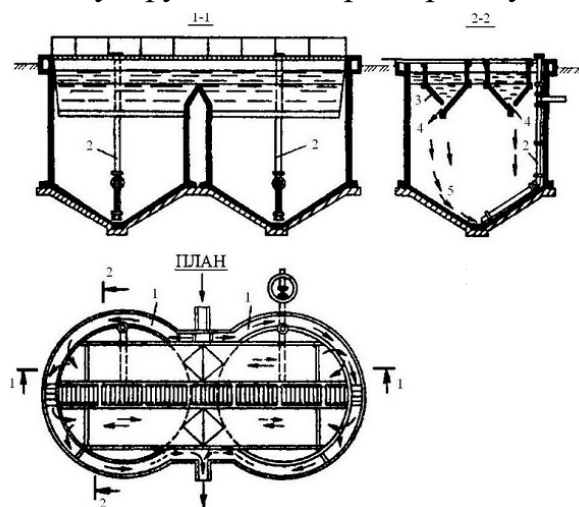


Рисунок 6.2 – Парний двоюрсний відстійник з двома жолобами:

- 1 – розподільний лоток; 2 – мулова труба для вивантаження;*
- 3 – відстійний жолоб; 4 – розвантажувально-завантажувальна щілина;*
- 5 – камера зброджування осаду*

Впуск та випуск стічних вод у жолоби здійснюють так само, як і в звичайних горизонтальних відстійниках – через впускний і випускний лотки з напівзанурювальними дошками. Осад, який випадає на похилі стінки нижньої частини жолобів (кут нахилу до горизонту зверху 50°), сповзає до щілин у дні

та провалюється у мулову камеру. Тривалість освітлення стічних вод у відстійних жолобах становить 1,5 год, ефективність освітлення – 40–50 %. Для підвищення ефективності освітлення стічних вод жолобом двох сусідніх двоярусних відстійників влаштовують спареними.

На відміну від септиків, у мулових камерах двоярусних відстійників відбувається метанове бродіння осаду у психрофільних умовах. Тривалість зброджування становить 60–120 діб, а розпад беззольної речовини осаду – 40 %. Перемішування осаду у мулових камерах двоярусних відстійників здійснюється за рахунок бульбашок газів бродіння, які піднімаються на поверхню споруди. Осад, який міститься у нижніх шарах мулової камери, практично не перемішується, що сповільнює процес його зброджування, він злежується й ущільнюється під дією власної ваги до вологості 85 %.

Перевагами двоярусних відстійників є простота конструкції та експлуатації. Недоліки: велика глибина споруд, що збільшує вартість їх будівництва; необхідність розміщення в опалюваних приміщеннях в районах з низькими зимовими температурами; можливість зменшення до 30 % ефекту освітлення стічних вод у результаті проникнення в жолоби газів бродіння та частинок збродженого осаду; вірогідність забивання щілин в жолобах «зверху» при високій концентрації завислих речовин в стічних водах або «знизу» кіркою, утвореною на поверхні.

*Освітлювачі-перегнивачі* використовують для обробки висококонцентрованих стічних вод. Освітлювач-перегнивач є комбінованою спорудою, що складається з освітлювача з природною аерацією і концентрично розташованого всередині перегнивача. Освітлювачі проєктують у вигляді вертикальних відстійників з внутрішньою камерою флокуляції та природною аерацією за рахунок різниці рівнів води у розподільній чаші та освітлювачі.

Порівняно з двоярусними відстійниками освітлювачі-перегнивачі мають такі переваги: освітлювач і перегнивач відокремлені один від одного, що унеможливує надходження зброджуваного осаду в зону освітлення; перемішування осаду в перегнивачі сприяє інтенсифікації його зброджування, унеможливує утворення кірки на поверхні та ущільнення осаду в нижній частині освітлювача.

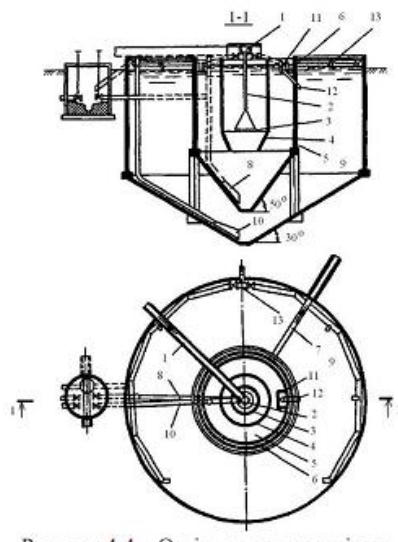


Рисунок 6.4 – Освітлювач-перегнивач:

*1 – подавальний лоток; 2 – центральна труба; 3 – відбивний щит; 4 – камера флокуляції; 5 – зона відстоювання (освітлювач); 6 – збірний лоток; 7 – відведення освітлених стічних вод; 8 – мулова труба; 9 – камера для зброджування осаду (перегнивач); 10 – труба для видалення зброженого осаду; 11, 12 – лоток та труба для видаленні кірки; 13 – мулорозподільна труба*

### **Аеробна стабілізація**

Аеробна стабілізація – це складний біохімічний процес, у результаті якого відбувається розпад (окислення) основної частини органічних беззольних речовин осаду внаслідок життєдіяльності аеробних мікроорганізмів у присутності кисню повітря. Органічна речовина осаду, що залишилася, є стабільною – нездатною до подальшого розкладання (загнивання).

Аеробній стабілізації може піддаватися ущільнений і неуцільнений активний мул, а також його суміш з сирим осадом первинних відстійників. Для аеробної стабілізації осадів можуть бути використані будь-які ємкісні споруди (переобладнані відстійники, аеротенки), в яких осад аерують повітрям протягом декількох діб.

Ефективність процесу стабілізації залежить від тривалості та інтенсивності аерації, температури, а також складу і властивостей осаду.

Подачу повітря в аеробні стабілізатори здійснюють за допомогою крупно- або середньобульбашкової систем аерації, оскільки вважають, що застосування механічної або пневмомеханічної аерації призводить до погіршення структури осаду і збільшення його питомого опору фільтрації.



Тривалість аерації, що забезпечує повний розпад беззольної речовини та стабілізацію осаду, приймають для неущільненого мулу – 2–5 діб, для суміші сирого осаду й ущільненого активного мулу – 8–12 діб. Витрата повітря – 1–1,5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>·год.

Швидкість процесу аеробної стабілізації зростає зі збільшенням концентрації осаду, проте при цьому погіршуються масопередача кисню і водовіддавальна здатність осаду. Виходячи з цих умов, концентрація активного мулу, що подають в аеробний стабілізатор, не повинна перевищувати 20 г/дм<sup>3</sup> (оптимальна концентрація 10–15 г/дм<sup>3</sup>), а концентрація суміші мулу та сирого осаду – 25–27 г/дм<sup>3</sup> (оптимальна концентрація 15–20 г/дм<sup>3</sup>). Підтримання необхідної концентрації мулу можна здійснювати як шляхом його попереднього ущільнення (але не довше 6 год за умови збереження його біологічної активності), так і влаштуванням спеціальних відстійних зон усередині стабілізатора, або навіть шляхом повернення в стабілізатор вже стабілізованого ущільненого осаду.

Після аеробної стабілізації осади повинні знаходитися протягом 1,5–5 год в окремо розташованих ущільнювачах або в спеціально виділеній відстійній зоні всередині стабілізатора.

Вологість ущільненого аеробного стабілізованого осаду становить при цьому 96,5–97,5 %. Мулову воду з ущільнювачів, що містить до 100 мг/дм<sup>3</sup> завислих речовин і має БПК<sub>повн</sub> до 200 мг/дм<sup>3</sup>, повертають для очищення в аеротенки. Використання стабілізованих осадів як добрив можливо тільки після їх дегельмінтизації.

Процес аеробної стабілізації найчастіше протікає за температури від 15 °С до 20 °С без додаткового підігріву осаду. Ступінь розпаду органічних речовин коливається від 10 % до 50 % (при цьому жири розпадаються на 65–75 %, білки – на 20–30 %, а вуглеводи практично не розщеплюються).

На рисунку 6.5 наведено схеми найбільш поширених типів аеробних стабілізаторів.

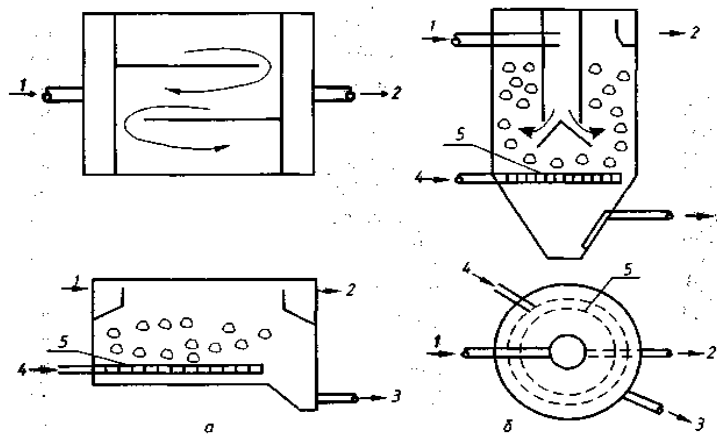


Рисунок 6.5 – Схеми споруд для аеробної стабілізації осаdів:

*а* – горизонтального типу; *б* – вертикального типу;

*1* – подача осаду, що стабілізується; *2* – видалення мулової води; *3* – видалення стабілізованого осаду; *4* – подача повітря; *5* – розподільник повітря

Перевагами аеробних стабілізаторів є простота їх конструкції та експлуатації, менша порівняно з анаеробним зброджуванням залежність процесу стабілізації від наявності в осаdі токсичних домішок, іонів важких металів, поверхнево-активних речовин. До недоліків аеробних стабілізаторів слід віднести велику витрату електроенергії на аерацію, необхідність обов'язкового знезаражування стабілізованих осаdів, зниження ефективності аеробної стабілізації в зимовий час внаслідок переохолодження осаду.

### Питання для самоперевірки

1. Види стабілізації осаdів стічних вод.
2. Які споруди застосовуються для зброджування органічного осаду?
3. За яких режимів може відбуватися зброджування осаду стічних вод у метантенках? Наведіть недоліки й переваги кожного.
4. Фази та продукти зброджування осаdів при анаеробній обробці.
5. За якої температури здійснюється термофільний режим анаеробної стабілізації осаdів?
6. Які споруди застосовують для анаеробної стабілізації осаdів, їх конструкції? Принцип роботи споруд.
7. Що необхідно передбачати для підтримання потрібного режиму зброджування?
8. Залежно від чого визначається місткість метантенків?
9. Які процеси відбуваються у двоярусних відстійниках?

10. На станціях якої продуктивності можливо застосовувати освітлювачі-перегнивачі?

11. За якої продуктивності очисних споруд проєктуються аеробні стабілізатори?

12. Які види осадів допускається направляти на аеробну стабілізацію?

13. Яка тривалість аерації в аеробних стабілізаторах для неущільненого активного мулу?

14. Яка тривалість аерації приймається в аеробних стабілізаторах для суміші осаду первинних відстійників та неущільненого активного мулу?

15. Як впливає на тривалість аерації в аеробних стабілізаторах температура осаду?

### **Тема 7 Кондиціонування осадів**

1. Промивання та ущільнення осадів.

2. Кондиціонування осадів мінеральними реагентами. Використання флокулянтів для кондиціонування осадів.

3. Теплова обробка та заморожування осадів

Осади, що утворюються на очисних спорудах населених місць, характеризуються незадовільними показниками водовіддачі, що ускладнює застосування процесів їх механічного зневоднення. Для збільшення водовіддачі необхідно змінити структуру осаду. Зміна структури осадів дозволяє досягти більш глибокого та швидкого їх зневоднення. Процеси підготовки осадів до зневоднення називаються кондиціонуванням.

Методи кондиціонування поділяють на реагентні та безреагентні.

*Реагентні методи* припускають використання для обробки осадів неорганічних реагентів (хлорне залізо, сірчанокисле залізо, вапно) або органічних високомолекулярних сполук – поліелектролітів (ПЕ). Ті та інші призводять до збільшення вологовіддачі осадів. У результаті такої обробки питомий опір осаду значно знижується і осад легше віддає воду.

*До безреагентних методів* кондиціонування відносять промивку і ущільнення осадів; високотемпературну обробку, заморожування–танення; ультразвукову обробку осадів.

На вітчизняних очисних спорудах застосовують кондиціонування шляхом промивання, ущільнення з подальшою реагентною обробкою.

За кордоном так само застосовують високотемпературну обробку і заморожування – відтавання.

Схему кондиціонування осадів мінеральними реагентами наведено на рисунку 7.1.

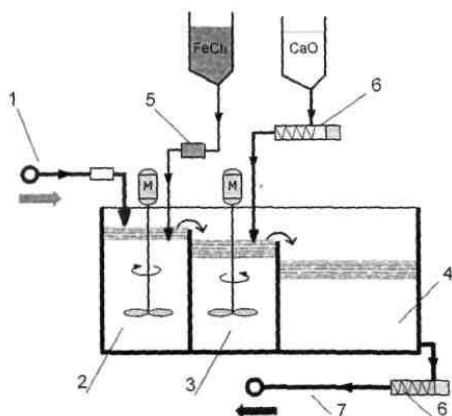


Рисунок 7.1 – Схема кондиціонування осадів мінеральними реагентами:  
1 – подача осаду; 2 – змішувач солі заліза;  
3 – змішувач вапна; 4 – буферна камера;  
5 – насос-дозатор; 6 – гвинтовий насос-дозатор; 7 – оброблений осад

Ефективність вживання мінеральних реагентів значною мірою залежить від умов проведення процесу обробки осаду.

Кондиціонування осадів мінеральними реагентами має певні недоліки, до яких відносяться: велика масова витрата реагентів; висока корозійна активність; проблеми з транспортуванням та зберіганням; збільшення твердої фази осаду унаслідок внесення великої кількості (до 40 %) додаткових (баластних) речовин; значне підвищення зольності зневодненого осаду

Механізм дії флокулянтів полягає у прискоренні процесу утворення колоїдних структур і підвищенні їх міцності, а також у зв'язуванні цих структур у більші агрегати.

Вивільнення частини зв'язаної води з одночасним зниженням питомого опору осадів відбувається за значно менших доз флокулянтів порівняно з дозами хлорного заліза або інших мінеральних реагентів.

Флокулянти знижують індекс центрифугування, набагато підвищують ефективність затримання сухої речовини при зневодненні осадів на центрифугах і застосовуються для освітлення фугату і обробки осадів під час зневоднення на стрічкових фільтр-пресах і вакуум-фільтрах, а також під час згущування осадів.

Найчастіше флокулянти використовують під час зневоднення осадів стічних вод на центрифугах.

Під час центрифугування осадів велике значення має місце введення флокулянта. Залежно від змішування з осадом, розміру і міцності пластівців, що утворюються, він може вводитися у всмоктувальну лінію, в напірну лінію насоса–дозатора або безпосередньо в порожнину центрифуги. Останній метод отримав найбільше застосування. З урахуванням цього низка фірм виготовляє центрифуги із спеціальними пристроями для введення флокулянта і змішування його з осадом. Управління процесом здійснюється з пульта.

Залежно від типу осаду дози флокулянта коливаються від 1 кг/т до 10 кг/т сухої речовини осаду.

Вживання органічних високомолекулярних поліелектролітів у багатьох випадках дозволяє отримати високу ефективність кондиціонування осадів. Основні переваги їх застосування полягають у малих дозах, зручності приготування і дозування, підвищенні долі беззольної речовини осаду, відсутності баластних домішок. Застосовують в основному катіонні синтетичні органічні поліелектроліти.

Порівняно з мінеральними реагентами, використання флокулянтів має низку переваг :

- істотно скорочуються потрібні дози для зниження питомого опору осадів;
- спрощується підготовка і дозування;
- скорочуються площі для зберігання реагентів і розміщення устаткування для приготування розчинів;
- відпадає потреба у використанні резервуарів і насосів в антикорозійному виконанні;
- зменшується вартість кондиціонування осадів.

### **Промивка та ущільнення осадів**

Промивка є найбільш ефективною для анаеробно зброджених осадів (питомий опір фільтрації  $r > 1\,000 \cdot 10^{10}$  см/г). Для осадів, зброджених у різних режимах, параметри промивки різняться. Кількість промивної води слід приймати у м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>:

- для збродженого сирого осаду – 1–1,5;

- для зброженої в мезофільних умовах суміші сирого осаду і надлишкового активного мулу – 2–3;
- те ж, в термофільних умовах – 3–4.

Тривалість промивання слід приймати 15–20 хв, число резервуарів для промивки осаду – не менше двох. Для виключення розділення осаду необхідно передбачити перемішування повітрям, кількість якого визначається з розрахунку  $0,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$  суміші осаду і води. Потім суміш промитого осаду і води подають до ущільнювачів, де протягом 12–24 годин відбувається ущільнення осаду. Мулова вода, що містить 1–1,5 г/л завислих речовин і характеризується показником БПК<sub>повн</sub> 600–900 мг/л, прямує у початок очисних споруд.

Ущільнення суміші промитого осаду і виділення мулової води здійснюють у радіальних осадоущільнювачах. Період ущільнення суміші осаду і промивної води приймають: для мезофільного збродження –  $T_{уц} = 12\text{--}18$  год; для термофільного збродження –  $T_{уц} = 20\text{--}24$  год.

Мулова вода надходить у «голову» очисних споруд. У результаті промивання та ущільнення питомий опір фільтрації знижується до  $r = (400\text{--}700)10^{10} \text{ см/г}$ .

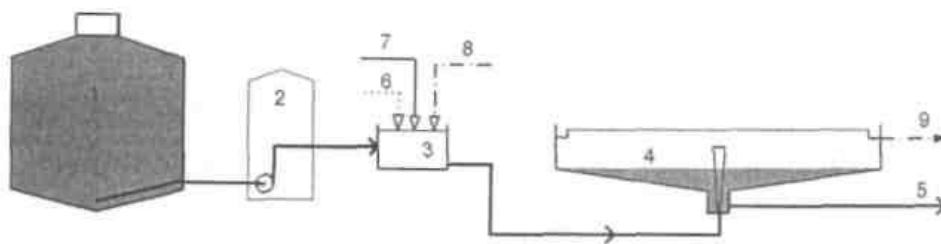


Рисунок 7.2 – Схема кондиціонування зброженого осаду промиванням та ущільненням:

- 1 – метантенк; 2 – насосна станція; 3 – промивна камера; 4 – ущільнювач  
 5 – ущільнений осад на механічне зневоднення; 6 – подача стиснутого повітря;  
 7 – подача промивної води; 8 – подача фільтрату; 9 – випуск мулової води

Хоча промивання є ефективним прийомом зниження питомого опору зброжених осадів, для отримання більш високих показників зневоднення у низці випадків її доповнюють одним методом реагентної обробки. Зазвичай такий варіант застосовують при термофільному режимі збродження осадів.

Вологість ущільненого осаду становить  $P = 94-96 \%$ . З такою вологістю зброджена, промита й ущільнена суміш осадів надходить до цеху механічного зневоднення на попередню реагентну обробку.

### **Теплова обробка осадів**

Теплова обробка полягає у нагріванні осадів до температури  $170-220 \text{ }^\circ\text{C}$  і витримці їх при цій температурі та тиску  $P = 1,8 \text{ МПа}$  у закритих ємкостях-реакторах протягом  $30-120 \text{ хв}$  залежно від властивостей осаду. При цьому відбувається різка зміна структури осаду, близько  $40 \%$  сухої речовини переходить у розчин, осад набуває хороших водовіддавальних властивостей. Недолік методу – складність експлуатації установки.

Схема теплової обробки осаду показана на рисунку 7.3. Установа включає дробарню, резервуар для осаду, поршневий насос високого тиску для подачі осаду в реактор, теплообмінник. Недолік методу – складність експлуатації установки.

