

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Державний вищий навчальний заклад  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут екологічної економіки і менеджменту

Кафедра екології

УДК 628.179.2.

**Пояснювальна записка**  
до дипломної роботи магістра на тему:  
**Екологічна оцінка лінії компостування  
мулу на КОС м. Шептицький**

**Виконала:** студентка групи ЕКЗ-61м  
спеціальності 101  
“Екологія”  
Мельничук М.І.

**Керівник:** доц. Панківський Ю.І.

**Рецензент:** доц. Марутяк С.Б.  
(прізвище та ініціали)

м. Львів – 2024

ЗАТВЕРДЖЕНО

Наказ Міністерства освіти і науки України  
29 березня 2012 року № 384

Форма № Н-9.01

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

( повне найменування вищого навчального закладу )

Інститут, факультет, відділення екологічної економіки і менеджменту  
Кафедра, циклова комісія екології  
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр  
Напрямок підготовки \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ (шифр і назва)  
101 Екологія  
\_\_\_\_\_ (шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри, голова циклової  
комісії проф.Копій Л.І.

"14" 11 2024 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Мельничук Марті Іванівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1.Тема проекту (роботи) Екологічна оцінка лінії компостування мулу на КОС м. Шептицький

керівник проекту (роботи) Панківський Юрій Іванович, к.ф.-м.н., доц.  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "12" 11. 2024 р. № С-874

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 16.12.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технологічний регламент КОС КП «Червоноградводоканал», Статистична звітність форма 2-ТП водгосп, державні будівельні норми, Дозвіл на спеціальне водокористування КП «Червоноградводоканал».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ; 1. Каналізаційні очисні споруди м. Шептицький; 2. Цех переробки мулу КОС КП «Червоноградводоканал; 3. Утилізація мулу господарсько-побутових стічних вод; 4. Екологічна оцінка ділянки компостування мулу на КОС м. Шептицький; Висновки; Список використаних джерел; Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Карта розміщення КОС м.Шептицький; технологічна схема КОС; схема мулових майданчиків; схема компостувальної лінії

7. Дата видачі завдання 06.08.2022**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Каналізаційні очисні споруди м. Шептицький	06.08.22- 17.09.21	<i>вс</i>
2	Цех переробки мулу КОС КП «Червоноградводоканал	20.09.22- 15.10.22	<i>вс</i>
3	Утилізація мулу господарсько-побутових стічних вод	18.10.22- 05.11.22	<i>вс</i>
4	Екологічна оцінка ділянки компостування мулу на КОС м. Шептицький	08.11.22- 04.11.22	<i>вс</i>
5	Оформлення пояснювальної записки	15.11.22- 16.12.22	<i>вс</i>

Студент

  
 (підпис)

Мельничук М.І.  
 (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

  
 (підпис)

Панківський Ю.І.  
 (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**УДК 628.179.2. Мельничук М.І. Екологічна оцінка лінії компостування мулу на КОС м. Шептицький: кваліфікаційна робота магістра: 101 Екологія/ Марта Іванівна Мельничук; наук. кер.: Юрій Іванович Панківський; НЛТУ України. – Львів, 2024. – 70 с.**

У дипломній роботі проаналізовано процес очищення комунально-побутових стічних вод та переробки їхніх осадів на каналізаційних очисних спорудах м. Шептицький. На основі виконаних аналітичних досліджень екологічних показників мулу та технічних розрахунків запропоновано та обґрунтовано систему аерованих штабелів для переробки мулу. Виконано екологічну оцінку системи компостування осадів.

*Ключові слова:* господарсько-побутові стічні води, каналізаційні очисні споруди, мул, лінія компостування, аеровані штабелі, мулові майданчики

## SUMMARY

**UDK 628.179.2. Melnychuk Marta Environmental assessment of the sludge composting line at the Sheptytskyi WWTP: Master Diploma Thesis: 101 Ecology/ Marta Melnychuk; scientific supervisor: Yuriy Pankivskiy; UNFU. – Lviv, 2024. – 70 p.**

The process of municipal waste waters treatment and sludge processing at town of Sheptytskyi WWT facilities has been studied in current Master Thesis. On the basis of the analytical studies of the ecological indices of sludge and technical calculations, the system of aerated windrows for sludge processing has been proposed and substantiated. An ecological assessment of the sludge composting system has been performed.

*Key words:* municipal waste waters, waste waters treatment plant, sludge, composting line, aerated windrows, sludge treatment facilities

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. КАНАЛІЗАЦІЙНІ ОЧИСНІ СПОРУДИ М. ШЕПТИЦЬКИЙ...	8
1.1. Загальні відомості.....	8
1.2. КОС КП «Червоноградводоканал».....	8
РОЗДІЛ 2. ЦЕХ ПЕРЕРОБКИ МУЛУ КОС КП «ЧЕРВОНОГРАДВОДОКАНАЛ».....	12
2.1. Існуючі методи переробки мулу .....	12
2.2. Оцінка стану мулового господарства .....	13
2.3. Оцінка проектних потужностей .....	15
РОЗДІЛ 3. УТИЛІЗАЦІЯ МУЛУ ГОПОДАРСЬКО-ПОБУТОВИХ СТІЧНИХ ВОД .....	19
3.1. Властивості осадів комунально-побутових стічних вод.....	19
3.2. Дослідження екологічних показників осадів.....	21
3.3. Технологія компостування осадів стічних вод .....	22
3.4. Розрахунок системи аерованих штабелів.....	30
3.5. Організація роботи лінії компостування мулу.....	32
РОЗДІЛ 4. ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ДІЛЬНИЦІ КОМПОСТУВАННЯ МУЛУ НА КОС М. ШЕПТИЦЬКИЙ .....	36
4.1. Трансформація органічної речовини при аеробному компостуванні.....	36
4.2. Вплив лінії компостування на компоненти довкілля.....	41
ВИСНОВКИ.....	45
Список використаних джерел.....	46
Додатки.....	50

## ВСТУП

Більшість каналізаційних очисних споруд в Україні збудовані та інтенсивно експлуатуються ще з 60-70-ті років минулого століття. У теперішній час під впливом та за участі міжнародної екологічної спільноти, частково за кошти міжнародних фінансових установ, бюджетів об'єднаних територіальних громад реконструкція старих та будівництво нових технологічних ліній очищення стічних вод стартували в нашій країні. Та, на жаль, проблеми мулових господарств очисних споруд не отримують належної уваги. За десятки років експлуатації КОС осади і мул від очищення стічних вод у концентрованій формі просто відкачувались на мулові майданчики. На той час, враховуючи великі проектні розміри мулових господарств, складування осадів не було проблемою, а місткість мулових майданчиків є невичерпною. Проте за роки неправильної експлуатації дренажні системи майданчиків вийшли з ладу, карти мулових майданчиків заповнені «по вінця». На карті України біля населених пунктів, а особливо біля великих міст утворились великі чорні плями затоплених мулових полів. Внаслідок випадання великої кількості атмосферних опадів виникає загроза виносу мулу з переповнених карт, забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод – джерел водопостачання.

