

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут (факультет) Біотехнології та екологічного контролю
Кафедра Екологічної безпеки та охорони праці**

«До захисту в ЕК»
Директор інституту (декан факультету)
_____ Грегірчак Н.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«12» _____ лютого 2021 р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Семенова О.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«12» _____ лютого 2021 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності _____ 101 «Екологія»

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Екологія та охорона навколишнього середовища»

на тему: «Отримання твердого біопалива за використання осадів стічних вод каналізаційних очисних споруд»

Виконав: здобувач II курсу, групи 3М

_____ Вакула Марія Сергіївна _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник _____ Якименко Ігор Леонідович _____
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

_____ (підпис)

_____ (підпис)

Рецензент _____ Барановський М.М. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній роботі немає запозичень із праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач _____
(підпис)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Біотехнології та екологічного контролю

Кафедра Екологічної безпеки та охорони праці

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 101 «Екологія»

(код і

назва)

Освітньо-професійна програма «Екологія та охорона навколишнього середовища»

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри доц. Семенова О.І.

“ 27 ” ЖОВТНЯ
2020 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Вакули Марії Сергіївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Отримання твердого біопалива за використання осадів стічних вод каналізаційних очисних споруд»

Керівник роботи: Якименко Ігор Леонідович, д.б.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “26” жовтня 2020 року №868кс

2. Строк подання здобувачем роботи 01 лютого 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи 1.матеріали з місяця проходження практики. 2. Дані з науково-технічних джерел.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Перелік умовних позначень, вступ, 1РОЗДІЛ Проблема утилізації активного мулу, 2 РОЗДІЛ Об'єкти та методи досліджень, 3 РОЗДІЛ Експериментальна частина, висновки, список використаної літератури

АНОТАЦІЯ

Вакула М.С Отримання твердого біопалива за використання осадів стічних вод каналізаційних очисних споруд –

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 101 «Екологія» (ОПП «Екологія та охорона навколишнього середовища»). – Національний університет харчових технологій МОН України, Київ, 2021.

В дипломній роботі було здійснено огляд літератури з метою вивчення вітчизняного та світового досвіду утилізації осаду стічних вод. Було висвітлено найдоцільніші способи утилізації осаду каналізаційних очисних споруд.

Наукова новизна: систематизація сучасної та міжнародної літератури у якій викладено найефективніші способи утилізації надлишкового активного мулу.

Практичне значення: зменшити навантаження на навколишнє середовище надлишкового активного мулу.

Ключові слова: НАДЛИШКОВИЙ АКТИВНИЙ МУЛ, СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СПОСОБИ УТИЛІЗАЦІЇ, СВІТОВИЙ ДОСВІД, БІОДОБРИВО, ПАЛИВНІ ГРАНУЛИ,

ABSTRACT

Vakula MS Obtaining solid biofuels using sewage sludge from sewage treatment plants -

Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Qualification work for a master's degree in specialty 101 "Ecology" (OPP "Ecology and Environmental Protection"). - National University of Food Technologies, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

In the thesis the literature was reviewed in order to study the domestic and world experience of sewage sludge disposal. The most expedient ways of utilization of sludge of sewage treatment facilities were covered.

Scientific novelty: systematization of modern and international literature in which the most effective ways of utilization of excess activated sludge are stated.

Practical value: reduce the load on the environment of excess activated sludge.

Keywords: SURPLUS ACTIVE MUD, MODERN TECHNOLOGIES, METHODS OF DISPOSAL, WORLD EXPERIENCE, BIODERTIVE, FUEL GRANULES,

ЗМІСТ

ABSTRACT	4
РОЗДІЛ 1	10
ПРОБЛЕМА УТИЛІЗАЦІЇ АКТИВНОГО МУЛУ	10
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	10
1.1 Джерела утворення активного мулу.....	11
1.2 Шляхи вирішення цих проблеми з активним мулом.....	18
1.3 Найефективніші шляхи вирішення проблеми утилізації активного мулу	22
1.3.1 Виробництво паливних гранул з активного мулу.....	22
1.3.2. Перспективи використання активного мулу для біодобрив	30
1.3.3 Метод стабілізації ґрунтів на основі активного мулу	33
1.3.4. Отримання корисних продуктів з осадів стічних вод та інших відходів методом піролізу.	36
Одержання воску з торфу й осадів стічних вод.	36
РОЗДІЛ 2	38
ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ АКТИВНОГО МУЛУ	38
2.1 Паливні гранули.	38
2.2. Комплексні добрива	44
РОЗДІЛ 3 ОПИС НАЙЕФЕКТИВНІШИХ ТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ АКТИВНОГО МУЛУ	48
3.1 ПАЛИВНІ ГРАНУЛИ.....	48
3.2 Опис технології добрива.....	55
3.3 ОПИС ТЕХНОЛОГІЙ СТАБІЛІЗАЦІЇ ГРУНТУ	59
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	63

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БСК	біологічне споживання кисню
ДСТУ	державний стандарт України
КОС	каналізаційні очисні споруди
МІ	муловий індекс
ОСВ	осади стічних вод
СОР	суха органічна речовина
СПАР	синтетичні поверхнево-активні речовини
ХСК	хімічне споживання кисню
НРК	нітро-фосфо-калієва сировина

ВСТУП

Відсоток населення, що обслуговується очисними спорудами стічних вод різниться значно серед країн Європейського Союзу(ЄС). Для деяких країн поліпшення кількості, розміру та ефективності відновлення рослин мали б істотний позитивний вплив на якість та здоров'я водних ресурсів середовища. Суха маса на душу населення виробництва мулу стічних вод, що створюється в результаті первинного і вторинного очищення становить близько 90 грамів на добу, на людину, що більш-менш однаково у всіх Країни ЄС, де муніципальні громади обслуговуються двома станціями по очищенню стічних вод з фізичним, механічним та біологічним методами очищення. Після впровадження Директива щодо очищення міських стічних вод (UWWTD) (91/271 / ЄЕС) переважна більшість населення ЄС-15 буде обслуговуватися очисними спорудами, по очищенню стічних вод до 2020 року. Очікується, що це буде генерувати близько 10,7 мільйона тон (суха маса) осаду стічних вод щороку, що на 38% більше, ніж 7,7 мільйона тон, вироблених сьогодні. Цей накопичувальний відсоток розподіляється між членами ОЕСР. Інформація про методи та підходи використовуються різними країнами - методів утилізація осаду стічних вод залишається невизначеною.

У деяких європейських країнах основна практика - це сміттєзвалище (від 50 до 75%), а решта - утилізація на сільськогосподарських полях як кондиціонер для ґрунту / добрива (від 25 до 35%) або в інших місцях утилізації (наприклад, парки, відновлення земель та озеленення). Використання сировинного мулу або інших методів компостування в сільському господарстві заохочується національною владою як найкращий спосіб переробки, тоді як спалювання вважається найгіршим. Директива 86/278 / ЄЕС про осад стічних вод у сільському господарстві вимагає, щоб ніхто не міг використовувати осад стічних вод на сільськогосподарському угідді, якщо не виконуються конкретні вимоги. Директива має на меті уникнути накопичення токсичних речовин, особливо важких металів, які могли б досягти надмірного рівня в ґрунті. Морські захоронення зараз заборонені, а підземні будуть регламентовані, якщо

буде прийнята нова директива про захоронення то утилізація органічного вмісту стане обов'язковим. Остаточна утилізація осаду стічних вод залишається невирішеною проблемою; тому, що кількість виробленого осаду збільшується, а, сільське господарство може поглинати лише обмежену кількість добрив у вигляді сухого активного мулу. І тут постає питання про нові методи утилізації осадів стічних вод. У США та Китаї його використовують для виробництва біогазу, в Японії та Нідерландах - для виділення цінних компонентів (фосфору, азоту, вуглецю тощо) та виробництва будівельних матеріалів. Ще виготовляють паливні гранули, як альтернативний вид топлива. У деяких країнах Європейського Союзу осад стічних вод використовують для рекультивації та меліорації порушених земель.

Актуальність роботи :вирішення проблеми обробки та утилізації осадів стічних вод.

Мета роботи: аналіз особливостей переробки та утилізації осаду стічних вод

Об'єкт роботи: каналізаційні очисні споруди.

Предмет дослідження: літературний огляд.

Методи дослідження:

- Теоретичний метод дослідження;
 - ✓ аналіз літератури;
 - ✓ узагальнення літературних даних;
 - ✓ пояснення.
- Системний метод .
 - Систематизація даних.

Наукова новизна: систематизація сучасної та міжнародної літератури у якій викладено найефективніші способи утилізації надлишкового активного мулу.

Практичне значення: зменшити навантаження на навколишнє середовище надлишкового активного мулу.

Новизна роботи: систематизація літератури.

Особистий внесок здобувача: проведено літературний аналіз актуальної на сьогоднішній день літератури з утилізації надлишкового активного мулу з перспективою провадження нової технології на території України.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- Здійснювався огляд літератури;
- Підбирались найактуальніші способи утилізації активного мулу;
- Систематизувались дані для того щоб обрати декілька найактуальніших технологій.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи: Кваліфікаційна робота складається із вступу, 3 розділів, у тому числі – висновків та списку використаних джерел із найменувань. Роботу викладено на сторінках, друкованого тексту, ілюстровано рисунками, таблицями.

РОЗДІЛ 1

ПРОБЛЕМА УТИЛІЗАЦІЇ АКТИВНОГО МУЛУ

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Екологічні проблеми в існуючих водогосподарських системах населених пунктів України здобули загальнодержавне і міжнародне значення. Основними забруднювачами водних об'єктів між галузями економіки України залишаються промисловість – 52 % від загального скиду стічних вод та житлово-комунальне господарство – 41 %. Статистичні дані свідчать, що підприємства житлово-комунального господарства скидають біля 3400 млн м³ стічних вод, з них недостатньо очищеними – 1370 млн м³ (116 млн м³ без очищення) (1).

Аналіз існуючих в населених пунктах України та країнах СНД систем водовідведення всіх категорій стічних вод показує, що системи водовідведення становлять підвищену екологічну небезпеку щодо водних об'єктів, як в штатних умовах експлуатації, так і в аварійних ситуаціях. Очищення стічних вод відноситься до багатовідхідної технології, в якій утворений осад являється великотоннажним відходом.

Актуальність проблеми осадів-відходів відображена в ряді Законів України, які зобов'язують виробників відходів мулового осаду позбавлятися від них. При цьому ігнорується сам факт відсутності технологій по їх утилізації (2). Для порівняння, в Україні використовується практично один спосіб утилізації мулового осаду – складування (>95 %). Це пов'язано з тим, що якість вітчизняних осадів мулу стічних вод не відповідає вимогам нормативів за вмістом важких металів (3). Процес розкладання органічних сполук мулових осадів в мезофільно - анаеробних умовах призводить до утворення біогазу, що суттєво впливає на «парниковий ефект». Із загальної кількості метану (CH₄), який щорічно поступає в атмосферу, 40-50 % утворюється в результаті антропогенної діяльності, причому більше 20 % з них припадає на об'єкти захоронення побутових відходів, включаючи і мулові осади рідких стоків, що розміщуються на мулових майданчиках (картах) біологічних очисних споруд. Визначено, що здатність біогазу визивати «парниковий ефект» приблизно в 30

разів вище, ніж у вуглекислого газу CO_2 . Метан CH_4 і діоксид вуглецю являються «парниковими» газами, що потребує обмеження їх емісії в атмосферу. Вплив стічних вод і відходів на поверхневі води і джерела водопостачання є проблемою при удосконаленні моніторингу джерел водопостачання, схильних до антропогенного евтрофування (збільшення шкідливих речовин у водних екосистемах в результаті діяльності людини).

Директивні документи ЄС № 86/278 регламентують застосування мулових осадів стічних вод в залежності від способу їх переробки (звичайної або поглибленої) в якості добрив.

Директивою 2000/76 ЄС регламентовано дуже жорсткі нормативи по емісії шкідливих речовин в димових газах при спалюванні мулового осаду. На цей час внаслідок високих економічних витрат на спалювання осаду січних вод і особливо на очищення димових газів (викидів) в Україні економічно важко використовувати сучасні термічні методи утилізації мулового осаду стічних вод. Слід зазначити, що при апробації дрібних фракцій промислових і побутових відходів, вони є основними джерелами забруднення природного середовища в містах і на прилеглих територіях. Це обумовлено високим вмістом хімічних, в т.ч. токсичних, речовин у відходах мулового осаду

Виходячи з того, що основна небезпека при складуванні мулових осадів полягає в міграції з них важких металів у ґрунт і водойми, важливо проаналізувати перспективні технологічні процеси повної утилізації мулового осаду стічних вод

1.1 Джерела утворення активного мулу

Біологічне очищення стічних вод - основний спосіб очищення стічних вод, що містять забруднення органічного походження, що полягає в мінералізації цих забруднень внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів. У процесі дихання мікробів органічні речовини окислюються, і звільняється енергія, необхідна для життєвих функцій.

Стічні води, що направляються на біологічне очищення, характеризуються величинами БСК і ХСК

Хімічним споживанням кисню (ХСК) називається величина, яка характеризує загальний вміст у воді органічних та неорганічних відновників, здатних реагувати з сильними окисниками.

Біохімічне споживання кисню (БСК) – це кількість кисню, виражена у міліграмах, яка необхідна для окиснення органічних речовин, що містяться в 1 л стічної води, за аеробних умов під впливом біологічних процесів.

Швидкість окиснення певної органічної речовини, і, відповідно час, що необхідний для її повної мінералізації, залежить від природи цієї речовини. Як показали дослідження, у водах, забруднених господарсько-побутовими стоками, мінералізації органічних речовин закінчується через 10 діб, а остаточна стабілізація значення БСК (БСК повне) настає через 20 діб. Результати БСК виражають у мг O₂ у перерахунку на 1 л води.

Активний мул - це суміш біомаси мікроорганізмів і забруднюючих речовин разом із вступниками в аеротенк стічними водами.

Активний мул являє собою темно-коричневі пластівці розміром до декількох сотень мікрометрів. На 70% він складається з живих організмів і на 30% - з твердих частинок неорганічної природи. Живі організми разом з твердим носієм утворюють зооглею - симбіоз популяцій мікроорганізмів, покритий загальною слизовою оболонкою. Залежно від зовнішнього середовища, якої в даному випадку є стічна вода, та чи інша група бактерій може виявитися переважною, а інші стають супутниками основної групи (1). Істотна роль в створенні і функціонуванні активного мулу належить найпростішим. Функції найпростіших досить різноманітні; вони самі не беруть безпосередньої участі в споживанні органічних речовин, але регулюють віковий видовий склад мікроорганізмів в активному мулі, підтримуючи його на певному рівні. При зміні складу стічної води може збільшитися чисельність одного з видів мікроорганізмів, але інші культури все одно залишаються в складі біоценозу.

Показником якості активного мулу є коефіцієнт протозойності, який відображає співвідношення кількості клітин найпростіших мікроорганізмів до

кількості бактеріальних клітин. У високоякісному мулі на 1 мільйон бактеріальних клітин має припадати 10-15 клітин найпростіших організмів, середньої якості доводиться, відповідно, 5-9, поганій якості - близько 1-4 найпростіших (1). На формування ценозів активного мулу можуть впливати і сезонні коливання температури, забезпеченість киснем, присутність мінеральних компонентів. Все це робить склад складним і практично невідтворюваних.

Ефективність роботи очисних споруд залежить також від концентрації мікроорганізмів в стічних водах і віку активного мулу. В звичайних аеротенках поточна концентрація активного мулу не перевищує 2-4 г / л (1).

Збільшення концентрації мулу в стічній воді призводить до зростання швидкості очищення, але вимагає посилення аерації, для підтримки концентрації кисню на необхідному рівні. Таким чином, аеробне переробка стоків включає в себе наступні стадії:

1. Адсорбція субстрату на клітинній поверхні.
2. Розщеплення адсорбованого субстрату позаклітинними ферментами.
3. Поглинання клітинами розчинених речовин.
4. Зростання і ендогенне дихання.
5. Вивільнення екскретованих продуктів.
6. Споживання первинної популяції організмів вторинними споживачами.

В ідеалі це повинно приводити до повної мінералізації відходів до простих солей, газів і води. На практиці очищена вода і активний мул з аеротенка надходить до вторинного відстійника, де відбувається відділення активного мулу від води. Частина активного мулу повертається в систему очищення, а надлишок активного мулу, що утворився в результаті зростання мікроорганізмів, надходить на мулові стави, де зневоднюється і вивозиться на поля. Надлишковий активний мул

У процесах механічного, біологічного та фізико-хімічного очищення стічних вод на очисних спорудах утворюються осад, що містять органічні і мінеральні компоненти -цей осад і називається надлишковим активним мулом. Обсяг вологих осадів становить 2-10% від обсягу води що очищується. Вміст сухої речовини в осадах в залежності від їх виду знаходиться в межах від 0,3 до 7%. В Україні утворюється близько 3 млн. т. (по абсолютно сухій речовині) осадів на рік, в СІЛА - 6,5, у Великобританії - 1,1, в Німеччині - 2,4, у Франції - 0,8, в Японії - 2,8 млн. т (2).