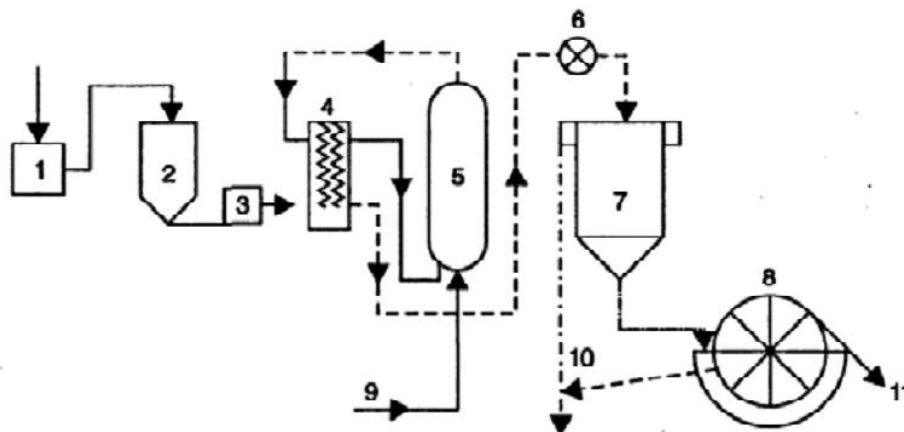


Рисунок 7.3 – Схема теплової обробки осаду та механічного зневоднення осадів міських стічних вод:

- 1 – дробарня; 2 – резервуар подрібненого осаду; 3 – насос;
- 4 – теплообмінник; 5 – реактор; 6 – редуційний клапан;
- 7 – ущільнювач; 8 – вакуум-фільтр; 9 – подача пари; 10 – відведення мулової води та фільтрату; 11 – відведення кеку

Вихідний осад після нагрівання в теплообміннику подається у реактор, у якому цей витримують при параметрах, вказаних вище. Підігрівання осаду в реакторі здійснюють гострою парою. Оброблений осад повертається в теплообмінник, де віддає своє тепло осаді, що поступає, і охолоджується до  $30-40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Для ущільнення осаду і відділення мулової води перед подачею на зневоднення у схемі передбачений мулоущільнювач. Об'єм ущільненого осаду становить 20–30 % від первинного, а його вологість – 92–94 %. Після відстоювання в ущільнювачі упродовж  $t_{\text{ущ}} = 3$  год осад без будь-якого додаткового оброблення зневоднюється на вакуум-фільтрі. Кек після зневоднення має вологість  $P_k = 55\text{--}70\%$ , що дозволяє виключити термічну сушку осаду.

У процесі теплової обробки відбуваються розпад органічних речовин, в основному білків, їх розчинення і перехід твердої фази осадів у рідку. При цьому змінюється структура осадів, їх зольність і частково хімічний склад, досягається поліпшення водовіддачі і знешкодження осадів. Під час теплової обробки питомий опір осадів знижується до значень, що дозволяють зневоднювати осади на вакуум-фільтрах і фільтр-пресах без обробки хімічними реагентами. Теплової обробці можуть піддаватися як зброжені, так і сирі осади.

Переваги методу теплової обробки:

- повна стерильність обробленого осаду;
- відпадає необхідність у реагентній обробці осадів перед механічним зневодненням;
- осад має низьку вологість;
- осад не загниває при зберіганні.

Недоліки методу теплової обробки:

- наявність великої кількості завислих речовин (2 000–6 000 мг/л) і ХСК (5 000–16 000 мг/л) мулової води і фільтрату;
- застосування відносно складної регулювальної і контрольновимірювальної апаратури, а також насосів, теплообмінників і реакторів, що працюють під тиском;
- утворення газів і запахів під час обробки осадів;
- скорочення вмісту органічних компонентів в оброблених осадах, що знижує їхню цінність як добрив.

До недоліків методу відносяться складність конструкції реактора, великі енергетичні витрати, утворення газів і запахів у процесі обробки осадів і висока концентрація органічних речовин у фільтраті, які необхідно направляти на біологічне очищення. Подача такої води на очисні споруди призводить до серйозного додаткового навантаження й порушення роботи аеротенків.



## Заморожування і подальше відтавання осадів

Суть методу полягає в тому, що під час заморожування частина зв'язаної вологи переходить у вільну, відбувається коагуляція твердих часток осаду і знижується питомий опір осаду. Такі осади можна піддавати механічному зневодненню без коагуляції хімічними реагентами. Заморожування здійснюється за температури від  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для штучного заморожування  $1\text{ м}^3$  осаду витрачається близько 50 кВт електроенергії.

Після відтавання осад зневоднюється на фільтр-пресах або вакуум-фільтрах, а також на мулових майданчиках.

На рисунку 7.4 показано технологічну схему установки для заморожування і відтавання осаду.

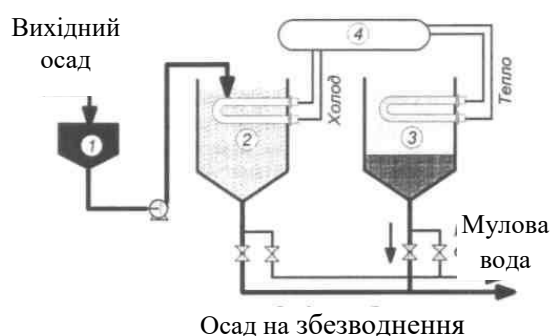


Рисунок 7.4 – Схема установки кондиціонування осаду методом «заморожування – відтавання»:

- 1 – ємкість вихідного осаду; 2 і 3 – контактні відстійники;  
4 – холодильний агрегат*

Штучне заморожування осадів проводиться в установках з відстійниками контактної періодичної дії, у барабанних або панельних льодогенераторах.

У заповнені осадом резервуари (1) подається рідкий аміак, який, випаровуючись у трубках, заморожує осад. При заморожуванні частина зв'язаної вологи переходить у вільну, при подальшому відтаванні осади утворюють зернисту структуру, їх вологовіддача підвищується.

До основних недоліків методу відносяться тривалість всього циклу підготовки осаду, що обмежує продуктивність установок і відносно велику витрату електроенергії.

### Питання для самоперевірки

1. Що таке кондиціонування осадів стічних вод?
2. Назвіть методи безреагентного кондиціонування осадів.
3. Реагентне кондиціонування осадів стічних вод.
4. Переваги та недоліки методу теплової обробки осадів.
5. Від чого залежить кількість промивної води при кондиціонуванні осадів?
6. Які хімічні реагенти застосовують для кондиціонування осадів перед їх подачею на апарати механічного зневоднення?

### Тема 8 Зневоднення осадів

1. Зневоднення осадів на барабанних вакуум-фільтрах.
2. Фільтр-преси. Зневоднення осадів на стрічкових фільтр-пресах.
3. Зневоднення осадів на камерних фільтр-пресах.
4. Центрифугування осадів.

Зневоднення осадів стічних вод на мулових майданчиках для очисних споруд середньої і великої продуктивності часто виявляється неможливим через відсутність вільних земельних площ. Тому на станціях застосовують механічне зневоднення осадів на вакуум-фільтрах, фільтр-пресах, центрифугах або інших апаратах.

Апарати, вживані для механічного зневоднення осадів стічних вод, можна класифікувати за видом механічної дії на їх структуру:

- зневоднення осадів під розрядженням;
- зневоднення осадів під тиском;
- зневоднення осадів у відцентровому полі.

Механічне зневоднення осаду здійснюють за допомогою фільтр-пресів, центрифуг і вакуум-фільтрів. При цьому вологість осаду після зневоднення зменшується до 75–80 %.

При фільтруванні відбувається процес відділення твердих частинок від рідини при різниці тиску над фільтрувальним середовищем і під ним. Фільтрувальним середовищем на барабанних вакуум-фільтрах і фільтр-пресах є фільтрувальна тканина і шар осаду, що налипає на тканину у процесі фільтрування. Первинне фільтрування відбувається через тканину, пори якої

затримують тверді частинки осаду і створюють додатковий фільтрувальний шар. Цей шар у міру фільтрування збільшується і є головним фільтруючим середовищем, а тканина служить лише для підтримки фільтруючого шару.

До переваг механічного зневоднення осаду можна віднести:

- велику потужність, скорочення виробничої площі за рахунок відмови від мулових майданчиків;
- ліквідація неприємних запахів; зменшення кількості обслуговуючого персоналу;
- відсутність впливу кліматичних факторів на процес зневоднення;
- можливість автоматизації всього комплексу споруд на очисній станції.

**Зневоднення осаду на вакуум-фільтрах** полягає у видаленні води із суцільного шару осаду, розміщеного на тканині під дією вакууму, який створюється з боку тканини. На вакуум-фільтрах можна обробляти практично всі види осадів. Розрізняють звичайні барабанні (БОУ), барабанні з полотном, що сходять (БсхОУ), дискові та стрічкові вакуум-фільтри.

Робочий цикл вакуум-фільтра включає такі послідовні операції: фільтрування, зневоднення (просушування), видалення зневодненого осаду (кеку), регенерацію фільтрувальної тканини.

Фільтрування і зневоднення здійснюється під дією вакууму. Фільтрат видаляється у вакуумну лінію. Видалення осаду з поверхні фільтрувальної тканини – за допомогою різних механічних пристроїв або віддуванням стислим повітрям. Регенерація тканини – з метою відновлення фільтрувальної здатності здійснюється продуванням стислим повітрям або промиванням кожні 8–24 години водою, продуванням стислим повітрям (якщо кількість забруднених ділянок >20 %, то промивають інгібірувальною соляною кислотою).

Барабанний вакуум-фільтр, регенерація фільтрувальної тканини у якого проводиться безперервно, називається *барабанним вакуум-фільтром з полотном, що сходить*. Фільтри даної конструкції мають низку переваг перед звичайними вакуум-фільтрами. Їх застосування особливо ефективне, коли осади стічних вод за своєю структурою здатні швидко замулювати фільтрувальну тканину (сирі осади з первинних відстійників).

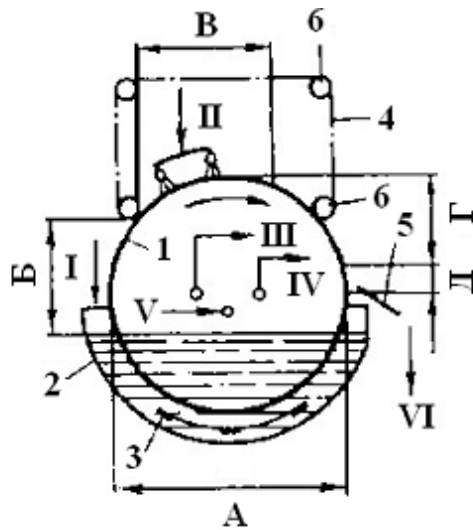


Рисунок 8.1 – Схема барабанного вакуум-фільтра:

- I – подача осаду; II – промивна рідина; III – фільтрат;  
 IV – промивний фільтрат; V – стиснуте повітря; VI – зневоднений осад;  
 VII – рідина для регенерації тканини;  
 А – зона фільтрування; Б – зона просушування; В – зона промивання;  
 Г – зона віджимання та просушування промитого осаду;  
 Д – зона віддування та регенерації тканини, знімання осаду;  
 1 – барабан; 2 – смкість з осадом; 3 – перемішувач; 4 – полотно, що набігає;  
 5 – ніж; 6 – ролики; 7 – фільтрувальна тканина*

Барабанний вакуум-фільтр БсхОУ (рис. 8.2) з полотном, що сходить, має переваги, оскільки в ньому є спеціальна камера, де фільтрувальну тканину постійно промивають водою або слабким розчином інгібірувальної соляної кислоти. Відбувається постійна регенерація тканини. Тому можливо відділяти від неї досить тонкі шари осаду, збільшувати швидкість обертання барабану і підвищувати продуктивність у 1,5–2 рази порівняно з іншими барабанними вакуум-фільтрами. Перевагою таких фільтрів є можливість скорочення простою фільтрів при заміні фільтрувальної тканини.

Вологість осаду (кеку) після барабанного вакуум-фільтра становить 70–85 % залежно від характеристики оброблюваного осаду, а продуктивність – 8–40 кг сухої речовини осаду на 1 м<sup>2</sup> поверхні фільтру за годину.

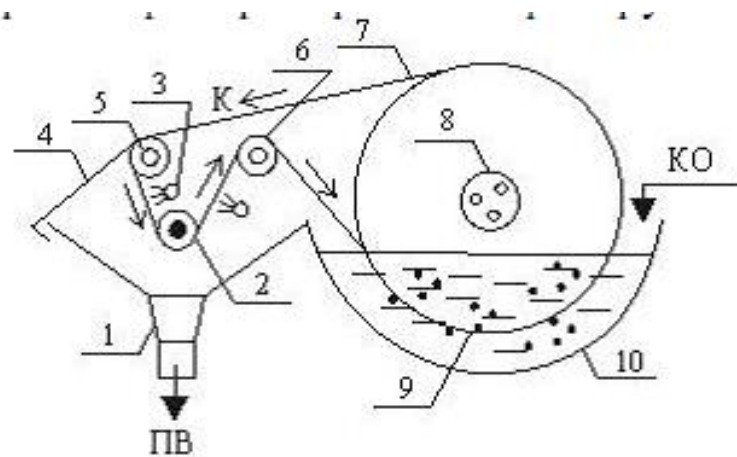


Рисунок 8.2 – Барабанний вакуум-фільтр БсхОУ з полотном, що сходить:

- 1 – жолоб відведення промивної води; 2 – натяжний ролик;  
 3 – труба з насадками для промивання тканини; 4 – ніж для знімання кеку;  
 5 – розвантажувально-віддувний ролик; 6 – поворотний ролик;  
 7 – фільтрувальна тканина; 8 – розподільна головка фільтру;  
 9 – барабан фільтру; 10 – корито з осадам;  
 К – кек; КО – кондиціонований осад; ПВ – промивна вода

### Фільтр-преси

Фільтр-преси розрізняють рамні, камерні типу ФПАКМ (фільтр-прес автоматичний камерний модернізований), стрічкові, барабанні й гвинтові (шнекові). Порівняно з барабанними вакуум-фільтрами, за початковими рівними умовами, після зневоднення на фільтр-пресах осад виходять з меншою вологістю – 55–75 %.

**Зневоднення осаду на фільтр-пресах** полягає у видаленні води під дією надлишкового тиску, який створюється з боку осаду. Фільтр-преси застосовують у тих випадках, коли осад після зневоднення направляють на сушку або спалювання або коли необхідно одержати осад для подальшої утилізації з мінімальною вологістю.

Потужність вакуум-фільтрів і фільтр-пресів для осадів міських стічних вод приймають у залежності від характеристики оброблюваного осаду.

На відміну від центрифуг, стрічкові фільтр-преси не піддаються абразивному зношуванню при підвищеному вмісті піску в осаді.

Використання фільтр-пресів дозволяє:

- переробити вихідний осад вологістю 96–99 % на сипучий матеріал (кек) вологістю 62–74 %;
- скоротити об'єм осадів, що виникають, у 6–7 разів;
- підготувати осад до подальшої утилізації.

**Стрічкові фільтр-преси** (далі – СФП) призначені для зневоднення попередньо гравітаційно згущених осадів (до 3–5 % сухої речовини осадів). Продуктивність стрічкових фільтр-пресів залежить від ширини стрічки і типу осадів. Для осадів міських стічних вод (суміші осаду первинних відстійників і надлишкового мулу) продуктивність у середньому становить 4–7 м<sup>3</sup>/год за вихідним осадом на 1 м робочої ширини стрічки, витрата флокулянту – 0,1–0,5 % від маси сухої речовини осаду.

Фільтр-преси відносяться до апаратів безперервної дії і призначені для зневоднення осадів методом фільтрації під тиском через пористі полотна.

Принцип роботи полягає у затисканні осаду між поверхнями двох стрічок фільтрувальних тканин або фільтрувальної тканини та непроникної стрічки і наступному віджиманні на гладких горизонтальних валах.

До основних конструктивних елементів стрічкових фільтр-пресів відносяться: приймальний лоток осаду; фільтрувальні стрічки; приводний та напрямний барабани; система роликів, що забезпечує задану траєкторію руху фільтрувальних стрічок; вузли віджимання осаду; система регенерації фільтрувальних стрічок; збірні піддони фільтрату та промивної води; ножі для зняття кека.

Незалежно від конструктивних особливостей стрічкові фільтр-преси мають три основні технологічні зони:

- зона гравітаційного фільтрування, яка у деяких конструкціях може бути об'єднана із зоною фільтрування під вакуумом;
- зона попереднього віджимання;
- зона остаточного віджимання.

Фільтрувальні стрічки промиваються водою, що безперервно подається з витратою 4–8 м<sup>3</sup>/год із насадок під тиском 0,5 МПа.

Процес зневоднення осаду на стрічкових фільтр-пресах зазвичай здійснюється із застосуванням флокулянтів. Без додавання флокулянту дрібні і колоїдні частинки осаду швидко закупорюють пори фільтру.

Більше 100 компаній у США, Західній Європі та інших країнах виготовляють і застосовують СФП. Виробниками СФП є такі фірми: «Alfa Laval», «Bright Technologies», «Degremont, Passavant» тощо.

Найбільш простою із вживаних конструкцій СФП є конструкція горизонтального типу.

Конструкція стрічкового фільтр-пресу наведена на рисунку 8.3.

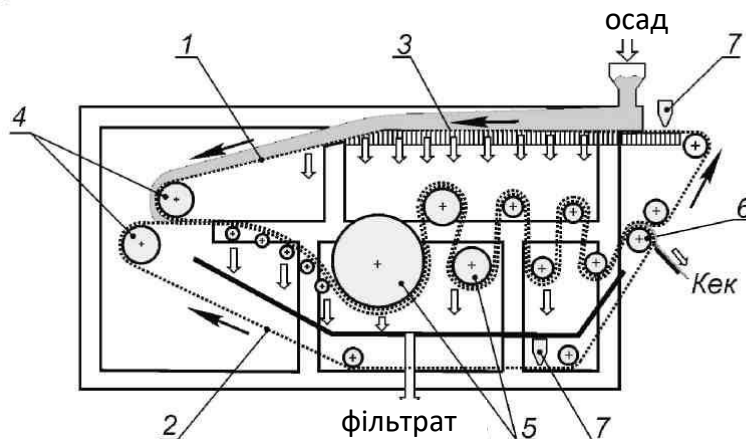


Рисунок 8.3 – Принципова схема стрічкового фільтр-пресу:

1, 2 – верхня і нижня фільтрувальні стрічки 3 – гравітаційний стіл; 4 – натяжні вали; 5 – віджимні вали; 6 – розвантажувальний вал; 7 – промивання фільтрувальної стрічки

Стрічковий фільтр-прес складається з двох стрічок, що обертаються – нижньої фільтрувальної стрічки та верхньої притискної стрічки-сітки. Рух стрічок здійснюється через приводні і реверсивні вали.

Під час зневоднення на горизонтальних СФП аеробно- і анаеробно-зброджених осадів вологістю 96–97 %, оброблених флокулянтами катіонного типу дозами 1–4 кг/т сухої речовини осаду, вологість зневодненого осаду становить 72–82 % при продуктивності СФП від 40 кг до 200 кг (за сухою речовиною) на 1 м ширини стрічки.

Практично усі апарати використовують системи для промивання фільтрувального полотна перед подальшим циклом. Фільтрат і промивна вода скидаються на очисні споруди.

### **Стрічковий згущувач та стрічковий фільтр-прес НВФ «ЕКОТОН»**

Як показує досвід експлуатації, стрічкові фільтр-преси (рис. 8.4) забезпечують високу технологічну ефективність у процесах зневоднення осадів, не мають швидкообертючих вузлів та деталей, зручні в експлуатації та

технічному обслуговуванні, не потребують великих витрат на енергоспоживання.

Осади міських стічних вод, що мають вологість 95–97 % можна подавати для оброблення на стрічкові фільтр-преси без згущувача.

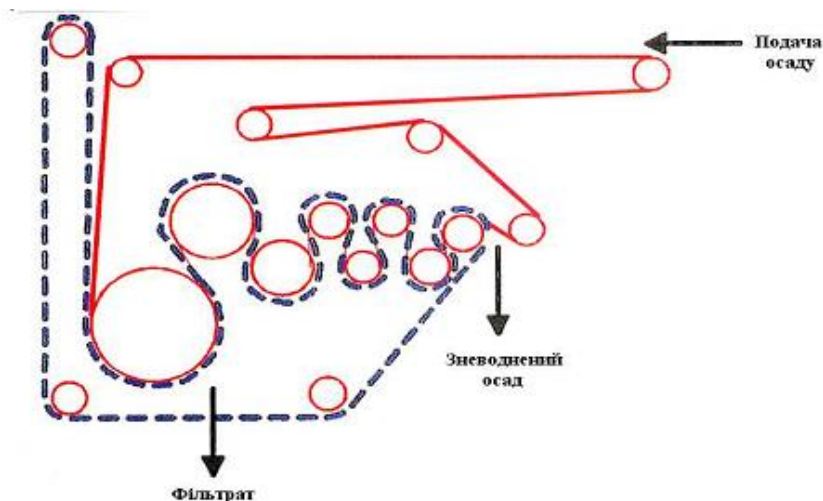


Рисунок 8.4 – Стрічковий фільтр-прес

У разі подачі на стрічкові фільтр-преси осаду вологістю 99,5–98 % доцільно попередньо провести згущення осаду на стрічкових або барабанних згущувачах чи застосувати комбінацію з фільтр-преса з надбудованим зверху згущувачем. Після згущувача вологість зменшується до 94 %. Такий згущувач дозволяє зекономити місце і збільшити продуктивність фільтр-преса.

