

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

В. О. Юрченко,
О. Г. Мельнікова,
І. В. Калашніков

ДОСЛІДНИЦЬКО-ІННОВАЦІЙНА ДІЯЛЬНІСТЬ
У СФЕРІ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня
вищої освіти денної та заочної форм навчання
зі спеціальності 183 – Технології захисту
навколишнього середовища)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Юрченко В. О. Дослідницько-інноваційна діяльність у сфері технологій захисту навколишнього середовища : конспект лекцій для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища / В. О. Юрченко, О. Г. Мельнікова, І. В. Калашніков ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 60 с.

Автори:

д-р техн. наук, проф. В. О. Юрченко,
канд. техн. наук, доц. О. Г. Мельнікова,
д-р техн. наук, проф. І. В. Калашніков

Рецензент

А. С. Карагяур, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова).

Рекомендовано кафедрою інженерної екології міст, протокол № 14 від 29 грудня 2023 р.

© В. О. Юрченко, О. Г. Мельнікова,
І. В. Калашніков, 2024
© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ТЕМА 1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС – СУТЬ ВЗАЄМОДІЇ ЛЮДИНИ З ПРИРОДОЮ	5
1.1 Техніка	5
1.2 Технології	7
ТЕМА 2 НОВІТНІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ В ГАЛУЗІ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	9
2.1 Загальні властивості технологій захисту навколишнього середовища	9
2.2 Технології захисту атмосферного повітря	13
2.3 Технології захисту водних об'єктів від забруднення стічними водами	20
2.4 Технології захисту навколишнього середовища від забруднення органічними відходами	27
ТЕМА 3 ЕМПІРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У РОЗРОБЦІ БІОТЕХНОЛОГІЙ ГЛИБОКОЇ ОЧИСТКИ МІСЬКИХ СТІЧНИХ ВОД ВІД НІТРОГЕНУ ТА ФОСФОРУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПРИРОДНИХ ВОДОЙМ ВІД ЕВТРОФІКАЦІЇ	31
3.1 Експеримент	31
3.2 Лабораторний експеримент	32
3.3 Дослідно-промисловий експеримент	39
ТЕМА 4 ІННОВАЦІЙНА ДІЯЛЬНІСТЬ У СФЕРІ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	45
4.1 Ринок інновацій	45
4.2 Інновації в технологіях захисту атмосферного повітря від забруднення промисловими викидами	48
4.3 Інновації в технологіях захисту об'єктів гідросфери від забруднення стічними водами	52
4.4 Інновації в технологіях захисту навколишнього середовища від забруднення органічними відходами	56
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

ВСТУП

Конспект лекцій призначений для вивчення теоретичних і практичних засад у галузі досліджень, розрахунків, оцінки небезпеки й ризиків технологічних процесів та технічних систем, що використовуються для захисту навколишнього середовища, природокористування, модернізації існуючих технологій захисту довкілля та створення нових на високому технологічному рівні з урахування місцевих можливостей.

За змістом він дає основи знань та практичні навички з обґрунтування напрямів інноваційної діяльності у сфері технологій захисту атмосферного повітря, водних об'єктів та поводження з органічними відходами і може використовуватися для вивчення дисципліни «Дослідницько-інноваційна діяльність у сфері технологій захисту навколишнього середовища» аспірантами спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища.

Змістова частина конспекту лекцій побудована за окремими темами, які загалом охоплюють робочу програму курсу: поняття технологічного процесу, новітні напрями досліджень у галузі технологій захисту навколишнього середовища, емпіричні дослідження у розробці природозахисних технологій, інноваційна діяльність у сфері технологій захисту навколишнього середовища.

Основними завданнями конспекту лекцій є оволодіння аспірантами методами ефективного застосування в технологіях захисту навколишнього середовища інноваційних технічних та технологічних рішень, що підвищують надійність захисту природних середовищ, глибину вилучення забруднень із техногенних середовищ, які підлягають очищенню, економічні показники обробки й рівень її екологічної безпеки, а також зменшують енерговитрати та витрати природних ресурсів на основному виробництві. Усі розділи дисципліни мають відносно самостійне значення і можуть використовуватись при здійсненні професійної інноваційної діяльності в сфері захисту навколишнього середовища. За структурою дисципліна охоплює чотири окремих теми, які функціонально та логічно пов'язані. Кожна тема має назву і план, який у подальшому розкривається за окремими питаннями. Для розвитку та поглиблення завдань дисципліни передбачені сучасні літературні джерела, що саме присвячені інноваціям в галузі технологій захисту атмосферного повітря, водних об'єктів та поводження з органічними відходами.

ТЕМА 1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС – СУТЬ ВЗАЄМОДІЇ ЛЮДИНИ З ПРИРОДОЮ

Захист навколишнього середовища та зменшення негативного впливу на нього є пріоритетним напрямком розвитку сучасної держави. Україна відноситься до країн із значним техногенним навантаженням на довкілля. Покращення стану довкілля базується першою чергою на розвитку сучасних технологій захисту навколишнього середовища, дослідженні та оцінці впливів промислових виробництв на компоненти навколишнього середовища, дослідженні екологічних та техногенних наслідків забруднення об'єктів довкілля, обґрунтуванні та розробці оптимальних природоохоронних заходів із забезпечення екологічної безпеки. Необхідним є комплексний підхід до вивчення питань у галузі технології захисту навколишнього середовища, охорони навколишнього середовища та природокористування через теоретичне та практичне навчання, що передбачає застосування теорій та методів наук, пов'язаних з технологіями захисту, охороною довкілля та природокористуванням, які тісно пов'язані між собою.

1.1 Техніка

Поняття «техніка» є одним з найбільш древніх і широко використовується сьогодні. До недавнього часу воно застосовувалося для позначення деякої невизначеної діяльності або деякої сукупності матеріальних утворень.

Зміст поняття «техніка» історично трансформувалася, відображаючи розвиток способів виробництва і засобів праці. Первинне значення слова «мистецтво», «майстерність» – позначає саму діяльність, її якісний рівень. Утім, поняття «техніка» відображає певний спосіб виготовлення або обробки. У ремісничому виробництві індивідуальна майстерність змінюється сукупністю прийомів і методів, які передаються від покоління до покоління. І, нарешті, поняття «техніка» переноситься на виготовлені матеріальні об'єкти. Це відбувається в період розвитку машинного виробництва, і технікою називаються різні пристосування, які обслуговують виробництво, а також деякі продукти такого виробництва.

Техніка належить до групи штучно перетворених фрагментів природи, на відміну від природних об'єктів, які людина залучає у різні сфери життєдіяльності. Технічна діяльність на основі природних процесів створює нові неприродні утворення, що задовольняють потреби людини. Таким чином, технічними об'єктами є:

- а) матеріальні явища;
- б) штучні явища.

Поняття «технічний об'єкт» позначає таке технічне явище, що володіє всіма основними ознаками загального класу технічних утворень. Окремий технічний об'єкт є найбільш повною одиничною клітиною технічного світу (*техносфери*).

Таким чином, технічні об'єкти – це такі утворення, які, виконуючи функцію засобу людської діяльності, інтегрують у собі основні сторони діяльності людини (матеріальну, наукову, художню). Усі інші утворення існують відносно самостійно і утворюють суміжні явища, що становлять окремі частини цілого. До них можна віднести: явища духовного життя людини; твори мистецтва; використовувані незмінені природні форми; технічні системи, що мають штучну природу, але не виконують цілісної соціальної функції.

У процесі розвитку техніки штучні форми природи поступово витісняють природні форми, що використовувались раніше. Починаючи від найпростіших, людина послідовно створює штучні форми все більшої складності. Характер виникнення і розвитку штучних утворень істотно відрізняється від природних, оскільки розвиток техніки обумовлюється не природною еволюцією, а діяльністю людини.

Техніка виникла разом з виникненням людини (*Homo sapiens*) і тривалий час розвивалася незалежно від будь-якої науки. Сама наука довго не мала особливої дисциплінарної організації і не була орієнтована на свідоме застосування створюваних нею знань у технічній сфері. Рецептурно-технічне знання досить довго протиставлялося науковому знанню, питання про особливе науково-технічне знання не ставилося взагалі. «Наукове» і «технічне» належали, фактично, до різних культурних ареалів. У більш ранній період розвитку людської цивілізації і наукове, і технічне знання були органічно вплетені в релігійно-міфологічне сприйняття і ще не відділялися від практичної діяльності

Емпіричним матеріалом для дослідження питань типології технічних об'єктів можуть служити книги із загальних питань техніки або історії техніки, де авторам необхідно розглядати все різноманіття технічних об'єктів.

Найпоширеніша типологія областей використання техніки така:

- землеробство і зрошувальні споруди;
- відділене від землеробства ремесло;
- будівельна техніка;
- видобувна техніка;
- військова техніка;
- транспортна техніка;
- обслуговування окремих галузей природознавства;
- техніка медична, спортивна тощо.

1.2 Технології

Технологія – це багатогранне й широке поняття. Загальне визначення технології – спосіб перетворення речовини, енергії, інформації в процесі виготовлення продукції, обробки й переробки матеріалів, складання готових виробів, контролю якості, управління. Технологія включає методи, прийоми, режим роботи, послідовність операцій і процедур, вона тісно пов'язана з використовуваними засобами, устаткуванням, інструментами, матеріалами. На виробництві технологією або технологічним процесом часто називають безпосередньо операції видобутку, транспортування й переробки, що є основою виробничого процесу. Технічний контроль на виробництві теж є частиною технології. Таким чином, справедливо буде сказати, що технологія – це багатогранне й широке поняття.

Основними елементами будь-якого виробничого процесу є: засоби праці, предмети праці, праця людини. Технологічний процес включає стадії та операції. Стадія – частина процесу, яка включає виготовлення напівфабрикатів чи готової продукції. Операція – частина технологічної стадії, в якій дія на предмет праці відбувається в одному чи кількох апаратах (машинах), які обслуговують робітники чи бригада. Операції поділяються на основні (технологічні) та допоміжні.

Практична технологія – це відпрацьована досвідом сукупність процесів та операцій зі створення певного виду споживчої вартості. Така технологія може бути представлена, зображена, описана тощо.

Завдання діючої технології міняються від умов її функціонування. До основних завдань в галузі матеріального виробництва відносять: вишукування і реалізацію засобів інтенсифікації технологічних процесів; контроль технологічних засобів виробництва, зміна умов виробництва; підготовку виробництва до випуску нових товарів чи товарів поліпшеної якості.

Динамізм технології відображає виконання будь-яких процесів, рухів, дій, проміжні стани яких можна зобразити у вигляді умовних позначень, малюнків, схем, креслень, а повністю – за допомогою сучасних технічних засобів (телебачення або словесного опису). Це можуть бути виробничі процеси (як отримати хімічне волокно), фізіологічні, управлінські або інструктивні (як опрацювати інформацію і прийняти рішення), а також творчі (як отримати нові технології).

Щоб отримати результат своєї діяльності, людина має знати закони, за якими відбувається зміна предмета праці, і вміло користуватися ними (практична технологія). Раніше ці закони пізнавалася безпосередньо працею, набуттям досвіду, що передавалися з покоління в покоління. Така форма залишалася основною в окремих галузях мистецтва. У сфері ж матеріального виробництва ситуація різко змінилася.

Можна виділити низку способів впливу на предмети праці, що є загальними (базовими) для багатьох, на перший погляд, несхожих один на одного технологічних процесів: механічний (фізико-механічний), хімічний, біологічний, енергетичний.

З'єднання праці з її предметом і становить зміст технологічного процесу перетворення останнього в готову продукцію, суть взаємодії людини з природою. На виробництві технологією або технологічним процесом часто називають безпосередньо операції видобутку, транспортування й переробки, що є основою виробничого процесу. Технічний контроль на виробництві теж є частиною технології.

ТЕМА 2 НОВІТНІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ В ГАЛУЗІ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1 Загальні властивості технологій захисту навколишнього середовища

Основні технічні вирішення проблеми захисту довкілля полягають в удосконаленні технологічних процесів для максимального виключення викидів шкідливих речовин. Реальний шлях екологізації промислової технології – це поступовий перехід до маловідходних, а потім і безвідходних замкнених циклів, що дає можливість досягти раціонального природокористування й охорони довкілля.

Однак сучасний рівень розвитку техніки не дає можливості повністю позбавитися викидів, і тому якість довкілля визначається переважно ефективністю обладнання, що використовується в природоохоронних технологіях.

Забрудненням довкілля називається зміна якості навколишнього середовища, здатна викликати негативні наслідки. Вважається, що однакові агенти виявляють однакові негативні впливи незалежно від їх походження, тому пил, джерелом якого є природне явище (наприклад, пилові бурі), є такою самою забруднювальною речовиною, як і пил, що викидається промисловим підприємством, хоча останній може бути більш токсичним, зважаючи на його склад.

Забрудненням довкілля називається якісна зміна навколишнього середовища, здатна викликати негативні наслідки. Вважається, що однакові чинники впливають однаково негативно незалежно від походження, тому пил, джерелом якого є природне явище (наприклад, пилові бурі), є такою самою забруднювальною речовиною, як і пил, що викидається промисловим підприємством, хоча останній може бути більш токсичним, зважаючи на його склад.

Різні види забруднень довкілля можна класифікувати так:

1. Механічне – забруднення довкілля агентами, що виявляють лише механічний вплив без хіміко-фізичних наслідків.

2. Хімічне – зміна хімічних властивостей середовища, що негативно впливають на екосистеми та технологічні пристрої.

3. Фізичне – зміна фізичних параметрів середовища: температурно-енергетичних (теплове), хвильових (світлове, шумове, електромагнітне), радіаційних тощо. Наприклад, теплове забруднення відбувається здебільшого у зв'язку із промисловими викидами нагрітого повітря, газів, що відходять, і води; може виникати і як вторинний наслідок зміни хімічного складу середовища.