Первинні осади. До них відносять грубо-дисперсні домішки, які знаходяться у твердій фазі і виділені з води методами механічного очищення (седиментація, флотація, фільтрація, осадження в відцентровому полі).

Грубі осади затримуються ґратками. До складу таких осадів входять великі зважені і плаваючі домішки, переважно органічного походження: папір, ганчір'я, деревина, полімерні матеріали та ін. Грубі осади часто піддаються дробленню з подальшим випуском їх в канал перед ґратками. Переробка таких осадів разом з іншими може здійснюватися в метантенках, на піролізних установках або вони направляються на компостування.

Важкі осади (пісок, каміння, цегла, вугілля, бите скло) затримуються на пісковловлювачі . Вологість важких осадів становить близько 60%(5). Плаваючі осади уловлюються жироловками або спливають у відстійниках. 19

Сирі осади затримуються первинними відстійниками. У побутових стічних водах ці осади представляють собою драглисту, в'язку суспензію, яка містить до 60-75% органічних речовин. Вологість осадів при самопливному видаленні після 2-годинного відстоювання становить 95%, при видаленні плунжерними насосами -93-94% (3).

Вторинні осади. До них відносять домішки, які спочатку перебували у воді у вигляді колоїдів, молекул, іонів, але в процесі біологічного або фізико- хімічного очищення були переведені в тверду фазу і видалені з

стічних вод. Осад, який утворюється після біологічної очистки, - надлишковий активний мул, після фізико-хімічного очищення - шлам.

Активний мул, затримуваний вторинними відстійниками після аеротенків, являє собою пластівчасту масу бурого кольору, що володіє флокулюючими властивостями. За механічним складом він відноситься до тонких суспензій, оскільки на 98% по масі складається з частинок розмірами менше 1 мм.

Активний мул відрізняється високою вологістю, яка досягає 99,2-99,7%. вміст органічних речовин в активному мулі становить 70-75%, в тому числі: білків — 45 - 50%, жирів - 15-20%, вуглеводів - 5-8%. У порівнянні з сирим осадом із первинних відстійників активний мул містить білків вдвічі більше, а вуглеводів в 2,5-3 рази менше.

Сирий активний мул має в своєму складі патогенні мікроорганізми і яйця гельмінтів. Висока вологість і хімічний склад мулу обумовлюють його здатність до мимовільного розкладання з утворенням специфічного гнильного запаху (4). Вологість надлишкової біоплівки, що виноситься з біофільтрів, після вторинних відстійників становить 96% (4). Шлами при фізико-хімічному очищенню виділяються із застосуванням реагентів, адсорбції, іонного обміну, екстракції та інших методів і затримуються відстійниками або іншими спорудами.

Форми зв'язку вологи. Всі осади мають дуже високу вологість. Умови і ступінь видалення вологи з осадів визначаються їх структурою і особливостями розподілу води. Волога в структурі осаду може перебувати у вільному стані, в фізико-механічному зв'язку з твердими частинками, а також у вигляді фізико-хімічно і хімічно зв'язаних. Вільна волога має найменшу енергію зв'язку зі структурою осаду і може бути з нього видалена механічними методами і природною сушкою осадів на мулових майданчиках.

Фізико-механічно зв'язана волога - це капілярна вода, вода змочування і структурна волога. Фізико-механічний зв'язок порушується при випаровуванні і видаленні вологи під тиском.

Фізико-хімічним зв'язком утримується адсорбційна і осмотична волога.

Хімічно зв'язана вода, що входить до складу речовин, не виділяється навіть при термічній сушці осадів.

Класифікація надлишкового активного мулу

Виділяють три основні категорії надлишкового активного мулу, що утворюються після біологічного очищення стічних вод:

1. Мул, що походить від очищення міських стічних вод, що складається з побутових стічних вод або суміші побутових стічних вод з промисловими стічними водами та / або стікаючою дощовою водою.

2. Мул, що походить від очищення промислових стічних вод, тобто води, що використовується в промислових процесах.

3. Мул від очищення питної води. Воду доводиться обробляти до її споживання. Кількість мулу, що утворюється при очищенні питної води, значно менша, ніж утворилася в результаті очищення стічних вод.

Найбільша кількість надлишкового активного мулу утворюється внаслідок очищення промислових стічних вод та становить приблизно 63% від загальної кількості, для України.

Характеристика надлишкового активного мулу

Характеристики надлишкового активного мулу (табл.1.1.) залежать від вихідного забруднення води, що очищується, а також від технічних характеристик проведеного очищення. Обробка води концентрує забруднення присутні у воді, тому шлам містить велику кількість зважених і розчинених речовин. Деякі сполуки можуть бути корисними для повторного використання (органічні речовини, азот, фосфор, калій, кальцій тощо), тоді як інші сполуки є забруднюючими речовинами (такими як важкі метали, органічні забруднювачі та патогени).

Таблиця 1.1 - Середній склад осадів стічних вод

Параметр	Ahmed et al.,2010	Tyagi & Lo,2013	Dubovy &Tabakaieva,2014	Hamood &Khatib,2016	Kaletnik &Honcharuk,2016	Paya et al.,2018
Сухо речовина %	-	5-9	-	6	-	2-8
Азот %	3	1,5-4	0,7-1,5	2,5	3,02	1,5-4
Фосфор %	2	0,8-2,8	0,9-1,4	1,6	2,33	0,8-2,8
Калій%	0,5	0-1	0,1-0,2	0,4	0,21	0-1
Магній%	1,5	-	-	-	0,95	-
Кальцій %	50	-	-	-	3,48	-
pH%	-	5-8	5,3-6,7	6	-	-
Органічна речовина %	65	-	41-45	-	-	-

У таблиці 1.1 представлено середній склад осадів стічних вод за різними дослідженнями (4).

Представлені в таблиці 1.1 дані свідчать про те, що середній склад осадів стічних вод є практично однаковим у дослідженнях всіх авторів, проте спостерігаємо і деякі відмінності. Це може бути пов'язано з географічним розташуванням станцій очищення стічних вод, сезоном відбору проб, а також наявністю промислових об'єктів. Загалом, як видно з таблиці 1.1,

досліджувані зразки осадів стічних вод у необхідній кількості містять усі основні біогенні елементи, такі як: фосфор ~ 2,5 %, азот ~ 4 % та калій ~ 0,5 % (5)

1.2 Шляхи вирішення цих проблеми з активним мулом

Аналіз літературних джерел показує, що найбільш поширеним шляхом утилізації осадів стічних вод в умовах України є їх використання в умовах сільської місцевості та малих населених пунктів в якості добрива або біодобавки.

Результати агрохімічних аналізів підтверджують можливість та ефективність використання осадів стічних вод в сільському господарстві, адже активний мул містить велику кількість білку і фізіологічно активних сполук, чим і обумовлена його цінність. Склад активного мулу залежить від складу стічних вод, вмісту в них солей, кисню, температури, рН, тому його основу складають завислі речовини, що не були затримані в первинних відстійниках, і адсорбовані колоїдні речовини з мікроорганізмами, які розмножуються на них: бактеріями, пліснявими грибами, дріжджами, актиноміцетами, водоростями, найпростішими, личинками комах та іншими організмами.

Основну частину сухої речовини осадів складають органічні сполуки. Мінеральна частина осадів представлена в основному сполуками кремнію, кальцію, магнію і заліза. Тому осади стічних вод прискорюють ріст рослин і збільшують їх масу, а отже відповідають вимогам, що висуваються до добрив (1).

Але проблема полягає в тому, що на міські очисні споруди надходять стоки з різних джерел утворення, в результаті чого в осадах можуть накопичуватись небезпечні речовини. Через свою токсичність такі осади не можуть використовуватись в якості добрив і нагромаджуються на мулових майданчиках, площа яких невпинно збільшується, перетворюючи їх у зону екологічного лиха.

На думку фахівців, наявність важких металів в осадах сама по собі не повинна виключати їх використання в якості добрив. Необхідно лише

відпрацювати дозування осадів на одиницю площі території і суворо контролювати періодичність їх внесення. Також слід розробити спеціальні технології внесення осадів в ті чи інші ґрунти на підставі комплексних досліджень агрохімічних та екологічних характеристик останніх (5).

Цій проблемі в світі приділяється значна увага. Так, в країнах Європи на очисних спорудах зводяться енергетичні комплекси, джерелом енергії для яких є осад стічних вод. Це дозволяє з відходів отримувати прибутки і одночасно поліпшувати стан довкілля.

В Польщі утилізують високотоксичні осади міських стічних вод підстиляючи в шар дорожнього покриття (2). У Франції 50-60 % осаду стічних вод використовуються у якості органічних добрив; 20-25 % вивозяться на звалища твердих побутових відходів; а 15-20 % - спалюються на сміттєспалювальних заводах (3). В Росії, після біологічного знезараження осад розділяють на першу та другу групи згідно концентрації важких металів та арсену. Осад першої групи використовують під всі види сільськогосподарських культур, окрім овочевих, грибів, зелені та суниці. А осад другої групи використовують під зернові, зернофуражні та технічні культури. Осади обох груп широко використовуються в промисловому квітникарстві, зеленому будівництві та декоративних розплідниках, а також для біологічної рекультивації зруйнованих земель та полігонів твердих побутових відходів (2). В Ізраїлі рідкий зброжений осад широко використовується для закріплення рухомих пісків. В багатьох інших країнах з його допомогою створюють ґрунтовий шар в піщаних районах. На таких штучно створених землях будуються спортивні майданчики та парки (1).

Як бачимо, у розвинених країнах осади стічних вод знаходять широке застосування, що дозволяє істотно зменшити навантаження на навколишнє середовище. У деяких країнах Європейського Союзу спостерігається тенденція до зростання обсягів утилізації осадів стічних вод у сільському господарстві (3). Так, у Німеччині в якості добрива використовуються осади стічних вод - стабілізовані, компостовані та пастеризовані. Пастеризація здійснюється

шляхом їх нагрівання до 65-70° С протягом 20-30 хвилин, що призводить до знищення в них яєць гельмінтів та патогенних мікроорганізмів.

Також використовують спосіб спалювання активного мулу для отримання заміників нафти та кам'яного вугілля. Крім того, у Німеччині і Австрії велику увагу приділяють саме розробці установок спільного компостування відходів та осаду стічних вод (3). В країнах Європи та у Сполучених Штатах Америки практикують технологію обробки органічних відходів у біогазових установках, основою яких є метантенк. Для ефективної дії сирій осад має завантажуватись попередньо підігрітим і змішаним із збродженим осадом. Співвідношення суміші сирого та збродженого осаду повинно складати приблизно 1:10. Біогазова технологія вважається однією з найефективніших способів знезараження та переробки органічних відходів різного походження, з одночасним отриманням біогазу, електроенергії та екологічно чистих добрив (3). В залежності від класу органічних речовин, що містяться в стічних водах, змінюється склад біогазу і частка метану в ньому.

Новою, але досить дієвою є технологія утилізації осаду із застосуванням вермікультури, що дає змогу суттєво збільшити ефективність очистки та знезараження осаду, зменшити викиди осадів на мулові майданчики. Виготовлення з осаду вермікомпосту є економічним з точки зору ефективності. Вартість переробки однієї тонни сухої речовини мулу за допомогою червів складає в середньому 120 грн і виявляється дешевшою порівняно з вартістю його традиційної обробки на полях зрошування або за допомогою обезводнення і компостування (6).

Також осад можна застосовувати в якості наповнювачів до асфальтобетону. При приготуванні асфальтобетонної суміші мінеральний порошок замінюють наповнювачем з висушеного осаду стічних вод. Але з цією метою краще використовувати «старі» осади стічних вод, віком не менше 10 років. Запропоновані також різні технології утилізації осадів стічних вод у шлам, що використовується для виготовлення цегли, бетону та інших будівельних матеріалів. У Європі набирає все більшу популярність технологія

виробництва біовугільних гранул, або АСВ пелет (від англ. Accelerated Carbonized Biomass). Сутність методу полягає в тому, що перед гранулюванням біомасу піддають випалюванню без доступу кисню при температурі 200-300°C. Для цього використовується так званий торбедреактор (Torbed Reactor). В результаті у біомасі, в тому числі органічних відходах, підвищуються теплота згоряння, енергоємність і поліпшуються параметри горіння. З цієї позиції є цікавим процес карбонізації осадів стічних вод, і в цьому аспекті їх термічна обробка на мулових майданчиках веде не тільки до зменшення обсягів накопичення, але й дає можливість подальшого використання осадів у якості альтернативного палива (7). Крім того, запропоновано використання осадів стічних вод у якості добавки до палива на електростанціях. Водопаливні суспензії - відносно новий вид енергетичного палива, що використовується за кордоном, але поки що не знайшов широкого застосування в нашій державі. Однією з переваг водопаливних суспензій є вибухо- та пожежобезпечність палива на всіх технологічних стадіях приготування і транспортування.

Взагалі колоїдні палива є екологічно чистими видами палив, адже при їх використанні зменшується у відхідних газах вміст сажі, бензапірену і вторинних вуглеводнів, концентрація оксидів азоту і сірки та відбувається інтенсифікація процесу горіння речовин. Все це пов'язано з протіканням хімічних реакцій в процесі горіння. В даному аспекті перспективною є можливість додавання сирих осадів стічних вод (8).

Що стосується утилізації осаду шляхом його спалення, то вона застосовується у випадках, коли інші методи неможливі або ж економічно недоцільні. Ймовірність присутності токсичних компонентів при спаленні осаду може викликати серйозні труднощі на етапі очистки газів перед викидом їх в атмосферу. Тим не менш, такий спосіб утилізації дозволяє скоротити об'єм осадів більш ніж в 100 разів (2). Крім того, спалення осаду дозволяє використовувати попередньо очищений газ для виробництва електроенергії, а зі складу утвореної золи виділяти домішки металів, що дає змогу використовувати обидва компоненти в якості товарних продуктів. Як відомо,

зола використовується в будівництві для виробництва багатьох видів бетону та силікатної цегли, також з її додають при виготовленні бордюрних каменів і блоків для будівництва, при виготовленні асфальту тощо.

1.3 Найефективніші шляхи вирішення проблеми утилізації активного мулу

1.3.1 Виробництво паливних гранул з активного мулу

. Вище наведена інформація засвідчує необхідність вирішення проблеми обробки утилізації осадів стічних вод. Відомо багато способів утилізації та переробки ОСВ (6), а саме:

- зневоднення;
- депонування;
- використання в якості добрив чи заміників ґрунту для озеленення міст і при рекультивациі порушених земель,
- в якості кормів,
- в жировій промисловості,
- у будівельній індустрії та дорожніх роботах,
- у хімічній промисловості;
- спалювання тощо.

Варто зазначити, що деякі способи утилізації ОСВ, що заборонені в одних країнах світу, є досить розповсюдженими в інших. Наприклад, у Фінляндії та Швеції осади не спалюються взагалі, а переважно складуються (1). Вибір методу утилізації залежить від промислового спрямування держави, її економічного розвитку та нормативної бази. Так, у країнах з розвиненим агропромисловим комплексом, переважає сільськогосподарське використання ОСВ.

Наприклад, у Люксембурзі в сільському господарстві використовується близько 90 % річного виходу ОСВ, у Швейцарії – 70 % (1). У європейських країнах з розвиненою індустріальною економікою, таких як Австрія, Німеччина, Нідерланди, широко використовуються термічні способи утилізації ОСВ.

У деяких країнах Європейського Союзу, таких як: Нідерланди та Люксембург, гранульований осад стічних вод експортують до інших країн для їх спалювання або ж компостування. Окрім цього, в Нідерландах упродовж багатьох років здійснюють відновлення фосфору з осаду стічних вод.

Близько 32 % утворених тут осадів стічних вод сьогодні використовують для виробництва цементу та як паливо на електростанціях. У Швеції, Фінляндії, Німеччині та Великій Британії осад стічних вод впродовж багатьох років використовують для меліорації та рекультивації земель, порушених внаслідок промислових розробок. Використання осаду стічних вод у суміші з вапном дало позитивні результати під час рекультивації сміттєзвалищ та відпрацьованих кар'єрів з видобутку вугілля. Спалювання осадів стічних вод є основним методом утилізації у Швейцарії, Німеччині та Польщі. В останній країні розглядають можливість отримання енергії з осадів стічних. Починаючи з 80-х років, у Сполучених Штатах Америки для утилізації осадів стічних вод застосовують компостування осаду спільно з твердими побутовими відходами з метою отримання біогазу. Також у США існує декілька технологій з отриманням відновлювальної енергії, які пов'язані з обробкою осадів стічних вод. Ці технології включають виробництво електричної та механічної енергії, а також отримання тепла завдяки метану, отриманого внаслідок анаеробного перетворення осадів стічних вод. Новітні технології забезпечують додатковий енергетичний шлях, способом перетворення вологих осадів стічних вод у біологічну нафту, яку можна було б фракціонувати на різні рідкі види палива, зокрема дизельне та бензинове. Спалювання осаду стічних вод допомагає отримати золу, яка є цінним продуктом для виробництва будівельних матеріалів. Так, у штаті Джорджія золу від спалювання осадів стічних вод використовують для виробництва цегли, в Мінесоті – як добавку до асфальтобетонних сумішей, в Меріленді – висушений осад стічних вод використовують як паливо для цементних печей. У Сан-Дієго осад стічних вод застосовують для виготовлення штучного каменю – наповнювача для виробництва.