Сьогодні осади стічних вод, господарська діяльність з їхньої обробки та складування стали об'єктами низки національних законодавчих актів (Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» та Закону України «Про управління відходами» та ін.). Це надає особливої *актуальності* екологічним дослідженням систем переробки осадів стічних вод та способів їхньої утилізації.

**Мета роботи:** розробити спосіб оптимізації роботи цеху переробки мулу на каналізаційних очисних спорудах м. Шептицький та провести його екологічну оцінку. Для досягнення мети поставлені такі *завдання*:

- проаналізувати процес очищення комунально-побутових стічних

вод та переробки їхніх осадів на каналізаційних очисних спорудах на КОС міста;

- виконати аналітичні дослідження екологічних показників мулу з мулових майданчиків КОС;
- зробити технічні розрахунки мулових майданчиків та системи аерованих штабелів для переробки осадів;
- провести екологічну оцінку системи компостування мулу.

Отримані у дипломній роботі результати, висновки, рекомендації можуть бути використані для впровадження у роботу КОС м.Шептицький, інших міст та селищ Львівської області, України.

## РОЗДІЛ 1

### КАНАЛІЗАЦІЙНІ ОЧИСНІ СПОРУДИ М. ШЕПТИЦЬКИЙ

#### 1.1. Загальні відомості

Місто Шептицький (Червоноград, Христинопіль) – це адміністративний центр Шептицького району Львівської області, центр Червоноградської міської об'єднаної територіальної громади [32], центр гірничодобувної промисловості Львівсько-Волинського вугільного басейну.

Населення міста - 67223 особи.

Шептицький розміщений у північній частині Львівської області на лівому березі р. Західний Буг у Надбужанській котловині.

Послуги з централізованого водопостачання і водовідведення в районі здійснює комунальне підприємство (КП) «Червоноградводоканал». Детальну інформацію про системи водопостачання та водовідведення наведені у Додатку А.

#### 1.2. КОС КП «Червоноградводоканал»

**Надходження стічних вод.** Згідно з документом [17] нормативно-розрахунковий проектний обсяг водовідведення становить 30278,98 м<sup>3</sup>/добу. Проте, на теперішній час за даними обліку абонентів КП «Червоноградводоканал» фактичне надходження стічних вод на КОС дорівнює 18010 м<sup>3</sup>/добу. З врахуванням коефіцієнта нерівномірності  $K = 1,28$ :

$$Q_{\text{доб}} = q \times K = 18010 \times 1,28 = 23052 \text{ (м}^3\text{/добу)}.$$

**Технологія очищення.** Каналізаційні очисні споруди (КОС) КП «Червоноградводоканал» виконані за схемою повної біологічної очистки з доочищенням, з проектною потужністю 35000 м<sup>3</sup>/добу (рис.1.1).

Нормативної санітарно-захисна зона (СЗЗ) для таких споруд згідно з нормативним документом [18] становить 400 м. Нормативна СЗЗ витримана, до найближчої житлової забудови у селі Добрячин 592 м. (рис. 1.2).

Детальна інформація про роботу технологічної схеми очищення стічних вод на КОС м. Шептицький наведено у Додатку Б.