5. Біологічне – проникнення в екосистеми видів тварин і рослин, не властивих цим екосистемам.

5.1. Біотичне – поширення певних біогенних речовин на території, де вони раніше не спостерігалися.

5.2. Мікробіологічне:

– поява надзвичайно великої кількості мікроорганізмів, пов'язана з їх масовим розмноженням на антропогенних субстратах або в середовищах, змінених під час господарської діяльності людини;

– набуття раніше не шкідливою формою мікроорганізмів патогенних властивостей або здатності пригнічувати інші організми в угрупованнях.

Екологічні нормативи в галузі охорони довкілля встановлюють гранично допустимі викиди й скидання в навколишнє природне середовище забруднювальних хімічних речовин, рівні допустимого шкідливого впливу на нього фізичних і біологічних факторів. Для оцінювання забруднення довкілля використовуються нормативи.

Критеріями якості довкілля служать гранично допустимі концентрації, що є гігієнічними нормами. В Україні встановлені гігієнічні нормативи більш ніж для 1 800 речовин та їх комбінацій, причому всі ці речовини віднесені до одного із чотирьох класів небезпеки забруднювальних речовин (найнебезпечнішим є 1-й клас, найменш небезпечним – 4-й).

Будь-який природоохоронний процес складається з низки послідовних стадій, у яких речовини зазнають хімічних або фізичних перетворень. Причому технології захисту довкілля (очищення стічних вод, відхідних газів тощо) містять у собі однотипні процеси, що характеризуються загальними

закономірностями. Число елементарних процесів, що повторюються в різних комбінаціях у різних природоохоронних технологіях, становить не більше двадцяти. Такі процеси в різних виробництвах проводяться в аналогічних за принципом дії апаратах. Це дозволяє виявити аналогію й загальні закономірності для різних процесів та апаратів незалежно від технології, у якій вони використовуються.

В основу переважної кількості природоохоронних технологій покладені фізичні й хімічні перетворення. У фізичних процесах змінюються лише форма, розміри, агрегатний стан та інші фізичні властивості речовин. Їхня будова й хімічний склад зберігаються. Хімічні процеси змінюють фізичні властивості вихідної сировини та її хімічний склад.

Основні процеси природоохоронних технологій, залежно від кінетичних закономірностей їх перебігу, поділяються на класи:

- 1) гідромеханічні;
- 2) теплові;
- 3) масообмінні;
- 4) хімічні;
- 5) біохімічні;
- 6) механічні.

Гідромеханічні процеси – це процеси, швидкість яких визначається законами гідродинаміки. До них відносять осадження завислих у рідкому або газоподібному середовищі частинок під дією сили тяжіння, відцентрової сили або сил електричного поля, фільтрування рідин або газів через шар зернистого матеріалу під дією різниці тисків, перемішування в рідкому середовищі.

Теплові процеси – це процеси, швидкість яких визначається законами теплопередачі. До цієї групи входять процеси нагрівання, випаровування, охолодження та конденсації. Швидкість теплових процесів багато в чому залежить від гідродинамічних умов, за яких відбувається перенесення теплоти між тепловими середовищами.

Масообмінні (дифузійні) процеси. Швидкість цих процесів визначається швидкістю переходу речовин з однієї фази в іншу через поверхню поділу фаз, тобто законами масопередачі. До дифузійних процесів належать абсорбція,

адсорбція, ректифікація, екстракція з розчинів, розчинення й екстракція з пористих твердих тіл, кристалізація, сушіння, мембранне розділення сумішей.

Хімічні процеси пов'язані з перетворенням речовин і зміною їхніх хімічних властивостей. Швидкість цих процесів визначається закономірностями хімічної кінетики.

Біохімічні процеси, в основу яких покладені каталітичні ферментативні реакції біохімічного перетворення речовин у процесі життєдіяльності мікроорганізмів, характеризуються швидкістю перебігу біохімічних реакцій і синтезом речовин на рівні живої клітини. Рушійною силою цих процесів є енергетичний рівень (потенціал) живих організмів.

Механічні процеси використовуються здебільшого для підготовки твердої сировини та оброблення кінцевих твердих продуктів. До таких процесів відносять: здрібнювання, транспортування, сортування (класифікація). Швидкість цих процесів визначається законами фізики твердого тіла. Процеси захисту атмосфери, гідросфери, літосфери мають загальні закономірності. Той самий клас процесів може застосовуватися для очищення газових викидів, стічних вод, утилізації відходів. Наприклад, процеси осадження твердих частинок під дією сили тяжіння реалізуються у відстійниках для очищення стічних вод і пилових камерах для очищення газів, що відходять; процеси фільтрування застосовуються для очищення газів, що відходять, і стічних вод; хімічні процеси застосовуються для очищення газів, що відходять, від газоподібних домішок, стічних вод, утилізації відходів.

За способом організації процеси поділяються на періодичні й безперервні.

У періодичному процесі вихідні речовини завантажуються до апарата, а після їх оброблення з апарата вивантажуються кінцеві продукти. Після цього процес повторюється. Таким чином, під час проведення періодичного процесу всі його стадії проходять в одному апараті, але в різний час.

Безперервні процеси здійснюються в проточних апаратах або установці з декількох апаратів. Надходження сировини і розвантаження кінцевих продуктів відбуваються одночасно й безперервно. Таким чином, під час проведення безперервного процесу всі його стадії проходять одночасно, але в різних частинах апарата або установки.

2.2 Технології захисту атмосферного повітря

Загалом усі методи запобігання забрудненню атмосфери промисловими викидами можна поділити на дві великі групи:

- пасивні
- активні.

Пасивні пов'язані зі зменшенням концентрації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі без зміни їх абсолютних кількостей, що надходять в атмосферу. До таких методів відноситься розведення викиду атмосферним повітрям, що здійснюється, наприклад, шляхом будівництва більш високих труб, які відводять викиди. Існують труби, висота яких досягає 250 метрів. Також до цієї групи методів різні автори відносять і організацію санітарно-захисних зон підприємств, раціональне розміщення джерел викидів на території та вживання заходів, які дозволяють неорганізовані викиди зробити організованими.

Активні методи зниження забруднення атмосфери зменшують абсолютну кількість забруднювальних речовин, які надходять в атмосферу. До них відносять технологічні та інструментальні методи.

Технологічні методи зниження забруднення атмосфери – це:

- перехід виробництва на нову технологію, пов'язану з утворенням меншої кількості домішок, що попадають в атмосферу;
- перехід на менш ресурсо- і енергоємні технології;
- внесення змін у технологічний процес, які дозволяють зв'язувати забруднювальні речовини, що утворюються, чи перешкоджають їхньому утворенню.

До інструментальних методів зниження забруднення атмосфери відноситься обробка викиду в очисних спорудах.

Таким чином, основним напрямом охорони атмосферного повітря має бути розробка безвідхідних і маловідходних технологічних виробництв. Однак це – завдання стратегічне й розраховане на тривалий період. У теперішній час найпоширенішим методом вирішення цієї проблеми є розробка ефективних очисних установок для вловлювання й переробки газоподібних, рідких і твердих забруднювальних речовин.

Однак згідно з прийнятою Україною концепцією сталого розвитку країни пріоритет необхідно віддавати все ж таки активним методам захисту повітря від забруднення.

Технологія пиловловлення з урахуванням її завдань і цілей включає п'ять стадій:

- 1) відведення викиду від джерела виділення;
- 2) підготовка викиду до очищення;
- 3) осадження зважених частинок (власне пиловловлення);
- 4) вивантаження і транспортування уловленого пилу і шламів;
- 5) утилізація чи поховання уловленого пилу і шламів.

На першій стадії (відведення викиду) зазвичай визначають кількість домішок, що викидаються в атмосферу, що впливає на витрати з очищення викиду. Якщо відведення викиду організоване ефективно, тобто вдалося локалізувати викид, то витрати на очищення, як правило, будуть меншими. Якщо відведення проводиться неефективно, викиди, розведені повітрям, надходять на очищення в більшій кількості, тому для їхнього очищення необхідні апарати більшого обсягу і витрати будуть вищі.

На другій стадії відбувається:

- попереднє охолодження викиду;
- об'єднання викидів від групи устаткування;
- попереднє очищення в найпростіших пиловловлювачах з метою забезпечення оптимальних умов для застосування апаратів тонкого очищення.

На третій стадії встановлюють:

- доцільний механізм осадження частинок;
- вид газоочисного устаткування і параметри його роботи для забезпечення необхідного ступеня очищення.

Від наявності і правильності прийняття рішень щодо четвертої і п'ятої стадій залежать ступінь очищення і виключення вторинного забруднення середовища, що можливо як при вивантаженні сухого пилу з апаратів, так і при відсутності рішень з транспортування і використання уловленого пилу. При застосуванні мокрих методів очищення промислових викидів та відсутності

рішень з транспортування і очищення стічних вод, що утворюються, може спостерігатися вторинне забруднення середовища.

Для кожного технологічного процесу важливо вибрати оптимальне рішення із застосування газоочисного устаткування, тому вибір базується на досить складному та детальному аналізі конкретної ситуації. Досить корисно для остаточного прийняття рішення враховувати існуючу класифікацію систем очищення. Найбільш поширеною є класифікація систем очищення викидів, яка групує газоочисне устаткування за такими рівнями:

- речовини, що уловлюються;
- устаткування (спосіб очищення);
- ступінь впливу на основне виробництво;
- режими експлуатації.

У першому рівні класифікації передбачає:

- видалення гетерогенних домішок;
- видалення гомогенних домішок.

У другому рівні класифікації виділяють варіанти конструкції газоочисного устаткування. Залежно від видів ресурсів виділяють для розгляду варіанти з використанням води, лужних розчинів, органічних сполук, твердих матеріалів.

У третьому рівні класифікації газоочисне устаткування підрозділяють залежно від:

- кількості викидів від основного виробництва (продуктивність основного устаткування);
- концентрації забруднювальних речовин у технологічних газах та наявності гетерогенних домішок у газовому потоці;
- способів транспортування, утилізації і видалення матеріалів, що утворилися в результаті очищення;
- можливості використання очищених газів в основному виробництві;
- витрат, що виникають в основному виробництві у зв'язку з використанням процесу очищення.

Четвертий рівень класифікації базується на варіантах режиму експлуатації очисного устаткування, таких як, наприклад:

- швидкість газового потоку;
- швидкість потоку рідини;
- напрямок газового потоку;
- напрямок потоку рідини;
- розмір і тип насадки (сідла, тарілки, кільця);
- величина гідравлічного опору.

Своєю чергою спосіб очищення пило-газового потоку визначається наступними групами факторів:

- необхідними ресурсами;
- параметрами вхідного потоку;
- параметрами вихідного потоку;
- впливом процедури очистки на основний виробничий процес;
- варіантом використання очищеного потоку;
- видом газоочисного устаткування.

Класифікація методів й апаратів для знешкодження газових викидів від різних домішок наведена на рисунку 2.1. Ця класифікація є досить загальною. Вона не охоплює всіх існуючих методів і, тим більше, апаратів для очищення промислових газів, однак дозволить розглянути основні та найбільш поширені.

Для уловлювання аерозолів (пилів і туманів) використовують сухі, мокрі і електричні методи. Крім того, апарати відрізняються один від одного як за конструкцією, так і за принципом осадження завислих частинок.

Принцип роботи апаратів, які уловлюють пил у сухому вигляді, базується на використанні різних механізмів осадження: гравітаційний, інерційний, відцентровий, фільтраційний.

У мокрих пиловловлювачах здійснюється контакт запилених газів з рідиною. При цьому осадження відбувається:

- на краплі;
- на поверхню газових міхурів;
- на плівку рідини.

В електрофільтрах відділення заряджених частинок аерозолію відбувається на осаджувальних електродах.



Рисунок 2.1 – Класифікація методів та устаткування очистки промислових викидів

Вибір методу і апарату для уловлювання аерозолів першою чергою залежить від їхнього дисперсного складу. Рекомендують вибирати газоочисні апарати, враховуючи розміри частинок пилу (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Рекомендований перелік газоочисного устаткування з урахуванням дисперсного складу пилу

Розмір частинок, мкм	Апарати
40–1 000	Пилоосаджувальні камери
20–1 000	Циклони діаметром 1–2 м
5–1 000	Циклони діаметром 1 м
20–100	Скрубери
0,9–100	Тканинні фільтри
0,05–100	Волокнисті фільтри
0,01–10	Електрофільтри

Для знешкодження газів, що відходять, від газоподібних та пароподібних токсичних речовин застосовують наступні методи:

- абсорбції (фізичної чи хемосорбції);
- адсорбції;
- каталітичні;
- термічні;
- конденсації чи компримірування.

Абсорбційні методи очищення газів, що відходять, підрозділяють за наступними ознаками:

- за абсорбованим компонентом;
- за типом застосованого абсорбенту;
- за характером процесу (з циркуляцією і без циркуляції газу);
- за способом використання абсорбенту (з регенерацією та поверненням його в цикл (циклічні) або без регенерації (нециклічні));
- за використанням компонентів, що вловлюють домішки (з рекуперацією і без рекуперації);
- за типом рекуперованого продукту;

– за способом організації процесу очистки (періодичний чи безперервний);

– залежно від конструктивних типів абсорбційних апаратів.

Адсорбційні методи очищення газів використовують для видалення з них газоподібних і пароподібних домішок. Методи засновані на поглинанні домішок пористими тілами-адсорбентами. Процеси очищення проводять у періодичних або безперервних адсорберах. Достоїнством методів є високий ступінь очищення, а недоліком – неможливість очищення запилених газів.