Як і стрічковий фільтр-прес, стрічковий ущільнювач потребує постійного промивання.

Перед згущуванням у суміш додають флокулянт катіонного типу. Осад, оброблений флокулянтом, легко згущується у барабанних або на стрічкових згущувачах під дією сил гравітації. У *барабанних згущувачах* (рис. 8.5) осад вводиться всередину барабана, що обертається, і фільтрується через сито. Згущений осад за допомогою шнека видаляється з внутрішньої поверхні барабана. Згущувачі мають незалежний привід барабана і шнека. Сито періодично або безперервно промивається водою під тиском. У процесі експлуатації може регулюватися подача осаду на згущування і частота обертання шнека.



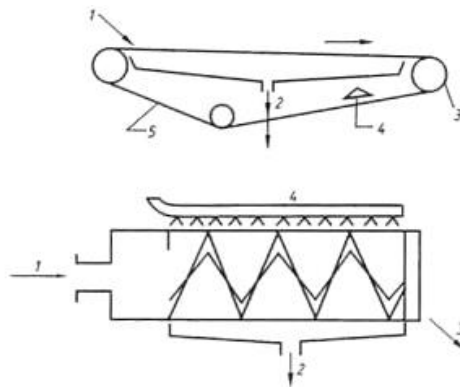


Рисунок 8.5 – Принципові схеми стрічкового й барабанного згущувачів:

1 – подача осаду на згущування; 2 – скид фільтрату і промивної води;

3 – видалення згущеного осаду; 4 – промивні форсунки;

5 – фільтрувальна стрічка

На рисунку 8.5 показаний також принцип дії *стрічкового згущувача*. Згущуваний осад подається на поверхню рухомої фільтрувальної стрічки (сітки), під час проходження по якій під дією сил гравітації згущується. Згущений осад видаляється з поверхні стрічки за допомогою ножа, а фільтрувальна стрічка піддається промиванню водою під тиском. Стрічкові згущувачі мають одне або декілька пристроїв для натягнення фільтрувальної стрічки, привід і систему направляючих роликів руху фільтрувальної стрічки.

Стрічковий згущувач дозволяє знижувати вологість осадів міських стічних вод з 99,5 % до 96–94 % (40–60 кг сухої речовини на м<sup>3</sup>) та скорочувати об'єм осадів у 2–3,5 разу. Згущувач можна використовувати як самостійну установку, а також як перший ступінь зневоднення у комплекті зі стрічковим фільтр–пресом (встановлюють безпосередньо зверху на раму фільтр–преса).

На рисунку 8.6 показана схема технологічного процесу підготовки і зневоднення осадів на стрічкових фільтр–пресах.

Схема включає операції з приготування, розчинення і дозування флокулянтів, прийому, зберігання, перекачування і дозування осадів, їх зневоднення і видалення.

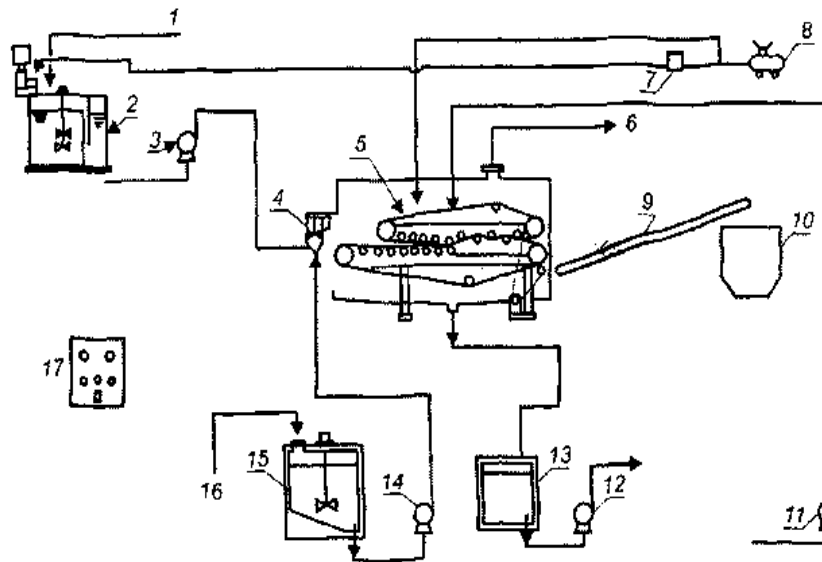


Рисунок 8.6 – Схема технологічного процесу підготовки і зневоднення осадів на стрічкових фільтр-пресах:

- 1 – подача води; 2 – резервуар для розчинення, перемішування і розбавлення флокулянта; 3 – насос-дозатор флокулянта; 4 – ежектор для змішування осаду з розведеним флокулянтом; 5 – стрічковий фільтр-прес;
- 6 – вентиляція повітря; 7 – повітряний фільтр; 8 – компресор подачі свіжого повітря; 9 – транспортер; 10 – бункер для зневодненого осаду;
- 11 – насос подачі промивної води; 12 – насос для перекачування фільтрату і промивної води; 13 – резервуар для фільтрату і промивної води;
- 14 – насос-дозатор осаду; 15 – резервуар для зневоднюваного осаду з мішалкою; 16 – подача вихідного осаду; 17 – контрольна панель із системами пуску і автоматики

Перевагами стрічкових фільтр-пресів порівняно з іншими апаратами для механічного зневоднення осадів є:

- зневоднення осаду в безперервному режимі;
- простота обслуговування;
- низькі капітальні й експлуатаційні витрати;
- можливість підвищення продуктивності стрічкового фільтр-преса у 1,5–2,0 рази при сумісній роботі зі згущувачем;
- можливість здійснення візуального контролю над усіма стадіями зневоднення;

- низьке енергоспоживання за рахунок використання сучасного електроприводу із частковим регулюванням;
- закрита конструкція, що перешкоджає розбризкуванню та поширенню запаху, що покращує санітарно–гігієнічні умови експлуатації.

Недоліки:

- велика чутливість процесу до зміни дози флокулянтів;
- велика витрата води для промивання і регенерації фільтрувальних стрічок;
- можливість поширення неприємних запахів.

Незважаючи на наведені недоліки, СФП є найширше вживаними апаратами для зневоднення осадів стічних вод.

### **Зневоднення осадів на камерних фільтр-пресах**

Основною перевагою камерних фільтр-пресів перед іншими видами зневоднювального устаткування (вакуум-фільтрами, центрифугами, стрічковими фільтр-пресами) є глибша міра зневоднення, тому їх доцільно застосовувати у тих випадках, коли потрібно отримати зневоднений осад нижчої вологості (40–50 %). Порівняно з вакуум-фільтрами камерні фільтр-преси мають меншу питому продуктивність, віднесену до одиниці площі фільтрувальної поверхні. Крім того, камерні фільтр-преси менш енергоємні порівняно з вакуум-фільтрами і центрифугами за питомими енерговитратами, а сучасні конструкції камерних фільтр-пресів забезпечують проведення процесу зневоднення в автоматичному режимі.

Сучасні камерні фільтр-преси поділяють на діафрагмові і бездіафрагмові.

Усі вони мають такі конструктивні елементи: плити, обладнані фільтрувальною перегородкою, механізми затиску і розкриття плит, пристрої для вивантаження зневодненого осаду, комунікації і арматуру для підведення осаду, стислого повітря і відведення фільтру. У *діафрагмових фільтр-пресах* плити оснащені гумовими діафрагмами (мембранами) для додаткового зневоднення осаду.

Промисловістю випускаються діафрагмові камерні фільтр-преси ФПАКМ з поверхнею фільтрування 2,5; 5; 12,5; 25 м<sup>2</sup> і камерні фільтр-преси без діафрагм ФК1Мм 52–800; ФКВ–500; ФК1Гпм 600–1428 з поверхнею фільтрування 52, 500 і 600 м<sup>2</sup> відповідно і стрічкові горизонтальні фільтр-преси

ЛМН 10–1Г, ФПЛ 1–5 з шириною фільтрувальних стрічок відповідно до 1,5 м і 0,75 м.

Нині освоєно серійне виробництво модернізованих камерних діафрагмових фільтр-пресів КМП (камерний, механізований з рухливою тканиною).

На базі фільтр-преса ФКВ–500 ведеться розробка фільтр-пресів з меншою поверхнею фільтрування з плитами з пластмас (поліпропілен).

Робочий тиск фільтрування на фільтр-пресах з віджимними діафрагмами допустимий до 1,2 МПа, на фільтр-пресах без діафрагм – до 1 МПа, на стрічкових фільтр-пресах – 0,3–0,4 МПа.

Продуктивність діафрагмових фільтр-пресів приблизно в 1,5 разу вища, ніж бездіафрагмових камерних фільтр-пресів за тих самих значень вологості вивантажуваного осаду, проте вони складніші в експлуатації і потребують спеціальної підготовки осаду перед подачею на зневоднення (подрібнення або видалення з початкового осаду частинок розмірами більше 3 мм).

На рисунку 8.7 представлена схема фільтр-преса ФПАКМ.

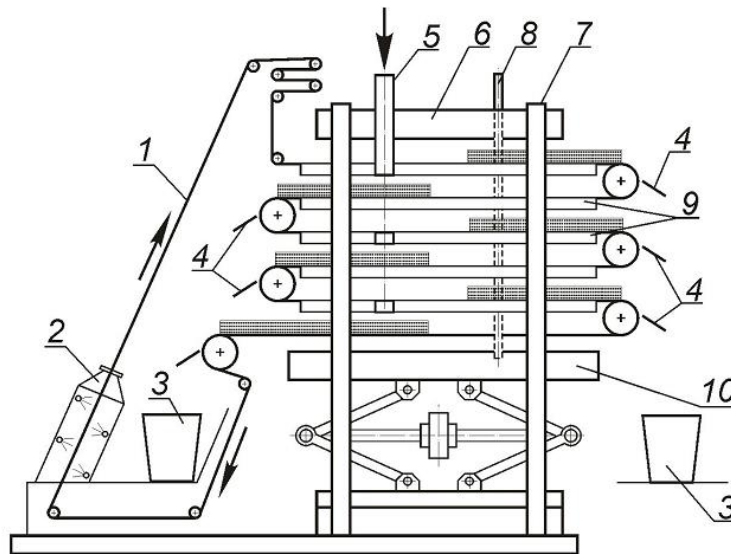


Рисунок 8.7 – Схема фільтр-преса ФПАКМ:

1 – фільтрувальна стрічка; 2 – камера регенерації фільтрувальної тканини; 3 – бункер; 4 – ножі для знімання осаду; 5 – колектор, що подає; 6 – верхня опорна плита; 7 – напрямні; 8 – колектор для подачі води на діафрагму; 9 – середні фільтрувальні плити; 10 – нижня натискна плита

Фільтр складається з набору горизонтальних прямокутних плит: верхньої – опорної; середніх – фільтрувальних і нижньої – натискної. Між плитами зигзагоподібно протягнута нескінченна стрічка з фільтрувальної тканини. Фільтрувальна стрічка приводиться в рух після розкриття фільтра. Зневоднений осад знімається зі стрічки ножами і видаляється в бункер. У процесі руху стрічка проходить камеру регенерації, де промивається та очищається.

Камерні фільтр-преси мають розвинену поверхню фільтрації, яка може збільшуватися шляхом додавання плит. Їх застосування дозволяє отримувати вологість зневоднених осадів значно нижчу, ніж під час застосування інших методів зневоднення осадів. Проте вони мають меншу продуктивність на одиницю фільтрувальної поверхні. Застосування фільтр-пресів пов'язане з відносно високими капітальними і експлуатаційними витратами, особливо для споруд невеликої продуктивності. Зневоднення осадів з коагуляцією мінеральними реагентами або з добавкою присадних матеріалів збільшує масу сухої речовини зневоднених осадів.

### **Зневоднення осадів на шнекових пресах**

На відміну від камерних фільтр-пресів, де тиск створюється між плитами, що фільтрують, у шнекових пресах тиск створюється шнеками, які обертаються. Якщо фільтр-преси є апаратами періодичної дії, то шнекові преси – це безперервно діючі апарати.

У галузі обробки осадів шнекові преси знаходять застосування для дозневоднення і допресовування заздалегідь зневоднених на стрічкових фільтр-пресах осадів, а двошнекові, що самоочищаються, – для транспортування зневоднених осадів.

### **Центрифугування осадів**

Центрифугування осадів – поділ твердої та рідкої фаз у полі доцентрових сил, що виникають у роторі, який обертається.

Основними елементами центрифуги є конічний ротор із суцільними стінками та порожнистий шнек. Ротор та шнек обертаються в один бік, але з різними швидкостями. Під дією відцентрових сил тверді частинки осаду відкидаються до стінок ротора і внаслідок різниці частоти обертання ротора та шнека переміщуються до отвору в роторі, через який зневоднений осад (кек)

надходить у бункер. Рідина, що відокремилася (фугат), відводиться через отвори, розташовані з протилежного боку ротора.

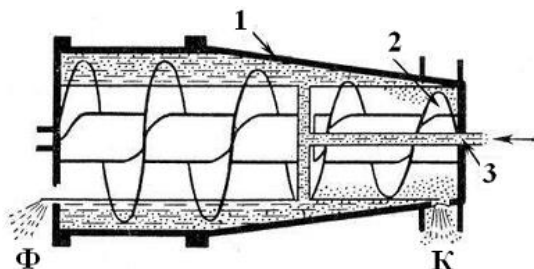


Рисунок 8.8 – Схема процесу зневоднення осаду центрифугуванням:  
1 – корпус центрифуги;  
2 – лопасті шнека; 3 – впуск осаду

Зневодненню методом центрифугування підлягають всі види осаду (з первинних відстійників, надлишковий активний мул, суміші осадів).

Робота центрифуг характеризується такими показниками, як продуктивність, ефективність затримання сухої речовини та вологість зневодненого осаду (кеку). Показники роботи центрифуги залежать від геометричних розмірів ротора, швидкості його обертання, вологості осаду, щільності та дисперсного складу його твердої фази та інших факторів.

За принципом дії центрифуги класифікують на осаджувальні і такі, що фільтрують, періодичної і безперервної дії. Найбільше застосування для зневоднення осадів стічних вод мають центрифуги осаджувальні **горизонтальні шнекові безперервної дії** (ОГШ). Від згущувальних центрифуг того ж типу зневоднювальні центрифуги конструктивно відрізняються діаметром, довжиною і кутом нахилу конуса ротора, відстанню між витками шнека тощо. Зневоднювальні центрифуги можуть бути протитечійними і прямоточними.

Принципову схему осаджувальної горизонтальної центрифуги типу ОГШ показано на рисунку 8.9.

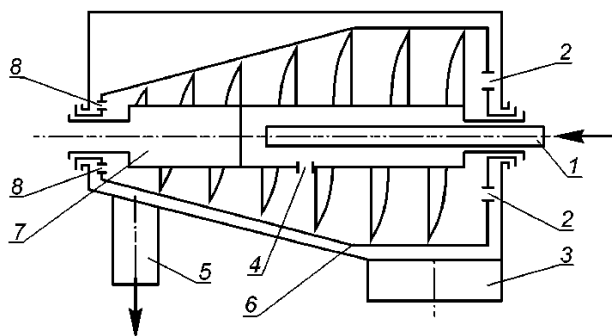


Рисунок 8.9 – Схема устрою центрифуги ОГШ:

1 – трубопровід для подачі осаду;  
2 – отвори для вивантаження фугату; 3 – бункер для вивантаження фугату; 4 – отвір для надходження осаду в ротор;  
5 – бункер для вивантаження кеку;

6 – ротор; 7 – шнек; 8 – отвори для вивантаження кеку

Застосування осаджувальних *горизонтальних центрифуг зі шнековим вивантаженням осаду* рекомендується для зневоднення осадів стічних вод на станціях продуктивністю до 100 тис. м<sup>3</sup>/добу. Переваги таких центрифуг – висока продуктивність та ступінь вилучення сухої речовини за низької питомої витрати енергії та їх невеликої маси, а також компактність та забезпечення сприятливих умов роботи персоналу.

Принцип роботи горизонтальної шнекової центрифуги типу ОГШ такий: осади, що підлягають зневодненню, поступають по трубі живлення всередину ротора, що обертається. Під впливом відцентрової сили важчі, ніж вода, частинки твердої фази (кек) осідають на внутрішній поверхні ротора. Освітлена вода (фугат) стікає через отвори у днищі ротора.

Обертання шнека щодо ротора проводиться планетарним редуктором. Зміна відносної частоти обертання шнека здійснюється шляхом обертання сонячної шестерні редуктора за допомогою клинопасової передачі. Передбачені подача розчину флокулянта всередину ротора і промивання конічної частини ротора водними розчинами.

Ефективність затримання твердої фази осаду і вологість кека залежать від характеристики зневоднюваного осаду. Найбільша кількість завислих речовин міститься у фугаті при центрифугуванні активного мула.

Підбір центрифуг ведеться за їх пропускною здатністю та за кількістю вихідного осаду, а ефективність затримання сухих речовин і вологість кека залежить від характеристик оброблюваного осаду.

Переваги методу: простота, економічність та керованість процесом. Після обробки на центрифугах одержують осади низької вологості.

Центрифугування осадів проводиться як із застосуванням мінеральних коагулянтів чи флокулянтів, так і без них.

Під час центрифугування осадів, оброблених за допомогою флокулянтів, велике значення має місце введення флокулянта. Залежно від міри змішування з осадом, розміру і міцності пластівців, що утворюються, він може вводитися у всмоктувальну лінію, у напірну лінію насоса–дозатора або безпосередньо в порожнину центрифуги. Останній метод отримав найбільш широке застосування. З урахуванням цього низка фірм виготовляє центрифуги із спеціальними пристроями для введення флокулянта і змішування його з осадом.

При використанні флокулянтів осад після зневоднення (кек) має меншу вологість; рідка фаза, що утворюється при центрифугуванні (фугат), має менше забруднення. У результаті центрифугування отримують кек вологістю 60–85 % залежно від типу оброблюваного осаду.

Центрифугування осадів без обробки флокулянтами дозволяє отримувати кек вологістю 50–80 %. Але винесення завислих речовин з фугатом при цьому досягає 35–60 % кількості сухої речовини осаду. При розділенні активного мулу винесення завислих речовин з фугатом значно зростає. Тому за кордоном центрифугування осадів застосовується тільки з обробкою їх флокулянтами.

Основними недоліками методу є висока вартість флокулянтів, а при центрифугуванні без флокулянтів – низька ефективність затримання сухої речовини осаду, утворюється фугат з високими значеннями БПК, ХПК і вмістом завислих речовин, і його необхідно направляти на подальше оброблення на споруди біологічного очищення, що призводить до збільшення навантаження на них. Центрифуги швидко зношуються, якщо в осаді містяться абразивні домішки, зокрема пісок.

Перевагами центрифугування порівняно з іншими методами зневоднення осадів є:

- можливість зневоднення сирих незброджених осадів без поширення неприємного запаху;
- відносно менші потрібні площі для розміщення устаткування;
- порівняно просте обслуговування;
- можливість швидкого включення в роботу і відключення.

Основними недоліками є:

- відносно висока вартість центрифуг;
- потреба значної кількості електричної енергії;
- необхідність видалення піску та інших абразивних домішок з осадів перед їх зневодненням;
- необхідність відновлення і балансування шнеків центрифуг через кожні 10–20 тис. год роботи.

Незважаючи на вказані недоліки, центрифуги знаходять досить широке застосування для зневоднення осадів як міських, так і промислових стічних вод.



## Питання для самоперевірки

1. Для чого застосовують зневоднення осадів?
2. Які осади направляються на механічне зневоднення?
3. До яких значень знижується вологість осадів стічних вод під час їх зневоднення?
4. Які апарати застосовують для механічного зневоднення осадів?
5. Опишіть механізм зневоднення осадів на фільтр-пресах.
6. Куди направляють фугат, що утворюється при механічному зневодненні осадів?
7. Чи можливе використання центрифуг без флокулянтів?
8. На які показники впливає вживання флокулянтів під час центрифугування?
9. Які переваги фільтр-пресів порівняно з вакуум-фільтрами або з декантерами?
10. Коли використовують згущувачі у технологічній схемі з фільтр-пресами?
11. Які операції включає робочий цикл вакуум-фільтрів?
12. Конструкція і принцип роботи вакуум-фільтра марки БОУ.
13. Конструкція і принцип роботи вакуум-фільтра марки БсхОУ.
14. Яка вологість зневодненого осаду міських стічних вод після вакуум-фільтрів.
15. Конструкція і принцип роботи горизонтальних стрічкових фільтр-пресів.
16. Конструкція і принцип роботи осаджувальних горизонтальних центрифуг типу ОГШ зі шнековим вивантаженням осаду.
17. Вологість кеку після центрифуг.