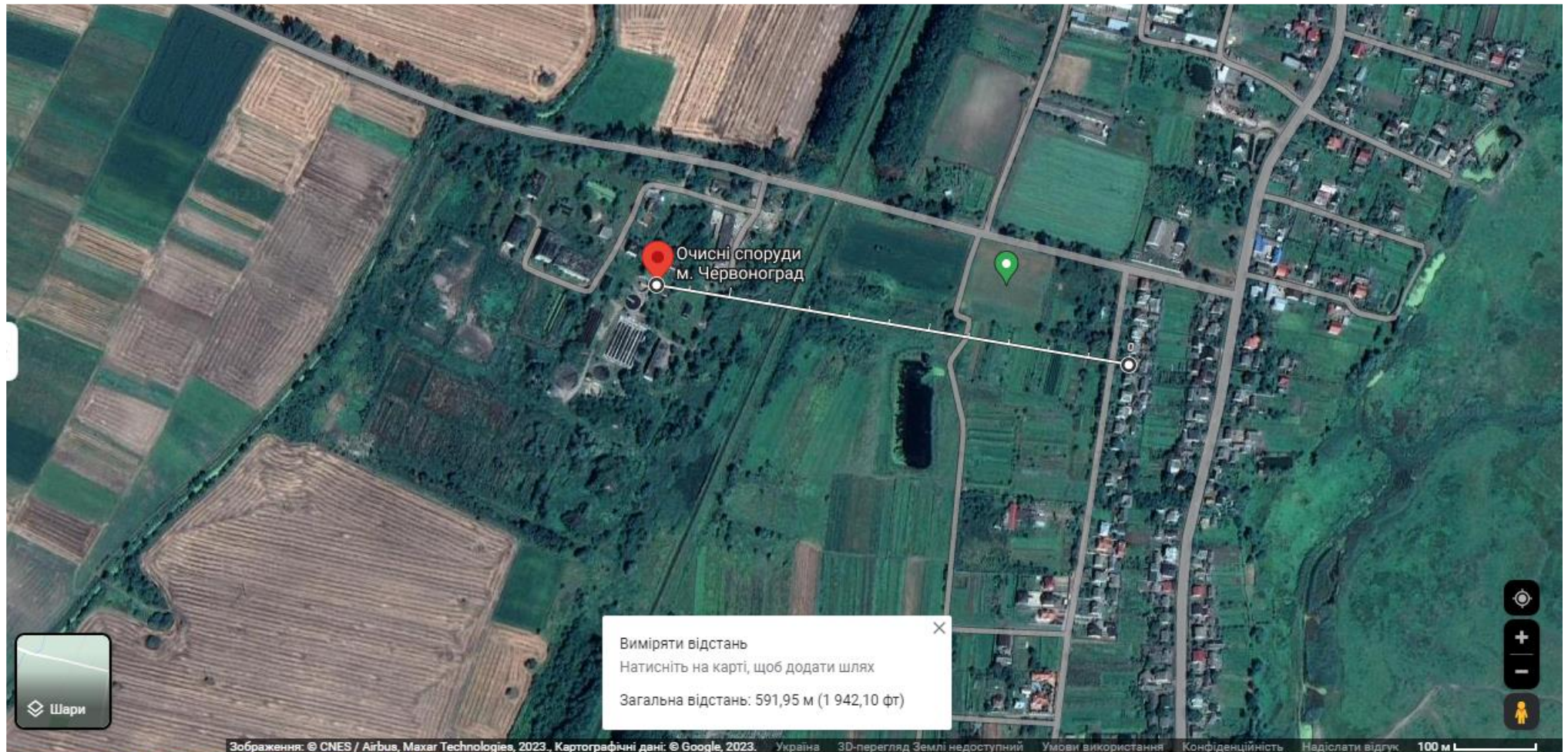


Рис. 2.1. Карта розміщення КОС м. Шептицький

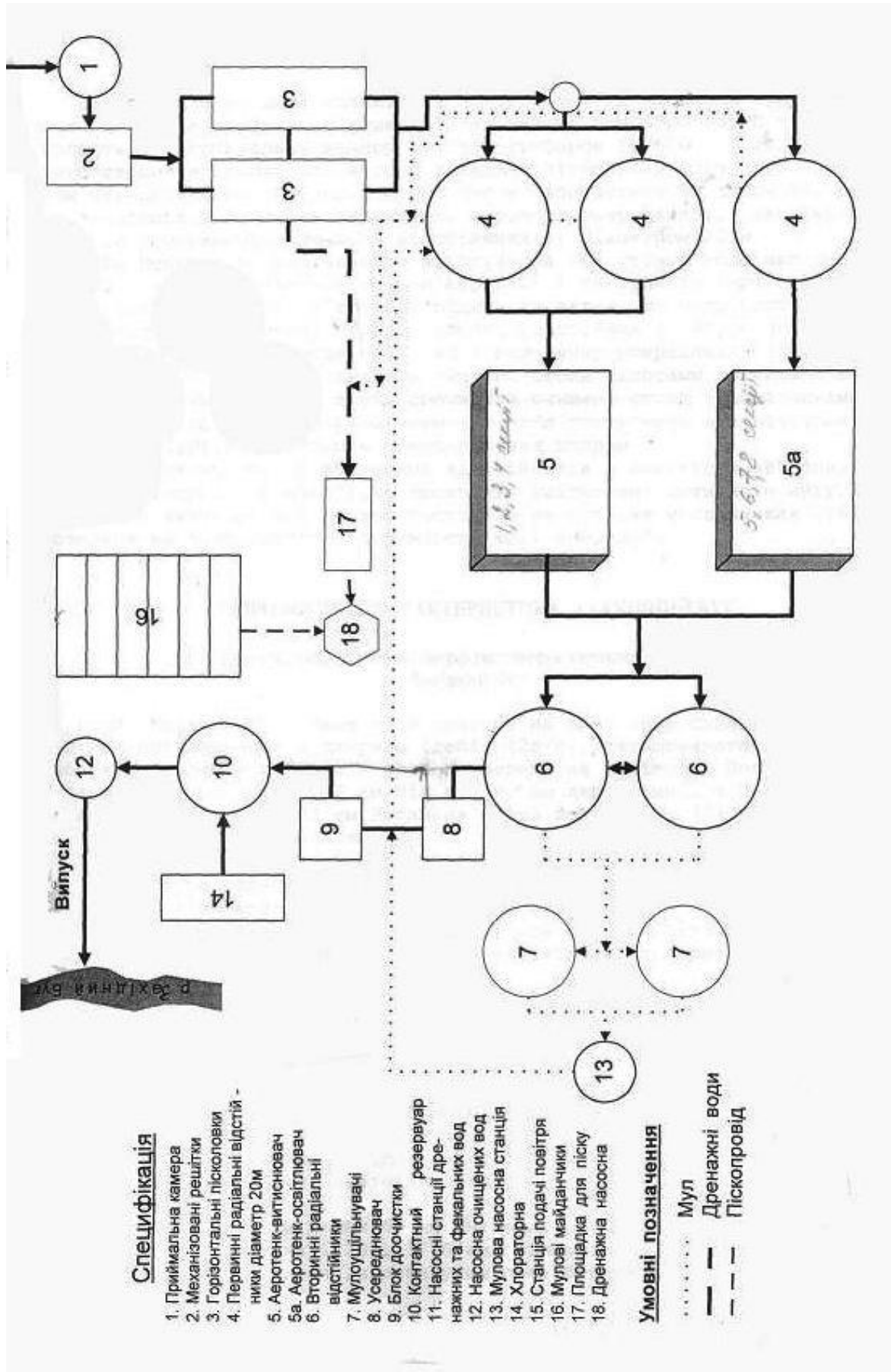


Рис. 1.2. Технологічна схема КОС м. Шептицький [30]

## РОЗДІЛ 2

### ЦЕХ ПЕРЕРОБКИ МУЛУ КОС КП «ЧЕРВОНОГРАДВОДОКАНАЛ»

#### 2.1. Існуючі методи переробки мулу

У ході очищення стічних вод утворюється 850 м<sup>3</sup>/год надлишкового мулу вологістю 99,6 %.

Детальна інформація про технології переробки осадів подана у Додатку В.

Оброблення осадів стічних вод на КОС м. Шептицький проводиться таким способом. Надлишковий активний мул вологістю 99,6 % після вторинного осадження надходить у мулоущільнювачі для ущільнення.

Ущільнення осадів здійснюється у гравітаційним методом. Мул осідає на дно відстійника, збирається у його центральній частині, де ущільнюється до консистенції 5 % (відповідно вологість стає 95 %). Ущільнений мул у подальшому відводиться муловідвідним трубопроводом на мулові майданчики. Віддану у процесі ущільнення мулову воду повертають у схему очищення стічних, починаючи з первинного прояснювача.

Зневоднення здійснюється природним шляхом. Для цього на КОС передбачені мулові майданчики загальною площею 36 тис. м<sup>2</sup>. Мулові майданчики обладнані дренажем і засобами його промивання. Кількість карт мулових майданчиків — 36 шт. (рис. 2.1). Мулові майданчики – сплановані ділянки землі (розмір карти 20 м×50 м), заасфальтовані і вкриті щебенем та обваловані дамбами заввишки до 1 м. Проектний обсяг видалених відходів — 10731 т/рік. Проектний обсяг зберігання видалених відходів на майданчиках — 25815 т.

Підсушування осаду та мулу відбувається шляхом випаровування і фільтрації води у дренажну систему. Дренажні води скидаються на насосну станцію дренажних вод. Вологість осадів зменшується до 65-75 % [22].

Висота шару одночасного напуску осаду на мулові майданчики: в літній період – 0,2-0,3 м; у зимовий - до 0,1 м, нижче огорожувального валу. Повторний випуск осаду на майданчики проводиться після того, як осад підсохне і утворяться тріщини глибиною 3-5 см.

## **2.2. Оцінка стану мулового господарства**

За період експлуатації очисних споруд з 1971 року 22 мулових майданчики повністю вийшли з ладу. Їхня дренажна система не працює: фільтрувальний шар замулений, азбестоцементні труби системи промивання переломлені. Внаслідок залиття осадами замуленого фільтрувального шару майданчиків, утворилися зони застою осаду. Так як цей осад не просушується, він є небезпечним у санітарному відношенні, у ньому розвиваються патогенні мікроорганізми, гельмінти. За санітарним показниками такий мул не можна вивозити і використовувати як добриво, тому він накопичується на майданчиках у величезних обсягах 26 тис. т. За таких умов решта робочих майданчиків первантажені і працюють неефективно.