Каталітичні методи очищення базуються на хімічних перетвореннях токсичних компонентів на нетоксичні на поверхні твердих каталізаторів. Очищенню піддаються гази, що не містять пилу й каталізаторних отрут. Методи використовуються для очищення газів від оксидів азоту, сірки, вуглецю і від органічних домішок. Їх проводять у реакторах різної конструкції.

У рекупераційній техніці поряд з іншими методами для вловлювання випарів летючих розчинників використовують методи конденсації і компримірування.

В основі методу конденсації лежить явище зменшення тиску насиченої пари розчинника при зниженні температури. Суміш пари розчинника з повітрям попередньо охолоджують у теплообміннику, а потім конденсують. Термічні методи (методи прямого спалювання) застосовують для знешкодження газів від токсичних, а також домішок з неприємним запахом, які легко окислюються. Методи засновані на спалюванні горючих домішок у топках печей або смолоскипових пальників. Перевагою методу є простота апаратури та універсальність використання. Недоліками вважається додаткова витрата палива при спалюванні низькоконцентрованих газів, а також необхідність додаткового абсорбційного або адсорбційного очищення газів після спалювання.

Слід зазначити, що складний хімічний склад викидів і високі концентрації токсичних компонентів заздалегідь визначають багатоступінчасті схеми очищення, що становлять комбінацію різних методів захисту навколишнього середовища

2.3 Технології захисту водних об'єктів від забруднення стічними водами

Стічні води поділяють на господарсько-побутові, виробничі й зливові. Міські стічні води – це суміш усіх типів стічних вод, що утворюються в населеному пункті, і тих, що відводяться міською каналізаційною мережею на загальноміські очисні споруди. Зливові води – найменш забруднена частина стічних вод, вони утворюються в період дощів і танення снігу й містять забруднення, що змиваються з території населеного пункту. Склад виробничих стічних вод відрізняється надзвичайною розмаїтістю. Кількісна та якісна характеристики стічних вод є відправним пунктом при вирішенні питань їх очистки, повторного використання, випуску у водойми й низки інших.

Основними методами обробки виробничих стічних вод є: усереднення концентрацій, механічні методи (затримання нерозчинних великих домішок на ситах, решітках, фільтрах, відстоювання, флотація), фізико-хімічні методи (кристалізація, випаровування, евапорація, екстракція; іонний обмін, сорбція, аерація), хімічні методи (нейтралізація, коагуляція) і біологічні методи.

Усереднення стічних вод

Виробничі стічні води нерідко можуть різко змінюватися за своїм складом, кількістю та температурою. У низці випадків великі концентрації забруднень стічних вод виявляються токсичними для водойми або руйнівно діють на труби каналізаційної мережі, у той час як низькі концентрації цих забруднень є нешкідливими для водойм і безпечними для мережі. Усереднення концентрації таких забруднень дозволяє поліпшити процес очистки, а в окремих випадках навіть обійтися без спеціальних споруд для очистки стічних вод. Вирівнювання складу стічних вод проводиться в спеціальних спорудах – усереднювачах (ставки-усереднювачі і резервуари-усереднювачі), де відбувається змішування виробничих стоків з різними концентраціями забруднень.

Ефективність перемішування в ставках-усереднювачах, які, здебільшого, мають відносно велику ємність, недостатньо висока і залежить від природних умов (струйність потоку води, вітрові течії, дощ, зміна температури тощо).

Усереднення стічних вод у резервуарах-усереднювачах (зазвичай невеликої ємності) відбувається за рахунок примусового перемішування стоків, що надходять, із вмістом резервуара. Це досягається шляхом влаштування системи перегородок, які збільшують струйність потоку, барботування повітря або установки механічних мішалок.

Механічні методи очистки

Решітки, пісковловлювачі, сита. Ці споруди виконують попередню очистку стічних вод. Решітки призначені для затримування найбільш великих, плаваючих часток (обрізки дерева, ганчірки), які можуть перешкодити відділенню та обробці осадів, ускладнити перекачування стоків тощо. Пісковловлювачі передбачаються при продуктивності очисних споруд більше 100 м³/добу для звільнення води від важкої мінеральної суспензії кварцового або шліфувального піску, попелу, наждаку. Пісковловлювачі відокремлюють пісок і гравій від більш легких осадів. Це необхідно через те, що пісок забиває насоси і трубопроводи, загальну масу органічного осаду мінеральним баластом, перешкоджає видаленню мулу з відстійників, легко злежується у камерах перегнивання на щільну масу. Роль сит зводиться до відокремлення від стічних вод дрібних завислих речовин, які можуть бути повторно використані.

Фільтри служать в основному для відділення високодисперсних нерозчинних забруднень. Основною сферою їх застосування є виділення волокнистих матеріалів із стічних вод текстильної та целюлозно-паперової промисловості. Фільтри працюють за принципом сітчастих барабанів, їх робоче полотно складається з нескінченної повстяної стрічки, що розташована в барабані і рухається разом з ним.

Застосовуються також фільтри з коксу, кварцового піску, шламів деревної мочалки тощо, а також з металевих сіток і різних тканин. Вони придатні для обробки невеликих кількостей стоків і встановлюються зазвичай після відстійників; іноді застосовуються для очистки стічних вод, що містять жир, смоли та олії.

Відстійники. У грубосуспендованому та емульгованому стані в стічних водах містяться найрізноманітніші речовини (вугільний пил, окалина, волокна

деревини, жири тощо). Відповідно до питомої ваги їх можна розділити на дві групи: спливаючі речовини, питома вага яких менша за одиницю, і ті, що тонуть, питома вага яких більша за одиницю. Видалення першої групи речовин проводиться в нафтовловлювачах, жировловлювачах, масловіддільниках тощо. Речовини, які відносяться до другої групи, виділяються зі стічної рідини в результаті осадження у відстійниках.

Фізичні методи очистки

Кристалізація здійснюється в кристалізаторах періодичної дії з природним і штучним охолодженням, у кристалізаторах безперервної дії і у випарниках. Найбільш простий метод кристалізації полягає у випаровуванні стічних вод у відкритих резервуарах. Однак через тривалість процесу і великі площі резервуарів більш перспективними є методи простого випаровування (при атмосферному тиску) або випаровування під вакуумом. Ці процеси забезпечують збільшення концентрації солей у стічних водах, що дозволяє прискорити подальшу кристалізацію.

Евапорація здійснюється або в апаратах періодичної дії, або в безперервно діючих скруберах (евапораційних установках). Стічна рідина протікає через конус з насадкою назустріч гострому пару, нагріваючись до 100 °С, при цьому її леткі домішки частково переходять у парову фазу, розподіляючись між водою і паром відповідно до рівняння:

$$K = \frac{C_n}{C_e}, \quad (2.1)$$

де K – коефіцієнт розподілу;

C_n – концентрація речовини в парі, г/дм³ конденсату;

C_e – концентрація речовини у воді в момент рівноваги, г/дм³.

Величина коефіцієнта розподілу речовини між паровою та рідкою фазами залежить від виду речовини, що видаляється, та її концентрації у стічній рідині, причому при широких змінах концентрацій величина K коливається значною мірою. Однак у тих вузьких межах, з якими доводиться мати справу при очистці стоків, K є досить постійним.

Екстракція. Екстракційний метод очистки полягає в обробці стоків яким-небудь розчинником, що практично не змішується з водою (екстрагентом), у якому домішки, що підлягають видаленню, досить добре розчиняються. Метод заснований на законі розподілу, згідно з яким речовина, що міститься в системі, утвореній двома рідкими фазами, у кожній з яких вона розчинна, при сталій рівновазі так розподіляється між фазами, що відношення її концентрацій у них:

$$K = \frac{C_e}{C_v}, \quad (2.2)$$

де K – коефіцієнт розподілу, характерний для кожної розчиненої речовини,

C_e і C_v – концентрації розчиненої речовини в розчиннику i у воді в момент рівноваги.

Домішки, що видаляються в результаті екстракційної очистки, як правило є органічними речовинами (анілін, фенол, оцтова кислота тощо), оскільки в основному лише вони краще розчиняються у використувуваних екстрагентах, ніж у воді. Екстрагування мінеральних домішок стічних вод здійснюється в порівняно рідкісних випадках.

За відношенням до домішок стічних вод екстрагенти розділені на дві групи. Одна група витягує переважно одну речовину або речовини одного класу, інша – більшість домішок певних стічних вод.

Окиснення киснем повітря домішок стічних вод протікає специфічно для різних речовин і залежить від їх концентрації, середовища, температури тощо, тому для встановлення оптимальних параметрів процесу необхідно проводити пробне аерування зразка стічної рідини.

Процес дегазації стічних вод підпорядкований тим самим закономірностям, що і дегація природної води, яка використовується для питних та технічних цілей. Однак у стічних водах, які є значно більш складними системами, ніж природні води, процес дегазації може ускладнюватися низкою факторів, найбільш важливими серед яких є наявність поверхневих плівок (нафтових, олійних тощо) і домішок, що адсорбують гази.

Сорбція. При сорбційній очистці промислових стічних вод розрізняють сорбцію в статичних умовах, що здійснюється введенням подрібненого

сорбенту в стічну рідину з наступним перемішуванням, і сорбцію в динамічних умовах, що здійснюється фільтруванням води через шар сорбенту. Як сорбуючий матеріал застосовують активоване вугілля, торф, каолін, коксовий дріб'язок, тирсу, попіл тощо. Суттєвою особливістю сорбції є те, що цей процес зворотний – адсорбована речовина може переходити назад у розчин, на чому заснована регенерація сорбенту, тобто відновлення його сорбційних властивостей.

Хімічні методи очистки

Нейтралізація є досить важливим способом загального процесу регулювання величини рН. Мета її полягає в доведенні реакції стічної рідини до нейтральної (рН = 7). Для нейтралізації кислих вод використовують як розчинні, так і важкорозчинні у воді реагенти.

До перших належать вапно, їдкий натр, сода; до других – окис і гідроокис магнію, карбонати кальцію, магнію. Процес нейтралізації стічних вод може проводитися в статичних (придатні всі зазначені реагенти) і в динамічних (придатні тільки важкорозчинні реагенти) умовах. У першому випадку нейтралізація здійснюється шляхом перемішування реагенту зі стоком, у другому фільтруванням стічних вод через нейтралізуючі матеріали.

Коагулювання. У практиці обробки стічних вод коагулюванням застосовується для прискорення процесу видалення колоїднорозчинених домішок або для видалення високодисперсних суспендованих домішок, видалення яких з води за допомогою відстоювання або фільтрування неефективно. Як активатор процесу коагуляції можна застосовувати флокулянти – активну кремнекислоту, поліакриламід тощо.

Біологічні методи очистки

Біологічні процеси застосовуються переважно при очистці стічних вод. Біологічним шляхом за участю мікроорганізмів переробляються забруднення, що містяться у воді в розчиненому, колоїдному і нерозчинному стані. Крім органічних речовин переробці піддаються деякі неокиснені неорганічні сполуки, такі як сірководень, аміак, нітрити.

У широкому наборі споруд біологічної очистки використано більшість відомих метаболічних процесів, властивих мікроорганізмам. Існують споруди, у яких біоценози розвиваються в аеробних або анаеробних умовах, у мезофільних або термофільних режимах. Біоценози можуть бути представлені переважно гетеротрофними або автотрофними мікроорганізмами.

Будь-яка споруда для біологічної обробки тих чи інших субстратів є своєрідною екологічною системою, яка характеризується певними умовами та сформованим в цих умовах шляхом автоселекції біоценозом. Від природних екосистем, прикладами яких можуть служити водойми або їх ділянки, штучні екосистеми очисних споруд відрізняє висока щільність біонаселення, висока концентрація поживних речовин, високий масообмін, можливість підтримки в них оптимальних умов для життєдіяльності організмів біоценозу. Усі ці особливості штучних екосистем у сукупності дозволяють домогтися високої інтенсивності біохімічних процесів в очисних спорудах. У той же час за своєю суттю процеси біологічного окиснення в природних умовах і в очисних спорудах аналогічні.

Очистку стічної води в аеробних умовах здійснюють у спорудах двох основних модифікацій: в аеротенках з активною біомасою (активний мул), завислою у воді, або в біофільтрах, де активна біомаса (біоплівка) іммобілізована на зернах інертного завантаження.

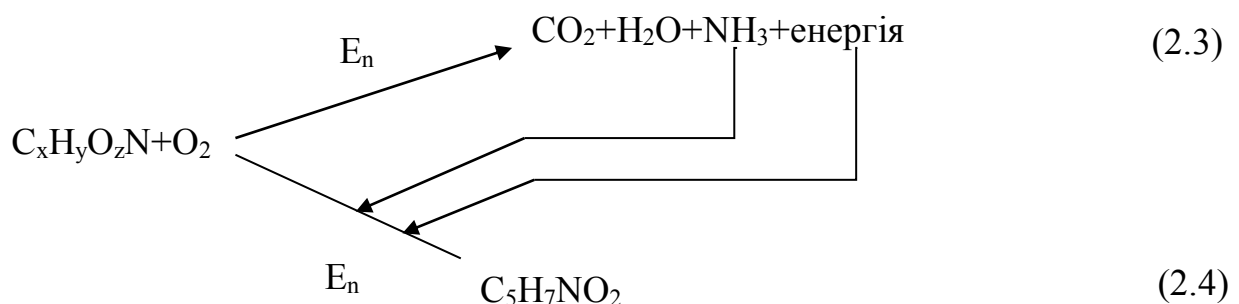
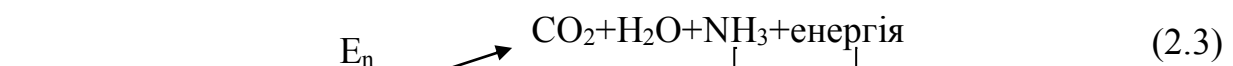
Активний мул – автофлокулююча біомаса бактерій, актиноміцетів, грибів та найпростіших, у якій домінують капсульні, грамнегативні, паличкоподібні, монотріхальні бактерії *Zoogloea ramigera*, а найчастіше бактерії роду *Pseudomonas*. Крім них, мул населяють представники родів *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Corynebacterium*, *Micrococcus*, *Nocardia*, *Sarcina*, *Mycobacterium* і багатьох інших, а також *Actinomyces*, гриби родів *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma*. Широко представлені в активному мулі найпростіші джгутикові (*Mastigophora*), саркодові (*Sarcodina*), війчасті (*Ciliata*) і сисні (*Suctoria*) інфузорії (*Infusoria*).