Хоча процес спалювання є досить ефективним під час утилізації осадів стічних вод, проте він потребує значних енергетичних та фінансових затрат на спалювання, також значні затрати виникають у процесі транспортування золи на підприємства, які використовують її для виготовлення будівельних матеріалів. Впродовж останніх трьох десятиліть для утилізації осаду стічних вод у Японії переважно використовують термічні процеси, такі як: спалювання, газифікація, сушіння та карбонізація. На думку японських вчених, одним із перспективних способів утилізації стічних вод є плавлення, внаслідок якого виробляють шлакокамінь. За останні декілька років 45 % осадів стічних вод було використано для виробництва будівельних матеріалів, 30 % – для виробництва цементу, 13 % – для виробництва енергії. Також у Японії розроблено проект, у якому обезводнені осади стічних вод перетворюють на паливне вугілля. Окрім цього, розроблено нову систему виробництва електроенергії з використанням синтез-газу, що утворюється внаслідок піролізу осаду стічних вод. Осад стічних вод в Японії є цінним джерелом для виділення різних елементів, таких як: фосфор чи азот, з яких виготовляють добрива, а також для виготовлення біосорбентів, які використовують для очищення промислових стічних вод від іонів важких металів. Будучи однією з найбільш густонаселених країн світу, Китай щорічно продукує близько 6,25 млн т осадів стічних вод, понад 80 % з яких до недавня незаконно скидалися у навколишнє середовище. Як і в інших країнах світу, у Китаї значно поширеними методами утилізації осадів стічних вод є захоронення, спалювання та використання у різних галузях економіки. Перспективним напрямом є отримання із осаду стічних вод біогазу та електроенергії. Внаслідок використання анаеробного очищення та зневоднення стічних вод упродовж року в Китаї може бути вироблено понад 2,5 млрд м³ біогазу, який зможе генерувати більш як 4 млрд кВт електроенергії. Також у Китаї осад стічних вод використовують для виробництва цегли, цементу та інших будівельних матеріалів. Окрім цього, спільне спалювання стічних вод із вугіллям використовують як додаткове

паливо в цементних і цегельних печах, а також на електростанціях. Китайські вчені розробляють нові технології щодо вилучення та відновлення фосфору з осаду стічних вод. Осад стічних вод у середньому містить 174000 мг/кг¹ органічного вуглецю (C), 17700 мг/кг⁻¹ – загального азоту (N) та 13350 мг/кг⁻¹ – загального фосфору (P), які можна використовувати для виробництва добрив. Сьогодні у Китаї для виділення фосфору з осаду стічних вод використовують новітні технологічні процеси, які дають змогу виділити фосфор із супернатантів переробленого осаду після розділення рідкої та твердої фаз. Важливим компонентом цих технологій є реактори кристалізації. Такі технології допомагають відновлювати 80-90 % розчиненого фосфору з осадів стічних вод.

Також у Китаї вивчено та випробувано на пілотних установках нові технології видалення з осадів стічних вод біогенних елементів живлення. Ці технології включають: анаеробне окислення аміаку (ANAMMOX); скорочену нітрифікацію та денітрифікацію; одночасну нітрифікацію та денітрифікацію (SND) та безкисневе денітрифікуюче видалення фосфору. Серед цих технологій найбільшу перевагу надають ANAMMOX, тому що вона є енергозберігаючою та ефективною і може бути реалізована за допомогою різних конфігурацій реакторів, зокрема біоплівкові. Поряд з іншими країнами світу, в Україні проблема утворення та накопичення осадів стічних є актуальною, адже кількість накопиченого осаду сягає більше 5 млрд т, з яких лише 5 % використовують як вторинну сировину, а 95 % відправляють на захоронення. Сьогодні в Україні більшість осадів стічних вод, які не підлягають захороненню, використовують у сільському господарстві як органо-мінеральні добрива. Використовуючи такі добрива в кількості 500-600 кг/га, спостерігається збільшення урожаю вівса та картоплі в середньому на 20 %, кукурудзи – на 33,5 %, ріпаку – на 24 % тощо. Також під час застосування добрив на основі осадів стічних вод покращуються якісні показники ґрунту, а саме збільшується вміст гумусу. В екологічних умовах України саме такий спосіб утилізації осадів стічних вод є найкращим та найефективнішим. Проте в останні декілька років українські вчені почали розглядати нові можливості

щодо використання осадів стічних вод. Так, наприклад, на заводі інституту "Южгірпромцемент" встановили можливість використання 3-10 % зневодненого осаду у складі цементних сировинних сумішей. Встановлено, що завдяки додаванню до суміші для виробництва цегли фіксуєної добавки з осадів стічних вод у кількості 5 % від її загальної маси спостерігаємо збільшення пористості цегли та її міцності. Дослідниками встановлено, що завдяки додаванню 6 % органо-мінерального порошку на основі осадів стічних вод до суміші для виробництва асфальтобетону спостерігаємо високий коефіцієнт водостійкості та збільшення міцності. Окрім цього, прикладом успішної утилізації накопиченого осаду стічних вод також є розроблена в НТУ "КПІ" технологія конверсії осаду в цінний кондиційний $MnSO_4 \cdot 5H_2O$ та сировину для виготовлення керамічних виробів та мінеральних пігментів (Astr. Також в Україні існує проблема, яка пов'язана із застарілим обладнанням та перевантаженням на очисних спорудах. Зважаючи на це, в деяких містах вже здійснюють роботи з реконструкції та модернізації очисних споруд, завдяки чому осад стічних вод можна буде перетворювати в золу, біогаз тощо. Так, у м. Києві на Бортницькій станції аерації завдяки групі японських проектних організацій TEC International Co., Ltd., Nihon Suiko Sekkei Co., Ltd., та Nippon Koei Co., Ltd буде проведено будівництво Блоку №1, а також реконструкцію Блоку № 2 та 3, на яких буде передбачено біологічне очищення стічних вод зі створенням в аеротенках зон нітрифікації та денітрифікації, а також будівництво гравітаційних та механічних мулоущільнювачів для термоутилізації осаду. Кінцевим продуктом очищення стічних вод буде зола, яку можна використовувати у промисловості. На Дніпровському та Володимирському водопроводах у м. Києві осад стічних вод використовують для інтенсифікації процесу коагуляції, що дає змогу економити до 30 % коагулянта $Al_2(SO_4)_3$. Встановлено також, що осад стічних вод можна використовувати для регенерації коагулянтів. Завдяки цьому у виробництво можна повернути близько 80 % відпрацьованих коагулянтів та зменшити об'єми накопичення осадів стічних вод . У м. Львові на очисних спорудах планується

будівництво біогазової станції. Ця станція буде складатися зі споруд для зброджування у метантенках осаду первинних відстійників та надлишкового активного мулу аеротенків. Біогаз, що утвориться внаслідок зброджування, будуть використовувати для виробництва електричної та теплової енергії. Враховуючи проблеми, які склалися в містах України з накопиченням великої кількості осадів стічних вод, основним завданням у вирішенні цієї проблеми повинно бути чітке визначення того, який спосіб утилізації буде найдоцільнішим та економічно вигідним. Зважаючи на наявні економіко-екологічні проблеми, найоптимальнішим способом утилізації може бути використання осадів стічних вод як добрив у сільському господарстві або як компонент для створення субстрату для рекультивації порушених земель, кар'єрів та звалищ.

Це зумовлено не тільки високим рівнем розвитку новітніх технологій, але і діючими законодавчими нормами щодо забруднення навколишнього середовища (2).

Найбільш рентабельним та перспективним способом переробки осадів саме для України з її енергетичною кризою може стати використання ОСВ у якості палива. Енергетичні проблеми країни пов'язані в основному з обмеженістю корисних копалин. Їх запасів вже не вистачає для потреб теплоенергетики. В результаті чого все частіше піднімається питання пошуку альтернативних і поновлюваних джерел енергії. Виникає потреба у впровадженні принципово нових підходів і технологій у виробництві та реалізації альтернативного палива (7).

Осад стічних вод промислових міст може стати заміником існуючих видів палива, перетворившись з екологічної проблеми на новий функціональний продукт, що приносить значний прибуток.

Отже, осад можна вважати потужним джерелом енергії. Крім того, склад осаду (табл. 1.) відповідає вимогам щодо складу органічної складової палива (7).

Таблиця 1 - Елементарний склад ОСВ

Суша речовина сирих осадів, % маси сухої речовини осаду		Суша речовина активного мулу	
Вуглець	35,4 – 87,8	Вуглець	44,0 – 75,8
Водень	4,5 – 8,7	Водень	5,0 – 8,2
Сірка	1,0 – 2,89	Сірка	0,9 – 2,7
Кисень	2,69	Кисень	3,3 – 9,9
Азот	7,6 – 35,4	Азот	12,5 – 43,2

У натуральному вигляді осади стічних вод мають вологість близько 97-98%, що не дозволяє використовувати їх в якості палива. з урахуванням цього для спалювання осадів з позитивним тепловим балансом, їх необхідно зневоднювати до вологості 45-55%.

Теплота згорання сухого осаду стічних вод знаходиться в межах від 9 до 13 МДж/кг, що приблизно дорівнює теплоті згорання бурого вугілля. Крім того, перетворення 1 тонни ОСВ (в розрахунку на суху масу) дозволяє отримати 500 кг умовного палива (6). А для підвищення ефективності палива, одержаного з осаду, необхідно підвищити його теплоту згорання, що вимагає лише залучення добавок (7).

В табл. 2 приведені дані щодо теплоти згорання традиційних видів палива та ОСВ.

Таблиця 2 - Теплота згорання традиційних видів палива та ОСВ

Вид палива	Теплота згорання, МДж/кг	Зольність, %	Вологість, %
Кам'яне вугілля	22,19	20	10
Буре вугілля	12,49	10	33
Торф'яний брикет	15,29	10	20
Сухий осад	11,47	40	30

На сьогоднішній день популярним і технологічно-легким у виробництві видом твердого біопалива вважаються паливні гранули або пелети, що можуть виготовлятися з найрізноманітніших видів біомаси.

Паливні гранули з ОСВ можуть успішно стати альтернативою традиційних видів палива. Адже вони можуть використовуватись не лише у системах індивідуального опалення житлових приміщень, але й у котельнях та ТЕС (5). В країнах ЄС таким способом утилізується 30 % загального обсягу накопичених осадів та покривається до 20 % загальних потреб у паливі в промисловості (1).

Осади стічних вод піддаються обробці з метою поліпшення їх фізичних властивостей і знищення патогенної мікрофлори за допомогою ефективних способів механічного зневоднення і термічної сушки, що дозволяє отримати з них тверде органічне паливо. Швидкий ріст попиту на даний вид палива був зумовлений законодавчими обмеженнями використання парникових газів у рамках Кіотського протоколу, а також Директивою щодо відновних джерел енергії ЄС (2). Існують різні методики приготування паливних брикет з ОСВ.

Наприклад, осади стічних вод подрібнюються, перемішуються з в'язучою речовиною, активуються, формуються у гранули та піддаються сушінню. Після чого гранули готові для застосування в камінах, печах, котельнях чи газогенераторах. Такі гранули мають теплотворну спроможність 3500 – 5000 ккал/кг в залежності від способу приготування і режимів виробництва, вологість 15%, вміст летючих речовин 50 - 65%, зольність 9 – 25%, вміст сірки 0,7 – 0,9%, гарну реакційну спроможність, екологічну безпечність при спалюванні тощо.

Крім того, ціна на дані брикети формується незалежно від цін на газ та нафту, запаси яких постійно обмежуються. Дана технологія не вимагає значних капітальних витрат, що не можна сказати про технологію виробництва АСВ пелет (від англ. Accelerated Carbonized Biomass) (2). Сутність даного методу полягає в тому, що перед гранулюванням біомасу піддають випалюванню у спеціальних торбед-реакторах без доступу кисню при температурі 200-300°C. В

результаті у біомасі, в тому числі органічних відходах, підвищуються теплота згоряння, енергоємність і поліпшуються параметри горіння (2).

З вище наведеної інформації можна зробити висновок, що в Україні з кожним роком зростає навантаження осаду стічних вод на мулові карти, а це в свою чергу вимагає розширення площ для його зберігання або видалення з мулових майданчиків та утилізації. Крім того, очевидним є те, що термічна обробка осаду стічних вод веде не тільки до зменшення обсягів накопичення відходів, але й дає можливість подальшого використання осадів у якості альтернативного палива, використання якого не вимагає складних технологічних рішень

1.3.2. Перспективи використання активного мулу для біодобрив

Упродовж останніх десятиліть катастрофічно зростають масштаби утворення та накопичення різноманітних відходів, що призводить до відчуження нових територій та забруднення довкілля.

Одним з видів таких стрімко зростаючих за кількістю відходів є осади стічних вод, що утворюються на очисних станціях населених пунктів і сьогодні дуже гострою є проблема їх обробки та утилізації. Осади в необробленому вигляді протягом десятків років зливалися на переобтяжені мулові майданчики, у відвали, водосховища, кар'єри, що призвело до порушення екологічної безпеки й умов життя населення. Тільки на території України кількість накопиченого осаду перевищує 5 млрд. т, до яких щороку додається ще 3 млн. т нових осадів.

Тому, назріла нагальна потреба у модернізації наявних способів обробки осадів та пошуку і розробці нових технологій їх утилізації (32,33). Враховуючи те, що останнім часом тваринництво в деяких регіонах практично відсутнє, а органічні добрива фактично не вносять ґрунт виникає необхідність у застосуванні високопоживних органічних добрив.

Одним з альтернативних видів органічних добрив типу гною є осад стічних вод, який пройшов стадію знезараження та термічної стабілізації. В

нашій країні осад як добриво використовується дуже мало. Це зумовлено трудомісткістю робіт, пов'язаних з транспортуванням і внесенням рідких мас з одного боку і санітарно-епідеміологічними обмеженнями з іншого. Тому осад стічних вод, як правило, підлягає спеціальній обробці.

З літератури відомо декілька способів підготовки осадів для подальшого використання: термічне зброджування, компостування, механічне зневоднення, термічна сушка та ін. Прогресивним методом переробки осадів вважається механічне зневоднення і подальша термічна обробка осаду, яка знімає санітарно-епідеміологічні обмеження застосування його під різні сільсько-господарські культури. Але для більшості станцій з невеликим добовим об'ємом стічних вод використання даної технології є нерентабельним, тому для станцій з малою потужністю використовується компостування.

Тому для більшості станцій очистки стічних вод є доволі перспективним метод утилізації осадів сільському господарстві в якості органічних добрив.

Автори зазначають, що специфіка даного методу полягає в урахуванні сучасного стану функціонування очисних споруд (зношення, деградація активного мулу, зміна хімічного складу стічних вод у порівнянні з проектними нормативами) і розробці реальних прикладних шляхів та заходів для вирішення гострих екологічних проблем регіону. Наявність в осадах необхідних для рослин поживних елементів дає можливість для їх використання в якості органо-мінеральних добрив. Енергетична цінність осадів стічних вод в значній мірі визначається не тільки вмістом в них основних макроелементів, але й не менш необхідних для нормального росту та розвитку мікроелементів (34).

Використання осаду як добрива є доволі позитивним, особливо враховуючи від'ємний баланс елементів живлення. Осад, у порівнянні з гноївкою, містить більшу кількість фосфору та кальцію. А рухомі форми азоту та фосфору швидше засвоюються сільськогосподарськими рослинами ніж їх валові форми. Але при цьому необхідно провести певну низку підготовчих операцій для запобігання потрапляння в ґрунти патогенних мікроорганізмів, солей важких металів, а також чітко дотримуватися рекомендацій по внесенню

органічних добрив для певної агрокліматичної зони. Осад після компостування повинен зберігатися на спеціальних майданчиках з твердим (бетонованим) покриттям у штабелях висотою 1,5-2 м та масою не більше 500 т (35,36).