Загалом, мулові майданчики є екологічно небезпечними, вони створюють загрозу затоплення навколишніх територій с. Добрячин та забруднення земель. При випаданні інтенсивних атмосферних опадів мул перезволожується, і можуть виникнути переливи через борти майданчиків, а як наслідок - підтоплення території очисних споруд та сільськогосподарських угідь, забруднення неочищеними та санітарно-небезпечними відходами підземних та поверхневих вод в басейні р. Західний Буг. Власне майданчик самих КОС та прилегла територія входять у II-й пояс зони санітарної охорони (ЗСО) Борятинського водозабору КП «Червоноградводоканал». Згідно нормативним документом [15] II-й пояс ЗСО є поясом обмежень охоплює територію, що безпосередньо оточує джерела водопостачання та їх

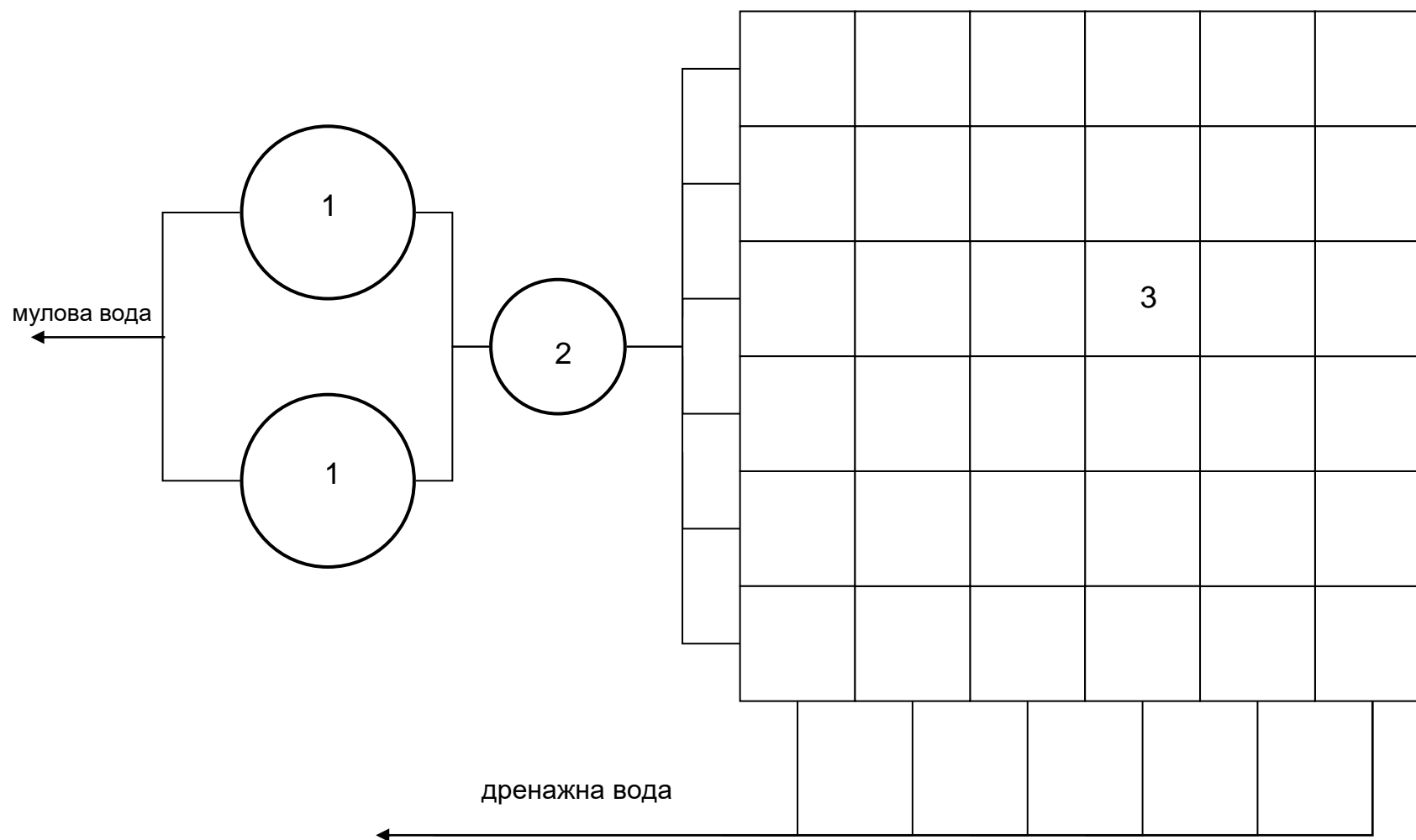


Рис. 2.1. Цех переробки осадів та мулу на КОС м. Шептицький: 1 – ущільнювачі; 2 – перекачувальна станція мулу; 3 – карти мулових майданчиків

притоки. Його визначають залежно від рельєфу місцевості, її заселеності і санітарних умов. Тут заборонено знищувати лісонасадження, будувати промислові підприємства, влаштовувати сміттєзвалища та здійснювати скиди стічних вод. Загалом, заборонено використовувати територію біля джерел так, що це може привести до погіршення якості води.

З метою попередження екологічної катастрофи: можливого затоплення сільськогосподарських земель с.Добрячин шламами необхідна реконструкція дренажної системи існуючих мулових майданчиків. Для цього треба звільнити затоплені майданчики від накопиченого мулу, впровадивши технології з його утилізації.

### 2.3. Оцінка проєктних потужностей

**Ущільнювачі.** У схемі цеху переробки мулу для підвищення його консистенції використовуються два гравітаційних вертикальні ущільнювачі діаметром  $d=8$  м і об'ємом відстійної зони  $211 \text{ м}^3$ . Для ущільнення мулу від 0,4 % (з вторинних відстійників) до 5 % (фактична консистенція при недосконалій роботі ущільнювача 2 %).

Для розрахунку приймаємо витрата мулу з вологістю 99 % -  $172 \text{ м}^3/\text{добу}$ , що дорівнює  $7,17 \text{ м}^3/\text{год}$ ; час утримання в ущільнювачі – 12 год. Розраховуємо необхідний об'єм осаджувальної зони ущільнювача [8]:

$$V = Q \cdot t = 7,17 \cdot 12 = 86 \text{ (м}^3\text{)}.$$

З наявного об'єму осаджувальної зони розраховуємо можливий час утримання мулу в ущільнювачі:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{211}{7,17} = 29 \text{ (год)}.$$

Отже, як бачимо, розрахунки свідчать, що потужностей для ущільнення осаду достатньо. Загалом розрахований можливий час утримання – 29 год. свідчить, що ущільнювач може працювати як септик.

**Мулові майданчики.** Площа мулових майданчиків залежить від об'єму осаду, характеру ґрунту, на якому встановлюють майданчик, кліматичних умов, а також від структури осаду.