Найпростіших, нематод, коловерток, ракоподібних та інших безхребетних тварин традиційно розглядають як «супутні організми», які в кращому разі є показниками хорошої роботи системи очистки. Склад мікрофлори і мікрофауни

мулів і біоплівки формується залежно від екологічних умов, основними з яких є склад стічних вод, що обробляються, рівень розчиненого кисню, температура, рН, співвідношення кількості їжі та мікроорганізмів, наявність токсичних речовин тощо. Основну роль у процесах окиснення органічних і деяких неорганічних домішок стічних вод відіграють бактерії. Загальна кількість їх в активному мулі досягає 10^8 – 10^{14} клітин на 1 г сухої речовини.

Роль найпростіших багатопланова. За чисельністю найпростіших і їхнім станом, який визначається за зовнішнім виглядом, можна судити про умови роботи очисної споруди і намічати заходи оперативного управління процесом. У мулі аеротенка, який добре працює, зазвичай знаходять 10–15 видів найпростіших, досить рівномірно представлених або з незначним переважанням 1–2 видів. При морфологічній оцінці якості пластівчастого мулу необхідно враховувати наявність популяцій нитчастих бактерій.

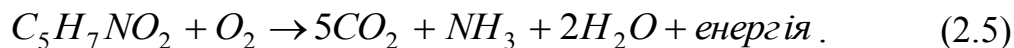
Для гетеротрофних бактерій активного мулу забруднення стічних вод одночасно служить джерелом і енергії, і основних біогенних елементів для синтезу клітинної речовини. Частина забруднень, що споживається в енергетичному обміні, окислюється бактеріями повністю в процесі аеробного дихання. Якщо суму органічних забруднень стічних вод позначити через $C_xH_yO_zN$, то процес очистки від цих забруднень можна представити наступними умовними реакціями:



Частина забруднень, яка споживається в енергетичному обміні (2.3), окиснюється бактеріями повністю в процесі аеробного дихання. Умовна

формула $C_5H_7NO_2$ (2.4) показує співвідношення елементів у біомасі активного мулу.

Коли основна частина поживних речовин стічної води використана, починається самоокиснення активного мулу:



До цього моменту в середовищі створюються сприятливі умови для розвитку автотрофних бактерій-нітрифікаторів, які окиснюють амонійний азот за реакціями (2.6) і (2.7):



Знову синтезована біомаса або приріст мулу (2.4) видаляється із системи для подальшої обробки. Ця частина активного мулу називається надлишковим мулом.

Для нормальної життєдіяльності активного мулу необхідна достатня кількість біогенних елементів азоту і фосфору. У технології очистки міських стічних вод анаеробне окиснення застосовують здебільшого до концентрованих субстратів. На станції біологічної очистки до їх числа відносять сирий осад, що утворюється при попередньому (перед біологічною очисткою) відстоюванні стічної води, і надмірний активний мул, або біоплівка. Осад і активний мул відносяться до групи гідрофільних органічних субстратів, які легко загнивають і тому підлягають обробці.

2.4 Технології захисту навколишнього середовища від забруднення органічними відходами

На сьогодні застосовують біологічні, термічні, хімічні, механічні та змішані методи утилізації органічних відходів. Органічні відходи, що складаються переважно з води, протеїну, жиру, вуглеводів та мінеральних

речовин, здатні розщеплюватись до первинних складових під дією мікроорганізмів. З огляду на необхідність забезпечення екологічної та енергетичної безпеки держави особливо актуальним є вивчення перспектив біологічної переробки органічних відходів із отриманням корисних продуктів – компосту та біогазу (метану).

Найбільшу кількість відходів генерують жителі Америки, переважно США, причому більша частина відходів тут як і раніше вивозиться на полігони (60%). Рециклінг і компостування відходів найбільш розвинене в країнах Європи (38%). Термічне оброблення відходів використовується в країнах Азії і Тихоокеанського регіону (48%), а також в Європі, до того ж більше ніж 90% відходів, що спалюються, використовуються для отримання енергії.

Переробка органічної сировини на метан (енергетична цінність якого становить 50 МДж/кг) відбувається в чотири етапи у процесі метаболізму та складних взаємодій у змішаних популяціях консорціуму бактерій (рис. 2.2).

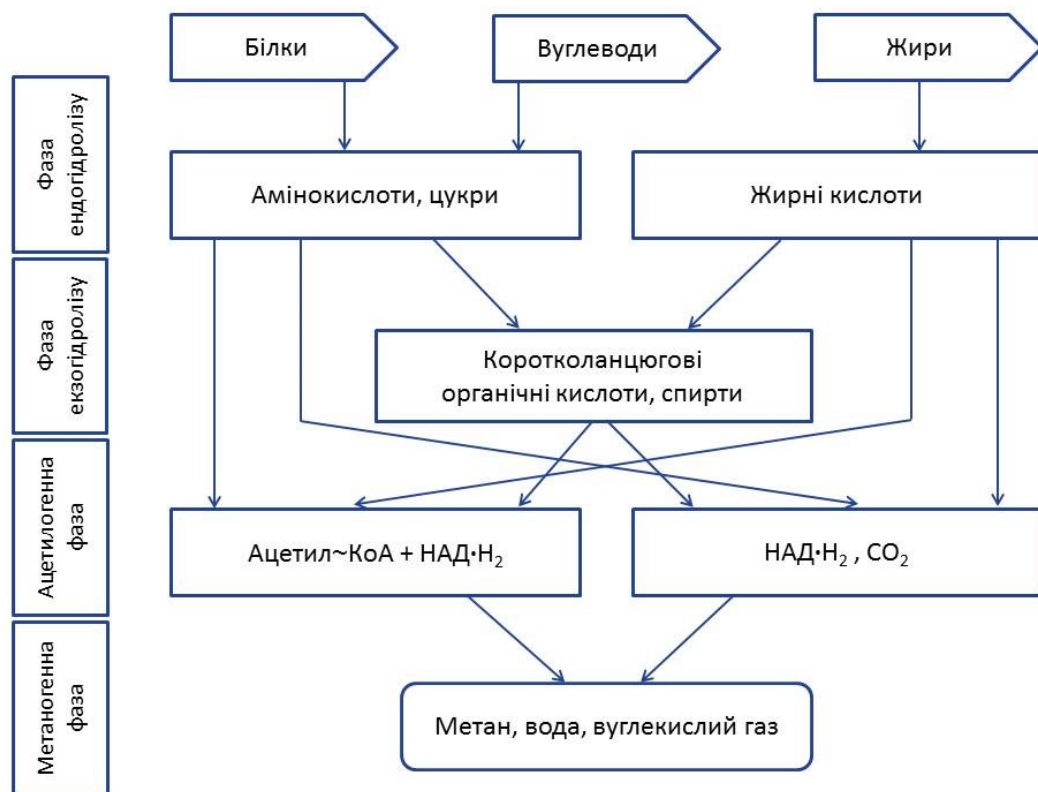


Рисунок 2.2 – Схема анаеробної переробки органічних відходів

У процесі розщеплення органічної речовини продукти метаболізму кожної групи бактерій виступають живильними субстратом для бактерій наступного етапу розкладання. Останній етап, а саме генерацію метану, здійснюють мікроорганізми (відомі під загальною назвою метаногени), що належать до групи археїв.

Розщеплення органічних речовин на складові аж до перетворення на метан може відбуватись лише у водному середовищі. Таким чином, для зброджування твердих субстратів необхідне додавання води.

Сучасні біогазові установки розділяють на два види за технологією підготовки і бродіння сировини: рідкофазна технологія (вологість зброджуваної органічної маси більша за 85 %) і твердофазна (вологість органічної маси менша за 85 %). Твердофазне бродіння становить серію послідовних операцій. Вихідну сировину (наприклад біологічні відходи, гній, шлам, жири або зелену масу) поміщають у герметично закритий ферментер і, як правило, нагрівають та перемішують. При цьому внаслідок анаеробних процесів утворюється біогаз. Застосування рідкофазних технологічних процесів є більш поширеним у практиці використання біогазових установок. Цей процес полягає у безперервному введенні невеликими порціями вхідної сировини в метантенк, який становить місткість-змішувач без доступу повітря, де підтримується задана вологість і температура.

Поетапне розщеплення органічної речовини відбувається нерівномірно, адже різні групи бактерій працюють з різною швидкістю. Швидше за всіх працюють кислотоутворювальні бактерії, що розщеплюють органічні субстрати протягом часу від декількох годин до 2 діб. В ідеальному випадку між етапами розщеплення встановлюється динамічна рівновага в концентрації речовин, а саме між подачею живильних речовин та їх розщепленням.

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

Сприяння контакту анаеробних бактерій із органічним субстратом забезпечується за рахунок перемішування субстрату, однак при цьому інтенсивного перемішування слід уникати, оскільки це може призвести до появи кисню в середовищі та припинення анаеробного зброджування за рахунок порушення симбіозу облігатно анаеробних ацетогенних та метаногенних бактерій. За відсутності перемішування біомаси в реакторі через деякий час спостерігається розділення біомаси з утворенням шарів за рахунок різниці в щільності окремих мінеральних та органічних компонентів, а також за рахунок флотації частинок при газовиділенні. При цьому більша частина біомаси анаеробних бактерій міститься в нижній частині реактора, а органічна частина біомаси субстрату накопичується у верхній частині реактора. Наслідком цього є те, що зона контакту анаеробних бактерій із біомасою субстрату обмежена пограничним шаром вказаних частин реактора. Плаваюча кірка з твердих органічних речовин також блокує вихід біогазу. На практиці компроміс досягається за рахунок повільного обертання мішалок або їх роботи упродовж короткого часу.

ТЕМА 3 ЕМПІРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У РОЗРОБЦІ БІОТЕХНОЛОГІЙ ГЛИБОКОЇ ОЧИСТКИ МІСЬКИХ СТІЧНИХ ВОД ВІД НІТРОГЕНУ ТА ФОСФОРУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПРИРОДНИХ ВОДОЙМ ВІД ЕВТРОФІКАЦІЇ

3.1 Експеримент

Найбільш важливою складовою частиною наукового дослідження є *експеримент* (лат. «*experimentum*» – «проба», «дослід») – метод емпіричного дослідження, що базується на активному та цілеспрямованому втручанні суб'єкта у процес наукового пізнання явищ та предметів реальної дійсності шляхом створення умов, які контролюються, управляються та дозволяють встановлювати визначені якості і закономірні зв'язки в об'єкті, що досліджується, та багатократно їх відтворювати.

Основною метою експерименту є виявлення властивостей досліджуваних об'єктів, підтвердження наукових гіпотез і на цій основі більш широке та поглиблене вивчення теми наукового дослідження.

Технологічний експеримент спрямований на вивчення елементів технологічного процесу (продукції, обладнання, діяльності робітників тощо) або процесу загалом.

За організацією проведення експерименту їх можна поділити на лабораторні, натурні, польові, виробничі, відкриті або закриті тощо.

Лабораторні експерименти проводять з використанням типових приладів, спеціальних моделюючих установок, стендів, обладнання тощо.

Виробничий експеримент проводиться у виробничих умовах на реальних виробничих об'єктах із залученням відповідних масштабів реагуючих речовин, енергії, працезатрат тощо.

Експеримент включає такі основні етапи:

- 1) розроблення плану – програми експерименту;
- 2) оцінку вимірювання та вибір засобів для проведення експерименту;
- 3) проведення експерименту;
- 4) обробку та аналіз експериментальних даних.

3.2 Лабораторний експеримент

У лабораторній установці для обробки стічних вод, що надходять на МОС № 1 м. Харкова, було реалізовано відому технологічну схему А/О для глибокого видалення сполук азоту зі стічних вод. У ході досліджень кількісно визначали здатність активного мулу до біологічного видалення сполук азоту та фосфору при очищенні стічних вод, що надходять на МОС № 1 м. Харкова «Диканевський».

Дослідження основних положень моделювання для подальшої розробки проекту реконструкції споруд проводили в лабораторній пілотній установці біологічної очистки, яка за принципом дії є реактором послідовно-періодичної дії. За допомогою розробленої методики розрахунку для складу стічних вод, що надходять на МОС № 1, було встановлено основні параметри процесу очищення стічної води: обсяг зони перемішування мулової суміші – 30 % від загального обсягу аеротенків; час обробки стічних вод – 10–12 год; розрахунковий вік мулу – 20 діб. Виконували 2 серії експериментальних досліджень з часом утримання стічної води в системі 24 та 12 год.