## Тема 9 Знезараження осадів та утилізація осадів

1. Знезараження рідких осадів нагріванням. Камери дегельмінтизації зневоднених осадів.
2. Компостування. Теоретичні основи процесу компостування осадів. Конструкції та технологічні параметри установок для компостування осадів.
3. Термічне сушіння осадів.
4. Спалювання осадів.

Дослідження санітарного стану осадів, що утворюються в процесах очищення стічних вод населених місць показують, що не тільки первинні, а й зброжені в мезофільних умовах суміші містять велику кількість гельмінтів і патогенних мікроорганізмів. У багатьох випадках завдання знезараження осадів вирішується в основних процесах їх оброблення, наприклад при термофільній стабілізації, теплової обробці, термічній сушці та спалюванні. Як самостійна стадія знезараження застосовується у разі подальшого їх використання у сільському господарстві як органічного добрива.

Ступінь знезараження осадів контролюють за вмістом в них яєць гельмінтів, патогенних і умовно-патогенних бактерій, сальмонелл, ентеробактерій і кишкової палички. За необхідності визначають вміст в осадах збудників різних захворювань.

Осади можна знезаражувати у рідкому вигляді, після підсушування на мулових площадках і після механічного зневоднення.

Для знезараження і знешкодження осадів використовують такі методи:

- термічні (прогрівання, сушка, спалювання);
- біотермічні (компостування);
- хімічні (оброблення хімічними речовинами);
- біологічні (знищення мікроорганізмів простішими, грибами й рослинами ґрунту;
  - методи фізичної дії (радіація, струм високої частоти, ультразвук, ультрафіолетове опромінювання);
  - хімічні методи знезараження осадів.

За вимогами ДБН В.2.5–75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування [10] знезараження і дегельмінтизації сирих, мезофільно зброжених і аеробно стабілізованих осадів потрібно здійснювати шляхом прогрівання до 60 °С з витримкою не менше 20 хв за розрахункової температури. Оброблення осадів за вищих температур дозволяє знищити в осадах не лише яйця гельмінтів і патогенні мікроорганізми, але і віруси. Проте, як показують результати досліджень, для повного знешкодження патогенних бактерій і яєць гельмінтів за температури 60 °С тривалість експозиції повинна складати не менше 4 год.

**Знезараження рідких осадів нагріванням.** У зв'язку з тим, що об'єм рідких осадів у декілька разів більший за об'єм механічно зневоднених, їх прогрівання до вказаної температури вимагає значно більшої витрати тепла. Проте у низці випадків цей метод знаходить практичне застосування.

Нагрівання сирих або аеробно стабілізованих осадів до 60 °С може здійснюватися у теплообмінниках, спорудах типу метантенків, нагрівачах із зустрічними струменями, дегельмінтизаторах.

Найчастіше термічну стабілізацію осадів здійснюють у *трубчастих теплообмінниках*, використовуючи як теплоносій гарячі газу або пару, або у пристроях типу апаратів поглибленого горіння. Проте слід враховувати, що стабілізація втрачає сенс, якщо потім осад довго не утилізувався, оскільки в ньому можуть повторно розвиватися мікроорганізми, небезпечні в санітарному відношенні.

При зброджуванні осадів у термофільних умовах ( $T = 50\text{--}55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) застосування додаткових установок для знезараження може не знадобитися.

**Нагрівачі із зустрічними струменями.** Найбільш ефективними апаратами для нагрівання рідких осадів є апарати з використанням безпосереднього контакту теплоносія з осадами, зокрема, нагрівачів із зустрічними струменями, що забезпечують барботаажний нагрів осадів. При такому нагріванні осадів досягається перемішування середовища зі швидкістю, якої важко досягти механічним перемішуванням, а температура вирівнюється за усім обсягом.

Дегельмінтизацію осадів (знищення яєць гельмінтів) здійснюють як для рідких, так і механічно зневоднених осадів. Найпростіше дегельмінтизують рідкі осади: у них вводять гостру пару і перемішують всю масу осаду для прогрівання до температури 60–65 °С.

**Знезараження радіаційним термічним нагріванням** зневоднених осадів проводять *на установках дегельмінтизації* (рис. 9.1), що складаються зі стрічкового конвеєра з приймальним бункером та газових пальників інфрачервоного випромінювання. Знезараження в дегельмінтизаторах відбувається за рахунок прогрівання інфрачервоними променями осаду, що повільно переміщається по транспортерній стрічці. Осад перебуває під впливом інфрачервоних променів протягом 30 хв і прогрівається до температури

60–65 °С. Осад, що пройшов камери дегельмінтизації (КДГМ), може бути утилізований як добриво.

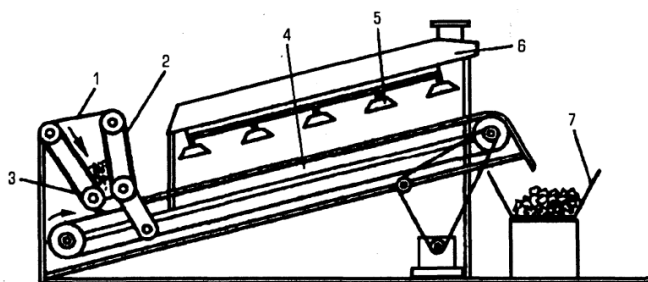


Рисунок 9.1 – Схема установки з дегельмінтизації осадів:

*1 – приймальний бункер; 2 – рухомі стінки бункера; 3 – регульовальні вали; 4 – металева стрічка конвеєра; 5 – газові пальники інфрачервоного випромінювання; 6 – витяжна парасолька; 7 – конвеєр обробленого осаду*

Для створення шару осаду завтовшки 10–25 мм бункер обладнаний рухомими стінками та регульовальними валами. Температура прогрівання осаду регулюється швидкістю руху стрічки, числом працюючих пальників і товщиною шару осаду. Під час руху конвеєром осад нагрівається до температури 60–65 °С.

#### **Біотермічна обробка (компостування) осадів стічних вод**

Компостування – ефективний процес отримання стабілізованого, знезараженого сипкого продукту, придатного для подальшої утилізації.

Компостування – це процес біотермічного розкладання органічної речовини осаду, здійснюваний під дією мікроорганізмів, у результаті якого відбувається знезараження, зниження вологості та покращення фізико–механічних властивостей компостованої маси.

Компостуванням отримують цінні для сільського господарства органічні добрива і засоби, що поліпшують структуру ґрунту.

Сутність методу компостування полягає у змішуванні осаду (сирого, зброженого в мезофільних умовах або стабілізованого) з наповнювачем (у співвідношеннях 0,5:1, 1:1, 1:2) та укладається у купи. Наявність живильного субстрату (наповнювача) забезпечує протікання аеробних процесів окиснення органічних речовин з виділенням великої кількості тепла. У купах розігрівання за рахунок екзотермічних реакцій може відбуватися до температури 75–80 °С.

Як наповнювачі при здійсненні біотермічного процесу компостування осаду в аеробних умовах додають органічні наповнювачі – тверді побутові

відходи (тирсу, деревну стружку, подрібнене листя, мелену кору тощо), які використовуються як розпушувальний пороутворювальний, вуглецевмісний і вологопоглинальний компонент.

Аерація компостованої суміші у буртах здійснюється або подачею повітря через шар (наприклад, через щілинне днище), або шляхом періодичного зрошення. При компостуванні в реакторах аерація проводиться або через днище, або шляхом обертання барабана і пересипання його вмісту.

Остаточне дозрівання компосту здійснюється шляхом подальшої витримки (зберігання) на відкритих майданчиках при укритті його вологоізолюючим матеріалом.

Ефективність біотермічного процесу залежить від фізично-хімічного складу осадів, умов життєдіяльності мікроорганізмів, типу наповнювачів, умов аерації та тепломасообміну. Розроблені технологічні схеми біотермічного оброблення механічно зневоднених або підсушених на мулових майданчиках осадів стічних вод у штабелях із наповнювачами, у штабелях спільно з твердими побутовими відходами, у біобарабанах на сміттєперероблюваних заводах, у траншеях із перемішуванням.

У процесі біотермічного розкладання органічних сполук осадів під дією мікроорганізмів спостерігається перехід від мезофільного до термофільного режиму, у зв'язку з чим зростають швидкості біотермічних реакцій.

Процес біотермічного розкладання органічної речовини осадів включає три основні стадії:

- наростання температури;
- фаза високих температур (50–75 °С);
- фаза падіння температури.

Перша та друга фази тривають протягом 1–3 тижнів і супроводжується інтенсивним розвитком мікроорганізмів, а температура осаду підвищується до 50–80 °С. При цьому відбувається знезараження осаду та скорочення його маси.

Третя фаза – дозрівання компосту – триваліша. Вона продовжується від двох тижнів до 3–6 місяців і супроводжується розвитком найпростіших і членистоногих організмів, зниженням температури до 40 °С та нижче. Підвищення температури навколишнього повітря інтенсифікує процес розкладання органічних речовин.

Компостуванню піддається анаеробний або аеробно зброжений зневоднений осад, змішаний з наповнювачем. Оскільки вміст органіки в сирих осадах вищий, ніж у зброжених, їх компостування ефективніше і економічно вигідніше, ніж зброжених.

У результаті проведення процесу біотермічної обробки одержують компост у вигляді сипучого матеріалу вологістю 40–50 %. Готовий компост не має запаху, не загниває і є хорошим добривом.

Основні технологічні операції процесу компостування наведено на рисунку 9.2.

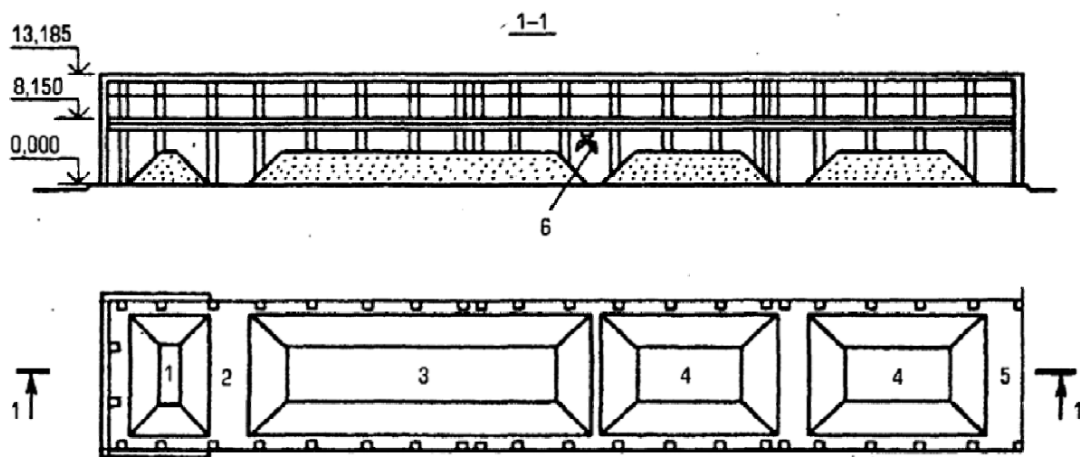


Рисунок 9.2 – Типова споруда компостування осаду:

- 1 – закритий майданчик для зберігання присадного матеріалу;  
 2 – майданчик для навантаження готового компосту; 3 – майданчик дозрівання;  
 4 – майданчик компостування; 5 – майданчик змішування осаду з присадним матеріалом; 6 – кран*

Тривалість компостування у таких системах залежить від низки умов: кліматичних, виду матеріалів, що переробляються, ступеня їх подрібнення і тривалості зберігання компостної маси, вологості, умов аерації.

Розміри компостних куп, штабелів, буртів повинні забезпечувати необхідну вологість, температуру та аерацію всередині компостованої маси. Оптимальною є температура 55–65 °С, за якої гине патогенна мікрофлора. Занадто висока температура всередині купи пригнічує ріст мікроорганізмів: далеко не всі види зберігають активність за  $T > 70$  °С; швидкості біологічних процесів і подальшого дозрівання компосту падають.

## Конструкції і технологічні параметри установок для компостування осадів

Останніми роками розроблені і застосовуються різні методи компостування осадів:

- у штабелях;
- у траншеях;
- у біореакторах.

Найбільш широке застосування отримав метод *компостування у штабелях*, які формуються на майданчиках з водонепроникним покриттям (асфальтованих або бетонних), що розраховуються на навантаження від вживаних механізмів і маси штабелів.

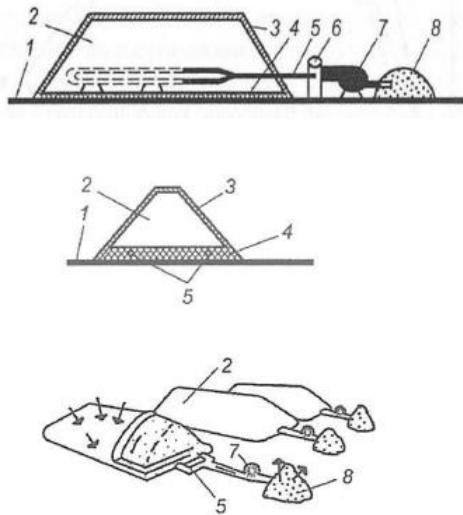


Рисунок 9.3 – Компостування в штабелі, що аерується:

- 1 – асфальтований майданчик; 2 – штабель; 3 – шари компосту; 4 – деревна тріска; 5 – перфоровані труби; 6 – краплевідділювач; 7 – вентилятор відсмоктування або компресор; 8 – компост-фільтр, що просіює

Одним з вирішальних чинників процесу компостування є надходження кисню повітря в компостовану масу осаду. Аерація необхідна для біоокиснення органічних речовин, видалення  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  і теплоти. Стехіометрична потреба кисню повітря для здійснення процесу відповідно до наведених вище рівнянь у середньому становить 1,5–2 кг  $\text{O}_2$  на 1 кг окисленої органічної речовини.

Для рівномірного прогрівання і забезпечення мікроорганізмів повітрям у період компостування потрібне 2–3-разове перемішування компостованої маси.

Завдяки видаленню вологи з осаду в процесі компостування готовий компост отримують у вигляді сипкого матеріалу вологістю 40–50 %. Внаслідок зниження вологості і розпаду органічних речовин об'єм компосту зменшується,

внаслідок чого скорочуються транспортні витрати на його перевезення. Готовий компост не має запаху, не загниває і є хорошим добривом.

Штабелі формуються заввишки 2,5–3 м при природній аерації і до 4–5 м – при примусовій аерації. Для формування штабелів використовують механізми – крани, бульдозери, екскаватори. Форма штабелю трапецієподібна з шириною зверху від 2 м до 30 м. Для аерації в основу укладають перфоровані труби діаметром 100–200 мм з отворами діаметром 8–10 мм. Витрата повітря становить 10–25 м<sup>3</sup>/год на 1 т органічної речовини суміші. Для збору поверхневого стоку по контуру траншеї влаштовують лотки.

Тривалість процесу компостування у штабелях становить 3–4 місяці. Готовий компост отримує вигляд сипкого матеріалу, який є зручним для внесення у ґрунт як добрива лісопаркових насаджень і в зеленому міському господарстві.

При біотермічній обробці суміші осаду стічних вод і твердих побутових відходів останні перед компостуванням піддають сортуванню і подрібненню, з них видаляють чорні й кольорові метали. Якщо компостування суміші твердих побутових відходів і осаду здійснюють на сміттєперероблюваних заводах, то в цьому випадку можуть використовувати спеціальні апарати – ферментатори, біобарабани, а також штабелі з механізацією всіх робіт, пов'язаних з експлуатацією штабелів.

У США і деяких європейських країнах застосовується компостування осадів у закритих вентиляльованих приміщеннях, обладнаних системами перемішування осаду з наповнювачами, аерації осаду за допомогою вентиляторів, просіювання компосту, дозрівання і складування компосту.

### **Компостування осадів у біореакторах**

Механізованим компостуванням на спеціалізованих установках у біоконвекторах, біореакторах, ферментаційних барабанах досягається найбільш висока продуктивність оброблення, при цьому тривалість компостування можна зменшити до 2–3 тижнів і навіть до 2–7 діб. Обсяги біореакторів для компостування досягають 100–500 м<sup>3</sup>, продуктивність – від 0,5 т до 300 т компосту на добу.

Біореактори – це закриті системи, призначені для скорочення тривалості компостування і поширення запаху.



Компостування осадів з наповнювачами у ферментаторах типу вертикальних місткостей застосовується у США, Німеччині, Франції, Італії, Японії та інших країнах. Деякі реактори обладнані системами подавання повітря і очищення газів. На рисунку 9.4 *а* наведено схему облаштування вертикального біореактора, що аерується, який застосовується в США. У цьому випадку у біореактор подається суміш, отримана за межами біореактора. Для її отримання використовують барабанні і роторні змішувачі періодичної і безперервної дії.

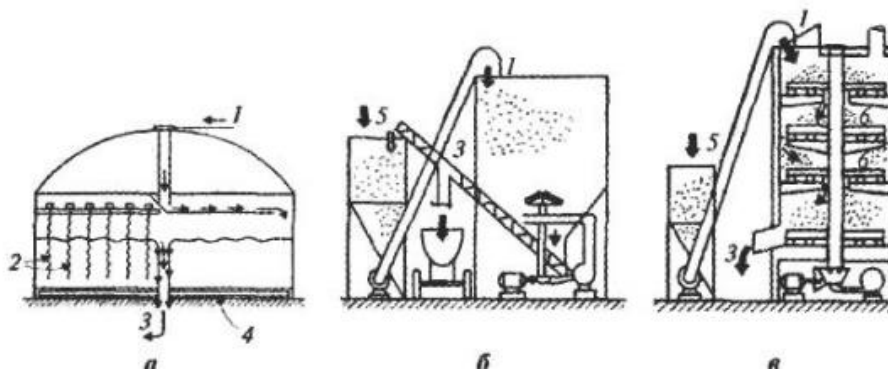


Рисунок 9.4 – Облаштування вертикальних біореакторів для компостування осадів стічних вод і наповнювача:

*а* – з перемішуванням усередині реактора;

*б* – з одноступінчастим циклом;

*в* – з багаступінчастим багатопверховим циклом;

*1* – подача компостної суміші (зневодненого осаду з наповнювачем);

*2* – змішувальні пристрої; *3* – вивантаження компосту; *4* – система аерації повітрям; *5* – змішувач; *б* – поди

Недоліки процесу компостування осадів стічних вод:

- компостування у штабелях – тривалий процес, що вимагає наявності значних земельних ділянок;
- під час компостування необхідно змішувати осади з відносно високими дозами наповнювачів;
- компостування у штабелях залежить від кліматичних умов або має здійснюватися в критих або закритих приміщеннях;
- у процесі компостування виділяються гази, що вимагають дезодорації;

- при компостуванні у біореакторах періодично можуть виникати труднощі з вивантаженням матеріалу і необхідністю ремонту механічного устаткування;

- компостування у біореакторах потребує підвищеної витрати електричної енергії;

- при компостуванні у біореакторах тривалість процесу скорочується у 2–3 рази, але капітальні витрати і вартість експлуатації порівняно з компостуванням у штабелях зростають у 2–3 рази.

### **Питання для самоперевірки**

1. Для чого необхідно знезаражувати осади стічних вод?
2. Які методи використовують для знезараження осадів?
3. Як відбувається процес теплової обробки осадів з трубчатими теплообмінниками?
4. Конструкція і принцип роботи камери дегельмінтизації.
5. Які осади піддають компостуванню?
6. Яким чином знезаражується осад при компостуванні?
7. Які чинники впливають на процес компостування?
8. Яка вологість готового компосту?
9. Які основні стадії включає процес біотермічного розкладання органічної речовини осадів?
10. Назвіть основні недоліки процесу компостування осадів стічних вод
11. Назвіть основні напрямки утилізації осадів міських стічних вод.
12. Які осади стічних вод використовуються у сільському господарстві як добриво?

## ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3

### ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ТА ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

#### Тема 10 Джерела, класифікація та переробка твердих побутових відходів

1. Джерела та класифікація твердих відходів.
2. Поділ відходів за властивостями на «небезпечні» та «безпечні».
3. Сучасний стан поводження з відходами в Україні.

**Побутові відходи** – відходи, що утворюються в процесі життя і діяльності людини у житлових та нежитлових будинках (тверді, великогабаритні, ремонтні, рідкі, крім відходів, пов’язаних з виробничою діяльністю підприємств) і не використовуються за місцем їх накопичення.

#### Класифікація відходів

Відсутність загальноприйнятої системи класифікації відходів виробництва і споживання змушує фахівців використовувати ряд основних принципів поділу відходів (рис. 10.1).



Рисунок 10.1 – Основні принципи поділу відходів

Окрім того, в Україні поширення набула класифікація відходів за джерелами їхнього утворення, основана на галузевому принципі. З урахуванням галузевого принципу класифікації відходи промислового виробництва поділяються на відходи чорної і кольорової металургії; хімічної, вугільної, деревообробної та інших галузей промисловості.