Навантаження осаду на мулові майданчики в районах із середньорічною температурою повітря 3-6 °С включно та середньорічною кількістю атмосферних опадів до 500 мм відповідно до вимог документу [16].

Мулові майданчики розраховують за навантаженням  $q$ , яке залежить від робочої глибини майданчиків та кількості вивантажень в рік, яка визначається в залежності від властивостей осаду і кліматичних умов від 1 до 5.

Корисна площа мулових майданчиків  $S$ , м<sup>2</sup>, для мулу з гравітаційних ущільнювачів при річному навантаженні осаду  $q$ , м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> поверхні дорівнює [23]:

$$S = \frac{Q_1 \cdot 365}{abq}, \quad (3.1)$$

де

$Q_1$  – кількість сирого осаду, м<sup>3</sup>/добу;

$a$  – коефіцієнт зменшення об'єму за рахунок його розпаду при зброджуванні, дорівнює 2;

$b$  – коефіцієнт зменшення об'єму за рахунок його ущільнення з 95- до 90 %-ної вологості, дорівнює 2.

Розрахуємо корисну площу мулових майданчиків для КОС м. Червонограда (після ущільнення вологість мулу 95 %,  $Q_1 = 80,4$  м<sup>3</sup>/добу,  $q=2$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·рік), тоді

$$S = \frac{80,4 \cdot 365}{2 \cdot 2 \cdot 2} = 3668 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Якщо після ущільнення вологість мулу 98 %,  $Q_1=156,2$  м<sup>3</sup>/добу:

$$S = \frac{156,2 \cdot 365}{2 \cdot 2 \cdot 2} = 7127 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Як бачимо за фактична площа мулових майданчиків 36000 м<sup>2</sup> (у майже 5 разів більша), що більш, ніж достатньо для переобки осаду, що на них надходить, і свідчить про запас потужності майданчиків (36000-7127=28873 м<sup>2</sup>) і можливість як зберігання мулу, так і обслуговування дренажної системи.

При проектному навантаженні на мулові майданчики:  $Q_1=415,8$  м<sup>3</sup>/добу:

$$S = \frac{415,8 \cdot 365}{2 \cdot 2 \cdot 2} = 18971 \text{ (м}^2\text{)},$$

корисна площа 1,9 рази перевищує проектну.

Необхідно перевірити достатність отриманої при розрахунку майданчиків площі, враховуючи заморожування осаду взимку. Період заморожування визначається кількістю днів із середньодобовою температурою нижче – 10 °С. Частина вологи (25 %) взимку профільтровується і випаровується. Під заморожування відводять 80 % поверхні карт мулових майданчиків, а 20 % залишають для використання в період весняного танення.

Висота шару заморожування  $h_3$  залежить від кліматичних умов [24]:

$$h_3 = \frac{Q_1 t k_4}{S k_5}, \quad (3.2)$$

де

$Q_1$  – добовий об'єм осаду, м<sup>3</sup>;

$S$  – корисна площа мулових майданчиків, м<sup>2</sup>;

$t$  - період заморожування, доба;

$k_4$  – коефіцієнт, що враховує зменшення об'єму осаду внаслідок зимової фільтрації і випаровування, дорівнює 0,75.

$k_5$  – частина площі, яка відводиться під зимове заморожування, дорівнює 0,75.

Визначаємо розрахункову висоту шару наморожування:

$$h_3 = \frac{80,4 \cdot 7 \cdot 0,75}{3668,25 \cdot 0,8} = 0,144 \text{ (м)}.$$

Визначаємо фактичну висоту шару наморожування:

$$h_3 = \frac{156,2 \cdot 7 \cdot 0,75}{7127 \cdot 0,8} = 0,144 \text{ (м)}.$$

А при проектному навантаженні висота ще менша в 1,8 рази:

$$h_3 = \frac{415,8 \cdot 7 \cdot 0,75}{36000 \cdot 0,8} = 0,08 \text{ (м)}.$$

Проведені розрахунки визначають робочу (корисну) площу мулових майданчиків. Додаткова площа, на якій розміщені вали, дороги, канавки тощо, враховується коефіцієнтом, значення якого коливаються від 1,2 (для великих станцій) до 1,4 (для малих станцій).

Отже, площі мулових майданчиків на КОС для переробки осадів з проектної витрати стічних вод 35000 м<sup>3</sup>/добу є достатньо, існує великий запас потужностей, що майже в у 2 рази перевищує необхідну.

Проте за роки експлуатації на мулових майданчиках накопичено 25815 т мулу. Виникає необхідність у розробці способу утилізації накопиченого осаду для звільнення мулових карт.

## РОЗДІЛ 3

### УТИЛІЗАЦІЯ МУЛУ ГОПОДАРСЬКО-ПОБУТОВИХ СТІЧНИХ ВОД

Для виходу з кризової ситуації, що склалася у муловому господарстві КОС КП «Червоноградводоканал» доцільно розробити технологічну лінію утилізації осадів. Це дасть змогу запобігти забрудненню підземних та поверхневих вод у басейні р. Західний Буг, покращить її санітарно-екологічний стан.

#### 3.1. Властивості осадів комунально-побутових стічних вод

Утилізація осадів промислових стічних вод передбачає вилучення цінних речовин.

Багато осадів каналізаційних стоків можна використовувати як добрива, а активний мул - як кормовий продукт з великим умістом білків і вітамінів. Осади мінерального походження можна застосовувати для виготовлення будівельних матеріалів, у дорожньому будівництві як замітники керамзиту та інших матеріалів.

Коли утилізація осадів неможлива або економічно недоцільна, а також для їх знешкодження і зменшення об'єму застосовують спалювання у топках, проводять рідкофазне окиснення, скидають у накопичувачі, закачують у пусті порожнини та вивозять на звалища.

Для спалювання застосовують камерні, барабанні, багатоподові, розпилювальні, циклонні та з псевдозрідженим шаром печі.

Для того щоб утилізувати осади стічних вод потрібно знати його основні характеристики, тобто гранулометричний склад, загальний вміст основних мінеральних компонентів, вміст водорозчинних форм важких металів, валовий вміст основних поживних речовин, вміст водорозчинних форм та окремих компонентів основних легкорозчинних солей, вміст доступних для засвоєння форм азоту та фосфору, вміст нафтопродуктів,

СПАР, радіоізотопний склад та санітарно-бактеріологічні та мікробіологічні параметри [13].

За гранулометричним складом осади переважно являють собою мулисті утворення, які містять помітну кількість домішок глинистого або піщаного матеріалу. Ці мулові відклади характеризуються високими валовими концентраціями загального азоту та фосфору, рухомих форм цих елементів, а також важких металів – Cr, Ni, Cu, Zn, Pb.

Також у мулах є значна кількість різних водорозчинних солей. Серед них переважають сульфати, нітрати кальцій, амоній, тобто компоненти сольового складу переважно антропогенного походження.