У кожній серії досліджень відпрацьовували два режими очищення стічних вод: з використанням первинного відстоювання перед подачею на біологічне очищення і без первинного відстоювання. У кожній серії експериментальних робіт паралельно працювали дві лабораторні установки. У першу установку подавали неосвітлену стічну рідину (до первинних відстійників), а в другу – подавали освітлені стічні рідини (після первинних відстійників) (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Технологічні параметри процесу з різним часом утримання стічних вод в установках

Параметри	Експеримент № 1	Експеримент № 2
Розрахунковий час обробки, год	24	12
Механічне перемішування, год	6	3
Аерація, год	17	8
Відбір мулової суміші та відстоювання, ч	1	1
Розрахунковий вік мулу, доба	20	20

В експерименті № 1 в лабораторній установці поміщали активний мул з діючих аеротенків комплексу КБОД і досліджувану стічну рідину (без відстоювання – у першу установку, після відстоювання – у другу установку). Потім проводили перемішування мулової суміші протягом 6 годин, після яких перемикали на режим аерації. Аерацію мулової суміші здійснювали протягом 17 годин, після чого обидві установки переводили в режим відстоювання на 1 год, цикл роботи установок повторювали. Таким чином, цикл установок становив 24 год та імітував час перебування стічної води в системі аеротенк-вторинний відстійник 24 год.

В експерименті № 2 в лабораторній установці поміщали активний мул з діючих аеротенків комплексу КБОД та досліджувану стічну рідину (без відстоювання – у першу установку, після відстоювання – у другу установку). Потім проводили перемішування мулової суміші протягом 3 годин, після яких перемикали на режим аерації. Аерацію мулової суміші здійснювали протягом 8 год, після чого обидві установки переводили в режим відстоювання на 1 год. Після відстоювання рідину, що утворилася над мулом, зливали шляхом декантації до необхідного рівня й аналізували, а до осілого мулу додавали свіжу порцію стічних вод, цикл роботи установок повторювали. Таким чином, цикл установок становив 12 год й імітував час перебування стічної води в системі аеротенк-вторинний відстійник (12 год).

Надлишковий активний мул видаляли з кожної установки 1 раз на добу в кількості 1/20 частини загального обсягу мулу в системі. У такий спосіб досягався розрахунковий вік мулу 20 діб після виведення системи у рівноважний стан. У рівноважному стані в системі встановлювалася доза мулу, що відповідає рівноважній концентрації, при якій кількість мулу, що відбирається, буде відповідати фактичному приросту активного мулу.

У вихідній та відстояній стічній воді визначали:

- температуру;
- рН;
- концентрацію розчиненого кисню (DO) (тільки в стічній воді);
- ХСК, БСК_{повн}, БСК₅ фільтрованої та нефільтрованої води;
- концентрація завислих речовин, їх зольність (тільки в стічній воді);

- групу нітрогену (нітроген К’ельдаля, амонійний нітроген, нітроген нітритів і нітратів);
- групу фосфору (загальний фосфор, фосфор фосфатів);
- лужність;
- концентрацію летких жирних кислот (ЛЖК) (тільки в стічній воді);
- ферум.

У зворотному мулі та муловій суміші після проведення експерименту визначали: дозу мулу за масою, дозу мулу за обсягом, зольність мулу, муловий індекс.

Аналіз стічної рідини та активного мулу виконували за методиками, що рекомендуються нормативними документами України, а також спеціальною науково-технічною літературою.

Лабораторна установка працювала у трьох режимах: у режимі перемішування мулової суміші (А), у режимі аерації мулової суміші (Б) та у режимі відстоювання (В). Схему лабораторної установки та відповідну їй схему обробки стічних вод в аеротенках представлено на рисунках 3.1, 3.2.

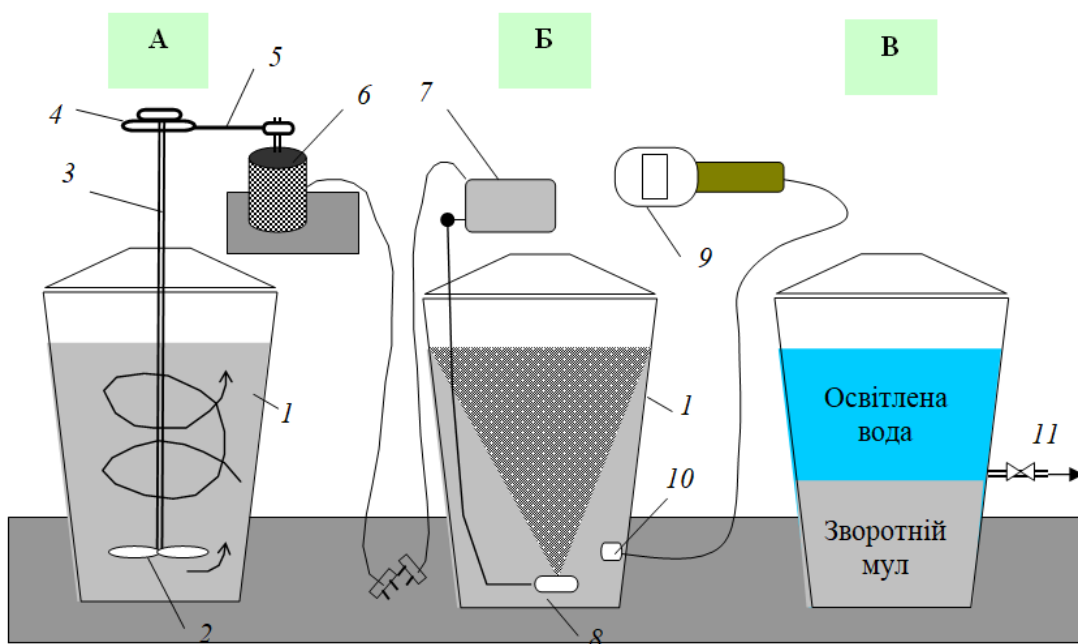


Рисунок 3.1 – Схема лабораторної установки:

- А – режим перемішування; Б – режим аерації; В – режим відстоювання;
 1 – ємність для процесу; 2 – лопать мішалки; 3 – вертикальний вал мішалки; 4 -шків мішалки; 5 – ременний привід; 6 – електродвигун; 7 – компресор; 8 – аератор; 9 – кисневимір; 10 – занурювальний датчик кисню; 11 – відведення освітлених вод

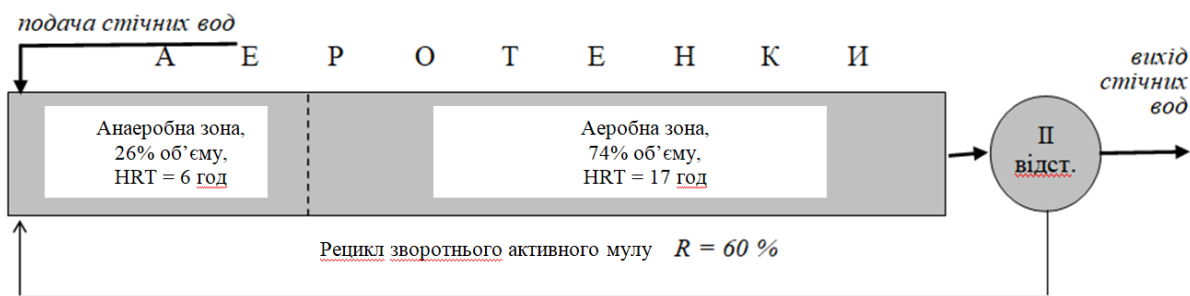


Рисунок 3.2 – Схема біологічної очистки стічних вод, використаної в експерименті

Усереднені значення показників якості стічних вод за періодами представлені у таблиці 3.2. Усереднені значення показників очищення після досягнення рівноважного стану в установках 1 та 2 представлені в таблиці 3.3.

Як видно з наведених даних (табл. 3.3), результати експериментальних досліджень показали можливість ефективного очищення міських стічних вод від сполук нітрогену. При цьому при використанні неосвітленої стічної рідини отримано більш високу ефективність очищення цих сполук:

- ефективність очищення від нітрогену амонійного – 96,6 % порівняно з 93,5 %;
- ефективність очищення від нітрогену К'ельдаля – 79,4 % порівняно з 76,6 %;
- залишкова концентрація нітрогену нітратів – 7,6 мг/дм³ порівняно з 12,3 мг/дм³.

Маса видаленого азоту К'ельдаля становить суму N-NH₄ і N-органічних сполук. Якщо врахувати, що з БПК азот амонійний утилізується у співвідношенні 100:5, то в нашому експерименті в цьому процесі видалювалося не більше 5 мг/дм³. Отже, в установці (1) експерименту нітрифікувалося 40,32 – 8,29 – 5 = 26,94 мг/дм³ (за цикл), а в установці 2 – 34,27 – 8,0 – 5 = 21,27 мг/дм³ (за цикл) або 42,09 та 36,67 мг/г мулу (за цикл) відповідно.

Аналіз отриманих результатів експерименту та зіставлення з режимами роботи установок дозволив зробити висновок, що можливою причиною низької ефективності видалення сполук фосфору може бути тривале перебування (24 год) стічної води в системі з активним мулом. За такого тривалого часу обробки фосфор, який накопичувався в біомасі, міг виділятися у воду.

Таблиця 3.2 – Усереднені показники якості стічних вод на вході та на виході з установок після досягнення рівноважного стану мулу в експерименті № 1 (24 год)

Показники	1 період				2 період				3 період			
	установа 1		установа 2		установа 1		установа 2		установа 1		установа 2	
	вхід	вихід	вхід	вихід	вхід	вихід	вхід	вихід	вхід	вихід	вхід	вихід
ХСК, мгО/дм ³	255	57	225,5	107	196	68	186	68	147	49	127	49
ЗР, мг/дм ³	120,4	14,8	84	20,2	73,6	18,4	57,6	20,8	85,6	24	39,6	26,4
БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³	70	12	86,3	13,7	74,8	8,5	58,8	5,8	65,8	1,7	55,3	4,4
Нітроген амонійний, мг/дм ³	24,9	1,59	19,1	2,72	20,8	0,61	21,54	1,06	19,6	0	14,9	0
Нітроген нітритів, мг/дм ³	0,19	0	0,14	0	0,076	0	0,12	0	0,08	0	0,1	0
Нітроген нітратів, мг/дм ³	0,18	11,13	0,22	17,16	0,18	5,89	0,21	15,4	0,45	5,94	0,51	4,4
Нітроген К'ельдаля, мг/дм ³	49,3	11,5	36,5	9,5	32,1	5,5	34	7	39,3	7,88	32,3	7,5
Фосфор фосфатів, мг/дм ³	5,05	3,2	4,96	3,2	5,84	3,26	6	3,23	4,34	3,13	5,6	3,03
Загальний фосфор, мг/дм ³	6,3	4,7	4,9	4,9	5,6	4,9	5	4,6	6,3	4,5	5	4,1
Ферум, мг/дм ³	1,3	0,4	0,9		1,4	0,3	1,3	0,4	1,4	0,4	1,1	0,5

Таблиця 3.3 – Показники впливу попереднього відстоювання стічної води на ефективність видалення сполук біогенних елементів

Показники	Установа 1 (без первинного відстоювання)			Установа 2 (з первинним відстоюванням)		
	вхід	вихід	ефект, %	вхід	вихід	ефект, %
ХСК, мгО/дм ³	199,7	58,0	71,0	178,5	74,7	58,2
ЗР, мг/дм ³	93,2	19,1	79,5	60,4	22,5	62,7
БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³	70,1	7,4	89,4	67,8	8,0	88,2
Нітроген амонійний, мг/дм ³	21,77	0,73	96,6	18,50	1,26	93,2
Нітроген нітритів, мг/дм ³	0,12	0,0	–	0,12	0,0	–
Нітроген нітратів, мг/дм ³	0,27	7,6	–	0,3	12,3	–
Нітроген К'ельдаля, мг/дм ³	40,23	8,29	79,4	34,27	8,00	76,7
Фосфор фосфатів, мг/дм ³	5,1	3,2	37,3	5,5	3,15	42,7
Загальний фосфор, мг/дм ³	6,07	4,7	22,6	4,97	4,53	8,9

Як свідчать дані таблиці 3.4, в експерименті № 2 також було досягнуто високої глибини видалення сполук нітрогену. Причому в 1-й установці (без первинного відстоювання) зазначено (як і в експерименті № 1) вищий ефект очищення від сполук біогенних елементів: ефективність очищення нітрогену амонійного – 98,3 %, а в 2-й установці (з первинним відстоюванням) – 96,4 %; ефект очищення від нітрогену К'ельдаля – 81,3 %, у 2-й установці 73,9 %; залишкова концентрація нітрогену нітратів – 7,41 мг/дм³ порівняно з 8,6 мг/дм³ (у 2-й установці).

В експерименті № 2 (цикл 12 год) був досягнутий більш високий ефект видалення сполук фосфору: за ортофосфатами 63,3 % (без відстоювання) та 55,3 % (з відстоюванням), за загальним фосфором 44,5 % та 41,2 % відповідно.

Таблиця 3.4 – Усереднені показники якості стічних вод із установок (час циклу 12 год)

Показники	Установа 1 (без первинного відстоювання)			Установа 2 (з первинним відстоюванням)		
	вхід	вихід	Ефект, %	вхід	вихід	Ефект, %
ХСК, мгО/дм ³	177	41,33	76,6	140,5	59,33	57,8
ЗР, мг/дм ³	77,07	9,73	87,4	33,2	8,67	73,9
БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³	73,7	5,77	92,2	58,8	5,63	90,4
Нітроген амонійний, мг/дм ³	18,49	0,31	98,3	15,14	0,54	96,4
Нітроген нітритів, мг/дм ³	0,1	0,01	–	0,04	0,01	–
Нітроген нітратів, мг/дм ³	0,29	7,41	–	0,18	8,6	–
Нітроген К'єльдаля, мг/дм ³	44,9	8,4	81,3	32,9	8,6	73,9
Фосфор фосфатів, мг/дм ³	4,42	1,62	63,3	4,21	1,88	55,3
Загальний фосфор, мг/дм ³	5,48	3,04	44,5	5,15	3,03	41,2

В обох установках якість очищення щодо сполук нітрогену вкладалася у встановлені в Україні нормативи скидання стічних вод у водоймище. Це свідчить про достатню концентрацію бактерій нітрифікуючих в активному мулі та наявності сприятливих умов для протікання процесів нітрифікації. Вміст окислених форм азоту також відповідає нормативам (при ГДС за нітратами 45 мг/дм³). Ефективність очищення неосвітлених стічних вод за цим показником трохи краща, ніж при очищенні освітлених стічних вод.