Осад, який планується використовувати як орґано-мінеральне добриво, повинен містити: орґанічної речовини не менше 4,0%, валових форм азоту, фосфору та калію – 1,0;0,6 та 0,1 % відповідно; зольність не більше 6,0% у перерахунку на суху речовину. Внесення компостованих осадів стічних вод має проводитися у відповідності до норм, визначених з урахуванням наявності в них солей важких металів, але не частіше одного разу за п'ять років.

Використання компостованих ОСВ в якості добрив можливе лише на плакорних ділянках. Для запобігання надходження токсичних речовин у рослини на ґрунтах не чорноземного типу, необхідно чітко дотримуватися обмежень за частотою внесення та агро-кліматичними умовами регіонів (37).

Також необхідно враховувати агротехнічні особливості тих культур, які формують урожай у основній та побічній продукції (силосні або овочеві культури), де ймовірно нагромадження солей важких металів (ґрунти нечорноземного типу).

Комплексні добрива є більш ефективною та екологічно досконалою формою мінеральних добрив. Застосування комплексного добрива дозволяє підвищити біологічну активність ґрунту, врожайність сільськогосподарських культур (38). В умовах ресурсної залежності України від зовнішніх джерел нітро-фосфоро-калієвої (NPK-вмісної) сировини для комплексних добрив виникає необхідність в створенні технологій використання цих живильних речовин з техногенних відходів.

Більшість мереж каналізаційних очисних споруд, що існують в Україні мають в своєму складі біологічну стадію очистки (39), що здійснюється спеціальними мікроорганізмами активного мулу, які здатні окислити забруднювачі стоків до мінеральних речовин (40). Вологість активного мулу, який вивантажують з відстійників після аеротенків складає 99,2–99,8 % (41). В бактеріальній клітині мікроорганізмів міститься близько 80 % води і 20 % сухої

речовини (42). Надлишковий активний мул переповнює мулові карти та перешкоджає їх подальшому функціонуванню (39). Ущільнений активний мул вміщує до 9,8 % нітрогену і 1,5 % фосфору на суху речовину і після знезараження може стати цінним добривом з високим вмістом живильних речовин (43).

Проаналізувавши літературу можна зробити висновок, що розробка технології отримання комплексного добрива на основі активного мулу є актуальним питанням на сьогодні, вирішення якого дасть наукове підґрунтя для розширення сировинної бази організаторам промислових ліній випуску комплексних добрив, а також допоможе утилізувати роками накопичені техногенні відходи.

1.3.3 Метод стабілізації ґрунтів на основі активного мулу

На сьогоднішній день у світовій практиці існує досвід поліпшення властивостей ґрунтів для їх подальшого використання шляхом введення неорганічних або органічних закріплюючих компонентів. Виходячи з економічних міркувань найбільше застосування в будівельній практиці матимуть композиційні матеріали на основі ґрунтів, у яких дефіцитні і відносно дорогі в'язучі та добавки до них використовуються в мінімальних обсягах, а основну частину складають ті чи інші відходи і побічні продукти промислових підприємств.

Одним з таких відходів є активний мул станцій біологічного очищення, проблема утилізації якого є досить актуальною для великих міст.

Стабілізація ґрунту – це фізичне і хімічне змінення ґрунту для покращення його фізичних властивостей. Стабілізація й укріплення збільшує міцність ґрунту, тим самим покращує несучу здатність ґрунтового матеріалу. У залежності від технології обробки ґрунтів розрізняють два напрямки:

1) ін'єкційне хімічне закріплення, під час якого реагенти у вигляді розчинів або газів вводяться в ґрунти в умовах їх природного залягання і без порушення їх структури, нагнітанням під тиском;

2) бурозмішувальне закріплення ґрунтів, яке здійснюється з порушенням їх природної структури механічним перемішуванням ґрунтів з в'язучими або іншими реагентами і добавками, із застосуванням спеціальних механізмів.

Використання відомих розчинів на цементній основі в поєднанні з традиційними хімічними і мінеральними добавками не забезпечує в ряді випадків високу якість робіт при закріпленні ґрунтів.

Актуальним є можливість при такій обробці використовувати нетрадиційні матеріали, в т.ч. побічні продукти і відходи різних галузей промисловості, і заміна до 90 % цементу високої собівартості. Широко використовуються відходи коксохімічних виробництв для просочення поверхні ґрунтів, для знепилювання, запобігання сповзання або росту рослинності, попереднього ущільнення. На залізницях, за матеріалами (1), застосовують розпорошення бітумної емульсії, каніфольного сульфатного мила, талової олії, жирового гудрону, стеарину, асидол- милонафта, соапстоку, полімерів каніфольно-екстракційного виробництва, госиполової смоли (бавовняний гудрон), сульфатно-спиртової барди, деревної смоли, лужних витравок, газойльового контакту, сланцевої газогенераторної смоли, сирих важких нафт.

Штучне закріплення ґрунтів шляхом обробки їх синтетичними смолами знаходить все більш широке застосування в різних видах будівництва (2). Значного інтересу для залізничного транспорту набуває хімічне закріплення ґрунтів при проведенні робіт з оздоровлення земельного полотна на оптимальних ділянках, так як дозволяє відмовитися від цілого ряду складних, трудомістких і дорогих робіт, що вимагають тривалих перерв у русі поїздів або його обмеження. З технологічної точки зору введення розчинів хімічних реагентів може бути виконано шляхом перемішування, поливу або нагнітання (3).

З аналізу останньої літератури зі стабілізації ґрунтів і вибору реагентів чи добавок можна зробити висновки, що існуючі методи поки ще є недостатньо ефективними, головним чином через складність визначення кількості реагенту чи добавки, способу їх дозування, обробки ґрунту та складність протікання

процесів на поверхні глинистих частинок ґрунту (4). Основний вплив на результат стабілізації ґрунту має відносна вологість, число пластичності, коефіцієнт фільтрації, пористість, ступінь подрібненості (5, 6, 7).

У залежності від цих показників визначається реагент чи добавка та їх оптимальна кількість. Так, згідно з літературою (8), супіски важкі пілуваті, суглинки легкі і легкі пілуваті з числом пластичності до 12 допускається зміцнювати без внесення гранулометричних добавок органічними в'язучими (крім карбамідоформальдегідних смол) з добавкою вапна або інших активних і поверхнево-активних речовин. Глиністі ґрунти з числом пластичності більше 12 до введення в ґрунт в'язучих матеріалів необхідно подрібнити до необхідного ступеня роздрібнення. Відносна вологість глинистих ґрунтів при цьому повинна складати від 0,3 до 0,4 вологості на межі текучості. Для зміцнення бітумними емульсіями придатні суглинки важкі і важкі пілуваті з числом пластичності не більше 15. Суглинки з числом пластичності більше 15 слід зміцнювати бітумними емульсіями після введення в ґрунт гранулометричних добавок (пісків гравлистих, великих, середньої крупності або відходів каменедробіння) і вапна. Кількість цих добавок призначають в межах від 25 до 50 % маси ґрунту (8). Для підвищення міцності характеристик ґрунту, легкості дозування, обробки та вирішення проблеми утилізації активного мулу слід розглянути можливість його застосування замість хімічних та синтетичних реагентів та добавок.

Активний мул – це продукт біологічного очищення промислових стічних вод і є колоїдно-дисперсною системою, яка складається з комплексу мікроорганізмів з адсорбованими на них органічними і неорганічними речовинами (9). На відміну від хімічних та синтетичних реагентів до хімічного складу активного мулу входить від 30 до 50 % білку, що дозволяє застосувати його як зв'язуюче ґрунтових матеріалів з метою підвищення їх міцності. Білки містять функціональні групи $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, які взаємодіють з гідроксильними групами, розташованими на поверхні глинистих частинок з утворенням просторової структури (7).

Відмінною рисою стабілізації ґрунту активним мулом у порівнянні з іншими речовинами є використання органічного матеріалу, принцип дії якого на ґрунт полягає в заміщенні іонів в гідратній оболонці на поверхні глинистих частинок ґрунту. У звичайному стані частинки ґрунту утримуються силами електричної взаємодії, за рахунок яких на поверхні частинок утворюються шари з негативно заряджених іонів, які визначають їх здатність до змочування (5). Після заміни аніонів OH^- на поверхні частинок ґрунту молекулами стабілізатора шар стабілізованого ґрунту набуває підвищену щільність, додаткову міцність, що робить можливим поліпшення несучої здатності ґрунтових матеріалів. Вказані процеси і реакції перетворюють ґрунт, у результаті чого виникає ґрунтовий матеріал з новими будівельними властивостями.

1.3.4. Отримання корисних продуктів з осадів стічних вод та інших відходів методом піролізу.

Піроліз, або суха перегонка являє собою процес термічної переробки осадів або інших вуглеводневих відходів шляхом високотемпературного нагрівання без доступу повітря.

Одержання воску з торфу й осадів стічних вод.

Кількість одержуваного в нашій країні воску недостатньо для задоволення зростаючих потреб

. Віск широко застосовується для моделей, необхідних у виробництві металевих виробів; для полірування металевих нікельованих і хромованих виробів; для обробки шкіри, виробництва взуттєвого крему, мастики; для виробництва кольорових чорних олівців, восківки, копіювального паперу, копіювальної стрічки й багатьох інших виробів. Віск, традиційно одержуваний у невеликій кількості з торфу, з не меншим успіхом і в 2-2,5 рази дешевше можна отримувати з осадів стічних вод. Одержання доброякісного воску з осадів стічних вод методом піролізу є істотною перевагою організації виробництва воску на базі очисних станцій. При потужності очисних станцій в 0,5-1 млн. м³ за добу навіть при невеликих концентраціях стоків можна створити піролізні

заводи, що випускатимуть не менше 500-1000 т воску в рік, не враховуючи інших продуктів. Сучасний піролізний завод з виробництва воску включає:

- 1) цех підготовки сировини;
- 2) екстракційний цех з відділенням знесмолювання;
- 3) склад продуктів, куди надходить готовий віск після обдувки сирого воску гострою парою;
- 4) котельню.

Піролізний цех існує в м. Санкт-Петербурзі. До позитивних прикладів можна віднести піроліз осадів стічних вод разом з твердими побутовими відходами або з іншими органічними відходами (осадами, шламами) промислових стічних вод, з відходами промислових підприємств (тирсою, корою дерев, торфом) і, нарешті, з відходами агропромислових комплексів.

Подібна спільна переробка відходів з метою одержання корисних продуктів цілком виправдовує себе. 1. Вирішується комплексно проблема видалення, обробки й використання не тільки осадів стічних вод, але й інших відходів.

2. При змішуванні осадів стічних вод з іншими відходами в останніх, як правило, збільшується вміст органічних речовин, що позитивно відбивається на виході корисних продуктів.

3. При змішуванні осадів стічних вод з відходами меншої вологості воднювання й сушіння загальної маси. Стосовно осадів, спрощується зневоднювання яких звичайно протікає складно й дорого, добавка навіть частини інших дроблених відходів діє подібно ретурі – виключає необхідність зневоднення осадів або суміші відходів.

4. Спільна піролізна обробка й використання осадів стічних вод з іншими відходами раціонально вирішує не тільки одну з важливих економічних завдань для народного господарства, але й не менш важливе екологічне завдання.

Так, наприклад, у деяких розвинених країнах ліквідація твердих побутових відходів (ТПВ) вирішується шляхом спалювання. Це значно забруднює навколишнє середовище (димові викиди, зола, неприємні запахи), чого практично не спостерігається при піролізній обробці відходів.

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ АКТИВНОГО МУЛУ

2.1 Паливні гранули.

Поліпшити екологічний стан можна за допомогою переробки свіжих та накопичених осадів. Свіжі осадки мають достатній біогазовий потенціал. Натомість висушені осадки придатні до термічної конверсії у генераторний газ.

В сучасній літературі ефективним методом переробки свіжих осадків стічних вод є анаеробний метод (14,15)

Зазначимо, що анаеробне зброджування – це процес мінералізації органічної речовини осадків в анаеробних умовах, що супроводжується посиленням газовиділенням, також застосовують для стабілізації осадків. Анаеробне зброджування – складний мікробіологічний процес мінералізації, в ході якого органічна речовина без доступу повітря трансформується в газоподібний метан (CH_4) та діоксид вуглецю (CO_2). В літературі цей процес умовно можна поділити на три основні стадії: гідроліз, утворення кислот (кислотогенна стадія) і утворення метану (метаногенна стадія). Продукти метаболізму кожної стадії є субстратом для наступної стадії. Біохімія і мікробіологія анаеробного метанового зброджування складніші, ніж аеробних процесів. До теперішнього часу немає повної ясності щодо ролі та ступеня участі в ньому різних груп мікроорганізмів, проте зрозуміло, що на відміну від активного мула, біоценоз метантенку(16), представлений тільки бактеріями. Відповідно до сучасних уявлень, анаеробне метанове зброджування

включає чотири взаємопов'язані стадії, здійснювані різними групами бактерій

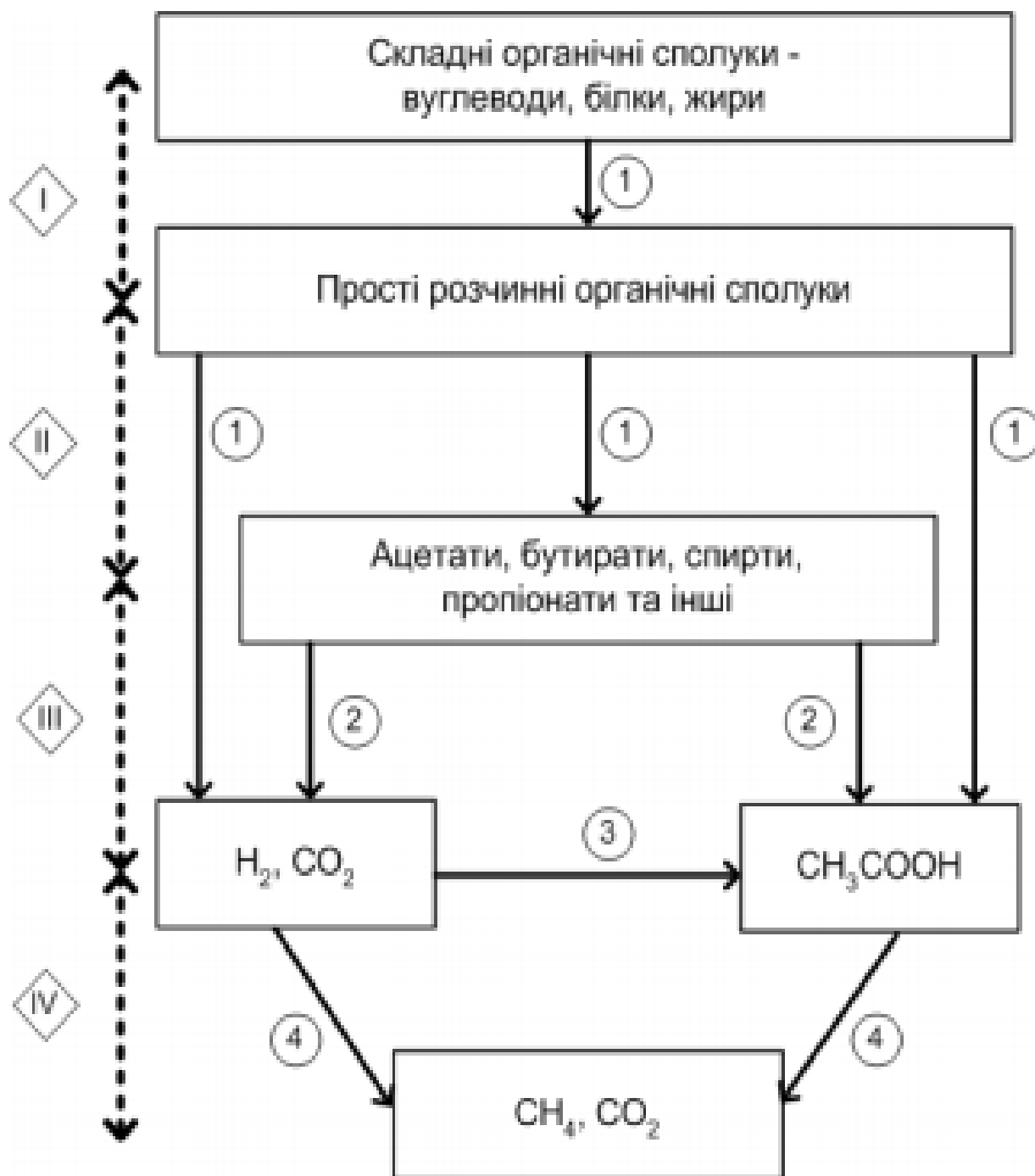


Рисунок 2.1 – Схема анаеробного метанового зброджування осаду стічних вод: I – гідроліз; II – кислотогенез; III – ацетогенез; IV – метаногенез; 1– ферментативні кислотогени; 2 – ацетогени, що утворюють водень; 3 – ацетогени, що використовують водень; 4 – метаногени, що відновлюють вуглекислий газ; 5 – метаногени, що використовують ацетат (17)

I. Стадія ферментативного гідролізу здійснюється швидкорослими факультативними анаеробами, що виділяють екзоферменти, за участю яких

здійснюється гідроліз нерозчинених складних органічних сполук з утворенням простіших розчинених речовин. Оптимальне значення рН для розвитку цієї групи бактерій – в інтервалі 6,5–7,5.