Наявність нафтопродуктів у мулах очисних споруд свідчить про те, що фракції нафтових вуглеводнів з високою температурою кипіння достатньо стійкі до біохімічного руйнування і усуваються із стічних вод переважно за рахунок сорбції на завислих частках і частках надлишкового активного мулу. Найбільші концентрації нафтопродуктів виявлено у свіжоутворених осадів стічних вод. Зі збільшення терміну витримки мулів їх концентрації дещо зменшуються і потім стабілізуються [6].

Бактеріологічні та гельмінтологічні показники на відміну від хімічних є прямими показниками ступеня фекального забруднення води, ґрунту та інших об'єктів навколишнього середовища. Найбільшим забрудненням характеризуються свіжоутворені та змішані осади стічних вод, вони містять бактерії групи кишкової палички. Осади з достатньо тривалим терміном витримки можуть бути охарактеризовані як «слабозабруднені» і «відносно безпечні» [2].

Мікробіологічні дослідження осадів показують, що найбільш інтенсивно мікробіологічна активність їх виявляється у перші 6-12 місяців. Ці періоди характеризуються перш за все високою активністю мінералізаційної групи, в тому числі амоніфікаторів, олігонітрофілів, бактерій, які використовують азот мінеральних сполук [3].

Що стосується групи мікроорганізмів, яка трансформує фосфорні сполуки, то спостерігається чітко виражене зниження їх чисельності в процесі зберігання, аж до повної нейтралізації «перегорілої» маси. Аналогічною є динаміка розвитку актиноміцетів та грибів.

### 3.2. Дослідження екологічних показників осадів

Екологічними показниками, що обмежують виробництво органічних добрив з осадів стічних вод є наявність в них важких металів. З огляду на це, ми вивчали вміст розчинних форм важких металів в осадах з мулових майданчиків КОС м.Шептицький.

Для оцінки хімічного складу і властивостей мулу стічних вод виконано натурні та аналітичні лабораторні дослідження за методами, описаними у Додатку Г.

**Результати вимірювань.** Результати аналітичних досліджень наведено у таблиці 3.1. Як бачимо, концентрації рухомих форм нікелю, свинцю і хрому не перевищують гранично допустимих значень. Проте вміст розчинних форм міді та цинку перевищує ГДК майже у дво рази.

Таблиця 3.1.

#### Результати аналізу проб мулу

№ з/п	Показник	Концентрація, мг/кг	ГДК, мг/кг [13]
1	рН	6,8	
2	Хром	1,8	6,0
3	Свинець	4,19	6,0
4	Цинк	<b>71,2</b>	23,0
5	Нікель	1,54	4,0
6	Мідь	<b>6,53</b>	3,0

### 3.3. Технологія компостування осадів стічних вод

З середини 1970 років компостування вважається одним з найбільш економічно вигідним і екологічним методом стабілізації і утилізації осадів стічних вод [3].

Біотермічне компостування – це біологічний процес, при якому внаслідок діяльності різних мікроорганізмів відбувається розкладання органічної речовини. Приблизно 20-30 відсотків летких сполук конвертуються в діоксид карбону і воду. При розкладі органічного мулу виділяється тепло, внаслідок чого температура середовища піднімається до рівня пастеризації 50-70°C, і патогенні мікроорганізми у мулі гинуть. Отже, відповідно компостований мул можна використати як кондиціонер для ґрунту сільському чи лісовому господарстві.

Так як мул не має грудкуватої структури, він швидко розмивається, тому для утилізації його як добрив додаються водопоглинаючі та вуглецевмісні компоненти: тирса, листя, солома тощо. Кількість їх в суміші має бути такою, щоб створювалася пориста структура. Щодо високої концентрації цинку і міді, то, оскільки, мул змішують, концентрації відповідно зменшуються.

Для отримання органомінерального добрива з осаду стічних вод застосовують різні способи компостування: в анаеробних або аеробних умовах. У природних умовах, наприклад, у ґрунті ці процеси проходять паралельно [28]. У штучних умовах на найбільшу увагу заслуговує аеробний біотермічний процес, що відбувається внаслідок життєдіяльності сапрофітної аеробної мікрофлори, яка порушує органічні речовини осаду. Кінцевий ступінь стабілізації органічної речовини в обох процесах є однаковим, але під час аеробного розкладу органічного комплексу виділяється майже у 25 разів більше енергії, ніж при анаеробному процесі, що забезпечує швидке термічне знезараження осаду та його зневоднення до вологості 40 %. Аеробне компостування також мінімізує виникнення неприємних запахів.

Вирішальна роль кисню при біотермічній обробці осадів наочно ілюструється рівнянням аеробного і анаеробного процесів [33]:

аеробний процес:  $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6H_2O + 6CO_2 + 674$  ккал.;

анаеробний процес:  $C_6H_{12}O_6 = 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 27$  ккал..

Процес компостування охоплює комплексну деструкцію органічного матеріалу поєднану з продукцією гумінової кислоти для продукування стабілізованих кінцевих продуктів розпаду. Мікроорганізми, які беруть участь у цьому процесі належать до трьох категорій: бактерії, актиноміцети і гриби. Процес взаємодії між цими популяціями мікроорганізмів детально не вивчений. Проте бактеріальна активність пов'язана розкладом протеїнів, ліпідів і жирів у термофільних умовах так з більшою частиною тепла, що виділяється під час компостування. Гриби і актиноміцети також присутні на різних рівнях мезофільної і термофільної стадії компостування і відповідають за розклад комплексних органічних сполук і целюлози, що надходить з додатками і наповнювачем [3].

«Саморозігрівання» та знезараження осадів відбувається за рахунок неповного використання мікроорганізмами енергії, яку вони виділяють для своєї життєдіяльності, а внаслідок цього температура тоброблюваного матеріалу підвищується до 60-75 °С. Необхідною умовою для підтримання високої температури в системі компостування є те, що система повинна витратити менше тепла, ніж виробляти. Це можливо при відносно значній масі матеріалу, який компостується. В цьому випадку система буде діяти як само ізолююча [33].

Під час процесу компостування спостерігаються три окремі стадії активності пов'язані з температурою: мезофільна, термофільна і охолодження. На початку мезофільній стадії температура у компостному штабелі підвищується від температури атмосферного повітря до 40°C з посиленням активності грибів і кислотопродукуючих бактерій. Як

температура у компостувальній масі підвищиться до термофільного діапазону, 40-70°C, цих організмів замінять термофільні бактерії, актиноміцети і термофільні гриби. У термофільній стадії відбувається максимальний розклад і стабілізація органічного матеріалу. Стадія охолодження характеризується зменшення мікробної активності і заміною термофільних організмів на мезофільні. Під час періоду охолодження відбувається подальше випаровування води з компостованого матеріалу, стабілізація рН і завершення формування гумінової кислоти.

На розміри системи компостування впливають денне продукування мулу на каналізаційних очисних спорудах, його склад, попередня обробка, тип обладнання і реагенти, використані для його зневоднення. Загалом використання аеробного компостування дозволяє зменшити на 40% розміри споруд для переробки мулу [8].