Результати роботи експериментальної установки дозволили виконати перевірку адекватності використовуваної математичної моделі та розробленої методики підготовки вихідних даних для математичного моделювання процесів біологічного очищення стічних вод з видаленням біогенних елементів. Роботу лабораторної установки № 2 було змодельовано за програмою «ЕкоСім3Р». Аналіз результатів роботи лабораторної установки та результатів моделювання за програмою «ЕкоСім3Р» свідчить про високий ступінь збіжності розрахункових та фактичних значень якості очищених стічних вод за сполуками азоту та фосфору.

У результаті проведення лабораторних досліджень з подальшим моделюванням технологічних параметрів роботи лабораторної установки було встановлено, що застосування математичного моделювання дозволяє з високою точністю прогнозувати якість очищених стічних вод.

3.3 Дослідно-промисловий експеримент

Експеримент був спрямований на вирішення проблеми підвищення ефективності очищення міських стічних вод за умов реконструкції існуючих споруд. Розроблений спосіб реалізується шляхом впровадження нової технологічної схеми для глибокого видалення сполук азоту та фосфору на каналізаційних очисних спорудах.

Пропонована схема дослідно-промислового експерименту (рис.3.3) принципово найбільш близька до відомих схем А2/О процесу, УСТ процесу та VIP процесу, однак вона має і суттєві відмінності:

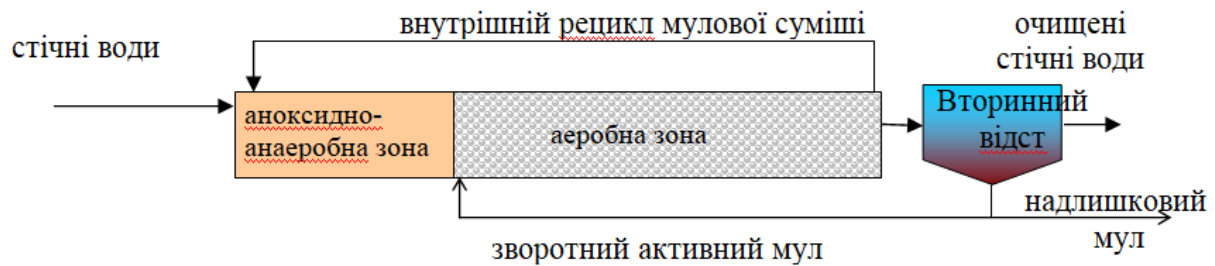


Рисунок 3.3 – Пропонована технологічна схема очищення стічних вод від сполук азоту та фосфору

Процес очищення відповідно до розробленої схеми полягає в послідовному проходженні муловою сумішшю аноксидної, анаеробної та аеробної зон. При надходженні стічних вод у першу аноксидну зону в умовах відсутності розчиненого кисню і подачі потоку нітрату з кінця аеробної зони здійснюється процес денітрифікації. Після відновлення нітратів до вільного азоту настають анаеробні умови. У присутності залишених після денітрифікації органічних сполук в анаеробних умовах відбувається вивільнення сполук фосфору у водне середовище з клітин фосфоракумулюючих організмів (ФАО) та споживання легкоокислюваних органічних сполук як запасних речовин. Потрапляючи в аеробну зону, ФАО починають активно споживати сполуки фосфору з водного середовища, запасуючи в своїх клітинах. В аеробній зоні відбувається окислення органічних забруднень, що залишилися, а також протікає процес нітрифікації.

Розроблена технологічна схема функціонує в такий спосіб. Стічна рідина, пройшовши попереднє механічне очищення (решітки, пісколовки) надходить у басейни перемішування, сюди ж подається мулова суміш з кінця аеротенків. Тобто додатково передбачається рециркуляція нітратного потоку мулової суміші з кінця зони аерації (аеротенку) на початок басейну перемішування. Після басейну перемішування мулова суміш подається в аеротенки (аеробну зону). Сюди подається рецикл поворотного мулу після вторинних відстійників. Розміри рецикла поворотного мулу становлять 50–70 % від витрати стічних вод, що надходять. Розмір рециклу мулової суміші з кінця аеротенка в басейн перемішування становить 80–150 % від витрати стічних вод, що надходять. Розміри рециклів визначаються за розрахунковими залежностями. Рецикл

поворотного мулу залежить від гідравлічної конфігурації вторинних відстійників та седиментаційних властивостей активного мулу. Розмір внутрішнього рецирку мулової суміші залежить від співвідношення концентрацій азоту нітрифікованого і нормативної концентрації азоту нітратів на виході з біореактора.

Запропонована технологічна схема не потребує суттєвих переробок і легко реалізується на існуючих спорудах біологічного очищення. Це дозволяє суттєво знизити витрати на реалізацію технології видалення біогенних елементів під час реконструкції споруд.

Склад стічних вод, що надходять на очищення, за даними багаторічного контролю, наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Усереднений склад стічних вод

Показники	Концентрація в стічних водах, що надходять	ГДС
ХСК, мгО/дм ³	393	15
БСК ₂₀ , мгО ₂ /дм ³	195	3
ЗР, мг/дм ³	100	3
Нітроген амонійний, мг/дм ³	22,1	0,4
Нітроген нітратний, мг/дм ³	–	9,1
Фосфор фосфатів, мг/дм ³	1,59	0,2

При моделюванні процесів денітрифікації та біологічного видалення фосфору передбачалося, що конфігурація споруд може відповідати A/O, A2/O, VIP, UCT, Vardenpho процесам, а також процесу відповідно до розробленої технологічної схеми. Було виконано моделювання за цими конфігураціями для їх порівняння та вибору оптимальної технологічної схеми в рамках реконструкції очисних споруд. Розрахункові технологічні параметри роботи аеротенків представлені у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Параметри роботи аеротенків

Параметри	Од. вимір.	Значення
Рецикл зворотного мулу	м ³ /добу	9 000
Рецикл мулової суміші (внутрішній)	м ³ /добу	15 000
Доза мулу в аеротенку	г/дм ³	1,5–4,0
Зольність мулу	%	30
Муловий індекс	мл/г	80–140
Розчинений кисень	мг/дм ³	2,0–6,0
Кількість аеротенків у роботі	шт.	2
Витрати повітря на аерацію	м ³ /год	4 000–4 500

Для проведення реконструкції розглядали чотири варіанти, для кожного з яких характерний свій набір споруд, що працюють. Зміни споруд і склад стічних вод на вході і виході зі споруд представлені у таблиці 3.7.

У зміни 2БП+2АТ+3ВО споруди вивчали понад рік. Як очевидно з таблиці 3.7, для цієї зміни характерна стабільну якість очищення практично за всіма показниками. За вмістом мінеральних форм нітрогену якість очищення відповідає проектним показникам. За БПК₅ та завислими речовинами спостерігалось перевищення проектних показників. Але ці показники було отримано після вторинних відстійників, без експлуатації споруд доочищення. Це свідчить про високу глибину очищення біогенних елементів, не характерну для традиційних систем.

Після завершення повної реконструкції споруд у розрахунковій конфігурації 2БП+2АТ+3ВО концентрація фосфатів знизилася загалом удвічі. Концентрація фосфору фосфатів в очищеній стічній рідині за усередненими за рік даними становила 0,8 мг/дм³. При цьому відзначалося періодичне видалення сполук фосфору зі стічних вод до концентрацій приблизно 0,1 мг/дм³.

Таблиця 3.7 – Показники очистки стічних вод при апробації варіантів реконструкції

Показники	Конфігурація: 1ПО+1АТ+2ВО* (3 місяці)		Конфігурація: 1БП+1АТ+2ВО* (3 місяці)		Конфігурація: 1БП+2АТ+2ВО* (2 місяці)		Конфігурація: 2БП+2АТ+3ВО* (рік)	
	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід
ХСК, мг/дм ³	<u>173**</u> 167–186	<u>46**</u> 37–56	<u>230**</u> 199–262	<u>22**</u> 16–28	<u>233**</u> 180–252	<u>49**</u> 35–52	<u>177**</u> 84–250	<u>35**</u> 20–63
БСК ₅ , мг/дм ³	<u>112**</u> 87–151	<u>5,3**</u> 3,3–7,1	<u>207**</u> 176–238	<u>5**</u> 3–7	<u>109**</u> 89–161	<u>2,5**</u> 2,3–6,2	<u>120**</u> 58–151	<u>4,9**</u> 3,3–7,1
ЗР, мг/дм ³	<u>106**</u> 87–134	<u>5,2**</u> 3,8–6,3	<u>162**</u> 139–184	<u>2,2**</u> 1,6–2,8	<u>108**</u> 82–147	<u>6,3**</u> 4,5–7,2	<u>80**</u> 39–132	<u>3,7**</u> 1,8–5,0
N -NH ₄ , мг/дм ³	<u>18,1**</u> 10,2–23,7	<u>0,2**</u> 0,1–0,3	<u>12,5**</u> 11,1–13,9	<u>0,3**</u> 0,2–0,4	<u>17,8**</u> 10,4–23,2	<u>0,3**</u> 0,1–0,39	<u>16**</u> 11,2–25,8	<u>0,2**</u> 0,1–0,3
N-NO ₂ , мг/дм ³	–	<u>0,02**</u> 0,003–0,03	–	<u>0,04**</u> 0,03–0,05	–	<u>0,08**</u> 0,03–0,092	–	<u>0,02**</u> 0,008–0,08
N-NO ₃ , мг/дм ³	–	<u>16,1</u> 13,7–20,2	–	<u>2,5**</u> 2,1–2,9	–	<u>9,3**</u> 6,4–9,8	–	<u>5,2**</u> 1,0–8,6
P -PO ₄ , мг/дм ³	<u>1,6**</u> 1,2–2,0	<u>1,5**</u> 1,4–1,6	<u>1,3**</u> 1,1–1,5	<u>0,3**</u> 0,1–0,5	<u>1,6**</u> 1,15–2,2	<u>2,2**</u> 0,2–2,4	<u>1,6**</u> 1,1–1,9	<u>0,8**</u> 0,1–1,9

* ПЗ – первинний відстійник; АТ – аеротенк; ВО – вторинний відстійник; БП – басейн перемішування

** У чисельнику – середнє значення; у знаменнику – межі коливань.

Усереднене значення концентрації сполук фосфору ($0,8 \text{ мг/дм}^3$) перевищувало необхідне нормативне значення і пов'язано це було з тим, що до введення в експлуатацію цеху механічного зневоднення не було можливості збільшити кількість надлишкового мулу, що відкачується. А, як показали натурні експерименти, зі збільшенням кількості надлишкового мулу, що відкачується до $200\text{--}300 \text{ м}^3/\text{добу}$ концентрація фосфатів падала до $0,1\text{--}0,2 \text{ мг/дм}^3$, тому в досліджуваний період споруди експлуатувалися в режимі, несприятливому для ефективного біологічного видалення сполук фосфору.

Аналіз роботи технологічної схеми у промислових умовах (табл. 3.8) підтвердив теоретичні уявлення про механізми біологічного видалення сполук азоту та фосфору. При потраплянні мулової суміші в зону перемішування з анаеробними умовами і наявністю органічного субстрату відбувається вивільнення фосфору з біомаси активного мулу в воду, що очищається, з подальшим його вилученням зі стічних вод в аеробних умовах.

Таблиця 3.8 – Ефективність біологічного очищення стічних вод після реконструкції ОСК за розробленою технологічною схемою

Показники	Вихідна концентрація			Концентрація після очистки		
	міні-мальна	макси-мальна	середня	міні-мальна	макси-мальна	середня
ХСК, мг/дм^3	84	250	177	20	63	35
БСК ₅ , мг/дм^3	58	151	120	3,3	7,1	4,9
ЗР, мг/дм^3	39	132	80	1,8	5,0	3,7
N-NH ₄ , мг/дм^3	11,2	25,8	16	0,1	0,3	0,2
N-NO ₂ , мг/дм^3	–	–	–	0,008	0,08	0,02
N-NO ₃ , мг/дм^3	–	–	–	1,0	8,6	5,2
P-PO ₄ , мг/дм^3	1,1	1,9	1,6	0,1	1,9	0,8

У результаті досліджень у дослідно-промислових умовах встановлено, що розроблена технологічна схема гарантує стабільні показники очищення стічних вод від сполук азоту та фосфору.

ТЕМА 4 ІННОВАЦІЙНА ДІЯЛЬНІСТЬ У СФЕРІ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Ринок інновацій

Ринок інновацій охоплює систему економічних відносин між споживачами інноваційної продукції чи послуг і суб'єктами пропозицій, тобто власниками інноваційної продукції, інформаційно-консультаційних послуг з приводу їх виробництва, придбання та їх використання.

Ринок інновацій має власну організаційну структуру, що містить три основні складові елементи:

1) ринок наукових кадрів – це система навчальних, економічних, соціальних, правових та інформаційних сфер, відносин і взаємозв'язків, направлена на підготовку, підбір та забезпечення кадрами наукових та виробничих структур;

2) ринок науково-технічної інформації – це тип економічних взаємозв'язків і відносин між виробниками та споживачами з приводу виробництва, придбання і використання інформації. Науково-технічна інформація розповсюджується за допомогою телекомунікацій і звичайним шляхом через пошту, телефонний або факсимільний зв'язок, консультаційну, бібліотечну, освітню, видавничу, рекламну та іншу діяльність;

3) ринок наукової продукції – це система відносин виробників та споживачів науково-технічної продукції.