Крім того, у системі обігу відходів застосовується класифікація відходів за агрегатним станом (рис. 10.2) (тверді, рідкі, газоподібні або пилогазові),

що дозволяє більш точно ідентифікувати відходи, що є дуже важливим при виборі способу і технології обігу відходів (спалювання, утилізація, поховання). Відповідно до наведеної класифікації, до водяних розчинів і шламів прийнято відносити: змішані (органічні і неорганічні), нейтральні, лужні і кислі. До неводних розчинів і шламів відносяться: використані смоли, жири і масла; органічні розчинники (ті, що спалюються, і ті, що не спалюються).

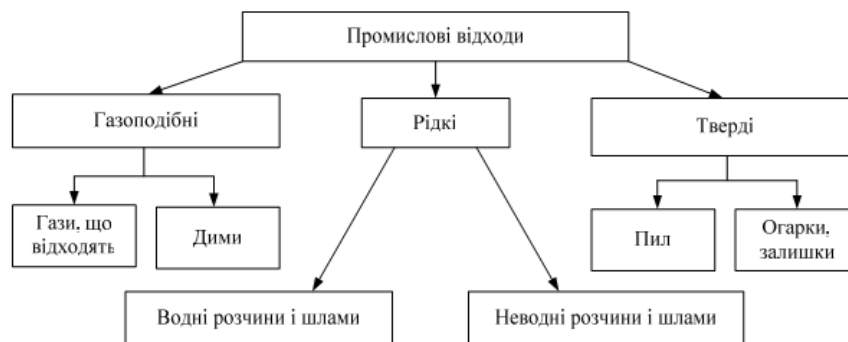


Рисунок 10.2 – Класифікація відходів за агрегатним станом

Залежно від агрегатного стану вибирається і спосіб зберігання відходів. Наприклад, газоподібні відходи зберігаються у спеціальних ємностях або резервуарах, рідкі відходи – у герметичних контейнерах. Способи нагромадження і зберігання твердих відходів досить різноманітні (контейнери, площадки, полігони тощо).

При визначенні технології обігу відходів використовують класифікацію відходів за ступенем горючості, вибухонебезпечності і токсичності.

### **Класифікація відходів за класами небезпеки**

В Україні відходи класифікуються за класами небезпеки згідно з ДСанПіН 2.2.7.029–99 Комунальна гігієна. Ґрунт, очистка населених місць, побутові та промислові відходи, санітарна охорона ґрунту. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення»:

- I клас – надзвичайно небезпечні,
- II клас – високо небезпечні,
- III клас – помірно небезпечні,
- IV клас – мало небезпечні.

Така класифікація більшою мірою стосується відходів виробництва, але на практиці її часто застосовують і для побутових відходів і відходів споживання.

Небезпечні відходи у складі побутових відходів – відходи, що утворюються у процесі життя і діяльності людини в житлових та нежитлових будинках і мають такі фізичні, хімічні, біологічні чи інші небезпечні властивості, які створюють або можуть створити значну небезпеку для довкілля або здоров'я людини та які потребують спеціальних методів і засобів поводження з ними. До небезпечних відходів у складі побутових відносять батарейки, сухі та електролітичні акумулятори, тару від розчинників, фарб, ртутні лампи тощо.

Тверді побутові відходи (ТПВ) відносяться до IV класу небезпеки.

Одним із основних документів у системі управління відходами є паспорт небезпечних відходів – документ, що засвідчує належність відходів до відходів відповідного виду і класу небезпеки, що містить відомості про їхній склад. Паспорт необхідний для організації процесів обігу відходів.

Сукупність відходів, що мають загальні ознаки, які відповідають системі класифікації відходів, визначає поняття – вид відходів.

Як правило, границі між поняттями «сировина – відходи – вторинні ресурси» є досить умовними.

Відходи становлять неоднорідні за хімічним складом, складні полікомпонентні суміші речовин, що мають різноманітні фізико-хімічні властивості. Основні показники відходів, що дозволяють характеризувати їх як шкідливі і небезпечні для біосфери, наведено на рисунку 10.3.



Рисунок 10.3 – Основні характеристики шкідливих і небезпечних відходів

Небезпека відходів для навколишнього середовища зростає у тих випадках, коли відходи виробництва мають властивості, що сприяють міграції компонентів у навколишньому середовищі (рис. 10.3).

У великій кількості відходи утворюються у всіх базових галузях промисловості (сільське господарство, енергетика, металургія, будівництво, транспорт), а також у побуті. У результаті в галузі утворилося близько 100 млн т токсичних відходів, з яких знешкоджено і захоронено лише 6,7 %.

Тверді промислові відходи (ТПрВ) – майже однорідні продукти, які не потребують подальшої сепарації (розділення) на групи для їх перероблення.

ТПрВ поділяють на такі групи відходів специфічних виробництв: металопереробні; металургійні; керамічні та скло; полімерних матеріалів синтетичної хімії (гумо-технічні); природних полімерних матеріалів (деревина, картон, папір тощо); радіоактивні.

Тверді побутові відходи – це груба механічна суміш найрізноманітніших матеріалів та продуктів гниття, що різняться за фізичними, хімічними, механічними властивостями та розмірами. До твердих (ТПВ) відносять: паперові вироби (папір газетний, споживчий, пакувальний, картон), вироби з дерева, металу, пластику, текстилю, шкіри, скла, гуми, електронні відходи, великогабаритні відходи предметів, які вийшли з ужитку: побутова техніка, меблі, різні прилади та інструменти, органічні харчові відходи та сільськогосподарські відходи.

До рідких побутових відходів відносять: стічні побутові стоки від населених пунктів та приватних господарств.

З метою забезпечення інформаційної підтримки у вирішенні питань державного управління відходами та ресурсовикористанням на основі системи обліку та звітності, запроваджений **класифікатор відходів (КВ)**.

Класифікатор відходів – складова державної системи класифікації та кодування техніко-економічної і соціальної інформації, створеної в межах державної програми переходу України на міжнародну систему обліку та статистики.

Класифікаційний каталог відходів становить перелік видів відходів, систематизованих за сукупністю пріоритетних ознак. Необхідність здійснення класифікації передбачається Законом України «Про відходи», який встановлює вимоги до класифікації відходів та їх паспортизації.

Використання класифікатора відходів (КВ) створює нормативну базу для проведення порівняльного аналізу структури та об'ємів утворення відходів у рамках Європейської статистики всіх видів економічної діяльності. Запропонована класифікація відходів за вхідними компонентами, за виробничо-технологічними процесами та за кінцевою продукцією задовольняє вимогам до класифікації об'єктів, що встановлені у міжнародних стандартах, дає повну системну класифікацію всіх можливих об'єктів.

За основу первинної класифікації твердих відходів можна обрати величину токсичності, але важливим є фазовий стан вихідного матеріалу всіх видів відходів, що зумовлює вибір їх механічної переробки, а також фізико-хімічні, біологічні, біохімічні та токсикологічні властивості.

**Поводження з відходами** – дії, спрямовані на запобігання утворенню відходів, їх збирання, перевезення, сортування, зберігання, оброблення, перероблення, утилізацію, видалення, знешкодження і захоронення, включаючи контроль за цими операціями та нагляд за місцями видалення (рис. 10.4)

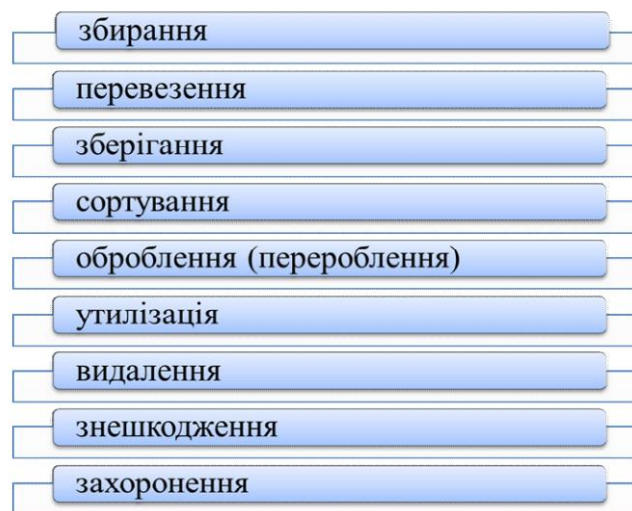


Рисунок 10.4 – Операції поводження з відходами

**Збирання відходів** – діяльність, пов'язана з вилученням, накопиченням і розміщенням відходів у спеціально відведених місцях чи об'єктах, включаючи сортування відходів з метою подальшої утилізації чи видалення.

Збирання відходів здійснюється шляхом їх вилучення з місць (об'єктів) утворення і зберігання, сортування (за необхідності) за певними ознаками на однорідні складові і розміщення у спеціально відведених місцях (об'єктах) для

тимчасового чи постійного зберігання до забезпечення оброблення, утилізації або видалення.

Шляхи та способи збирання та транспортування відходів здійснюються залежно від їх видів, класів небезпеки, агрегатного стану для подальшого оптимального поводження з ними, відповідно до технологічних регламентів.

**Зберігання відходів** – тимчасове розміщення відходів у спеціально відведених місцях чи об'єктах (до їх утилізації чи видалення). Ключовим терміном цього визначення є слово «тимчасове», тобто через певний проміжок часу (найчастіше конкретно визначений), відходи повинні бути передані на подальше видалення чи на утилізацію, а наступні дії щодо них будуть проводитися в інших місцях, іншими суб'єктами господарювання, відповідно до чинного законодавства.

Організація зберігання відходів, перш за все, залежить від класу їх небезпеки.

**Видалення відходів** – здійснення операцій з відходами, що не призводять до їх утилізації.

**Захоронення відходів** – остаточне розміщення відходів при їх видаленні у спеціально відведених місцях чи на об'єктах таким чином, щоб довгостроковий шкідливий вплив відходів на навколишнє природне середовище та здоров'я людини не перевищував установлених нормативів.

Під захороненням відходів найчастіше розуміють процес ізолювання промислових і побутових відходів шляхом їх розміщення у спеціальних спорудах (полігонах, шламонакопичувачах тощо), надрах землі, рідше під водою.

**Знешкодження відходів** – зменшення чи усунення небезпечності відходів шляхом механічного, фізико-хімічного чи біологічного оброблення.

Зазвичай методи знешкодження ТПВ поділяють на дві групи:

1. *Ліквідаційні* (захоронення у ґрунті чи під водою, спалювання без використання тепла).

2. *Утилізаційні методи*, які найчастіше застосовуються після попереднього хоча б простого сортування відходів:

- переробка вторинної сировини (паперу, пластику, металу, скла, гуми, текстилю, дерева) з метою подальшого повторного використання та виробництва нової продукції;



- використання відходів як джерела енергії для виробництва палива у вигляді паливних гранул чи брикетів;
- енергетичне використання відходів за допомогою термохімічних методів (спалювання, піроліз, перетворення на газ);
- компостування;
- виробництво біогазу в біогазових установках з органічної частини відходів (біомаси).

**Утилізація відходів** – використання відходів як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів.

Під утилізацією розуміють процес вторинного раціонального використання відходів з метою повернення їх у виробничий (господарський) кругообіг (у тому числі як вторинної сировини) або для вилучення й цільового використання окремих ресурсоцінних компонентів з відходів чи енергетичного потенціалу відходів.

Утилізація буває різних видів: первинна, вторинна і змішана.

Первинна утилізація передбачає використання відходів у різних сферах народного господарства без їхнього попереднього глибокого фізико–хімічного та термохімічного перероблення.

Вторинна утилізація передбачає багатостадійний процес перероблення відходів за допомогою різних методів: термохімічного, біохімічного, фізико–хімічного. Результатом вторинної утилізації є утворення продуктів та матеріалів, які будуть відрізнятися за складом і властивостями від вихідних відходів.

Утилізація змішаного типу включає як первинну, так і вторинну утилізацію.

**Властивості твердих побутових відходів (ТПВ)** такі:

1. *Морфологічний склад* умовно можна подати так: картон 20–30 %, харчові продукти 28–45 %, дерево 1,5–4 %, чорний метал 1,5–4,5 %, кольоровий метал 0,2–0,3 %, текстиль 4–7 %, кістки 0,5–2 %, скло 3–8 %, шкіра, гума, взуття 1–4 %, каміння, фаянс 1–3 %, пластмаса 1,5–5 %, інше сміття.

2. *Склад* залежить від рівня життя, сезону, кліматичних умов тощо. До складу харчових відходів входять: картопляні очищення, відходи овочів,

хліба, риби, яєць тощо. Вони містять крохмаль, жири, білки, вуглеводи, клітковину, вітаміни.

3. *Вологість відходів* навесні становить 60–70 %, влітку і восени 80–85 %. Основна маса (80–90 %) представлена фракціями до 150 мм. Баластні домішки (до 2 %) – фракціями понад 350 мм.

4. *Густина (щільність)*. В облаштованому житловому фонді навесні та влітку густина ТПВ становить 0,18–0,22 т/м<sup>3</sup>, восени і взимку – 0,2–0,25 т/м<sup>3</sup>. У необлаштованому, з пічним опаленням – 0,3–0,6 т/м<sup>3</sup>.

5. *Зв'язаність і зчеплення*. Враховуючи наявність вологих і липких компонентів, побутові відходи мають схильність до зводоутворення, налипання на металеві та інші деталі і конструкції. Папір, картон, текстиль, пластмасові плівки – надають механічну зв'язаність. Липкі та вологі компоненти забезпечують зчеплення. Ці властивості сприяють утворенню відкладень на стінках бункерів і прутах решіток. Під час тривалого зберігання ТПВ злежуються, самоущільнюються і втрачають сипучість.

6. *Абразивні та корозійні властивості*. Внаслідок наявності у відходах баластних фракцій (метал, бій скла, фаянсу, будівельних матеріалів тощо) відбувається стирання поверхонь. Під час контакту з металами ТПВ чинять корозійну дію завдяки високій вологості та наявності у фільтраті різних солей і кислого середовища (рН = 5,0–6,5).

7. *Компресійні властивості* – це вплив тиску на ступінь ущільнення:

- під час пошарового ущільнення на полігонах, за питомого тиску 0,1 МПа, обсяг пухкого ТПВ, вивантаженого зі сміттєвоза, зменшується у 3–4 рази;

- за того самого тиску у сміттєвозі – у 1,5–3,0 рази;

- при 0,3–0,5 МПа відбувається пресування паперу, плівок тощо, починається витіснення води, обсяг зменшується у 5 разів, густина досягає величини 0,8 т/м<sup>3</sup> і більше;

- при 10–20 МПа обсяг знижується ще у 2,0–2,5 рази, густина збільшується у 1,3–1,7 рази.

Завдяки нестачі води та відсутності доступу кисню не спостерігається активної життєдіяльності мікроорганізмів.

8. *Теплотехнічні властивості*. Теплотворна здатність ТПВ обумовлюється наявністю у них великої кількості органічних речовин.

Теплотворна здатність ТПВ також залежить від їх густини. Під час зміни густини від  $0,2 \text{ т/м}^3$  до  $0,5 \text{ т/м}^3$  теплотворна здатність знижується з 2 000 ккал/кг до 940 ккал/кг.

Таким чином, основними властивостями ТПВ, що ускладнюють процес поводження з відходами, є злежуваність, що призводить до втрати сипучості і до ущільнення відходів; абразивність (кераміка, скло, компост), тобто здатність стирання поверхонь, з якими тверді відходи стикаються; корозійна здатність стосовно металів тощо.

### **Сучасний стан поводження з відходами в Україні**

На сьогодні в Україні застосовується в основному складування ТПВ на полігонах та звалищах, при цьому всі наявні звалища не відповідають встановленим екологічним вимогам. Крім спалювання та захоронення мізерна частка ТПВ та відходів 1–3 класу небезпеки в Україні потрапляє на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні підприємства.

*Норми накопичення* – це кількість ТПВ, яка розрахована на одиницю: людина у житловому фонді; одне місце у готелі;  $1 \text{ м}^2$  торговельної площі для крамниць та складів; одне посадкове місце в їдальнях, кафе, ресторанах, кінотеатрах; одну дитину у яслах і дитсадках; одного учня шкіл, училищ, інститутів тощо.

До ТПВ, які входять до норми накопичення від населення, відносяться відходи, що утворюються у житлових будинках і громадських організаціях, включають відходи від ремонту приміщень, відходи від опалювальних пристроїв, опале листя, зібрані на вулицях і дворових територіях, і габаритні предмети домашнього побуту.

Розміщення ТПВ на полігонах та звалищах, окрім виведення з корисного використання значних територій для їх улаштування, створює ряд проблем, зокрема неможливість розширення діючих звалищ для зниження ризиків виникнення пожеж, відсутність належного контролю за їх станом, забруднення підземних вод та прилеглих територій різного роду сміттям, виникнення неприємних запахів, створення умов для появи небезпечних комах, гризунів, бродячих тварин тощо.

В економічно розвинених країнах (Німеччина, Бельгія, Японія, Швейцарія тощо) достатньо широко розповсюджені заводи з переробки відходів. Однак експлуатація цих заводів потребує значних матеріальних

затрат, а також застосування високотехнологічних методів очищення газів та утилізації шлаків, утворюваних при спалюванні ТПВ, що не завжди можливо в реальних умовах.

Термічний метод переробки відходів, як показує практика, при недотриманні або порушенні технологічного режиму може стати джерелом забруднення довкілля.

Україна має певний досвід експлуатації заводів з переробки відходів у Києві, Харкові, Дніпрі. Однак за час роботи заводів було виявлено низку недоліків, а саме: потужність заводів становила лише 60–70 % від запроєктованої, були відсутніма надійна система газоочищення, внаслідок чого в атмосферу потрапляла значна кількість токсичних речовин, та спеціальні методи переробки золи. Наразі в Україні працює лише один завод з термічної утилізації ТПВ у м. Києві. На заводах з переробки сміття у США, Японії, Канади та країнах Західної Європи вказані недоліки – відсутні. Майже всі заводи мають спеціальне обладнання для утилізації тепла. Але будівництво та експлуатація таких заводів потребує значних капіталовкладень.

У країнах Європи (Франції, Італії, Німеччині, Нідерландах тощо) використовується переробка відходів із застосуванням технології аеробного біотермічного компостування, що передбачає сортування ТПВ з наступним перетворенням біодоступної фракції у компост (добриво), який використовується для міського озеленення та рекультивації сміттєзвалищ. Такі заводи з переробки відходів укомплектовані спеціальним обладнанням для розділення ТПВ на фракції скла, полімерів, а також чорного та кольорового металів. У Західній Європі вказані проблеми з розподіленням відходів відсутні, а отже одержані добрива можуть застосовуватися для сільськогосподарських цілей.

На сьогодні в Україні основним методом поводження з відходами залишається полігонне поховання.

Полігони ТПВ є спеціалізованими інженерними спорудами, призначеними для захоронення твердих побутових відходів. Принцип поховання відходів на полігоні полягає у тому, що відходи складуються на спеціально підготовлену основу з дотриманням умов, що забезпечують захист від забруднення атмосфери, ґрунту прилеглих ділянок, поверхонь ґрунтових вод. На полігонах ТПВ ущільнюють, що дозволяє збільшити навантаження

відходів на одиницю площі споруд і забезпечує економне використання земельних ділянок. Після закриття полігонів поверхню землі рекультивують для подальшого використання. На стадії рекультивації полігону встановлюється обладнання для екстракції біогазу. Отриманий біогаз після додаткового очищення можна використовувати для отримання електроенергії, тепла або для зрідження.

Але, як показав багаторічний досвід та обстеження звалищ, зазначені умови майже не виконуються. Тому полігони перетворюються на звичайне міське звалище побутового сміття.

Захист від забруднення ґрунтів і ґрунтових вод здійснюється шляхом устаткування спеціального протифільтраційного екрана, покладеного по усьому днищу і бортам полігона, системи перехоплення, відводу й очищення фільтрату, а також системи спостережливих шпар для контролю якості ґрунтових вод.

Захист від забруднення ґрунтів і повітряного басейну здійснюється шляхом перекриття заповнених робочих карт полігона шарами ґрунту, організації системи збору, відводу й утилізації біогазу, устаткування робочих карт переносними сітками, що перехоплюють легкі фракції (папір, плівки), які розносяться повітрям, рекультивації поверхні заповнених ділянок полігона.

Існують дві основні схеми складування ТПВ на полігонах: складування за схемою вирівнювання та траншейна. Траншейна схема застосовується у районах з горизонтальним або незначним ухилом місцевості. Ґрунт, отриманий від розробки траншеї, використовується для зворотної засипки після заповнення ТПВ, що є перевагою такої системи, оскільки завжди є ґрунт для укриття відходів.