Використовують три головних типи систем компостування: аеровані статичні штабелі, вали з механічним перемішуванням, внутрішньо-реакторні механічні системи. Найбільше розповсюдження отримали аеровані штабелі (рис. 3.1).

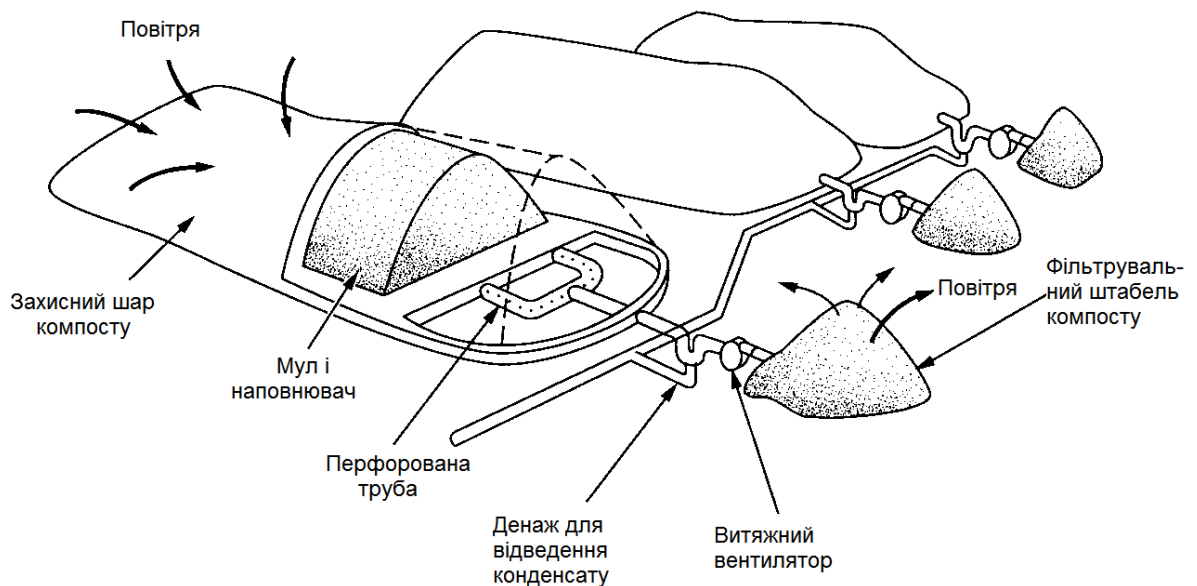


Рис. 3.1. Компостування в аерованих штабелях [8]

Компостування в штабелях відбувається з використанням природної або примусової аерації. Штабелі формуються на майданчиках з вологонепроникним покриттям. Цей процес проводиться з використанням засобів механізації (наприклад, козлового крана, бульдозера, навантажувача, екскаватора).

Більшість операцій компостування складається з таких кроків: 1) перемішування зневодненого мулу з додатками і наповнювачами; 2) аерування компостного штабеля подачею повітря, механічним перевертанням, або ж обома способами; 3) відновлення наповнювача (якщо це має сенс); 4) подальше зберігання і складування; 5) кінцеве використання.

Як додатки і наповнювач додають органічний матеріал для створення субстрату, зменшення об'ємної маси і збільшення повітряних пористот для кращої аерації. Додатки можуть використовуватися також для збільшення вмісту органіки у суміші. Додатками багаторазового використання можуть бути кора дерев, тріски тощо, тому що ці матеріали, які містять целюлозу та лігнін, розкладаються при біотермічній обробці порівняно повільно. Наповнювач – це органічний або неорганічний матеріал, який застосовують для надання структурної підтримки і для підвищення пористості для ефективної аерації. Дерев'яні стружки найбільш застосовуваний наповнювач, який можна відновлювати і знову використовувати [3]. Аерація вимагає не тільки подавання повітря, але й контроль температури і видалення надлишкової вологості.

Умовою якісного механічного розділення наповнювача багаторазового використання і компосту є обов'язкове підсушування одержаного продукту переробки осадів до вологості не менше 50 %. Підсушування готового компосту досягається, як правило, застосуванням механічної вентиляції компостної маси як в умовах штабельного компостування, так і при обробці осадів в біоферментаторах.

Як правило, при біотермічній обробці осадів стічних вод має місце циркуляційне компостування, при якому як добавка використовується

механічно видалений з компосту наповнюючий матеріал або готовий компост.

Процес компостування здійснюється таким чином: осад з мулових площадок змішується зі зрілим компостом у відношенні 1:0,5 і присадочним матеріалом (листя, тирса, солома) – 1:0,2 бульдозером і грейферним краном. Вологість суміші повинна бути в межах 55–65 %. При цьому слід мати на увазі, що при вологості < 40 % уповільнюється процес росту мікроорганізмів, а при > 65 % погіршується режим аерації.

Після перемішування здійснюється укладка суміші в штабелі вздовж аераційних каналів. Висота штабеля становить від одного до трьох при природній або до п'яти метрів – при примусовій аерації. Форма штабеля – трапецієвидна, завширшки по верху від 2,0 до 3,0 м, довжина обмежується необхідним об'ємом. При застосуванні аерованих штабелів передбачають укладання в основи штабелів перфорованих труб або аераційних каналів.

Витрата повітря приймається 10-25 м<sup>3</sup>/год на 1 т органічної речовини оброблюваного матеріалу. Повітря нагнітається повітродувкою або відсмоктується вертилятором. По контуру майданчики компостування розміщується лотки для збирання поверхневого стоку і води, яка виділяється в процесі компостування.

Технологічний режим передбачає покриття маси осадів, що компостуються, безпечним з санітарного погляду ізолюючим матеріалом, наприклад готовим компостом, шаром 0,2-0,3 м. Покриття виключає розмноження мух, гризунів і забезпечує тепло- та вологоізоляцію оброблюваної маси.

Компостування осадів з наповнювачами в штабелях відбувається за порівняно тривалий проміжок часу. В штабелях дуже складно створити і рівномірно підтримувати протягом усього циклу компостування оптимальні умови для перебігу біотермічного процесу. Через деякий час після формування маса штабеля значно ущільнюється і, як наслідок, погіршуються умови аерації. Цей недолік може бути ліквідований одночасним поєднанням

активної примусової аерації з активним перемішуванням суміші спеціальним обладнанням і машинами. Для рівномірного прогрівання, забезпечення аеробних мікроорганізмів киснем повітря та виведення кінцевих продуктів життєдіяльності мікробів, у процесі компостування оброблювану масу перемішують через 15-18 діб ( при досягненні температури  $> 55^{\circ}\text{C}$ ) від початку компостування. Температура компосту заміряється в 5-ти різних місцях штабеля. Після завершення процесу компостування (тобто через 30-35 діб) він перевантажується на дозрівання протягом 30 діб на окремий майданчик цієї установки.