За часом залучення до інноваційного процесу та підходом до вибору інновацій ринкові суб'єкти поділяють на чотири категорії: експлеренти, патіенти, комутанти і віоленти.

Експлеренти («ластівки») – це фірми, що спеціалізуються на створенні нових чи радикально змінених старих сегментів ринку. Вони є розробниками нової продукції, для чого створюють у себе потужні дослідницькі відділи та конструкторські бюро. Впроваджуючи принципово нові продукти, вони отримують надприбуток за рахунок їх великої наукомісткості і внаслідок піонерного виведення їх на ринок. Сила експлерентів зумовлена

впровадженням принципів нововведень, вони мають вигоду з первісної присутності на ринку.

Йдеться не просто про поліпшення якості товарів і послуг, а про вкрай ризикований, але надзвичайно вигідний (у випадку успіху) пошук революційних рішень.

Девіз експлерентів: «Краще і дешевше, якщо вийде». Головний фактор дієздатності експлерентів пов'язаний зі швидким упровадженням принципів новацій.

Пошуки експлерентів у 85 випадках зі 100 закінчуються невдачею і фірми стають банкрутами, але у 15 випадках на долю експлерента випадає нечуваний технічний і фінансовий успіх. Для цього фірма-експлерент укладає альянс із великою компанією, тому що не може самостійно тиражувати нововведення, які зарекомендували себе. Зволікання ж із тиражуванням загрожує появою копій чи аналогів.

В експлерентній організації зазвичай працює колектив дуже ініціативних людей. Лідером такого колективу є людина, здатна досягнути ідею, вона користується авторитетом, має сильний і вольовий характер.

Віоленти («горді леви», «могутні слони», «неповороткі бегемоти») – орієнтуються на інновації, що здешевлюють виготовлення продукції, водночас забезпечуючи їй рівень якості, якого вимагає основна маса споживачів. За рахунок низьких цін і середньої якості фірма завжди конкурентоспроможна.

Віолентом може стати фірма-експлерент на етапі використання інновацій. Девіз фірм: «Дешево, але пристойно» (але не «Дорого і погано»). Приклади: автомобілі «Тойота», «Шевроле», холодильники «Сіменс», сигарети «Мальборо», «Кемел» тощо.

Після досягнення визначеної межі на ринку фірма, як правило, приймає рішення про таке:

- здійснення подальшого розвитку у вигляді освоєння нових ринків збуту;
- організацію нового виробництва;
- стратегічне розроблення технології;
- використання переваг широкомасштабних наукових досліджень;
- подальший розвиток збутової мережі;

– велику рекламну компанію.

Комутанти («миші») використовують інновації, створені іншими (як правило, віолентами), збагачуючи їх індивідуальними характеристиками, пристосовуючись до невеличких за обсягами потреб конкретного клієнта. Вони підвищують споживчу цінність товару не за рахунок надвисокої якості (як пацієнти), а завдяки індивідуалізації. Підвищена гнучкість комутантів (за що вони отримали назву «сірих мишей») дає змогу їм утримувати конкурентні позиції. Зазвичай комутанти – це дрібні фірми, які використовують інновації на стадії їх старіння.

Вони індивідуалізують підхід до клієнта, але на базі досягнень фірм-віолентів. Їхнє основне завдання полягає в підвищенні споживчої цінності товару не за рахунок надвисокої якості, а за рахунок задоволення незначних за обсягом потреб клієнтів, тобто індивідуалізації послуги.

Девіз комутантів: «Ви доплачуєте за те, що я вирішую ВАШІ проблеми».

Пацієнти («хитрі лиси») створюють інновації для потреб вузького сегмента ринку. Вони уникають конкуренції із великими корпораціями, вишукуючи недоступні для них сфери діяльності, надаючи товару унікальних властивостей. Товари мають ексклюзивний характер, є високоякісними і дорогими.

Девіз фірм: «Дорого, зате добре».

Для фірми-пацієнта характерними будуть такі фактори розвитку:

- наявність групи лідерів (ентузіастів, які працюють в одному напрямку і ділять всі труднощі однаково;
- згуртованість колективу навколо групи ентузіастів;
- мобільність і гнучкість переходу до новацій;
- неускладнені організаційні зв'язки;
- невеликий управлінський апарат;
- значна взаємозамінність фахівців;
- зміна наукової спрямованості в ході життєдіяльності фірми;
- творча атмосфера в колективі;
- інтелектуальний продукт значний;
- уміння формувати потреби ринку, виходячи зі своїх потреб.

У таких фірмах доцільно мати інноваційного менеджера, головна мета якого – знизити ризик у життєдіяльності фірми і створити комфортні умови для співробітників.

Організаційну, правову та економічну підтримку інноваційної діяльності підприємства на різних рівнях і в різних формах забезпечує інноваційна інфраструктура.

Згідно із Законом України «Про інноваційну діяльність», інноваційна інфраструктура – сукупність підприємств, організацій, установ, їх об'єднань, асоціацій будь-якої форми власності, що надають послуги із забезпечення інноваційної діяльності (фінансові, консалтингові, маркетингові, інформаційно-комунікативні, юридичні, освітні тощо).

4.2 Інновації в технологіях захисту атмосферного повітря від забруднення промисловими викидами

Основними сучасними напрямками захисту повітряного басейну від забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами є створення нової безвідхідної технології із замкнутими циклами виробництва та комплексним використанням сировини.

Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (СТЧ) є одним з найпоширеніших забруднювачів атмосферного повітря як у світі загалом, так і в Україні зокрема. Дослідження видів твердих частинок з розміром до 10 мкм (PM_{10}) і до 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) та їхній вплив на навколишнє природне середовище і на здоров'я людей – це одне з головних завдань екологічної безпеки атмосферного повітря, яке вирішується науковцями багатьох країн світу. ВООЗ та інші національні установи охорони здоров'я приймають СТЧ розміром 2,5 мкм та менше ($PM_{2,5}$) і розміром 10 мкм та менше (PM_{10}) як ключові показники контролю рівня забруднення атмосферного повітря СТЧ. За даними ВООЗ, забруднення атмосферного повітря $PM_{2,5}$ та PM_{10} впливає на здоров'я навіть у дуже низьких концентраціях. Фактично, межа, за якої ніяких пошкоджень для здоров'я не спостерігається, відсутня. $PM_{2,5}$ є найкращим показником для прогнозування гострих і хронічних захворювань, що спричиняються впливом СТЧ. Можна виділити основні негативні наслідки потрапляння СТЧ

органічного походження ($PM_{2,5}$ та PM_{10}) в атмосферне повітря: погіршення якості атмосферного повітря, вплив на здоров'я, вплив на зміну клімату, вплив на екосистему. Відомо, що ефективність традиційних пиловловлювальних установок підприємств не забезпечує достатнього рівня екологічної безпеки від джерел викидів $PM_{2,5}$ та PM_{10} . Один з напрямків підвищення ефективності вилучення таких частинок з викидів є їхнє попереднє укрупнення, наприклад, за допомогою обробки негативно зарядженими іонами (так звана штучна іонізація пило-газового потоку).

Більша частина діючих промислових підприємств використовують технології з відкритим циклом виробництва. У цих випадках гази, що відходять, перед викидом в атмосферу піддаються очищенню.

В основі багатьох технологічних методів очищення газів від газоподібних домішок лежать процеси взаємодії газів з рідкими або твердими поглиначами, а також процеси хімічного перетворення отрутних домішок у нетоксичні сполуки при високих температурах у присутності каталізаторів. Найбільшого поширення при очищенні газів від газоподібних шкідливих речовин набули адсорбційні, абсорбційні й каталітичні методи.

Абсорбція – це процес вибіркового поглинання газу або пари рідиною. В основі процесів абсорбції лежать дифузійні процеси переходу речовини з газоподібної фази в рідку через їхню поверхню розділу. Абсорбція може бути фізичною, коли молекули газу розчиняються у рідині, і хімічною (хемосорбція), коли молекули газу розчиняються і реагують з молекулами рідини. При санітарному очищенні газів часто використовують хемосорбційні процеси. Рушійною силою хемосорбційних процесів є різниця ентропії газу і рідини. Швидкість хемосорбційного процесу буде визначатися швидкістю підведення реагуючих компонентів до поверхні розподілу фаз, а також швидкістю хімічної реакції і відводу продуктів реакції в обсяг рідини.

Адсорбція становить процес виборчого поглинання газу або пари твердими речовинами (сорбентами). Для досягнення більшого ефекту адсорбції необхідно мати якомога більшу поверхню адсорбції. Тому добрими адсорбентами можуть бути тільки ті, які мають сильно розвинену поверхню, що властиво або речовинам з пористою, губчастою структурою, або які

перебувають у стані тонкого подрібнення (високодисперсні). З підвищенням температури при постійному тиску, як правило, зменшується кількість адсорбованого газу, а при зниженні температури вона збільшується. Сильніше адсорбуються ті гази, які легше конденсуються у рідину.

Як адсорбенти використовують пористі матеріали з розвиненою внутрішньою поверхнею. Вони можуть бути синтетичними або природного походження. Промислові адсорбенти мають всередині порожнечі або пори, останні бувають макро-, мезо- і мікропорами, причому адсорбційна здатність визначається сумарним об'ємом мікропор, віднесеним до одиниці маси або об'єму адсорбенту. Основні типи промислових адсорбентів:

- активне вугілля;
- силікагелі;
- алюмогелі;
- синтетичні цеоліти (молекулярні сита);
- іоніти.

Каталізом називають явище змінення швидкості реакції або збудження її, що відбувається під впливом деяких речовин, які називаються каталізаторами. Вони беруть участь у процесі, але самі у кінці реакції залишаються незмінними. Проблема підбору активних та вибіркових каталізаторів є однією з найважливіших та дуже складних у практиці каталітичного очищення газів.

Усі каталітичні реакції прийнято розподіляти на реакції гомогенного каталізу та реакції гетерогенного каталізу. До перших відносять такі, у котрих каталізатор перебуває в однорідній газовій або рідкій суміші з реагуючими речовинами, а у гетерогенному – каталізатор перебуває у вигляді самостійної фази і взаємодія відбувається на його поверхні.

Дуже важливим показником каталізатора є температура запалювання, при якій він починає проявляти каталітичні властивості.

Каталітичні методи мають більші потенційні можливості. Правильно підібрані каталізатори та добре спроектований технологічний процес дозволяють найбільш ефективно й ощадливо проводити процес санітарного очищення газів.

Переваги:

- компактність та велика продуктивність;
- стабільне забезпечення високого ступеня очистки;
- простота обслуговування.

Недоліки:

- висока вартість каталізаторів;
- із відпрацьованих газів не утилізуються домішки, які в більшості випадків розкладаються та викидаються в атмосферу.

Для процесів очищення використовують, зазвичай, гетерогенні промислові каталізатори, які повинні мати:

- високу активність та селективність щодо цієї реакції;
- значну хімічну стійкість до каталітичних отрут;
- низьку температуру запалювання, великий інтервал робочих температур, термічну стійкість, підвищену теплопровідність;
- високу механічну міцність;
- низьку вартість.

Широко поширені для очищення відпрацьованих газів каталізатори на основі благородних металів (Pt, Pd, Ag), оксидів Mn, Cu, Co, а також оксидні комплекси, активовані благородними металами (до 1,5 %).

Наприклад, твердофазне каталітичне очищення газів від оксидів азоту з допомогою високотемпературного каталітичного відновлення відбувається при контактуванні нітрозних газів з газами-відновниками на поверхні каталізаторів (Pd, Ru, Pt, Rh). Більш дешеві – на основі W, Cr, Cu, V, Zn, Zr. Для збільшення поверхні контакту їх наносять на кераміку, оксид алюмінію, сілікагель. Відновниками служать метан, природний, коксовий і нафтовий газ CO, H₂ або азотоводнева суміш.

В основі біохімічного методу очищення повітря від шкідливих газів лежить мікробіологічна руйнація та перетворення різних сполук. Розпад речовин відбувається під дією ферментів, що виробляються мікроорганізмами під впливом наявних у газах певних речовин або їх груп. Такий метод газоочищення найбільш доцільний для очистки відвідних газів з постійним складом. Часта зміна складу унеможливорює швидку адаптацію 16 мікроорганізмів до нових речовин. Мікроби тоді виробляють недостатню

кількість ферментів для їх деструкції. Відтак, біологічна система не матиме достатньої руйнівної здатності щодо токсичних складників газової суміші. Високоєфективне газоочищення забезпечується за умови, коли швидкість біохімічного розпаду вилучених речовин більша, аніж швидкість їх надходження із газової суміші.

4.3 Інновації в технологіях захисту об'єктів гідросфери від забруднення стічними водами

Одним з можливих шляхів вирішення питань підвищення надійності захисту природних об'єктів гідросфери є створення замкнутих систем водопостачання підприємств із застосуванням глибоко очищених побутових і промислових стічних вод. Сучасні методи інтенсифікації очистки стічних вод мають багато напрямків. Ці інтенсифікації стосуються як механічних, хімічних, фізико-хімічних методів, так і біологічних.

Велику роль у поглибленні вилучення екологічно небезпечних сполук з промислових стічних вод відіграють локальні методи очистки. Це локальне очищення стічних вод від антибіотиків, іонів важких металів тощо, забруднювачів, які можуть перешкоджати біологічному очищенню на загальноміських очисних спорудах каналізації.