II. Стадія кислотоутворення (кислотогенна) супроводжується виділенням летких жирних кислот (ЛЖК), амінокислот, спиртів, а також водню і вуглекислого газу. Стадія здійснюється швидкорослими, дуже стійкими до несприятливих умов середовища гетерогенними бактеріями.

III. Ацетатогенна стадія перетворення ЛЖК, амінокислот і спиртів в оцетову кислоту здійснюється двома групами ацетатогенних бактерій. Перша група, яка утворює ацетати(17) з виділенням водню з продуктів попередніх стадій, називається ацетатогенами, які створюють водень. Друга група, яка також утворює ацетати і використовує водень для відновлення діоксиду вуглецю, називається ацетатогенами, що використовують водень.

IV. Метаногенна стадія, здійснювана повільнорослими бактеріями, строгими анаеробами, які дуже чутливі до змін умов середовища, особливо до зниження рН менше 7,0-7,5 і температури. Різні групи метаногенів утворюють метан двома шляхами:

розщеплюванням ацетату $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$;

відновленням діоксиду вуглецю $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$.

У першому випадку утворюється 72 % метану, у другому – 28 %.

Всі стадії анаеробного зброджування мають важливе значення; подальші стадії не можуть початися, поки для них не будуть підготовлені умови попереднім ходом процесу. Тому, для створення збалансованої і ефективно працюючої системи метанового зброджування осаду завжди необхідно розглядати не окремі групи бактерій, а все співтовариство в цілому в конкретних умовах його існування. Автори зазначають, що основними технологічними параметрами, що визначають ефективність процесу анаеробного зброджування осадів є їх хімічний склад, температура та тривалість зброджування, навантаження за органічною речовиною,

концентрація завантаженого осаду, а також режим завантаження і перемішування вмісту камери зброджування

У роботі (20) дослідники використовували свіжі осади стічних вод, зібрані на Львівських КОС; як інокулянт використовували зброджену масу після анаеробної переробки коров'ячого гною та зброджену масу з діючої біогазової установки

Автори вказують, що масову концентрацію сухої речовини (СР) визначали згідно з ДСТУ EN 12048:2005 [18]. Масову концентрацію золи у сухому залишку - за ГОСТ 26714- 86 [19]. Об'єм виробленого біогазу визначали за допомогою способу витискування еквівалентного об'єму рідини. Об'ємну концентрацію вуглекислого газу в біогазі - за допомогою газоаналізатора ГХЛ-1. Об'ємну концентрацію метану в біогазі визначали виходячи з того, що за умов збалансованого та стійкого виділення біогазу справджуються залежності (20):

$$C_{\text{CH}_4} + C_{\text{CO}_2} = 95 - 100\%$$

$$\text{Або } C_{\text{CH}_4} = (97,5 \pm 2,5) - C_{\text{CO}_2},$$

де C_{CH_4} - об'ємна концентрація метану в біогазі, %

C_{CO_2} - об'ємна концентрація вуглекислого газу в біогазі, %

Значення масової концентрації сухої органічної речовини (СОР) та ступінь деструкції органічної речовини дослідники визначали за залежностями, наведеними в роботі (20). Об'єм виробленого біогазу приведено до нормальних умов для сухого газу за залежністю (21):

$$V_{\text{БГ,м.у}} = f_{\text{T, P}} f_{\text{W}} V_{\text{БГ}} = \frac{T_0}{T_{\text{БГ}}} \frac{P_{\text{БГ}}}{P_0} \left(1 - \frac{P_{\text{H}}}{P_{\text{БГ}}} \right),$$

де T_0 , К та P_0 , кПа - стандартна температура та тиск за нормальних умов відповідно;

$T_{\text{БГ}}$, К та $P_{\text{БГ}}$, кПа - температура та тиск біогазу за умов навколишнього середовища відповідно; P_{H} , кПа - тиск насиченої водяної пари.

Автори поділили зразок на дві рівні частини, до кожної з яких відповідно додавали інокуляти А та В різного походження і розбавляли водою,

щоб вміст вологи у підготовлених субстратах становив 96%. Як інокулят А було взято зброджену масу після бродіння коров'ячого гною, як інокулят В – зброджену масу з діючої біогазової установки, в якій зброджувалась суміш гнойових та рослинних відходів.

Загальну характеристику каналізаційних осадів та інокулятів наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Вміст СР та СОР у мулі та інокуляті

Компоненти субстратів	СР,%	Зольність СР,%	СОР,%
Осади стічних вод	24,65±0,22	36,83±0,3	15,57±0,22
Інокулят А	3,29±0,01	27,27±0,22	2,39±0,02
Інокулят В	1,97±0,01	29,03±0,24	1,4±0,02

Попередньо вченими було підготовлено чотири субстрати: дві модельні суміші МС-1 та МС-2 з осадами та інокулятами А і В відповідно, а також два субстрати з інокулятами А і В без додавання осадів (для визначення залишкового біогазового потенціалу інокуляту). Інокуляти А та В було витримано перед початком досліду в анаеробних умовах за мезофільного режиму впродовж 10 днів для мінімізації впливу інокуляту на процес бродіння осадів, перевірки якості інокуляту, його пристосування до нового середовища та умов бродіння. Було створено експериментальну біогазову установку, схему та принцип дії якої описано в роботі (20). Кожен реактор мав загальний об'єм 1,5 дм³ з об'ємом субстрату 1,05 дм³. Компоненти модельних субстратів та їхні складові частини було підібрано так, щоб співвідношення між СОР мулу та СОР інокуляту становило 1:1 згідно з рекомендаціями, наведеними в роботі (21). Автори зазначають, що за таких умов виключається субстратне інгібування активності метаногенних популяцій. Згідно з опублікованими даними щодо бродіння каналізаційного мулу за мезофільного режиму зазвичай необхідно від 20 до 30 діб до припинення газоутворення (22). Зазначимо, що згідно з рекомендаціями

авторів, у роботі (21), тест щодо визначення біогазового потенціалу сировини вважається завершеним, якщо добове утворення біогазу не перевищує 1% від кумулятивного виходу біогазу за попередній період бродіння. Зазначимо, що дослід тривав 25 діб за температури $35 \pm 0,2^\circ\text{C}$.

У роботі () авторами показано доцільність визначення об'ємної концентрації вуглекислого газу в біогазі за допомогою газо-аналізатора ГХЛ-1 (рис. 2.2).

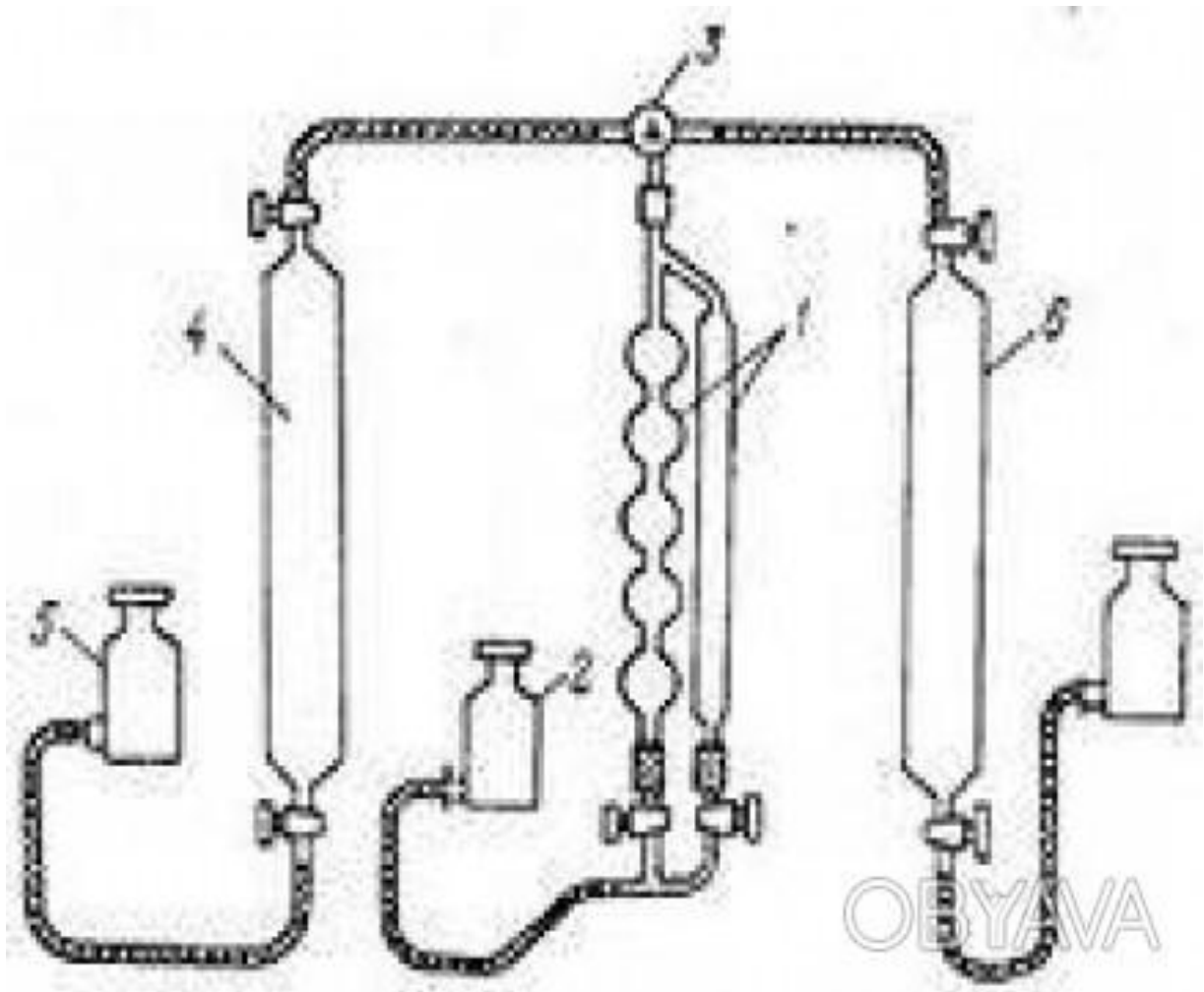


Рис 2.1 Газоаналізатор ГХЛ-1

Даний аналізатор відносяться до групи механічних приладів (23). Дослідники зазначають, що принцип вимірювання ґрунтується на вимірі скорочення обсягу забраної проби газу після видалення аналізованого компонента. У газоаналізаторах цього типу застосовується метод вибіркового поглинання (роздільного допалювання) для видалення аналізованого компонента

2.2. Комплексні добрива

Комплексні добрива є більш ефективною та екологічно досконалою формою мінеральних добрив. Застосування комплексного добрива дозволяє підвищити біологічну активність ґрунту, врожайність сільськогосподарських культур (38). В умовах ресурсної залежності України від зовнішніх джерел нітро-фосфоро-калієвої (NPK-вмісної) сировини для комплексних добрив виникає необхідність в створенні технологій використання цих живильних речовин з техногенних відходів. Більшість мереж каналізаційних очисних споруд, що існують в Україні мають в своєму складі біологічну стадію очистки (39), що здійснюється спеціальними мікроорганізмами активного мулу, які здатні окислити забруднювачі стоків до мінеральних речовин (40). У роботі (41) вказано, що вологість активного мулу, який вивантажують з відстійників після аеротенків повинна становити 99,2–99,8 % (41). В бактеріальній клітині мікроорганізмів міститься близько 80 % води і 20 % сухої речовини (42). Надлишковий активний мул переповнює мулові карти та перешкоджає їх подальшому функціонуванню (39). Ущільнений активний мул вміщує до 9,8 % нітрогену і 1,5 % фосфору на суху речовину і після знезараження може стати цінним добривом з високим вмістом живильних речовин (43). Отже, питання розробки технології одержання комплексного добрива на основі активного мулу є актуальним, тому як допоможе одночасно з огляду на це розробка технології отримання комплексного добрива на основі активного мулу є актуальним завданням, вирішення якого дасть наукове підґрунтя для розширення сировинної бази організаторам промислових ліній випуску комплексних добрив, а також допоможе утилізувати роками накопичені техногенні відходи.

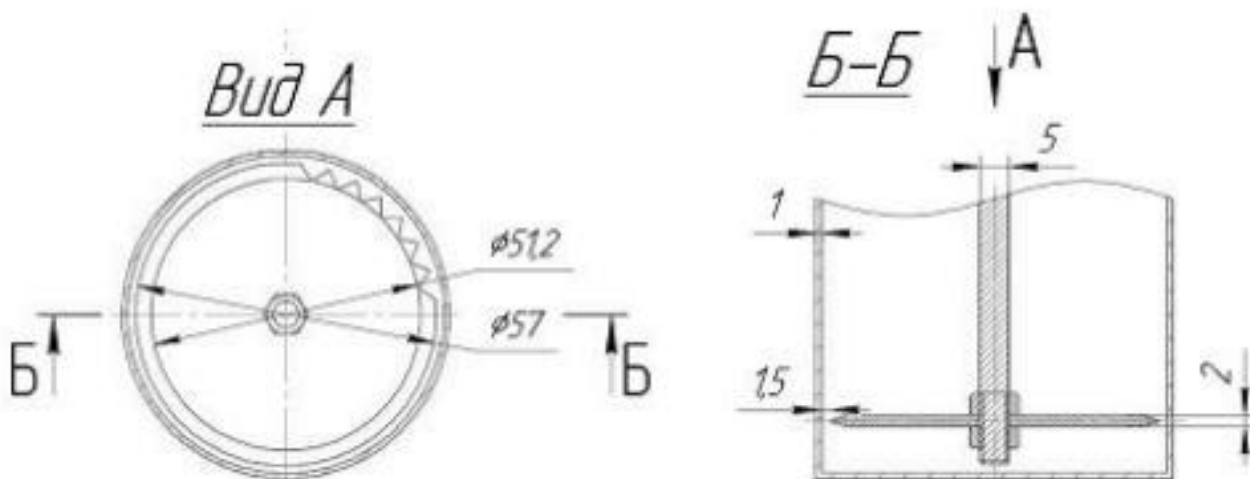
Дослідниками встановлено (47), що за використання суміші мінеральних і органічних відходів можливо отримати добриво, що за якістю не поступатиметься мінеральному, а отриманий врожай за смаковими та органолептичними показниками буде на порядок вище ніж при використанні мінерального добрива (48). Водночас, застосування технології попереднього

диспергування органо-мінеральної суміші з наступним метановим бродінням сприятиме одержанню знезараженого екологічно чистого добрива, в якому живильні елементи N, P, K, Ca знаходяться у більш доступній для рослин формі. Вище зазначена інформація засвідчує, що дослідження, направлені на розроблення ефективної технології одержання комплексного добрива на основі техногенних відходів є актуальними та мають народногосподарське значення.

Тому, метою роботи авторів () була розробка технології комплексного добрива на основі активного мулу та створення нової якості продукції. Для досягнення поставленої мети дослідники встановили наступні задачі:

- експериментально дослідити вплив процесу диспергування на структуру, життєдіяльність мікроорганізмів активного мулу і визначити технологічні параметри процесу диспергування мулу;
- визначити вплив обробки диспергатором на стан активного мулу, його здатність до спухання та насичення фосфатами із стічних вод;
- розробити технологічну схему і параметри технологічного режиму одержання комплексного добрива на основі техногенних відходів, зокрема активного мулу

У роботі () автори використовували роторний диспергатор із зазубринами, що складався з трьох основних частин: власне мішалки – диску із зазубринами, валу і приводу. Ескіз конструкції роторного диспергатора з урахуванням істинних розмірів наведено на рис. 1. Фрезерний диск є робочим елементом пристрою, що закріплюється на вертикальному валу. Перемішування відбувається за рахунок вихорів, виникаючих на кромках диску із зазубринами. Роторний диспергатор фрезерний являє собою один гладкий



диск, що має 32 зазубрини, обертається з великою швидкістю на вертикальному валу. Перебіг рідини в апараті відбувається в тангенціальному напрямі за рахунок тертя рідини об диск, причому диск створює також осьовий потік.

Рис. 3.1. Ескіз конструкції роторного диспергатора з врахуванням істинних розмірів, мм: А – вид зверху; Б – переріз(12)

При вимушеному стаціонарному русі рідини, спричиненому обертанням фрезерного диску із зазубринами і валу диспергатора, створюються умови, коли силами тяжіння нехтувати не можна, які описуються критеріальним рівнянням [12]:

$$E_u = f(Re, Fr, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots),$$

де Γ_1, Γ_2 – симплекс геометричності подібності.