Полігони та звалища мають досить негативні сторони. По–перше, повинна щорічно виділятися додаткова площа землі. По–друге, на звалищі (полігоні), по суті, відбувається поховання паливних ресурсів, які могли б бути корисно використані. Однак головна негативна особливість звалищ (полігонів) – це те, що вони є одними з основних джерел забруднення навколишнього середовища міст. Уся гама шкідливих речовин, що виділяються при самозайманні та тлінні побутового сміття на звалищах, а також ті, які проникають через шар ґрунту, насичує навколишнє середовище і створює високу концентрацію, що в багатьох випадках перевищує гранично допустиму.

У складі цього потоку шкідливих речовин є небезпечні для людини – діоксини і фурани.

До основних негативних впливів полігона на навколишнє середовище та здоров'я відносяться:

- викиди фільтрату у підземні води та поверхневі водойми;
- виділення з відходів полігонного газу.

Полігони ТПВ в Україні здебільшого виробили свої ресурси за об'ємами нагромадження відходів. А окремі – перевищили розрахункові показники у кілька разів. Сучасна світова практика передбачає заміну накопичення ТПВ на полігонах повною їх переробкою.

### **Питання для самоперевірки**

1. Визначення поняття «тверді побутові відходи» (ТПВ). Які компоненти входять до їх складу?
2. Які основні хімічні речовини містяться у складі твердих побутових відходів?
3. Назвіть основні джерела утворення промислових відходів.
4. Проаналізуйте тенденцію накопичення відходів в Україні.
5. Що таке Державний класифікатор відходів?
6. Як класифікуються відходи за ступенем небезпеки?
7. Які властивості відходів роблять їх небезпечними?
8. Скільки в Україні встановлено класів небезпеки відходів?
9. Порівняйте обсяги утворення і накопичення токсичних промислових відходів в Україні та інших країнах.
10. У чому полягає проблема накопичення твердих побутових відходів?
11. Які способи утилізації відходів ви знаєте?
12. Які способи утилізації відходів найбільш безпечні, а які найбільш шкідливі?
13. Проаналізуйте сучасний стан поводження з побутовими відходами в Україні.

## Тема 11 Технології, що застосовуються для переробки твердих побутових відходів

1. Способи підготовки і переробки твердих побутових відходів.
2. Термічна обробка (спалювання).
3. Біотермічне аеробне компостування (з отриманням біопалива). Анаеробна ферментація (з отриманням біогазу).

*Оброблення (перероблення) відходів* – здійснення будь-яких технологічних операцій, пов'язаних із зміною фізичних, хімічних чи біологічних властивостей відходів, з метою підготовки їх до екологічно безпечного зберігання, перевезення, утилізації чи видалення.

Із 01.01.2018 набула чинності поправка до Закону України «Про відходи» (ст. 32), відповідно до якої на полігонах забороняється захоронення неперероблених (необроблених) побутових відходів.

Це означає, що змішані відходи (сміття) перед розміщенням їх на полігонах повинні пройти послідовний перелік операцій. Спершу сміття потрібно відсортувати, далі розділити на безпечні та небезпечні компоненти. Безпечні компоненти відвозяться на полігони чи утилізуються, небезпечні повинні пройти низку стадійних операцій зі знешкодження, де їх піддають обробленню та змінюють їхні властивості з метою зменшення рівня небезпечності для подальшого використання або захоронення на полігонах. Відходи, придатні для повторного використання, переробляються відповідно до загальноприйнятних технологічних регламентів. На звичайні сміттєзвалища повинні потрапляти відходи, які розкладаються біологічним шляхом відповідно до Директиви ЄС 1999/31/ЕС.

Для практичного виконання вимог законодавства України про відходи та вирішення екологічних проблем із переробкою та утилізацією ТПВ необхідно забезпечити виконання таких заходів:

- організація роздільного збору ресурсоцінних матеріалів;
- стимулювання суб'єктів господарської діяльності, що здійснюють роботи у сфері поводження з відходами;
- ліквідація стихійних сміттєзвалищ;
- контроль за використанням відходів;
- впровадження сучасних екологічно чистих технологій з перероблення та утилізації ТПВ;

- навчання й виховання населення щодо збору вторинних матеріальних ресурсів.

Структура системи управління відходами у країнах Західної Європи, США, Японії та інших держав є аналогічною структурі, прийнятій в Україні (рис 11.1). Однак реалізація технологічних процесів і циклів, що входять у загальний процес управління відходами, різна. Так, у країнах ЄС переробляється приблизно 60 % промислових відходів, а в Японії переробляється близько 45 % промислових відходів.

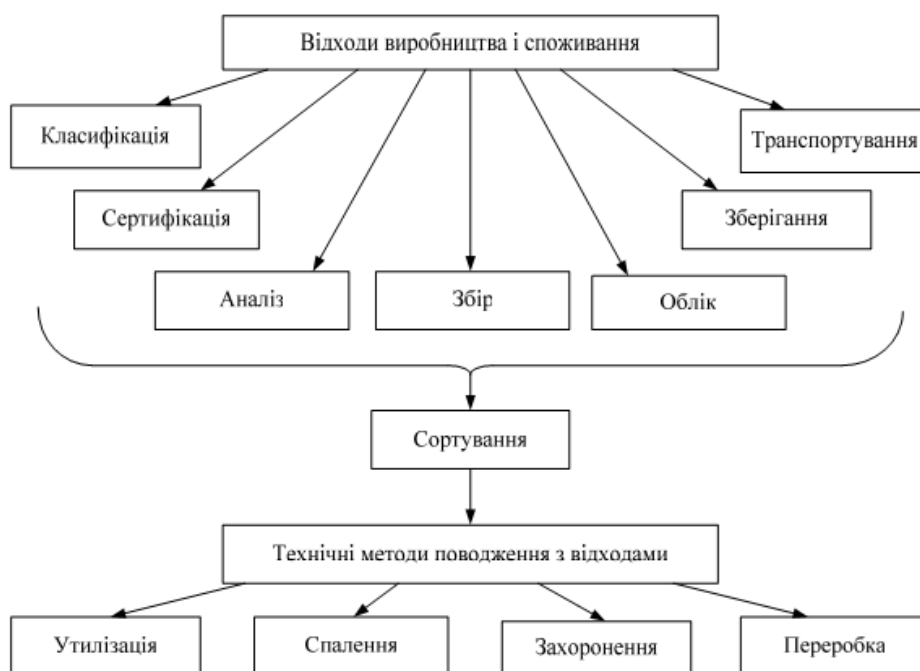


Рисунок 11.1 – Структурна схема обігу відходів виробництва і споживання

За результатами аналізу обігу ТПВ у країнах ЄС на полігони вивозиться у Великобританії – 90 % ТПВ, у Швейцарії – 20 %, Японії, Данії – 30 %, Франції, Бельгії – 35 %. Інші ТПВ в основному спалюються, і лише невелика частина ТПВ піддається компостуванню.

В Україні ці показники значно нижчі внаслідок:

- недостатньої ефективності використання можливостей структури управління відходами;
- низького рівня технологічного оснащення;
- роз'єднаності служб і організацій, відповідальних за процеси, пов'язані з управлінням відходами;



- слабкої нормативно-правової бази;
- відсутності єдиної регіональної і державної інформаційної системи;
- відсутності стійкого фінансування.

### Способи підготовки і переробки твердих побутових відходів

*Оброблення (перероблення) відходів* – здійснення будь-яких технологічних операцій, пов'язаних із зміною фізичних, хімічних чи біологічних властивостей відходів, з метою підготовки їх до екологічно безпечного зберігання, перевезення, утилізації чи видалення.

Метою переробки є перетворення відходів у вторинну сировину, енергію або продукцію з певними споживчими властивостями.

*Рециклінг* – процес повернення відходів, зливів та викидів у процес техногенезу. Можливі два варіанти рециклінгу (рециклізації) відходів: повторне використання відходів за тим же призначенням, наприклад скляних пляшок після їх відповідної безпечної обробки та маркування (етикетування); повернення відходів після відповідної обробки у виробничий цикл, наприклад бляшаних банок – у виробництво сталі, макулатури – у виробництво паперу чи картону.

Основними факторами, які обумовлюють вибір методів перероблення ТПВ, можуть бути:

- склад, властивості, кількість ПВ, методи їх збирання;
- місцеві умови – наявність місцевих підприємств, які можуть

переробляти окремі компоненти ТПВ;

- можливість використання корисних властивостей компонентів ТПВ;
- капітальні та інші початкові витрати на впровадження та перероблення

ТПВ;

- експлуатаційні витрати на перероблення ТПВ з урахуванням повернених сум вартості продуктів перероблення.

За своєю кінцевою метою *методи переробки ТПВ* поділяють на: *утилізаційні*, які вирішують економічні завдання, а саме використання вторинних енергетичних ресурсів, та *ліквідаційні*, які призначені для дотримання санітарно-епідеміологічного благополуччя довкілля.

За технологічним принципом методи переробки відходів поділяють на: біологічні, термічні та змішані, серед яких найбільш поширеними вважаються такі:

- складування на полігонах (ліквідаційний біомеханічний);
- спалювання (ліквідаційний термічний);
- біотермічне компостування (утилізаційний біологічний) з отриманням добрива чи біопалива;
  - анаеробна ферментація (з отриманням біогазу);
  - комплексне сортування з повторним використанням відібраних матеріалів.

Важливість проблеми поводження з відходами визначається через прийняття спеціальних Директив ЄС, у яких закріплено наступні принципи:

- зменшення кількості захоронень відходів на звалищах, які піддаються біологічному розпаду;
- надання переваги повторному використанню компонентів відходів;
- запобігання спалюванню відходів без використання теплоти;
- неконтрольоване видалення відходів на полігонах та звалищах.

### **Термічна обробка**

Під час утилізації та переробки твердих відходів використовують різні методи термічної обробки вихідних твердих матеріалів та отриманих продуктів: це різні прийоми піролізу, переплаву, випалу і вогневого знешкодження (спалювання) багатьох видів твердих відходів на органічній основі.

Як показує практика переробки ТПВ на сміттєспалювальних заводах (ССЗ), найбільш перспективним є спосіб знешкодження відходів у два етапи:

- 1) аеробне біотермічне компостування органічної частини ТПВ (біотермічний метод) з одержанням компосту (цінного органічного добрива) або біопалива;
- 2) піроліз некомпостованої частини побутових відходів, що включає гуму, пластмаси, дерево, шкіру тощо.

Піроліз становить процес термічного розкладання відходів під дією високих температур за відсутності кисню, у результаті якого утворюється піролізний газ і твердий вуглецевий залишок.

Застосовуючи термін «**піроліз**» до термічного перетворення органічного матеріалу, мають на увазі не тільки його розпад, але і синтез нових продуктів. Ці стадії процесу взаємно пов'язані й проходять одночасно з тією лише відмінністю, що кожна з них переважає в певному інтервалі температури або часу. Загальну схему піролізу можна подати таким чином:

тверді відходи + Q → твердий залишок + рідкі продукти + гази ± Q<sub>i</sub> ,  
де Q – додаткове тепло, Q<sub>i</sub> – вторинне тепло.

Але слід відрізнити піроліз від близького до нього процесу газифікації.

Газифікація є термохімічним високотемпературним процесом взаємодії органічної маси або продуктів її термічної переробки з газифікуючими агентами, у результаті чого органічна частина або продукти її термічної переробки перетворюються на горючі гази. Як газифікуючі агенти застосовують повітря, кисень, водяну пару, діоксид вуглецю, а також їх суміші.

Процеси піролізу відходів набули більшого поширення, ніж газифікація. Піролізу піддаються тверді побутові та близькі до них за складом промислові відходи, відходи пластмас, гуми (у тому числі автомобільні шини), інші органічні відходи.

Із санітарної точки зору процес піролізу володіє кращими показниками порівняно зі спалюванням. Кількість газів, що відходять, піддаються очищенню, набагато менша, ніж при спалюванні відходів.

Піролізні установки залежно від температурного режиму процесу поділяють на:

- низькотемпературні (450–500 °C), що характеризуються мінімальним виходом газу, максимальною кількістю смол, масел і твердих залишків;
- середньотемпературні (до 800 °C), що характеризуються збільшеним виходом газу та меншою кількістю смол та масел;
- високотемпературні (понад 800 °C), що характеризуються максимальним виходом газу та мінімальною кількістю смолоподібних продуктів та твердого залишку.

Твердий залишок можна використати у промисловості (сажа, активоване вугілля тощо). Таким чином, деякі схеми піролізу відходів можуть бути безвідходними.

Високотемпературний піроліз порівняно з іншими методами має низку переваг:

- при ньому відбувається більш інтенсивне перетворення вихідного продукту;
- швидкість реакцій зростає з експоненціальним збільшенням температури, у той час як теплові втрати зростають лінійно;
- збільшується час теплового впливу на відходи.

## **Спалювання побутових відходів на сміттєспалювальному заводі**

Спалювання ТПВ на сміттєспалювальному заводі дозволяє знешкодити їх з максимальним зменшенням обсягу (до 90 % від вихідного) і відповідає найвищим вимогам санітарії. Цей метод дозволяє заощадити десятки гектарів землі, забезпечити високий ступінь механізації та автоматизації, безвідходність виробництва, можливість повного використання продуктів спалювання.

Основне сміттєспалювальне обладнання – топкові пристрої з установками для дуття і парові котли. Тепло, яке виділяється у результаті спалювання відходів, утилізується в парогенераторах і у вигляді пари використовується для власних потреб заводу і для потреб прилеглих підприємств.

У результаті спалювання твердих побутових відходів, з використанням їх як енергетичної сировини, можна заощадити природний газ для одержання необхідної кількості теплової енергії. Шлак, що утворюється після спалювання відходів, і суха зола, уловлена в електричних фільтрах, використовуються у будівельному виробництві.

## **Біотермічне аеробне компостування**

З біологічних методів у практиці поводження з ТПВ найбільшого поширення набуло компостування або «аеробна ферментація» – це біохімічний процес розкладання органічної частини відходів мікроорганізмами за доступу кисню. У біохімічних реакціях взаємодіють органічний матеріал, кисень та бактерії (сапрофітні аеробні мікроорганізми, присутні в ТПВ у достатній кількості), а виділяються діоксид вуглецю, вода та тепло. Розмноження мікроорганізмів-деструкторів відходів можливе при певному співвідношенні вуглецю та азоту. Найкращий контакт між органічною речовиною та мікроорганізмами забезпечується при перемішуванні матеріалу. Внаслідок саморозігріву (до 60–70 °С) у процесі компостування відбувається знищення більшості хвороботворних мікроорганізмів, яєць гельмінтів, личинок мух.

У результаті закінченого процесу компостування маса біорозкладного матеріалу зменшується на кілька десятків відсотків і виходить твердий стабілізований продукт.

Виробництво компосту з органічних матеріалів було відоме ще в давнину. З цих відходів формували компостні ями (купи), які додатково зволожували у природних умовах. Отриманий компост вносили в ґрунт з метою поліпшення його структури та підвищення родючості. Однак варто зазначити, що через гетерогенний склад відходів компостування змішаних ТПВ недоцільно, оскільки компост забруднюється склом і важкими металами (останні містяться

у небезпечних комунальних відходах – відпрацьованих гальванічних елементах, люмінесцентних лампах тощо). Тому дуже важливим при компостуванні ТПВ (як і при спалюванні) є попереднє видалення небезпечних комунальних відходів – відпрацьованих батарейок, люмінесцентних ламп, фарб, отруйних речовин, металів. На практиці ця проблема здебільшого вирішується за рахунок організації роздільного збору ТПВ.

У сучасній промисловості найбільш поширеними є такі методи компостування:

- компостування у біобарабанах;
- тунельне компостування;
- у басейнах витримки.

Є приклади, коли на сміттєпереробних заводах тверді побутові відходи компостують разом з осадами стічних вод, при цьому з 1 млн т відходів отримують в середньому 360 тис. т компосту.

На рисунку 11.2 представлено один з варіантів механізованої системи спільного компостування твердих міських відходів і осадів стічних вод.

На першій стадії такої переробки ручним сортуванням видаляються скло, кольорові метали, великий металобрухт, будматеріали та інші некомпостні відходи. Жерстяна тара і дрібний брухт чорних металів видаляються електромагнітною сепарацією. Частина маси, що залишилася, подрібнюється і змішується з осадом стічних вод. Суміш компостується протягом 6 діб, потім перемелюється і висушується.

Спільне біотермічне знешкодження осадів стічних вод і твердих відходів дозволяє прискорити процес розкладання органічної речовини шляхом взаємозбагачення компонентами, що сприяють інтенсифікації процесу, зокрема, за рахунок поліпшення співвідношення вуглецю і азоту, підвищення пористості осадів стічних вод і відносного зменшення частки інертних включень у суміші (скла, піску тощо). Основними компонентами твердих побутових відходів є папір і харчові відходи, що відіграють головну роль у процесі біотермічного розкладання. Збільшення вмісту у твердих побутових відходах паперу веде до зменшення в них органічного азоту. Змішування твердих побутових відходів з осадами стічних вод сприяє збагаченню їх азотом і поліпшенню якості готового продукту.

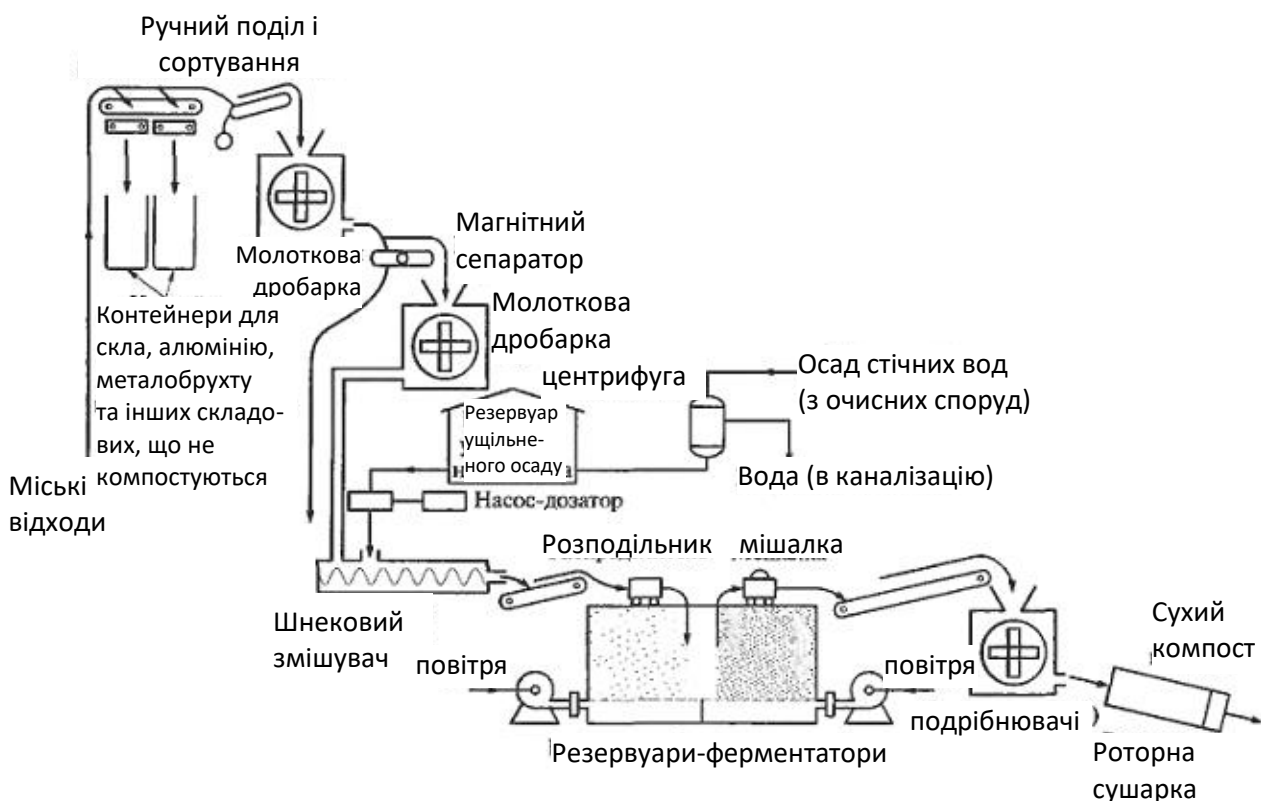


Рисунок 11.2 – Схема системи компостування твердих міських відходів та осадів стічних вод

Спільна переробка осадів стічних вод і твердих побутових відходів дозволяє скоротити необхідні площі для їх зберігання і число обслуговуючого персоналу. При цьому також скорочуються енергетичні витрати, оскільки знезараження осадів досягається в процесі компостування без застосування спеціальних пристроїв (камер дегельмінтизації, сушарок тощо).