Дедалі більшого значення для вирішення цієї проблеми набувають фізичні методи, які базуються на впливі на водні системи зовнішніми полями (магнітними, електричними, ультразвуковими тощо) при різних технологічних процесах очищення. Найчастіше для інтенсифікації процесів очищення води застосовують метод накладання на водно-дисперсні системи магнітного поля. Наприклад, застосування магнітного поля для іонообмінного корегування мінерального складу природних і стічних вод підвищує робочу обмінну ємність іонообмінного матеріалу, що призводить до збільшення корисної тривалості фільтроциклу, зменшення часу регенерації іонообмінників, зменшення витрати води на власні потреби і, як наслідок, – до зменшення собівартості іонообмінного очищення води.

Дуже багато сучасних технологічних рішень стосується біологічної очистки промислових і міських стічних вод. Одним із шляхів підвищення

ефективності біологічного очищення стічних вод (від органічних речовин, сполук азоту, фосфору тощо) є збільшення концентрації активного мулу в об'ємі аеробного біореактора (аеротенка), що дозволяє підвищити окисну потужність споруди, зменшити тривалість процесу та забезпечує зниження економічних витрат на очищення стічних вод. Для цього використовують іммобілізовані, прикріплені до носіїв мікроорганізми. Як носії слугують інертні, не розчинні у воді структури, якими заповнюють об'єм очисної споруди або його частину. Носії повинні мати високорозвинену поверхню, яка є ідеальною для прикріплення й утримання активного мулу.

Основними перевагами іммобілізованих біокатализаторів перед незакріпленими, розчинними або вільно плаваючими, є: висока продуктивність і швидкість біологічних трансформацій; можливість безперервного або багаторазового використання біокатализаторів; створення високої щільності біокатализаторів у біореакторі і низької – у рідині, що витікає з нього; отримання більш чистих кінцевих продуктів реакції; стійкість іммобілізованих біологічних систем до дії токсичних речовин і несприятливих фізико-хімічних умов. Зазначені переваги іммобілізованих біокатализаторів сприяють швидкому розширенню сфер їх застосування в різних галузях мікробіологічної, медичної і харчової промисловості і особливо – у біотехнології очищення води і повітря.

Швидкість формування біоплівки на нерозчинних у воді носіях, її біохімічна активність і фізіологія залежать від багатьох чинників, але перш за все від:

- виду мікроорганізму, віку і концентрації клітин у середовищі;
- від природи і форми носія, складу середовища вирощування;
- умов і тривалості культивування та низки інших умов.

Використання іммобілізованих біокатализаторів в очищенні води значною мірою сприяє підвищенню стійкості системи до впливу несприятливих факторів. Момент стійкості системи особливо важливий у пусковий період роботи очисної споруди.

Відомі конструкції нітрифікаторів-біосорберів: з нерухомою, псевдозрідженою насадкою і затоплені біофільтри. Як завантаження в спорудах з нерухомою насадкою пропонується використовувати клиноптилоліт, гравій,

пісок та інші матеріали. У спорудах із завислим шаром застосовують завантаження в досить широкому діапазоні величини частинок (від 0,5 до 2 мм), а також шорсткі кульки зі скла та інших матеріалів. Як завантаження використовують також носії із закріпленою на них нітрифікуючою біомасою, які обертаються навколо горизонтальної осі. Для інтенсифікації процесу очищення від сполук нітрогену використовують завантаження рам із флотуючою поверхнею, розташованою під кутом 80° через 150 мм.

Перспективною альтернативою широко застосованому методу осадження активного мулу у вторинних відстійниках, що використовується в традиційних системах біологічного очищення в аеротенках, є використання для поділу мулової суміші мембранного модуля. Мембранний біореактор (МБР) поєднує біологічну обробку активним мулом з механічною мембранною фільтрацією.

Удосконалення мембранних технологій у поєднанні з досвідом, отриманим в результаті застосування мембран у різних виробничих процесах, відкрили цілу низку можливостей в галузі очищення промислових та господарсько-побутових стічних вод. Розподіл твердих речовин і рідини, який зазвичай проводять у гравітаційному освітлювачі, замінюють мембранною фільтрацією в системі МБР, таким чином об'єднуючи силу процесів біологічної очистки та ефективність мембранної фільтрації. Це і низка інших переваг зробили систему MBR ідеальною для очищення сильно забруднених промислових стічних вод і регенерації води. До кінця 1990-х років у багатьох галузях промисловості можна було спостерігати широке комерційне застосування MBR, і з кожним роком це число швидко зростає. Дослідження по МБР все частіше фінансуються муніципальними радами, промисловими підприємствами, виробниками мембранних модулів, що є явною ознакою популярності і потенціалу МБР.

На сьогодні у світі щорічно запроваджується близько 1 000 нових станцій з використанням МБР, із них 40% – у США. Більшість станцій націлені на повторне використання води. Наразі розроблені гібридні технології – МБР-зворотній осмос для таких галузей: виробництво косметичних препаратів, фармацевтика, текстильна промисловість, металообробка, харчова та консервна промисловість, целюлозно-паперові заводи, фарбувальні цехи, виробництво

хімічних реагентів. МБР запроваджені в більш ніж 200 країнах, а темпи зростання світового ринку до 15 % регулярно повідомляються в різноманітних ринкових аналізах. Довіра до процесу зростає, а кількість та масштаби установок зростають ще у більшому ступені.

Конструкції, які забезпечують у біореакторах високу дозу активної біомаси, є UASB – реактори, які використовують гранульований активний мул. Саме ці апарати отримали останнім часом найбільше застосування в світі. Гранульований мул має високу активність, досить високу міцність гранул і хороші седиментаційні властивості. З цієї причини концентрація мулу в активній зоні апарату може досягати 50–80 кг/м³, через що можливе досягнення високих об'ємних навантажень.

Гранульований анаеробний мул становить щільні агрегатні утворення розміром від 2 до 8 міліметрів і є продуктом іммобілізації біомаси анаеробного мулу у результаті процесів, які проходять на межі поділу твердої і рідкої фази. Тому ініціаторами такої грануляції часто стають частинки, що володіють інертними властивостями. У реакторах з гранульованим мулом великий розмір і відносно висока щільність окремих гранул призводять до їхнього швидкого осідання, що спрощує відділення очищених стоків від біомаси. Хоча механізм такої грануляції до кінця не вивчений, анаеробний гранульований осад демонструє високу здатність видаляти висококонцентровані органічні забруднення. Особливу роль у формуванні і функціонуванні анаеробних гранул виконують метаногенні бактерії *Methanosaeta concilii* (*Methanotherix soehngeni*), а також *Methanosarcina* spp. Надлишковий гранульований мул стабільний, може зберігатися тривалий час за температури до 15 °С без значної втрати активності, що дуже важливо для підприємств з періодичним циклом виробництва. У гранульованому анаеробному мулі міститься більш висока кількість сухої речовини, тому він стабільніший, ніж активний мул аеробних біологічних очисних споруд, до того ж, завдяки високій зольності, відрізняється високою вологовіддачею. Здатність клітин синтезувати велику кількість різноманітних ферментів пояснює їх високу адаптованість до різних видів і концентрацій забруднень, присутніх у стічних водах. Це своєю чергою пояснює постійне розширення області застосування біохімічних методів очищення

стічних вод від різноманітних забруднень, що утворюються в технологічних процесах на різних виробництвах.

4.4 Інновації в технологіях захисту навколишнього середовища від забруднення органічними відходами

Виділяють конструктивно-технологічні та мікробіологічні методи інтенсифікації процесів метанового зброджування. До конструктивно-технологічних методів віднесені підготовка сировини, перемішування, розподіл процесу метанового бродіння на стадії, підтримування оптимальної температури. До мікробіологічних методів – культивування нових штамів мікроорганізмів, використання добавок, що стимулюють процеси окиснення, іммобілізація мікроорганізмів на носії, спільне зброджування органічних субстратів.

Також до методів підвищення метаногенерації відносять вплив м'якої термічної попередньої обробки (50–120 °C) осадів з низьким вмістом органічних речовин. Результати експериментів показали, що концентрація розчинних органічних речовин поступово зростала з підвищенням температури під час м'якої термічної попередньої обробки надлишкового мулу. Поряд із солюбілізацією відзначено підвищення загальної мікробної активності, збільшення кількості метаногенів та біохімічного метанового потенціалу.

Як добавку, що стимулює процес зброджування активного мулу, досліджено вплив CaO_2 у поєднанні з мікрохвильовим опроміненням. Вплив цих факторів у режимах додавання CaO_2 в кількості 0,1 г/г осаду у поєднанні з мікрохвильовою обробкою (480 Вт, 2 хв) дозволив досягти збільшення виходу CH_4 на 80,2 % після 16 днів анаеробного зброджування порівняно з контролем. Отриманий ефект пояснюється підвищенням активності гідролітичних і кислотоутворювальних ферментів, а також ферментів метаногенезу, полегшенням солюбілізації, біодеградації та подальшою інтенсифікацією анаеробного зброджування активного мулу. Також відзначається зростання зневоднювальної здатності стабілізованого активного мулу.

Разом з тим деякі дослідники звертають увагу на той факт, що не всі технології попередньої обробки мають енергетичну самодостатність для

впровадження у виробничих умовах очисних споруд, якщо потребують безперервного інвестування енергії. Як правило, попередня обробка, яка споживає електроенергію, не задовольняє потреби в енергії від виробництва біогазу в тому самому процесі, хоча досягається висока солубілізація або збільшення виробництва біогазу.

Спільне зброджування органічних субстратів (коферментація) передбачає переробку кількох видів відходів в одному реакторі. Очікується, що це об'єднання позитивно вплине як на сам процес анаеробного ферментування, так і на його економічність. Ефект досягається за рахунок зміни кількісних та якісних параметрів – збільшення виходу метану та покращення стабільності процесу. Основними косубстратами для вдосконалення та підвищення ефективності технології метанізації органічних відходів на основі анаеробної їх переробки є тверді побутові відходи (ТПВ) та відходи тваринного і рослинного походження.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лебедев І. К. Історія науки і техніки : навч. посіб. / І. К. Лебедев, Л. Р. Ігнатова, А. І. Махінько. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 128 с.
2. Процеси та апарати природоохоронних технологій : підручник : у 2 т. / Л. Д. Пляцук, Р. А. Васькін, В. П. Шапорев та ін. – Суми, 2017. – 315 с.
3. Природоохоронні технології. Частина 1. Захист атмосфери : навч. посіб. / Северин Л. І., Петрук В. Г., Безвозюк І. І., Васильківський І. В. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 388 с.
4. Природоохоронні технології. Ч. 2. Методи очищення стічних вод : навч. посіб. / Л. І. Северин, В. Г. Петрук, Л. І. Северин, І. І. Безвозюк та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 254 с.
5. Природоохоронні технології. Ч. 3. Методи переробки осадів стічних вод : навч. посіб. / В. Г. Петрук, Л. І. Северин, І. І. Безвозюк та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 324 с.
6. Зацеркляний М. М. Процеси захисту навколишнього середовища : підручник / М. М. Зацеркляний, Т. Б. Сталевич. – Одеса : Фенікс, 2017. – 454 с.
7. Екологічна біотехнологія / О. В. Швед, О. Б. Миколів, О. З. Комаровська-Порохнявець, В. П. Новіков. – Львів : Львівська політехніка, 2010. – 792 с.
8. Каспійцева В. Ю. Оцінка і прогноз якості атмосферного повітря на регіональному рівні : монографія / В. Ю. Каспійцева, С. З. Поліщук, І. О. Колесник. – Дніпро : Акцент, 2020. – 193 с.
9. Апостолюк С. О. Промислова екологія : навч. посіб. / С. О. Апостолюк, В. С. Джигирей, А. С. Апостолюк та ін. – Київ : Знання, 2005. – 474 с.
10. Чернякова О. І. Методи захисту атмосфери : конспект лекцій / О. І. Чернякова. – Одеса : ОДЕКУ, 2019. – 89 с.
11. Biological Wastewater Treatment. Principles, Modelling and Design / Guanghao Chen, George A. Ekama, Mark C. M. van Loosdrecht, Damir Brdjanovic. – London : IWA Publishing, 2023. – 89 p.

12. Use of microbiocenosis immobilized on carrier in technologies of biological treatment of surface and wastewater / M. Malovanyy, A. Masikevych, Y. Masikevych, V. Iurchenko, M. Blyzniuk, I. Tymchuk, V. Zhuk, S. Hnatush, O. Kharlamova // Journal of Ecological Engineering. – 2022. – № 23(9). – P. 34–43.

13. Смирнов О. В. Інтенсифікація біологічної очистки стічних вод від сполук фосфору : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 – водопостачання, каналізація / Смирнов Олександр Володимирович ; ХНУБА. – Харків, 2021. – 23 с.

14. Пономарьова С. Д. Захист атмосферного повітря від забруднення викидами дрібнодисперсних органічних частинок кондитерських підприємств : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 – екологічна безпека / Пономарьова Світлана Дмитрівна ; УкрНДІЕП. – Харків, 2020. – 24 с.

Електронне навчальне видання

ЮРЧЕНКО Валентина Олександрівна
МЕЛЬНІКОВА Оксана Григорівна
КАЛАШНІКОВ Іван Володимирович

**ДОСЛІДНИЦЬКО-ІННОВАЦІЙНА ДІЯЛЬНІСТЬ
У СФЕРІ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня
вищої освіти денної та заочної форм навчання
зі спеціальності 183 – Технології захисту
навколишнього середовища)*

Відповідальний за випуск *Т. В. Дмитренко*
Редактор *М. О. Гаман*
Комп'ютерне верстання *Є. Г. Панова*

План 2024, поз. 43Л

Підп. до друку 15.03.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 3,5.

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