Для опису процесу перемішування автори застосували модифіковані критерії Ейлера ($E_{u,m}$), Рейнольдса (Re_m), Фруда (Fr_m), які можуть бути отримані шляхом перетворення звичайних виразів цих критеріїв. Замість лінійної швидкості рідини в модифіковані критерії науковці підставляли величину $d \cdot n$, яка пропорційна окружній швидкості диспергатора $\omega_{окр}$ (49):

$$\omega_{окр} = \pi \cdot d \cdot n,$$

Де π – математична константа, що виражає відношення довжини диску до довжини його діаметру; n – число обертів диспергатора в одиницю часу, s^{-1} ; d – діаметр фрезерного диску, м.

При гідродинамічному розрахунку роторного диспергатора фрезерного із зазубринами використовували характеристики поля швидкостей, глибини воронки і потужності при турбулентному режимі перемішування.

У праці (20) автори попередньо встановлювали диспергатор у стакан з попередньо налитим активним мулом об'ємом 100 мл/дм³. Потім задавали швидкість обертання ротору і вмикали диспергатор в роботу. Диспергування проводили при частоті обертів ротора диспергатора 7, 12, 17 s^{-1} , а тривалість процесу становила 1 хвилину. Температура стічної води становила 288 К. Після встановленого часу обробки активного мулу диспергатор вимикали і виливали суспензію в мірний циліндр для подальшого відстоювання та вимірювали об'єм

відстояного прошарку активного мулу кожні 10 хвилин. Вимірювання частоти обертів ротора диспергатора здійснювали безконтактним електронним тахометром DT – 2234C⁺. На рухомий вал диспергатора дослідники наклеювали світловідбиваючі стрічки, що йшли в комплекті до портативного тахометру, занурювали роторний диспергатор в розчин і вмикали його. Через 2–4 секунди вмикали портативний тахометр і направляли інфрачервоний промінь на світловідбиваючу стрічку, яка закріплена на рухомому валу диспергатора. Через 1 секунду з дисплея тахометра зчитували фактичну частоту обертів ротора диспергатора під навантаженням. Дослідники зазначають, що якість активного мулу до та після диспергування визначали за допомогою електронної мікроскопії (електронний мікроскоп Philips CM200). Концентрацію фосфатів в освітленому прошарку стічної води - фотометричним методом.

РОЗДІЛ 3 ОПИС НАЙЕФЕКТИВНІШИХ ТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ АКТИВНОГО МУЛУ

3.1 ПАЛИВНІ ГРАНУЛИ

На думку авторів () існує декілька основних параметрів які характеризують процес трансформації мулу у паливні гранули:

– ступінь деструкції органічної речовини, що характеризує повноту процесу анаеробного бродіння;

– вихід біогазу, що характеризує процес газоутворення. Ступінь деструкції СОР дослідники визначали на 25-й день бродіння. Ступінь деструкції СОР у сумішах МС-1 та МС-2 у проведеному авторами дослідженні становив $71 \pm 1,5\%$ та $79,8 \pm 1,7\%$ відповідно. При цьому було отримано $7,46 \pm 0,16$ дм³ та $8,38 \pm 0,18$ дм³ біогазу в сумішах МС-1 та МС-2 відповідно. Середнє значення об'ємної концентрації метану в біогазі - $62,5 \pm 2,5\%$ та $67,1 \pm 2,5\%$ в сумішах МС-1 та МС-2 відповідно.

Науковці зазначають, що питомий вихід біогазу з біологічно розкладеної частини органічної речовини (СОР б.р) у суміші МС-2 має становити $834 \pm 2,7$ мл/г СОР б.р, або метану $542 \pm 24,3$ мл/г СОР б.р. Варто зазначити, що отримані науковцями результати було подібними до отриманих у роботах (16, 19). На рис. 1 наведено залежність питомого та кумулятивного виходу біогазу, а також вмісту метану в біогазі від тривалості бродіння для обох субстратів. Цікаво зазначити, що на початковій стадії процесу для субстрату МС-2 спостерігалось збільшення інтенсивності виходу біогазу порівняно з субстра-том МС-1. Автори пояснюють це різним ступенем адаптації мікробних популяцій до нового субстрату. На 25-й день бродіння для обох субстратів було отримано однакові показники виходу біогазу, які становлять $0,3 \text{ м}^3 / \text{м}^3 \cdot \text{добу}$. Органічне навантаження реакторів становило $12,6$ г СОР/дм³. Отже, у праці () для каналізаційних осадів з вологістю 96%

питомий вихід біогазу становить $0,4 \text{ м}^3 / \text{м}^3 \cdot \text{добу}$ для 20 діб бродіння за мезофільних температур.

а)б)

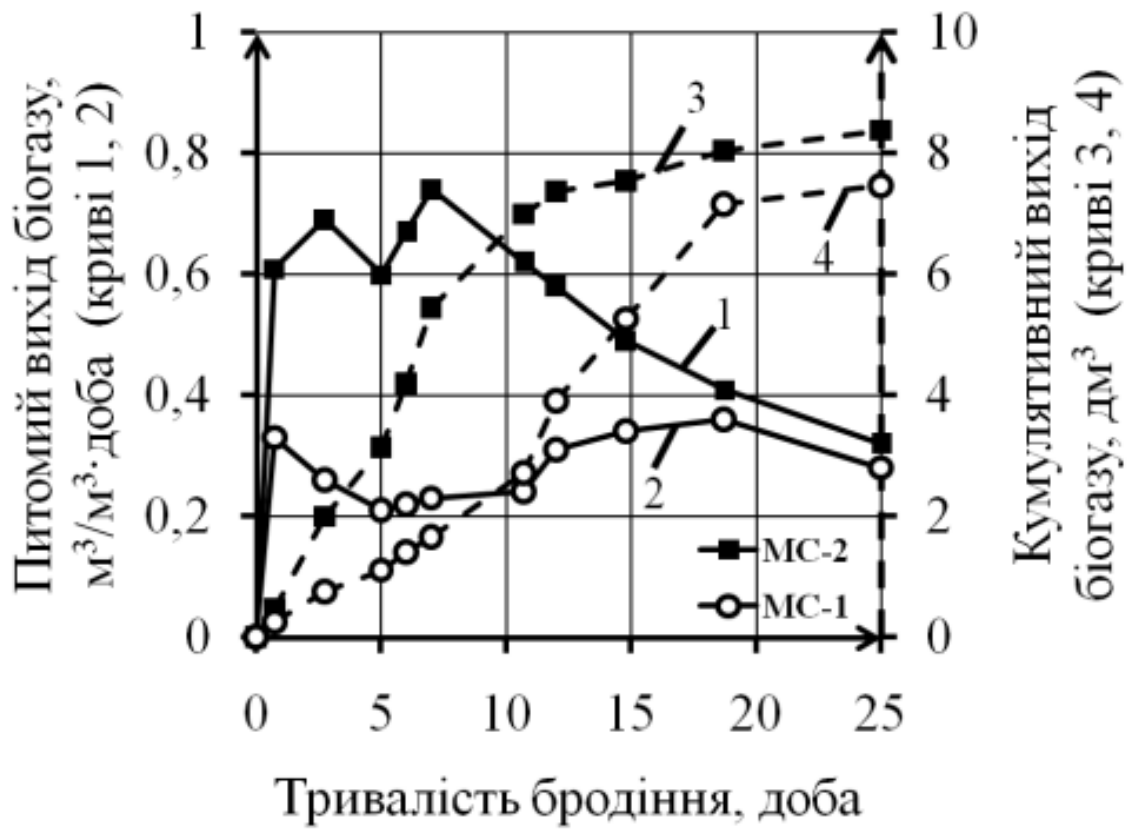


Рис. 2.2. Вихід біогазу (а) та вміст метану в біогазі (б).

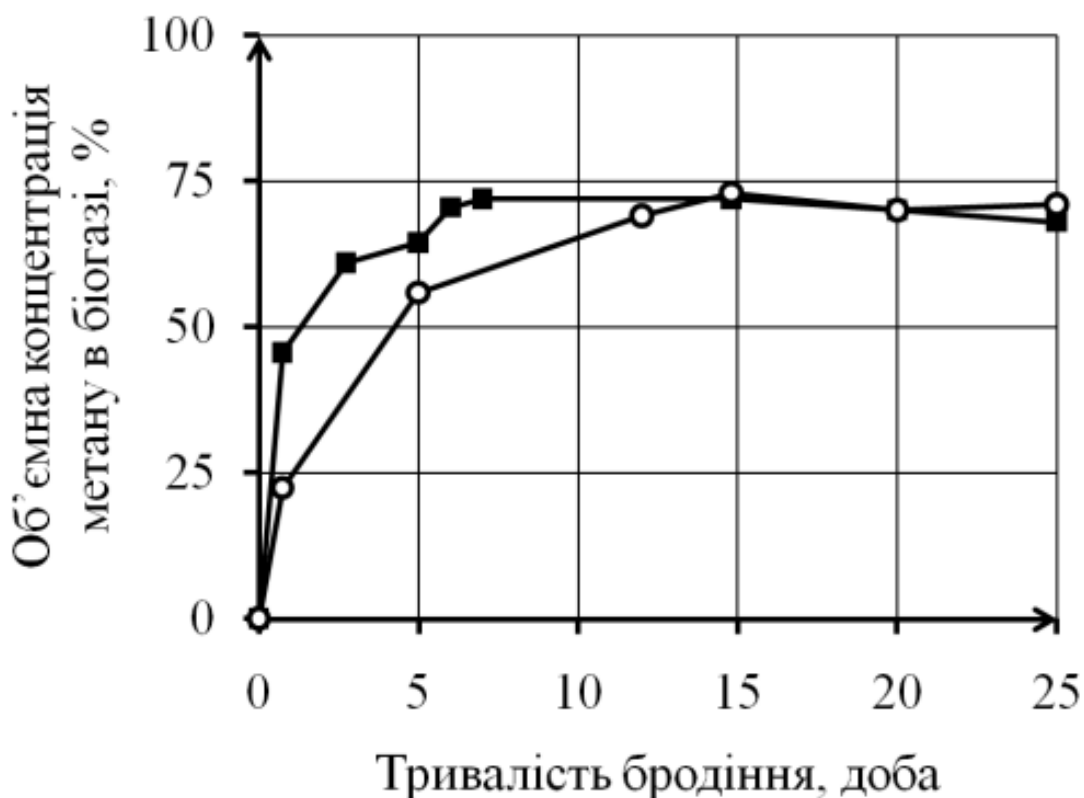


Рис. 2.2. Вихід біогазу (а) та вміст метану в біогазі (б).(24)

В якості об'єкту дослідження авторами було обрано львівську КОС на якій очищується до 440 тис. м³ господарсько-побутових та промислових стоків щодня. Проведений авторами хімічний аналіз осадів стічних вод засвідчив підвищений вміст амонійних сполук та важких металів. Науковці зазначають, що це може негативно відобразитись на анаеробній переробці осадів, а також при використанні зброженої маси. Для використання зброженої маси після переробки осадів як добрива попередньо вилучали важкі метали на стадії їхнього потрапляння у міську каналізацію (11, 13). Аналіз напрямків використання та утилізації осадів стічних вод засвідчує, що лише незначна їх частина використовується як добриво або спалюється. Переважна кількість осадів зберігається на мулових майданчиках.

Потрібно зазначити, що автори роботи (24) надають перевагу термофільному режиму з метою мінімізації робочого об'єму метантенків та, відповідно, капітальної вартості біогазової станції. Хоча й зазначають, що попереднє ущільнення осадів перед надходженням їх у метантенки, може

дозволити реалізувати на біогазовій станції більш економічний з погляду експлуатаційних витрат мезофільний процес (24). Дослідники наголошують, що перед виконанням робочого проекту вони максимально детально проаналізували можливі ризики, пов'язані з реалізацією проекту біогазової станції на Львівських КОС. Оскільки у Львові функціонує загально-сплавна система водовідведення, то автори зазначають, що добовий притік стічних вод на КОС істотно залежить від кількості та тривалості атмосферних опадів; відповідно до чого змінюється концентрація забруднювальних речовин у стічних водах та в осадах, що може мати вплив на параметри роботи метантенків. Дослідники наголошують, що істотний вплив на перебіг процесу анаеробного бродіння може мати наявність в осадах нафтопродуктів, СПАР, іонів важких металів чи інших специфічних забруднень, характерних для виробничих стічних вод міста. Тому, відкритим залишається питання щодо кінцевої утилізації осадів на Львівських КОС у схемі з їх анаеробною обробкою в метантенках. Дослідники зазначають, що це потребує виконання комплексу фізико-хімічних, теплофізичних та мікробіологічних характеристик зброджених осадів. Найоптимальнішим способом перевірки ефективності процесу анаеробного бродіння осадів стічних вод на конкретних КОС було виконання систематичних натурних експериментальних досліджень на пілотній установці – фізичній моделі метантенка. Що дозволяє науковцям в режимі реального часу відслідковувати параметри роботи метантенка, моделювати вплив шкідливих факторів, відпрацьовувати оптимальні технологічні режими роботи метантенків з урахуванням наявних місцевих особливостей. Натурне експериментальне дослідження процесу анаеробного бродіння на пілотній установці матиме істотне значення для успішної реалізації проекту біогазової станції на Львівських КОС, а також у контексті запровадження цієї технології на КОС інших великих міст України

Цікаво зазначити, що одним із способів утилізації осадів тривалого зберігання на мулових майданчиках є їхній піроліз. Науковці наголошують, що цей спосіб передбачає попереднє висушування осадів до набуття вмісту

вологи в них 5-10%, що потребує значних енергетичних витрат (25). В Інституті відновлюваної енергетики НАН дослідниками (24) було розроблено енергоефективну технологію утилізації осадів з мулових майданчиків. Науковці виділяють декілька етапів реалізації даної технології:

- виробництво паливних гранул із мулу;
- термохімічна переробка гранул методом часткової газифікації.

На рис. 2 наведено один із варіантів схеми виробництва гранул. У праці () дослідники навели детальну інформацію щодо процесу утворення паливних гранул з активного мулу. Так, науковці автотранспортом подавали мул у приймальний бункер, звідки він дозовано надходив на стрічку конвеєра. На конвеєрі з мулу видалялися сторонні предмети (цегла, скло, деревина, метал). Очищений мул подавали в якірну мішалку, в яку за необхідності додавали тирсу або подрібнену соломку такої кількості, щоб вміст вологи в суміші становив 60-65%. Далі масу подавали у шнековий екструдер, звідки отримували гранули довжиною 10-15 мм. Гранули сітчастим конвеєром транспортували на піддони для сушіння. Подальше сушіння гранул проводилося відпрацьованим теплоносієм у тунельній багатоярусній сушарці до набуття вмісту вологи в гранулах значення 25-30%.

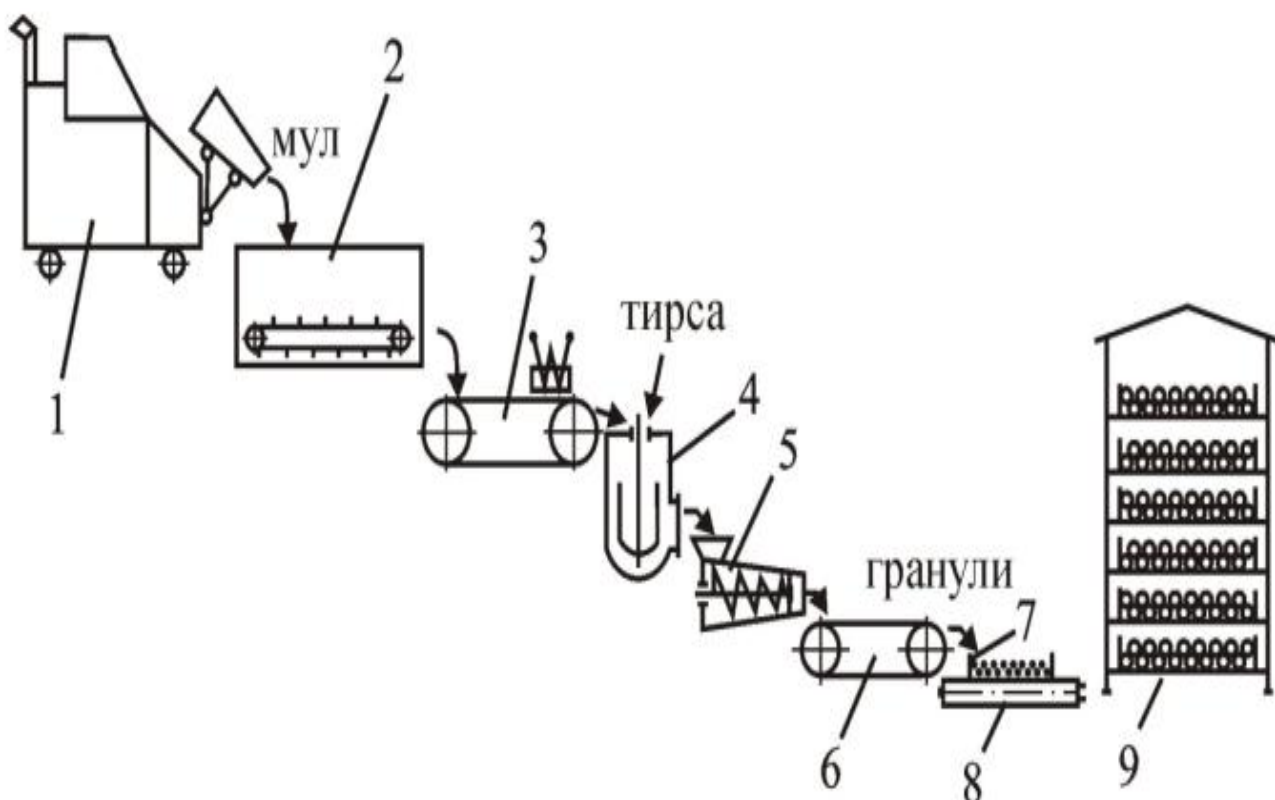


Рис. 2.3. Технологічна схема виробництва паливних гранул із мулу: (24)

1 – автотранспортувач; 2 – приймальний бункер; 3 – стрічковий конвеєр; 4 – якірна мішалка; 5 – шнековий екструдер; 6 – сітчастий конвеєр; 7 – піддон; 8 – роликівий конвеєр; 9 – сушарка ().