Компости є сипким матеріалом, ефективним для використання як добрива і рекультиванта ґрунтів.

Під час визначення ефективності виробництва біопалива важливим є визначення як фінансової складової прибутку, так і нематеріального ефекту. Зокрема, визначають чотири основні ефекти від запровадження виробництва та споживання біопалива: економічний, екологічний, енергетичний та соціальний.

Варто зауважити, що всі ефекти від запровадження виробництва та споживання біопалива тісно пов'язані між собою та часто є причинами та наслідками один одного.

## **Світовий досвід поширення біогазових технологій**

У світовій постіндустріальній економіці XXI ст. існує безліч способів заробляти на відходах, наприклад біогазові технології. Біогаз – це узагальнена назва горючої газової суміші, що одержується за природного розкладання речовин органічного походження у результаті мікробіологічного процесу (метанового бродіння) в умовах відсутності кисню.

Біогазові установки встановлюються на очисних спорудах стічних вод міст, у сільській місцевості на фермах, птахофабриках, м'ясокомбінатах для забезпечення енергетичної незалежності, виробництва електроенергії та теплової енергії з відходів виробництва.

Біогазова установка є економічно вигідною, адже підприємство заощаджує на теплі та електроенергії, витрачаючи кошти лише на обладнання і на сервісне обслуговування, однак це все окупиться, адже за відсутності біогазових установок потрібно шукати спосіб та місце, як утилізувати відходи, які так чи інакше є на кожному підприємстві, а отже, кожне підприємство забезпечене сировиною для виробництва біогазу.

Переваги біогазових установок:

1. Отримання тепла. Під час охолодження двигуна, у якому спалюють біогаз, утворюється тепло у вигляді гарячої води, яку використовують для обігріву приміщень, теплиць тощо. Із 1 м<sup>3</sup> біогазу в когенераційній теплоелектростанції можна виробити 2,8 кВт теплової енергії.

2. Отримання електроенергії, яка є незалежною та гарантує відсутність відключень. З 1 м<sup>3</sup> біогазу можна виробити близько 2,4 кВт електроенергії.

3. Забезпечення природнім газом. Сучасні біогазові установки все частіше оснащують модулями для очищення біогазу. У результаті декількох технологічних операцій вміст метану збільшується до 90 %, побічні гази видаляються. Біогаз перетворюється на стандартний природний газ, і його можна використовувати у побутових цілях.

4. Отримання рідких органічних добрив (біодобрив). Цінність біодобрива визначається вмістом активної речовини N-P-K, а також біоскладника. На виході з біогазової станції в біомасі зберігаються всі активні речовини, але перебувають вони у вільній формі. У разі використання біодобрив урожайність підвищується на 30–50 %.

5. Вирішення екологічних проблем. Біогазові установки дозволяють утилізувати всі шкідливі речовини, які осідають у відходах. Виробництво біогазу дає змогу запобігти викидам метану в атмосферу, знизити об'єми застосування хімічних добрив, ліквідує небезпеку забруднення ґрунтових вод.

На європейському ринку біогазових установок 75 % біогазу виробляється з відходів сільського господарства, 17 % – з органічних відходів приватних підприємств та 8 % – із каналізаційних очисних споруд. Серед європейських країн із високими темпами розвитку біогазових технологій можна виділити Велику Британію, Швецію, Норвегію, Італію, Францію та Чехію.

### **Питання для самоперевірки**

1. Назвіть основні етапи, що входять до структурної схеми поводження з відходами.
2. Який процес називається піролізом?
3. Які переваги та недоліки має процес біотермічної обробки осадів?
4. Термічні методи поводження з відходами.
5. Якими основними чинниками обумовлюється вибір методів переробки твердих побутових відходів?
6. Як поділяють методи переробки відходів залежно від кінцевої мети?
7. Класифікація методів переробки відходів за технологічним принципом.
8. Переваги біогазових установок.

### **Тема 12 Сортування відходів для вторинного використання**

1. Поняття сортування. Основні завдання.
2. Сортування з вилученням тих чи інших цінних компонентів для вторинного використання видаленням шкідливих компонентів, виділення окремих фракцій, найбільш придатних технічно, екологічно і економічно для переробки тим чи іншим методом.

Впровадження сортувальних комплексів доцільно здійснювати паралельно із впровадженням роздільного збирання, враховуючи необхідність підвищення якості та вартості прийняття на перероблення окремих компонентів ПВ.



Роздільне збирання побутових відходів – збирання побутових відходів за окремими компонентами, включаючи сортування побутових відходів, з метою подальшого перероблення та утилізації.

Запровадження роздільного збору сміття сприятиме збільшенню кількості вторинної сировини і завантаженню вітчизняних переробних підприємств. Це дасть змогу на 30 % зменшити навантаження на сміттєзвалища та на 20 % збільшити обсяг вторинної сировини.

З 1 січня 2018 року в Україні заборонено захоронення неперероблених (необроблених) побутових відходів. Тобто всі відходи мають спершу сортувати за видами матеріалів та безпечністю компонентів для подальшої переробки, і лише залишок має направлятися на полігон.

Небезпечні відходи у складі ТПВ збираються окремо від інших видів побутових відходів з урахуванням вимог, а також мають відокремлюватися на етапі збирання чи сортування та передаватися спеціалізованим підприємствам, що одержали ліцензії на здійснення операцій у сфері поводження з небезпечними відходами.

**Сортування відходів** – механічний розподіл відходів за їх фізико-хімічними властивостями, технічними складовими, енергетичною цінністю, товарними показниками тощо з метою підготовки відходів до їх утилізації чи видалення.

Сортування відходів передбачає під собою процес цілеспрямованого розділення відходів відповідно до їх агрегатного стану, властивостей та матеріалів, з яких вони виготовлені, на окремі фракції. Так, відповідно до законодавства, у складі ТПВ не мають бути присутні великогабаритні, ремонтні та небезпечні відходи – їх потрібно збирати окремо від інших відходів. Такі відходи повинні передаватися спеціальним підприємствам, які мають на це ліцензію, з метою їх подальшого знешкодження чи утилізації.

Безпечна частина ТПВ своєю чергою має пройти процес розділення на ресурсоцінні фракції, а саме: папір, скло, метал, пластик, дерево, гума, які потрібно направляти спеціальним підприємствам, що здійснюють утилізацію цих відходів. Органічну частину можна використати як частину біомаси для отримання біопалива, а також для компостування. Так звана «непридатна» частина відходів, яку неможливо переробити, повинна або знешкоджуватись на сміттєспалювальних заводах, або направлятися на полігони для захоронення.

Тарифи на захоронення відходів повинні встановлюватися відповідно до чинного законодавства.

Сортування, будучи одним із важливих елементів системи поводження з відходами, дозволяє вирішити такі основні завдання:

- виділити зі складу відходів вторинну сировину;
- виділити потоки біорозкладних та небезпечних компонентів для подальшої переробки та знешкодження;
- мінімізувати обсяг залишків, що не піддаються утилізації для наступного захоронення.

Різні підходи до класифікації відходів базуються на таких ознаках: місце утворення відходів (галузь промисловості), стадія виробничого циклу, вид відходу, агрегатний стан, ступінь шкоди навколишньому середовищу та здоров'ю людини, напрям використання, ефективність використання, величина запасу та обсяги утворення, ступінь вивченості та розробленості технологій утилізації.

Отже, основною метою переробки відходів є максимальне використання ресурсного потенціалу відходів, зокрема отримання вторинної сировини.

Під сортуванням відходів розуміється «поділ відходів згідно з певними критеріями на складники, що якісно розрізняються».

Сортування відходів з подальшою переробкою окремих компонентів, як правило, є менш витратною технологією поводження з ТПВ порівняно з іншими. Більше того, за певних умов вона може бути рентабельною в ринкових умовах. Разом з тим необхідно враховувати, що сортування не вирішує проблему всього обсягу ТПВ – витягуються тільки матеріали певного складу і якості, а решта відходів («хвости»), що залишилися, вимагають подальшої утилізації.

Сортування може бути централізованим – на сміттесортувальному комплексі (іноді його називають промисловим) та децентралізованим (на джерелах утворення). Децентралізоване сортування здійснюється шляхом організації місцевих приймально-сортувальних пунктів, на яких силами 2-3 осіб здійснюється ручне сортування ТПВ, що надходять від населення.

*Підприємство сортування та перероблення твердих побутових відходів* – комплекс споруд, обладнаний необхідною виробничою інфраструктурою (під’їзні колії, площадки маневрування, склади, внутрішня система вентиляції, пожежогасіння та інші комунікаційні системи) і укомплектований відповідним технологічним обладнанням, на території якого розташовано станцію сортування, а також цех перероблення твердих побутових відходів та їх компонентів.

Процес сортування може бути розглянутий як система, що складається із взаємопов’язаних елементів. До основних етапів сортування твердих комунальних відходів відносяться:

1. Підготовка ТПВ. Тверді комунальні відходи проходять попередню обробку, під час якої відокремлюються великогабаритні відходи, скло, небезпечні відходи, дрібна фракція, а також розриваються пакети.

2. Основне сортування ТПВ. З підготовленого потоку ТПВ виділяється папір, картон, полімери та інші види вторинної сировини вручну або з використанням сенсорного обладнання, що дозволяє автоматизувати процес сортування.

3. Підготовка вторинної сировини для реалізації. Вторинна сировина додатково контролюється на відповідність вимог до якості та, за потреби, досортується. Папір, картон, полімери пресуються та упаковуються у кіпи, скло завантажується у транспортну тару.

4. Вилучення залишкового ресурсного потенціалу. Із залишків сортування виділяється потік матеріалів з високою теплою згоряння для подальшої переробки в паливо, потік біорозкладних відходів для компостування, потік інертних матеріалів для використання у будівництві, а також небезпечні матеріали.

5. Обробка великогабаритних відходів. Великогабаритні відходи (меблі, дерево, вікна, двері, килими, матраци тощо) вручну розбирають або дроблять з використанням спеціального обладнання для вилучення вторинної сировини та зменшення обсягів матеріалів.

6. Обробка дрібної фракції. Дрібна фракція зазнає грохочення та інших методів з метою отримання вторинної сировини (наприклад, металу).

Технологічна схема типового сміттесортувального комплексу (ССК) включає подачу ТПВ, підготовку відходів перед сортуванням, відбір вторинної сировини та її пресування, відвантаження «хвостів» сортування.

Для сортування відходів (відбору вторинної сировини) використовується ручне сортування або сенсорне сортування, яке ще іноді називають автоматичним, автоматизованим.

Робота більшості *сенсорних сортувальних установок* заснована на розпізнаванні компонентів ТПВ за допомогою рентгенівського або інфрачервоного випромінювання, або випромінювання у сфері видимого спектру. Крім високої продуктивності основною перевагою таких систем є можливість розпізнавання конкретних матеріалів, наприклад, визначення різних видів пластикових відходів, які неможливо розділити при ручному сортуванні. Це системи, які використовують рентгенівське випромінювання, їх дія заснована на аналізі характеру проходження променів (рентгенівська трансмісія). У системах рентгенівської трансмісії використовуються випромінюючий пристрій і датчики, які визначають характеристики променів, що пройшли через матеріал (тобто компоненти відходів розпізнаються за щільністю та структурою). Конструкції подібних устроїв відносно прості. Великою перевагою таких систем є те, що допускається наявність на відходах етикеток або забруднень, а також можливе розпізнавання темнозabarвлених матеріалів, наприклад чорних пластиків. Недоліком таких систем є висока небезпека випромінювання і те, що у деяких випадках матеріали можуть змінювати свої властивості (зміни забарвлення скла, зміни механічних властивостей полімерів). Крім того, якщо система не може правильно розпізнати матеріал (наприклад, склеєні разом два різних компоненти відходів), то такий матеріал видаляється як нецільовий.

Вся відсортована вторинна сировина має проходити контроль персоналом, так як можуть бути окремі випадки наявності сторонніх включень через злипання компонентів. Після перевірки вторинна сировина відправляється на прес та отримані кіпи піддаються обмотці. Пресування вторинної сировини сприяє зниженню витрат на його перевезення.

Автоматичне (сенсорне) сортування дозволяє виділяти фракції за хімічним складом, крупністю, забрудненістю, розділити суміші вторинної сировини за кольором, хімічним складом, наявністю домішок. При цьому

технічна продуктивність автоматичного сортування вища за ручне залежно від виду матеріалу у 20–60 разів. Висока вартість капітальних вкладень у будівництво заводів повного автоматичного сортування ТПВ окупається за рахунок зниження експлуатаційних витрат на сортування. Крім цього, до переваг систем автоматичного сортування відходів відносять високий відсоток відбору фракцій і високий ступінь чистоти вилучення матеріалів.

Аналіз сформованої світової практики поводження з ТПВ дозволяє зробити висновок про те, що практично всі схеми поводження з відходами у більшості розвинених країн (ЄС, США, Канада, Японія тощо) включають роздільний збір відходів безпосередньо у місцях їх утворення (у домашніх господарствах, на виробництві, в офісних приміщеннях) та їх сортування. Роздільний збір ТПВ у місцях їх утворення дозволяє отримати потік відходів, в якому цільові компоненти відходів перебувають у досить високій концентрації, але водночас у цьому потоці через погрішності і помилки, що допускаються населенням, можуть бути небажані або баластові компоненти, які доцільно видаляти в процесі наступного сортування. Практика свідчить, що добре організований роздільний збір не тільки значно підвищує ефективність сортування та визначає його рентабельність, але й суттєво полегшує всі наступні процедури поводження з відходами.

Організація сортування окремо зібраних відходів дозволяє більш ефективно організувати переробку відходів і підвищити окупність сміттесортувальних комплексів. Попередній поділ відходів дозволяє спочатку істотно скоротити потік відходів, що спрямовуються на сортування, а також зменшити обсяги неутилізованих залишків («хвостів»), які вивозяться після сортування на сміттесортувальному комплексі на поховання. При цьому в цілому організація роздільного збирання відходів дозволяє скоротити капітальні витрати на будівництво об'єктів, збільшити відсоток відбору вторинної сировини.

Вторинна сировина, відібрана з окремо зібраних відходів, маючи менший рівень забруднення, є більш цінною і вимагає менших витрат за подальшу переробку.

Крім того, при роботі на ССК попередньо роздільно зібраними відходами значно покращуються умови праці, оскільки біорозкладні і більшість небезпечних відходів (особливо колючо-ріжучі та інші травмонебезпечні)

видаляються до надходження їх на ССК. Це дозволяє зменшити кількість та продуктивність дорогих установок, необхідних для забезпечення безпеки праці; спростити керування роботою персоналу.

### **Питання для самоперевірки**

1. Для чого до схеми поводження з відходами вводиться сортування?
2. Основні механізовані операції, що можуть бути включені до схеми сортування.
3. Основні етапи сортування твердих комунальних відходів.
4. Що таке ресурсоцінні відходи?

### **Тема 13 Переробка промислових відходів**

1. Накопичувачі промислових відходів.
2. Переробка відходів гальванічного виробництва, відпрацьованих масел, відходів органічних розчинників і неорганічних кислот тощо.
3. Утилізація, переробка й рециклінг твердих побутових і промислових відходів

Останнім часом в Україні все більш актуальною стає проблема надмірного накопичення різноманітних відходів промисловості та необхідність їх утилізації. На території країни зосереджено приблизно 20 млрд т промислових відходів. Це відходи вуглевидобутку, вуглезбагачення, металургійні шлаки тощо, які утворюються щороку.

До твердих промислових відходів відносять і промислові відходи, щорічні обсяги накопичення яких у масштабах нашої держави досягають десятків мільйонів тонн. Поділ їх на компоненти виявився економічно недоцільним. Тому на сучасному етапі розвитку вітчизняної промисловості використовують дві системи їх обробки:

- переробка;
- утилізація за допомогою високотемпературного піролізного реактора.

Основними методами знешкодження та захоронення твердих промислових відходів є:

- біологічне окислення;
- термічна обробка;
- складування у поверхневих сховищах;

- захоронення високотоксичних речовин та їх сполук в поверхневих шарах землі.

Одним з основних способів захоронення великотоннажних твердих відходів є їх складування у поверхневих сховищах.

Основними типами поверхневих сховищ є шламонакопичувачі та шламосховища.

Шламонакопичувачі – це відкриті земельні ємності, які розташовані поза територією заводів і призначені для накопичення проєктної кількості шламів.

Залежно від місця утворення вони можуть бути таких типів:

- балково-ярові;
- насипні.

Після заповнення шламонакопичувача його консервують шляхом засипання піском (товщина шару 0,6 м) та ґрунтом (товщина шару 0,5).

Кожне шламосховище повинно мати дренажні пристрої, що збільшують міцність греблі та покращують процес зневоднення шламів. Він дозволяє також відводити забруднені стоки зі сховища для знешкодження або повторного використання.

### *Шляхи вирішення проблеми накопичення промислових відходів в Україні*

Одним з пріоритетних напрямів мінімізації накопичення промислових відходів є повернення їх у виробництво з метою вилучення цінних компонентів і використання їх як вторинних ресурсів.

Особливо перспективним є вилучення цих металів з відходів гірничо-металургійних та інших виробництв, що дозволить зменшити залежність від поставок кольорових та рідкісних металів, що є дефіцитними в нашій державі.

Джерелом таких відходів можуть бути:

- у сталеплавильному виробництві – такі метали, як цинк, мідь, свинець;
- у виробництві мінеральних добрив – стронцій, вапно, сірка, рідкісно-земельні елементи;
- у титано-магнієвому виробництві – ванадій, нікель;
- у гальванічному виробництві – кольорові метали;
- у золошлаках енергетики – алюміній, ванадій, нікель, феросиліцій;

Відходи гальванічних виробництв відносяться до основних екологічно небезпечних відходів, що утворюються від машинобудівного комплексу.

Гальванічні покриття – електроосаджувальні металеві шари, що наносяться на поверхню виробів чи напівфабрикатів для підвищення корозійної стійкості, зносостійкості, поліпшення декоративного вигляду.

Відходи гальванічних виробництв залежно від джерел утворення поділяють на такі види:

- відпрацьовані концентровані технологічні розчини (електроліти нанесення покриття, розчини зняття покриття, лужні і кислі травильні розчини);

- промивні води;
- гальванічні шлами.

Відпрацьовані електроліти, що містять кольорові метали, регенерують з метою відновлення їхньої працездатності і повторного використання, а також використовують для вилучення кольорових металів.

Шлами, що утворюються при регенерації електролітів і очищенні стічних вод гальванічних виробництв, становлять аморфні осади, що містять гідроксиди заліза і кольорових металів. Зневоднювання їх здійснюють за допомогою вакуум-фільтрів, прес-фільтрів або центрифуг. Для підвищення продуктивності зневоднювального устаткування гідроксидні осади піддають реагентній чи безреагентній обробці. Як реагенти використовують вапно, солі заліза й алюмінію, кислотомісні реагенти. Недоліками реагентної обробки осаду є висока вартість і дефіцитність реагентів, збільшення обсягу осаду.

До безреагентних способів обробки гальванічних шламів відносять ущільнення, заморожування і відтавання тощо. Після такої обробки шлами легко зневоднюються. Однак дотепер основна частина гальванічних шламів надходить до шламонакопичувачів.

Розроблено технічні рішення, що дозволяють витягати практично всі метали з гальванічних шламів методами гідрометалургії за допомогою водяних розчинів хімічних реагентів.

Хромовмісні шлами після сушіння і прожарювання використовуються як барвники при виробництві декоративного скла. Залежно від складу може бути отримано скло різного кольору і відтінків: зеленого, яскраво-синього, синьо-зеленого, темно-коричневого, чорного.



Гальванічні шлами, збагачені залізом, використовуються для одержання феритів, що знаходять застосування в електротехнічній і хімічній промисловості, у радіотехніці.

### **Механічна переробка твердих відходів**

Утилізація твердих відходів приводить до необхідності або їх поділу на компоненти з подальшою переробкою сепарованих матеріалів різними методами, або надання їм певного виду. Для тих промислових відходів, утилізація яких не пов'язана з необхідністю проведення фазових перетворень чи впливу хімічних реагентів, але які не можуть бути використані безпосередньо, застосовуються два види механічної обробки: **подрібнення або компактування (пресування)**. Це однаковою мірою стосується відходів як органічного, так і неорганічного походження.

Для утилізації і знешкодження промислових відходів найбільш розповсюдженими є наступні методи підготовки і переробки відходів: здрібнювання розмірів шматків, укрупнення розмірів частинок, класифікація і сортування, збагачення, термообробка, вилужування, зневоднювання.

Відходи, які утворюються у виробництві або на етапі споживання можуть мати різний склад, фізичні властивості та розміри окремих елементів/кусків. Багато технологій утилізації відходів потребують їхнього попереднього підготування, що включає зменшення розмірів часток відходів.