Метод часткової газифікації біопалива досить повно викладено у роботах (26, 27). У роботі () автори впровадили дану технологію для переробки свіжого мулу з львівських КОС. Мул був відібраний дослідниками у середині грудня 2016 року. Автори зазначають, що відібрана сировина мала різкий специфічний запах. Для виготовлення гранул із мулу науковці додатково вносили до мулу тирсу до 5 % за масою. Сушіння гранул проводили природним шляхом у приміщенні лабораторії за температури 15-18°C. Через чотири доби сушіння вміст вологи у гранулах становив $W_r = 14,6\%$, а зольність СР становила $A_d = 24,18\%$. Таким чином гранули з мулу були підготовлені до газифікації. Температура газифікації становила 570-620°C. Внаслідок часткової газифікації отримали горючий газ, коксовий залишок і конденсат. Вихід горючого газу був зафіксований авторами у концентрації 1,24 м³/кг.

Також, автори визначили якісний та кількісний склад отриманого горючого газу: $H_2 = 11,56\%$; $N_2 = 48,71\%$; $CO = 7,24\%$; $CH_4 = 5,52\%$; $CO_2 = 20,55\%$; $C_2H_4 = 2,28\%$; $C_2H_6 = 0,55\%$; $C_3H_6 = 0,88\%$; $C_3H_8 = 0,09\%$; $C_4H_{10} = 0,83\%$; $CH_5OH = 0,24\%$; $H_2O = 1,55\%$.

Теплота згоряння горючого газу становила 6,93 МДж/м³; вихід коксозольного залишку становив 35% від сухої маси гранул. Конденсат мав рН = 9,3. Конденсат не містив смоляної плівки, що як автори зазначають засвідчувало про відсутність смоли у горючому газі. Тобто такий газ цілком придатний для спалювання у пальниках котельні або у газопоршневиxмашинах для виробництва електроенергії. На рис. 3 наведено фото отриманих науковцями зразків гранул із мулу, коксозольного залишку та конденсату.



Рис.2.4. Гранули, коксозольний залишок і конденсат з мулу.

Цікавим є те, що дослідники також встановили зменшення маси мулу в 6-8 разів. Отриману золу науковці рекомендують використовувати для виробництва будівельних матеріалів, що забезпечить безвідходне виробництво. Отриманий у процесі конденсат містить розчинені органічні сполуки ($X_{СК} = 110,4 \text{ г O}_2 / \text{дм}^3$), які рекомендовано утилізувати в анаеробному реакторі (20).

3.2 Опис технології добрива

У роботі (9) автори досліджували активний мул правобережних очисних споруд м. Дніпродзержинська.

Дослідниками встановлено що при обробці мулу диспергатором на частоті обертання ротора 17 c^{-1} відбувалося часткове руйнування клітин мікроорганізмів. Структура активного мулу стала більш щільною, хоча й спостерігалась часткова деструкція мікроорганізмів *Telotrocha*, *Paramecium caudatum*, *Carchesium* sp. та часткове пригнічення *Rotatoria*. Після диспергування активного мулу утворений осад став крупнодисперстою системою, зі зниженою вологістю з 99,8 до 92 %.

Наступним етапом роботи (9) було дослідження впливу процесу диспергування на відстоювання активного мулу (табл. 2). Науковці зазначають, що процес спухання активного мулу спостерігали на 40 хв пізніше, ніж без обробки. Автори у досліді використовували стічну воду з вмістом фосфатів $10,5 \text{ мг/дм}^3$. Для дослідження впливу процесу диспергування активного мулу на стан клітин мікроорганізмів визначали залишкову концентрацію фосфатів в освітленому прошарку стічної води.

Науковцями встановлено, що залишкова концентрація фосфатів у освітленому прошарку стічної води при обробці диспергатором на частоті 7 і 12 c^{-1} становила $10,1 \text{ мг/дм}^3$ після 1,5 годинного відстоювання, а при обробці диспергатором на частоті 17 c^{-1} складала – $9,8 \text{ мг/дм}^3$. Отже, показано, що після 1,5 годинного відстоювання диспергованого активного мулу в стічній воді концентрація фосфатів знизилась з $10,5$ до $9,8 \text{ мг/дм}^3$. В порівняльній стічній воді без використання диспергованого активного мулу по закінченню експерименту концентрація фосфатів дорівнювала $10,5 \text{ мг/дм}^3$. Суміш активного мулу з диспергованими мікроорганізми була активнішою, ніж за відсутності обробки.

Автори зазначають, що отримані результати досліджень стали основою для подальшого розроблення загальної технологічної схеми отримання комплексного добрива на основі техногенних відходів, зокрема активного мулу (рис. 2), в умовах міських очисних споруд.

Загалом автори визначили наступний перебіг технологічного процесу. Так, після завершення процесу механічного очищення (на схемі автори даного процесу не вказали) стічна вода направлялася в аеротенк (1), в якому відбувалось біологічне окислення забруднюючих речовин мікроорганізмами активного мулу. Після аеротенків мулову суміш подавали у вторинні радіальні відстійники (2). Одночасно з нею у апарат (2) вносили шлам виробництва кальцієвої селітри для підвищення ефективності ущільнення активного мулу. Надалі рециркуляційний активний мул безперервно перекачували в аеротенк (1) для підтримання необхідної концентрації, а решту (надлишковий активний мул) направляли в мулоущільнювач (3). Після мулоущільнювача (3) активний мул, подрібнене опале листя, а також осади після вилучення фосфатів зі стічних вод шламом виробництва кальцієвої селітри подавали до ємності (4), де їх піддавали обробці диспергатором (8). В подальшому автори визначали критерій Рейнольдса для сировини с початковою вологістю близько 99 % який становив $42,4 \cdot 10^3$. Якщо вологість сировини була близько 96 % – критерій Рейнольдса для процесу диспергування набував значення $29,93 \cdot 10^3$, а якщо вологість сировини, що потрібно диспергувати була близькою до 92 %, то критерій Рейнольдса для диспергатора (1,2) повинен становити $17,47 \cdot 10^3$, тривалість диспергування при таких умовах повинна бути в інтервалі 2..4 хвилини (49,50). Диспергований активний мул потрапляє у відстійник (3). Процес відстоювання повинен тривати 1,5–2 години.

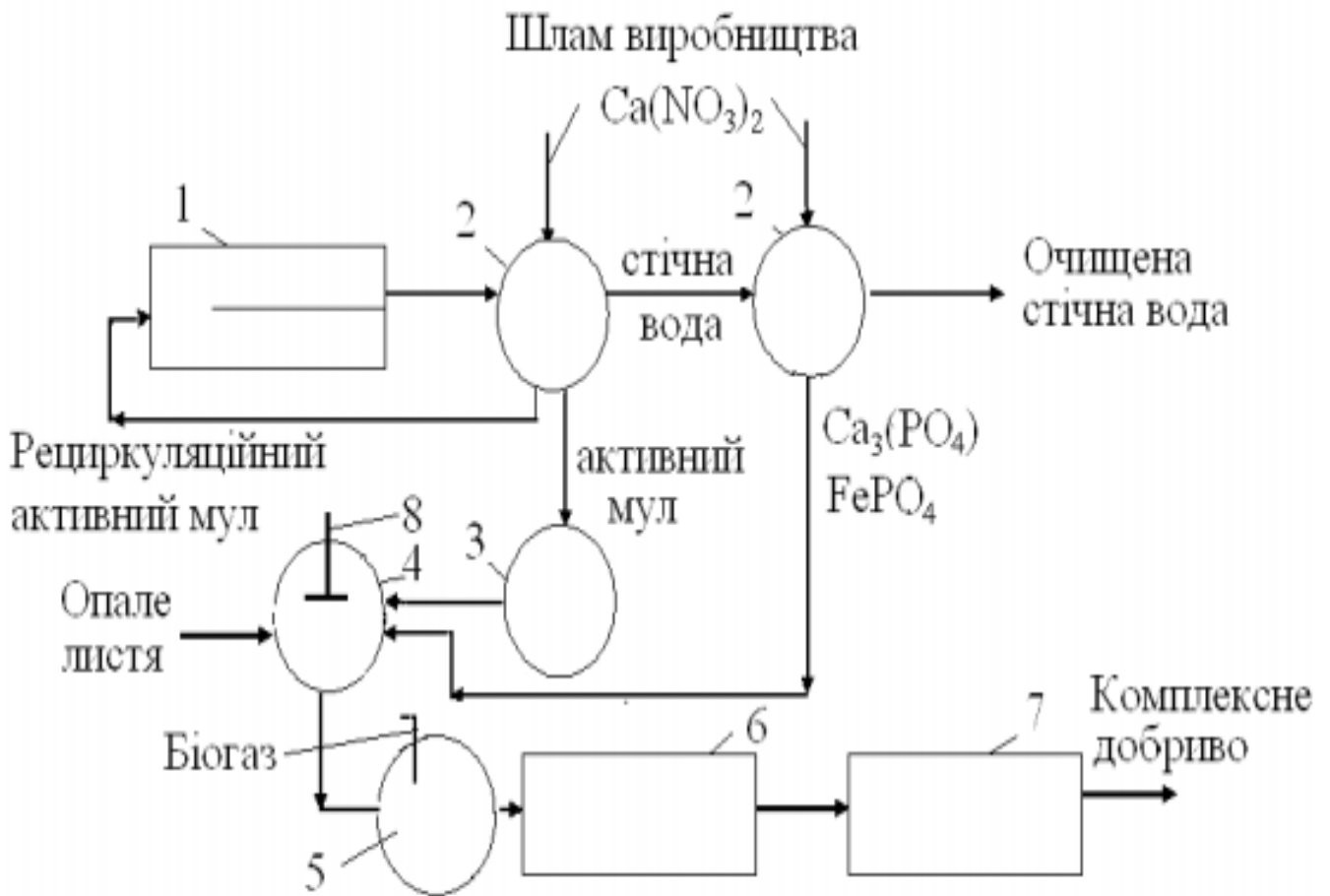


Рис. 3.2. Технологічна схема одержання комплексного добрива на основі активного мулу в умовах міських очисних споруд: 1 – аеротенк; 2 – вторинні відстійники; 3 – мулоущільнювач; 4 – ємність для диспергування; 5 – реактор анаеробного зброджування; 6 – центрифуга; 7 – барабанна сушарка; 8 – диспергатор (9)

Після відстоювання диспергованої суміші дослідники відділяли воду від осаду, а останній - подавали до реактору анаеробного зброджування (5). Суміш у реакторі (5) перемішували і підігрівали до температури 33 оС. Після реактору анаеробного зброджування (5) суміш подавали на центрифугу (6) для остаточного зневоднення. Потім зброджену і зневоднену суміш направляли до барабанної сушарки (7), де її висушували, доводили до постійної ваги і, в результаті, отримане добриво відправляли споживачеві. Вологість отриманого за такою технологією добрива повинна становити 48 %, вміст мінеральної

частини – 12,2 %, органічної – 87,8 %. Автори підраховали, що вхідні компоненти, які направляли у реактор анаеробного зброджування в перерахунку на продуктивність очисних споруд (18 000 м³/добу) наступні: ущільнений активний мул – 1124,2 т/рік (81,914 %), опале листя – 65 т/рік (4,738 %), осад після видалення фосфатів шламом – 182,5 т/рік (13,3 %). Загальна маса – 1371,7 т/рік. При цьому вихід комплексного добрива повинна становити 932,75 т/рік (68 %) на суху речовину, тобто 32 % зброженої сировини трансформується в біогаз.

Дослідниками у роботі () було поставлено за мету визначення впливу процесу диспергування на подальше відстоювання і зневоднення активного мулу з одержанням комплексного добрива на його основі. В дослідженні показано, що при підтримці технологічних параметрів процесу диспергування активного мулу (частота коливання рідини 533 с⁻¹, критерій Рейнольдса в межах 39,9. 10³ .. 44,9. 10³, тривалість 2..4 хвилини, температура розчину 283..288 К) утворюється високошвидкісний рух тіл, виникає кавітація, за якої руйнується зовнішня оболонка мікроорганізмів активного мулу, прискорюється наступне відстоювання, знижується вологість активного мулу Використання процесу диспергування допомогло зруйнувати гідратну оболонку активного мулу та звільнити з неї ферменти і зв'язану воду, що знаходилась в середині мікроорганізмів. Так, автори зазначають, що упродовж 1,5 годинного відстоювання диспергованого мулу виконувався анаеробний режим очистки стічних вод, формувалася новий тип мікробного угруповання. Мікроорганізми, що залишились в активному мулі під ферментативною дією, активно асимілювали органічні речовини, що дозволило знизити концентрацію фосфатів у відстояній стічній воді з 10,5 до 8,8 мг/дм³. Таким чином, проведені дослідниками експериментальні дослідження показали, що руйнування клітин в активному мулі сприяє вивільненню ферментів в розчин з подальшою інтенсифікацією процесів життєдіяльності. Отже, автори показали доцільність процесу диспергування з наступним відстоюванням активного мулу, що дозволяє концентрувати мул, підвищити його щільність, та призупинити процес

спухання. За рахунок збільшення сухого залишку активного мулу в зброджувальній суміші підвищувався коефіцієнт заповнення біореактору. Розроблена дослідниками технологічна схема виробництва добрив на основі активного мулу показує можливість утилізувати такі техногенні відходи, як шлами виробництва кальцієвої селітри, надлишковий активний мул комунальних підприємств та отримувати добриво високої якості.

3.3 ОПИС ТЕХНОЛОГІЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ГРУНТУ

У роботі (10) для досягнення мети автори досліджували залежність міцності ґрунтових матеріалів від вмісту в них активного мулу, який змінювався від 5 до 50 %. Із суміші глини, води й активного мулу дослідники отримали зразки розмірами 4×4×4 см, які, після витримування в нормальних умовах протягом 7 днів, випробовували на міцність за стискання (рис. 1).



Рис. 1. Зразки ґрунтового матеріалу для випробувань на міцність

У результаті випробувань авторами встановлено, що найбільший показник міцності (3,45 МПа) мають зразки із вмістом активного мулу 50 % (рис. 2). Отримані науковцями попередні результати засвідчують високу

зв'язуючу здатність білкової складової активного мулу та його перспективне використання у будівництві, що дозволяє утилізувати активний мул у великій кількості.