### **Здрібнювання (подрібнення) відходів**

Залежно від властивостей і розміру шматків вихідного матеріалу і кінцевого продукту застосовують різне устаткування, що працює за описаними вище принципами. Основними методами подрібнення є **дроблення і помел**.

Класифікація методів подрібнення наведена в таблиці 14.1.

*Метод дроблення* використовують для отримання з кускових відходів фракцій крупністю до 5 мм.

Тверді відходи можна зруйнувати і подрібнити до часток потрібного розміру розчавлюванням, розколюванням, розламуванням, різанням, розпилюванням, стиранням і різними комбінаціями цих способів.

Для дроблення використовують щоківі, конусні, валкові, роторні дробарки різних типів. Розмір шматків до дроблення може становити від 1000 мм до 20 мм, після дроблення – 250–1 мм.

Таблиця 14.1 – Класифікація методів подрібнення

Клас подрібнення	Розмір шматків до подрібнення, мм	Розмір шматків після подрібнення, мм
Дроблення:		
– велике;	1 000	250
– середнє;	250	20
– дрібне	20	1–5
Помел:		
– грубий;	1–5	0,1–0,04
– середній;	0,1–0,04	0,005–0,015
– тонкий;	0,1–0,02	0,001–0,005
– колоїдний	<0,1	<0,001

Після подрібнення, за яким може слідувати фракціонування, відходи перетворюються в продукти, готові для подальшого використання.

Твердий матеріал можна зруйнувати і подрібнити до частинок бажаного розміру роздавлюванням, розколюванням, розламуванням, різанням, розпилюванням, стиранням і різними комбінаціями цих способів. За розміром шматків вихідної сировини й кінцевого продукту подрібнення умовно ділять на кілька класів, виходячи з яких вибирають подрібнювальне обладнання.

**Помел** використовують за необхідності отримання з кускових відходів фракцій крупністю до 1 мм. Помел матеріалів крупністю 1–5 мм здійснюють мокрим і сухим способами за допомогою млинів різного типу. Розмір фракцій після здрібнювання може становити 0,1–0,001 мм. Помел застосовують під час переробки паливних і металургійних шлаків, відходів вуглезбагачення, деяких виробничих шлаків, відходів пластмас. При переробці твердих відходів використовують агрегати грубого й тонкого подрібнення: стрижневі, кульові та ножові млини, а також дезінтегратори, дискові та кільцеві млини тощо.

Барабанний кульовий млин – пристрій для розмелювання шматків твердих матеріалів. Основний елемент – барабан діаметром 2–4 м, частково заповнений кулями (30–125 мм) зі сталі або чавуну, який обертається навколо своєї осі. Принцип дії кульового млина полягає в тому, що при обертанні барабана кулі захоплюються у безперервний рух, внаслідок якого досягається ударно-стираюча дія на матеріал, що розташований між їх поверхнями.

Подрібнення відходів пластмас і гумових виробів проводять за низьких температур (*кріогенне подрібнення*). Техніка кріогенного подрібнення застосовується для подрібненні в'язких, пружних і в'язкопружних матеріалів (гума, деякі види термопластів тощо), яка дозволяє охолоджувати матеріал нижче за температуру крихкості. Кріогенне подрібнення в основному використовують для переробки зношених автомобільних покришок. Це пов'язано із тим, що процес розділення композиційних матеріалів є дуже складним і потребує великих зусиль, а також наявне швидке зношування робочих органів устаткування. Широкого розповсюдження такий метод отримав у Японії.

Принцип роботи кріогенного обладнання заснований на дії низьких температур, які змінюють в'язкопружні властивості матеріалів. Як охолоджувальний агент зазвичай використовують рідкий азот, що має температуру нижчу за температуру крихкості більшості полімерних матеріалів. При такому способі дроблення різко зростає ступінь подрібнення, підвищується продуктивність процесу, знижуються питомі енерговитрати.

У загальному випадку ТПВ можна розглядати як сипучу деформовану суміш твердих частинок різної форми та розмірів. При цьому частина, що деформується (до якої входять такі матеріали, як харчові відходи, картон, папір тощо) становить приблизно 35 % за вагою, недеформована частина (до якої входять скло, метал тощо) – 65 % за вагою.

ТПВ, що являють собою суміш різних фракцій, можна вважати насипним матеріалом, ущільнити який можна за допомогою стиснення, коткування, трамбування, віброущільнення або поєднання перерахованих методів.

**Кускування відходів.** Поряд з методами зменшення розмірів кускових матеріалів і їх поділу на класи крупності в рекупераційній технології твердих відходів поширені методи, пов'язані з укрупненням дрібнодисперсних частинок, які використовують прийоми *гранулювання, таблетування, брикетування та високотемпературної агломерації*. На світовому ринку представлено досить велику кількість моделей пресового обладнання різних фірм-виробників.

**Гранулювання** – процес формування агрегатів кулястої або циліндричної форми з порошків, паст, розплавів або розчинів, що переробляються. Ці процеси базуються на різних прийомах обробки матеріалів:

обливання, пресування порошків у дисперсних потоках, гранулювання розплавів. Здатність гранулювальних матеріалів до ущільнення й формування характеризують значеннями коефіцієнтів їх гранулоємності.

**Брикетування** – підготовчі та самостійні операції в практиці утилізації твердих відходів. Брикетування відходів полягає в тому, що тиск прикладається до того часу, поки тверді частинки відходів не спресуються разом настільки щільно, що сформують твердий брикет. Брикетування дисперсних матеріалів проводять без сполучного за тисків пресування  $R_{пл} > 80$  МПа і з добавками сполучного – за тиску  $R_{пл} \leq 15\text{--}25$  МПа. Здатність окремих частинок, що становлять суміші твердих відходів, триматися разом навіть після того, як тиск знято (без додавання сполучних компонентів), забезпечує стійке зменшення обсягу, тобто утворення стабільних міцних та компактних брикетів.

Основною фракцією ТПВ, що забезпечує в процесі ущільнення зчеплення окремих фракцій відходів, формування та стабілізацію кіп, є паперова. Міцність одержуваних кіп безпосередньо залежить від відсоткового вмісту паперу в масі відходів, що завантажуються. При збільшенні вмісту паперової фракції міцність кіп підвищується (за умови загальної вологості відходів трохи більше 35 %).

На процес брикетування дисперсних матеріалів істотний вплив роблять склад, вологість і крупність матеріалу, температура, питомий тиск і тривалість пресування. Необхідний питомий тиск пресування зазвичай перебуває у зворотній залежності від вологості матеріалу. Основним фактором, що визначає міцність і стабільність кіп, є вихідна вологість пресованих відходів, яка не повинна перевищувати 30–35 %. Підвищення вологості веде до зниження рівня ущільнення матеріалу.

Більш перспективним є **тюкування** ТПВ, при якому обв'язування кіп здійснюється спочатку пластиковою сіткою, а потім плівкою. Переваги такого способу пресування: чистий та охайний вигляд; відсутній неприємний запах; значно знижується пожежна небезпека; фільтрат не утворюється, що попереджає забруднення поверхневих та ґрунтових вод; різко знижується рівень забруднення атмосферного повітря газовими виділеннями; виключається розвіювання вітром легких фракцій сміття (плівки, папери тощо); відсутній ризик виникнення епідемій; сміття в тюках недоступне для комах, птахів, гризунів.

*Пресування при високих тисках* – один із способів поліпшення умов експлуатації полігонів (звалищ). Ущільнені відходи дають меншу кількість фільтрату і газових викидів, при цьому знижується ймовірність виникнення пожеж.

### **Класифікація та сортування (сепарація) відходів**

*Класифікацією* називається процес розділення суміші з твердих компонентів на декілька фракцій за певною ознакою. Ознакою класифікації можуть бути розміри часток, їх густина, форма, магнітні властивості.

У низці випадків переробка подрібнених відходів повинна супроводжуватися їх розподілом на фракції за крупністю.

Для розділення кускових і сипучих матеріалів застосовують різні способи:

- просіювання або просівання;
- поділ під дією гравітаційно-інерційних сил;
- поділ під дією гравітаційно-відцентрових сил.

Просівання – це процес поділу на класи за крупністю різних за розмірами шматків (зерен) матеріалу при його переміщенні на колосникових решітках, решетах, дротяних сітках, щілиноподібних ситах.

Технології утилізації відходів часто включають етап сортування. Сортування відходів застосовують для розділення їх на фракції. Технології сортування включають один або декілька стадій класифікації, які можуть бути засновані на однотипних або різних методах.

Класифікаційні апарати поділяють на поверхневі, об'ємні та комбіновані. За способом транспортування сипучого матеріалу уздовж поверхні розділення в об'ємі зони поділу розрізняють механічні, пневматичні та гідравлічні класифікатори.

Процес механічної класифікації частинок за розмірами здійснюється шляхом просіювання суміші через колосники або решітки, які встановлено нерухомо або на таких, що здійснюють коливальний або обертальний рух.

**Грохочення (гуркотіння).** Обладнання для просіювання через сита називають гуркотами. За допомогою гуркотів різної конструкції може виконуватися механічний поділ відходів за крупністю, і навіть попереднє розпушення маси відходів.

Типи грохотів: плоскі нерухомі, плоскі хитні, плоскі вібраційні, барабанні.

У механічних класифікаторах (гуркотах) рух матеріалу здійснюється уздовж робочої поверхні за рахунок переміщення частинок середовища по похилій поверхні або періодичних рухів самої поверхні.

Розміри осередків гуркотів змінюються у діапазоні від 4 мм до 500 мм. Тип гуркоту підбирається залежно від характеру, розміру частинок і щільності матеріалу, що підлягає гуркотінню. Одним із найбільш часто використовуваних видів у сміттесортуванні гуркотів є *барабанний грохот*. Він найчастіше застосовується як перший ступінь процесу поділу – для видалення з потоку змішаних відходів дрібної фракції (так званий «відсів»), що є сумішшю харчових відходів, піску, каміння, землі, штукатурки та інших матеріалів. Відсів знижує ефективність сортування і якість вторинної сировини, що відбирається, тому дрібну фракцію необхідно відокремлювати. Крім барабанного грохоту для цієї мети може використовуватися похиле вібросито.

Інший вид обладнання, *балістичний сепаратор*, який розділяє відходи різного складу на три або чотири фракції (залежно від типу сепаратора): лопаті сепаратора відкидають відходи вперед і вгору. При цьому фізичні характеристики різних компонентів відходів визначають їх траєкторії польоту і проводять поділ потоку відходів на його складові. Таким чином здійснюється високоточний поділ відходів на легкі та важкі, плоскі та об'ємні, великі та дрібні і тощо. Крім того, відходи звільняються від вмісту пилу, що міститься в них.

Розрізняють три схеми виділення класів: від дрібного до крупного, від крупного до дрібного, змішана або комбінована схема (рис. 14.1).

Перевагами схеми класифікації від дрібного до крупного (рис. 14, а) є доступність сит для огляду та ремонту. Недоліки: низька ефективність грохочення (гуркотіння), швидке зношування дрібного сита, неефективне використання робочого об'єму гуркоту (грохоту) та відносно мала продуктивність.

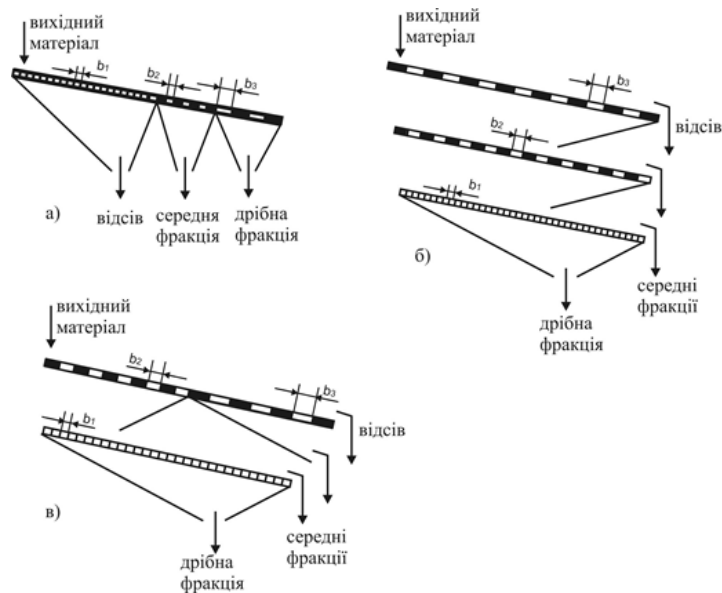


Рисунок 14.1 – Схеми класифікації

Переваги схеми класифікації від крупного класу до дрібного (рис. 14, б) – це висока ефективність грохочення (гуркотіння), велика довговічність сит, ефективне використання робочого об’єму грохоту. Недоліки такої схеми – утруднений доступ для огляду, ремонту та заміни сит. Цей недолік є дуже істотним в умовах безперервних технологічних процесів. Наприклад, непомічений розрив сітки може призвести до потрапляння великих часточок у дрібні, псування продукту у технологічному ланцюгу, наступному за класифікацією.

Комбінована схема має такі переваги: достатня ефективність грохочення, відносно велика довговічність сит при хороших умовах для огляду і заміни сит, висока продуктивність грохоту, оскільки на дрібне сито, що має велику площу і розташоване під великими ситами, подається тільки частина вихідного матеріалу.

Якщо частки застрягають в отворах сит, це призводить до зниження ефективності поділу. Особливу увагу цьому фактору слід приділяти при класифікації вологих або липких матеріалів, які здатні замазувати поверхню сит, а також матеріалів з неправильною формою частинок.

*Пневматична класифікація.* Пневматичні класифікатори відносяться до апаратів об’ємного типу безперервної дії. Сутність пневматичної класифікації полягає в поділі сипкого матеріалу за рахунок різних швидкостей руху великих і дрібних частинок у повітряному потоці.

Класифікацію частинок з розміром менше 1 мм недоцільно проводити в грохотах, оскільки їх питома продуктивність при цьому дуже низька. Такі дрібнозернисті сухі матеріали раціональніше розділяти у пневматичних класифікаторах, у яких за певних умов більш великі частинки випадають з потоку повітря під дією сил тяжіння або відцентрових сил, а дрібні частинки виносяться потоком повітря в осаджувальних пристроях. Регулюванням швидкості і траєкторії руху повітряного потоку можна варіювати крупність поділених частинок.

На частинки в потоці повітря діють сила аеродинамічного опору та сила тяжіння або сила інерції. У першому випадку класифікатори називають гравітаційними, а у другому – інерційними.

Переваги таких класифікаторів – малий знос корпусу, низька чутливість до гранулометричного складу суміші, можливість регулювання гранулометричного розміру поділу витратою повітря, висока надійність та ремонтпридатність.

Якщо виникає потреба у розділенні сумішей з більш дрібними розмірами частинок, то застосовують відцентрові класифікатори.

*Високотемпературну агломерацію* здійснюють за допомогою агломераційних машин і використовують при укрупненні дисперсних залізовмісних відходів: окалини, пилу, шламів, піритних недогарків. Для проведення агломерації на основі таких ВМР готують шихту, що включає тверде паливо, концентрат, флюси, відходи. При горінні палива відбувається спікання мінеральних компонентів шихти. Спечений концентрат дроблять до потрібних розмірів, просівають, дрібні фракції повертають на агломерацію.

*Збагачення* здійснюють виділенням одного чи декількох компонентів із загальної маси відходів. Найпоширенішими є гравітаційні, флотаційні, електричні і магнітні способи збагачення.



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Епоян С. М. Обробка осаду стічних вод : навч. посіб. / С. М. Епоян, Л. О. Фесік, Н. В. Сорокіна. – Одеса : ОДАБА, 2018. – 199 с.
2. Природоохоронні технології : навч. посіб. : в 3 ч. / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, І. І. Безвозюк, Р. В. Петрук, П. М. Турчик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – Частина 3. Методи переробки осадів стічних вод. – 324 с.
3. Управління та поводження з відходами : навч. посіб. : в 4 ч. / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С. М. Кватернюк та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – Частина 2. Тверді побутові відходи. – 100 с.
4. Управління та поводження з відходами : навч. посіб. : в 4 ч. / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, В. А. Іщенко, Р. В. Петрук. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – Частина 3. Полігони твердих побутових відходів. – 139 с.
5. Управління та поводження з відходами : навч. посіб. : в 4 ч. / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, В. А. Іщенко, Р. В. Петрук. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – Частина 4. Технології переробки твердих побутових відходів. – 234 с.
6. Інтегроване управління та поводження з твердими побутовими відходами у Вінницькій області : монографія / під ред. В. Г. Петрука. – Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2007. – 160 с.
7. Управління та поводження з відходами. Частина 4. Технології переробки твердих побутових відходів : навч. посіб. / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, В. А. Іщенко, Р. В. Петрук. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 234 с.
8. Сорокіна К. Б. Конспект лекцій із навчальних дисциплін «Процеси та обладнання для обробки осадів» і «Технологія переробки та утилізації осадів» [Електрон. ресурс] : конспект лекцій / К. Б. Сорокіна. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 116 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/46294>, вільний (дата звернення: 17.11.2023). –

Назва з екрана.

9. Сталінська І. В. Поводження з побутовими відходами : конспект лекцій [Електрон. ресурс] : конспект лекцій для студентів 1 та 2 курсів всіх форм навчання зі спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища / І. В. Сталінська, О. В. Хандогіна. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 84 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/54197>, вільний (дата звернення: 27.10.2023). – Назва з екрана.

10. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 01-01-2014. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 214 с.

11. ДБН В.2.4-2-2005 Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування. – Чинний від 01-01-2006. – Київ : Держбуд України, 2005. – 60 с.

12. Пришляк Н. В. Забезпечення енергетичної та екологічної безпеки держави за рахунок біопалива з біоенергетичних культур і відходів : монографія / Н. В. Пришляк, Д. М. Токарчук, Я. В. Паламаренко. – Вінниця : ТОВ «Консоль», 2019. – 248 с.

13. Бабаєв В. М. Альтернативні технологічні рішення проблеми утилізації мулового осаду стічних вод / В. М. Бабаєв, В. В. Панов, Я. М. Хайло, В. М. Волков, М. П. Горох // Комунальне господарство міст. – 2018. – Вип. 144. – С. 32–42.

14. Енергетична стратегія України на період до 2035 року [Електрон. ресурс] : Розпорядження КМУ від 18 серпня 2017 р. № 605-р // Відомості Верховної Ради України. – 2017. – 73 с. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>, вільний (дата звернення: 23.02.2023). – Назва з екрана.

15. Бакуліна Г. Ю. Сміття – загроза екології чи багатство країни? Світовий досвід і перспективи України щодо виробництва біогазу // Економіка

і суспільство. – 2017. – Вип. 9. – С. 803–808.

16. Про відходи [Електрон. ресурс] : Закон України від 05.03.1998 № 187/98-ВР. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/187/98-%D0%B2%D1%80>, вільний (дата звернення: 30.01.2023). – Назва з екрана.

17. Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення [Електрон. ресурс] : Закон України від 24.02.1994 № 4004-ХІІ. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12>, вільний (дата звернення: 17.02.2023). – Назва з екрана.

18. Рибалова О. В. Поводження з відходами [Електрон. ресурс] : курс лекцій для студентів денної форми навчання спеціальності 101 «Екологія», освітньо-кваліфікаційний ступінь «магістр» / О. В. Рибалова. – Електрон. текст. дані. – Харків : НУЦЗУ, 2016. – 530 с. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5280>, вільний (дата звернення: 10.11.2023). – Назва з екрана.

19. Зоріна О. В. Сучасні підходи до обробки та утилізації вторинних осадів господарсько-побутових стічних вод / О. В. Зоріна, Є. О. Маврикін // Меліорація і водне господарство. – 2021. – № 2. – С. 55–68.

20. Кращі європейські практики управління відходами : посібник / А. Войціховська, О. Кравченко, О. Мелень-Забрамна, М. Панькевич. – Львів : Манускрипт, 2019. – 64 с.

21. Управління та поводження з відходами : підручник / [Т. П. Шаніна та ін.] / За ред. Т. А. Сафранова, М. О. Клименка. – Одеса, 2019. – 258 с.

22. Микітчак Г. Вторинні ресурси твердих побутових відходів. Львівська область: природні умови та ресурси : монографія / Г. Микітчак, І. Койнова / за заг. ред. д-ра геогр. наук, проф. М. М. Назарука. – Львів : Видавництво Старого Лева, 2018. – 546 с.

*Електронне навчальне видання*

**АЙРАПЕТЯН** Тамара Степанівна  
**ЕПОЯН** Степан Михайлович

## **ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ**

### **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
всіх форм навчання зі спеціальності  
194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)*

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*  
Редактор *М. О. Гаман*  
Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2022, поз. 231Л

---

Підп. до друку 01.02.2024. Формат 60 × 84/16.  
Ум. друк. арк. 6,7.

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.