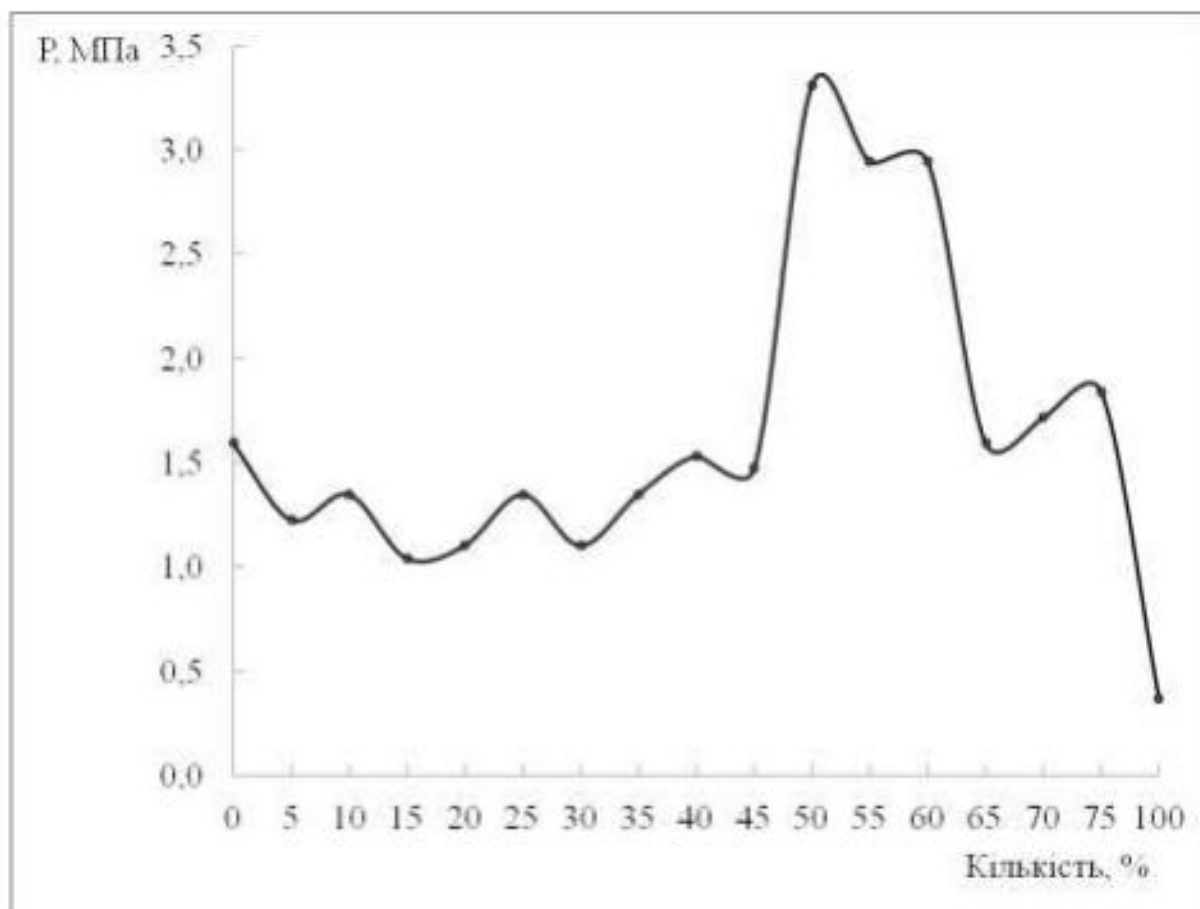


Рис. 2. Залежність міцності зразків від кількості активного мулу(10)

Автори зазначають, що низька міцність зразків при відхиленні кількості активного мулу від оптимальної у 50 % може бути пояснена з точки зору забезпечення оптимальної структури тверднучих систем. Ґрунт і активний мул є дисперсними системами, розмір частинок яких коливається в межах від 1 мкм до 1 мм. У випадку утворення оптимальної структури відстань між більш крупними частинками повинна дорівнювати діаметру менш крупних частинок. При цьому контакти між частинками різних розмірів забезпечуються притяганням протилежно заряджених іонів на поверхні. Підтвердженню даної гіпотези науковці присвятять свої наступні дослідження.

ВИСНОВКИ

1. У результаті проведеного аналізу літературних джерел, виявлено, що тема утилізації надлишкового активного мулу завжди залишається актуальною, так як альтернативи біологічному очищенню стічної води у промисловості та містах, поки не знайдено.

2. Кількість методів утилізації активного мулу досить велика ,але “лідера” цих методів немає. Кожна країна, місто, підприємство використовують свої методи утилізації, які мають свої переваги та недоліки.

3. Осади стічних вод, які пройшли необхідні технологічні стадії обробки, можуть використовуватися для удобрення ґрунтів відповідно до Закону України «Про охорону земель» з урахуванням особливостей, визначених статтею 39 зазначеного Закону. Основними рисами сучасного світового ринку мінеральних добрив є постійне зростання попиту як на мінеральні добрива, так і на продовольчі культури та направленість світової екологічної політики на раціоналізацію використання ґрунтових ресурсів.

4. Як альтернативний вид палива відповідно до закону Закону України «Про альтернативні джерела енергії» цей спосіб є більш широко використовуваним, він дає можливість отримати не тільки біогаз, а і вирішити глобальну проблему, це перетворення мулу в паливні гранули

5. Паливні гранули можна використовувати як альтернативний вид топлива, який вирішує такі проблеми як вирубка дерев, спалювання шин, спалювання сміття на сміттєзвалищах, і сприяють покращенню стану навколишнього середовища.

6.З економічної точки зору, питання виробництва твердого біопалива є актуальним, так як конкурентів на ринку виробництва біопалива з надлишкового активного мулу немає.

Обґрунтовано, що виробництво твердого біопалива з іншої сировини, такої, як деревина або торф являються конкурентоспроможними, але у біопалива з надлишкового активного мулу існує лімітуюча перевага, така як дешевизна продукції . За рахунок економії на сировині, так як вона являється

безкоштовною, ціна на біопаливо, що виробляється, значно нижча ніж на біопаливо іншого виду.

7. Аналіз сучасної літератури показав, що проблема утилізації активного мулу є актуальною для України та для більшості країн світу в цілому. Опрацьована інформація показує можливість використання декількох сучасних, екологічних та економічно-доцільних технологій для вирішення встановленої проблеми.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

[1]. Дослід «Биоэкология»/Н. С. Ручай, Р. М. Маркевич. – Минск : БГТУ, 2006. – 312 с.

[2]. Шквірко О.М. Екологія та довкілля / О.М. Шквірко, І.С.Тимчук. – Львів : Львівська політехніка, 2019. – 82-86 с.

[3]. Chelliapan S. Performance of an up-flow anaerobic stage reactor (UASR) in the treatment of pharmaceutical wastewater containing macrolide antibiotics /S. Chelliapan, T. Wilby, P.J. Sallis//Water Res, 2006. - №40.- P. 507-516.

[4]. Bures H-R. Occurrence of the pharmaceutical drug clofibric acid and the herbicide mecoprop in various Swiss Lakes and in the North Sea / H-R Bures, M.D. Muller, N. Theobald // Environ. Sci. Technol. 1998. Vol.32 №1. – P. 188-192.

[5]. Прохоров Ю.Ю. Дослідження кінетики сушіння надлишкового активного мулу та композицій на його основі / Ю.Ю. Прохоров, Л.І. Ружинська. – К. : НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2017. – 8 с.

[6]. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов [Текст]: монография / Я. И. Вайсман [и др.]; под ред. Я. И. Вайсмана. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 259 с.

[7]. Туровский, И. С. Осадки сточных вод: обезвоживание и обеззараживание. – М.: Де Ли принт, 2008. – 376 с.

[8]. Вилсон Д. Утилизация твердых отходов. Т. 1 / Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 2005. – 336 с.

[9]. Технологические основы промышленной переработки отходов мегаполиса. / А.В. Гриценко, Н.П. Горох и др. – Х.: ХНАДУ, 2005. – 340 с.

- [10]. Гомонай М.В. Производство топливных брикетов. – М.: МГУЛ, 2006. – 167 с.
- [11] Офіційний сайт компанії ЛМКП "Львівводоканал" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.lvivvodokanal.com.ua>
- [12] Кізеєв М.Д., Осадчий В.Ф., Осадчий О.В. Інвестиційний проект реконструкції каналізаційних очисних споруд та будівництва станції виробництва біогазу у м. Львові // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва. – 2016. – № 844. – С. 103–112.
- [13] ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – К.: Вид-во "Мінрегіон України", 2013. – 128 с.
- [14] Оліферчук В.П., Матвієнко М.Т., Войтович І.Г. Можливість використання осаду стічних вод очисних споруд Львова для виробництва біогазу // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів: Національний лісотехнічний університет, 2009. Вип. 19.9. – С. 72–76.
- [15]. Эдер Б., Шульц Х. Биогазовые установки. Практическое пособие. – К.: Зорг Украина, 2011. – 268 с
- [16]. Епоян С. М. Водовідведення і очищення стічних вод міста: навч. посібник / С. М. Епоян, Г. М. Смірнова, І. В. Корінько, С. П. Пашкова. – Харків : Видавнича група «РА Каравела», 2003. – 144 с.---
- [17] Любарский В. М. Осадки природных вод и методы их обработки / В. М. Любарский. – М.: Стройиздат, 1980. – 128 с.-----
- [18]. Добрива тверді та вапнувальні матеріали. Визначення вмісту вологи гравіметричним методом. Висушування за температури $105 \pm 2^\circ\text{C}$: ДСТУ EN 12048:2005. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 13 с
- [19]. . Удобрения органические. Метод определения золы: ГОСТ 26714–85. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987. – 8 с.

[20]. Ключ В.П., Четверик Г.О. Сумісне анаеробне бродіння гнойових відходів та конденсату газогенераторної установки // Відновлювана енергетика. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2017. – №3. – С. 80-86.

[21]. Automatical methane potential test system. Operation and maintenance manual. – Lund: Bioprocess control Sweden AB, 2016. – 95 p.

[22]. Bachmann N. Sustainable biogas production in municipal waste water treatment plant. IEA Bioenergy, 2015. – 20 p

[23]. Газоаналізатор <https://prom.ua/ua/p113918424-gazoanalizator-himicheskij-ghl.html>

[24]. Puchajda B. Impact of sludge thickening on energy recovery from anaerobic digestion / B. Puchajda, J. Oleszkiewicz // Water Sci Technology. – 2008. – Vol. 57(3). – Pp. 395-401

[25]. Петрук В.Г., Васильківський І.В., Безвозюк І.І., Петрук Р.В., Турчик П.М. Природо-охоронні технології. Навчальний посібник. Ч.3.: Методи переробки осадів стічних вод. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 324 с.

[26.] Ключ С.В., Жовмір М.М., Маслюкова З.В., Демчина В.П. Визначення основних показників та ефективності часткової газифікації біомаси в газогенераторі щільного шару з оберненим дуттям // Відновлювана енергетика. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2016. – №2. – С. 79–87.

[27]. Ключ С.В. Експериментальні дослідження процесів енерготехнологічного перетворення біомаси в реакторах щільного шару палива // Відновлювана енергетика. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2015. – №3. – С. 85–92.

[28]. Карпіщенко О.І., Карпіщенко О.О. Еколого-економічні проблеми використання мінеральних добрив // Вісник Сумського державного університету. Сер. Економіка. – 2013. – № 2. – С. 5 – 11.

[29]. Макаренко Н.О., Вакал С.В. Методи експериментальних досліджень ефективності екологічно безпечних мінеральних добрив // Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. – 2011. – № 6 (71), Ч. 1. – С. 142 – 144

[30]. Ракша Н.В., Тошинский В.И. Органо-минеральные удобрения из осадков сточных вод // Материалы VI Междунар. конф.: Сотрудничество для решения проблемы отходов. – Харьков, 2009. – С. 242

[31]. Шевчук В.Я., Чеботько К.О., Разгуляев В.М. Біотехнологія одержання органо-мінеральних добрив із вторинної сировини. – Київ: УАННП «Фенікс», 2001. – 204 с

[32]. Полетаева Т.Н. Утилизация осадков сточных вод малых очистных сооружений // Вісник Харківської акад.

мії комунального господарства.-Харків: ХНАМГ, 2006.-№72.-С.151-154.

[33]. Евилевич А.З., Евилевич М.А. Утилизация осадков сточных вод. - Л.: Стройиздат, 1988. -248 с.

[34]. Добриво з осадів стічних вод : ТУ 204 України 76 -93 / Держ. Комітет України з житл .- комун. господарства.- Харків, 1994. - С. 16.

[35]. Ковальчук В.А. Очистка сточных вод. - Рівне: ВАТ « Рівненська друкарня», 2002. - 662 с.

[36]. Матвеева И.В., Дрозд Г.Я. Дифференцированный подход к утилизации накопления осадков сточных вод// Вісник Харківської академії комунального господарства.-Харків: ХНАМГ, 2003.- №51.-С.106-111.

33. Reimann Dieter O. Тенденции в области обработки осадка //Umwelt. – 1990 – 20. №5. – с.214, 217- 218, 221.

[37]. . Карпіщенко, О. І. Еколого-економічні проблеми використання мінеральних добрив [Текст] / О. І. Карпіщенко, О. О. Карпіщенко // Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка. – 2013. – № 2. – С. 5–11.

[38]. Плахотнік, О. М. Удосконалювання очисних споруд м. Дніпродзержинська [Текст]: міжнар. Конгрес / О. М. Плахотнік, М. Д. Волошин, Г. А. Михайленко // ЕТЕВК-2003. – Х. : Вокруг света, 2003. – С. 269–272.

[39]. Van der Star, W. R. L. The membrane bioreactor: a novel tool to grow anammox bacteria as free cells [Text] / W. R. L. Van der Star, A. I. Miclea, G. J. M. U. Dongen van, G. Muyzer, C. Picoreanu, M. C. M. Loosdrecht van // *Biotechnology and Bioengineering*. – 2008. – Vol. 101, Issue 2. – P. 286–294. doi: 10.1002/bit.21891

[40]. Çeçen, F. Nitrification studies on fertilizer wastewaters in activated sludge and biofilm reactors [Text] / F. Çeçen, E. Orak, P. Gökçin // *Water Science and Technology*. – 1995. – Vol. 32, Issue 12. – P. 141–148. doi: 10.1016/0273-1223(96)00148-5

[41]. Jetten, M. S. M. The anaerobic oxidation of ammonium [Text] / M. S. M. Jetten, M. Strous, T. Pas-Schoonen van de K. et al. // *FEMS Microbiology Reviews*. – 1999. – Vol. 22, Issue 5. – P. 421–437. doi: 10.1016/s0168-6445(98)00023-0

[42]Olsson, J. Energy Efficient Combination of Sewage Sludge Treatment and Hygienization After Mesophilic Digestion–Pilot Study [Text] / J. Olsson, M. Philipson, H. Holmström, E. Catoc, E. Nehrenheim, E. Thorina // *Energy Procedia*. – 2014. – Vol. 61. – P. 587–590. doi: 10.1016/j.egypro.2014.11.1176

[43]. Comasa, J. Risk assessment modelling of microbiology-related solids separation problems in activated sludge systems [Text] / J. Comasa, I. Rodríguez-Rodaa, K. V. Gernaey, C. Rosen, U. Jeppsson, M. Poch // *Environmental Modelling & Software*. – 2008. – Vol. 23, Issue 10–11. – P. 1250–1261. doi: 10.1016/j.envsoft.2008.02.013

[44]. Tetyana, V. Mechanism and Kinetic Regularities of Inactivating Effects of Cavitation on Microorganisms [Text] / V. Tetyana, O. Gashchyn // *Chemistry & Chemical Technology*. – 2014. – Vol. 8, Issue 4. – P. 431–440.

[45]. Пат. 93789 Україна, МПК С 02 F 11/04, С 05 F 3/00, С 05 F 7/00, С 05 F 9/00, С 12 М 1/00, С 12 Р 5/00. Спосіб виробництва біогазу і органічних добрив при зброджуванні багатокomпонентного субстрату [Текст] / Мельничук М. Д., Бауэр Ф., Дубровин В. О., Дубровина О. В. – № а200911811 ; Заявл. 19.11.2009; Опубл. 10.03.2011. Бюл. № 5

[46]. Ryu, C. Investigation into Possible Use of Methane Fermentation Digested Sludge as Liquid Fertilizer for Paddy Fields [Text] / C. Ryu, M. Suguri, M. Iida, M. Umeda // Engineering in Agriculture, Environment and Food. – 2010. – Vol. 3, Issue 1. – P. 32–37. doi: 10.1016/s1881-8366(10)80009-6

[47]. Chen, L. Solid-state fermentation of agro-industrial wastes to produce bioorganic fertilizer for the biocontrol of Fusarium wilt of cucumber in continuously cropped soil [Text] / L. Chen, X. Yang, W. Raza, J. Luo, F. Zhang, Q. Shen // Bioresource Technology. – 2011. – Vol. 102, Issue 4. – P. 3900–3910. doi: 10.1016/j.biortech.2010.11.126

[48]. Афанасьева, Т. А. Надежность химико-технологических производств [Текст]: монография / Т. А. Афанасьева, В. Н. Блиничев. – Иваново: ИГХТУ, 2007. – 199 с

[49]. Очеретнюк, О. Р. Кінетичні закономірності зневоднення диспергованого активного мулу [Текст] / О. Р. Очеретнюк, М. Д. Волошин, А. В. Іванченко // Вопросы химии и химической технологии. – 2012. – № 7. – С.116–120.

[50.] Очеретнюк, О. Р. Визначення умов зневоднення надлишкового активного мулу при використанні диспергатора [Текст]: тези доп. / О. Р. Очеретнюк, М. Д. Волошин, А. В. Іванченко, Г. П. Чіркова // Хімічна технологія : наука та виробництво: І всеукраїнська наук.-техн. конф. – Шостка, 2011. – С. 42..