Як було зазначено вище, для підвищення ефективності біотермічного компостування осадів стічних вод в компостну суміш необхідно вводити водопоглинаючі та вуглецевмісні компоненти-наповнювачі. Це дає змогу створити компостованій масі оптимальну вологість (40-60%) та забезпечити необхідне для життєдіяльності мікроорганізмів співвідношення основних елементів живлення (вуглецю і азоту).

Вказані особливості задовільняються використанням в якості наповнювача технічного лігніну, який щорічно і у великих кількостях утворюється на підприємствах паперової гідролізої та гідролізо-дріжджової промисловості. Можливе також самостійне використання такого лігніну в якості добрива і структурного чинника на різних ґрунтах, особливо, збіднених на гумус. Індивідуальні споживачі якості даної речовини зумовлені її природним походженням. Різні лігніни є природними рослинними полімерами і щорічно продукуються різноманітними рослинами в планетарному масштабі. Для сільського господарства або отримання тих чи інших удобрювальних композицій найбільше значення має нерозчинний гідролізої лігнін. Будучи ефективним сорбентом (внутрішня поверхня 1 г лігніну у набряклому стані досягає  $760-790\text{ м}^2$ ), цей препарат забезпечує зв'язування надлишкової кількості рухливих форм практично всіх важких металів, радіонуклідів, сульфатів, хлоридів, тощо в осадах стічних вод, ґрунтах, інших природних і техногенних субстратах [1,2].

Гідролізний лігнін приймає активну участь в утворенні гумусу у ґрунті, поліпшує його структуру, сприяє збереженню капілярної вологи в орному шарі, поліпшує фільтраційні властивості ґрунту, попереджає розвиток ерозійних явищ. При спільному компостуванні осадів стічних вод з лігніном у компостах зменшується вміст важких металів та інших шкідливих домішок, оскільки в лігніні їх концентрації в десятки і сотні разів нижчі.

Елементарний хімічний склад чистого препарату лігніну є таким: С – 64,9 %, Н – 6,2 %, О – 28,9 %. Такий лігнін містить функціональні групи: ОН – 7,8 %, ОСН<sub>3</sub> – 14,8 %, СО – 3,9 %, СООН – 2,0 %. Елементарний склад технічного гідролізного лігніну дещо інший, бо у ньому присутні залишкові полісахариди (до 30 %). У цьому лігніні міститься 54-58 % вуглецю, 6,0-6,2 % водню і 35,8-40,0 % кисню. Вміст типових функціональних груп складає: ОСН<sub>3</sub> – 11,7 %, СО – 3,2 %, ОН – 6,8 %, СООН від 1,1 до 1,5 %.

Кислий гідролізний лігнін легко взаємодіє з аміаком і утворює продукт, який містить 1,5-2,0 % хімічно зв'язаного азоту (в розрахунку на суху речовину). Цей процес має певний інтерес з точки зору спільного компостування недостатньо нейтралізованого лігніну та осадів стічних вод, оскільки при цьому відбувається зв'язування аміаку з осаду, нейтралізуються залишки кислоти у лігніні і досягається додатковий ефект до знезараження осадів.

Треба зазначити, що пряме чи опосередковане сільськогосподарське використання гідролізного лігніну є виправданим з екологічної точки зору. Відомо, що одна із основних екологічних вимог полягає в збереженні природних циклів обміну речовин. В природних умовах лігнін рослинної тканини після відмирання рослинного організму автоматично включається в процес утворення органічної складової ґрунту, тому внесення у його товщу технічних лігнінів, оброблених відповідними хімічними реагентами, спричиняє мінімальний негативний вплив на ґрунтові мікробіоценози.

Використання нейтралізованого гідролізного лігніну в якості компонента для приготування компостів є доцільним і тому, що гуміфікація

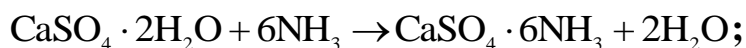
даної речовини у ґрунті відбувається значно повільніше в порівнянні з іншими органічними субстратами. Це забезпечує пролонговану віддачу у ґрунтові розчини імобілізованих лігніном рухливих форм важких металів і суттєво зменшує інтенсивність їх накопичення у рослинній продукції та удобрених землях. Крім того, свіжоутворені лігніни внаслідок певної специфіки своїх хімічних властивостей є практично незабрудненими у санітарно-бактеріологічному відношенні.

Лігніни різних гідролізних заводів досить різко відрізняються по вмісту редуруючих речовин, полісахаридів, кислотності, зольності, тощо.

Внесення в компостну суміш фосфогіпсу, який є побічним продуктом виробництва фосфорної кислоти із апатитового концентрату і більше ніж на 95 % складається із  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , покращує сипкість компосту, практично повністю усуває неприємний запах, поліпшує умови роботи персоналу при приготуванні і використанні кінцевого продукту (органомінерального добрива), попереджає втрату найважливіших поживних (азотовмісних) компонентів, зв'язуючи аміак, що утворюється при біохімічній деструкції органічних сполук, до складу яких входить азот. Крім цього, фосфогіпс надає отримуваному добриву цінні додаткові меліоративні якості.

Втрати аміачного (амонійного) азоту зменшуються за рахунок хімічної взаємодії  $\text{NH}_3$  та  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , в результаті якої утворюються тверді нелеткі, однак, добре розчинні у воді і легкодоступні для рослин аміак ати або подвійна сіль  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ .

Вказані процеси при отриманні компосту і його зберіганні протікають одночасно і можуть бути описані такими рівняннями реакцій:



При цьому, підвищується також значення рН компостованої маси і досягається додатковий знезаражуючий ефект (за рахунок утворення  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

Підвищення меліоративного потенціалу отриманих таким чином добрив забезпечується тим, що при нормі їх внесення 40 т/га (оптимальна разова доза) і більше в ґрунт удобрюваних угідь надходить не менше 4 т/га власне гіпсу ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), який відноситься до найбільш ефективних меліоруючих агентів. В результаті цього в удобрюваних ґрунтах попереджується накопичення вкрай шкідливої для рослин соди ( $\text{NaHCO}_3$ ).

### 3.4. Розрахунок системи аерованих штабелів

З мулових майданчиків зневоднений мул з вологістю 75 % надходить на утилізацію компостуванням з масовою витратою 4,2 т за добу, об'ємною витратою 20,75 м<sup>3</sup>/добу. Розрахуємо систему компостування.

Для розрахунку співвідношення мул:наповнювач виходимо з оптимального співвідношення в органічному добриві карбон/нітроген (20-30:1). В осаді вміст карбону 33 %, вміст карбону в лігніні 65 %.

Співвідношення карбон/вуглець у мулі 11:1 для оптимального співвідношення нам необхідно підняти вміст карбону у мулі до 80 %. Знайдемо необхідну кількість наповнювача-лігніну для приготування компостної суміші склавши рівняння матеріального балансу:

$$33V_1 + 65V_2 = 80V_3, \quad (4.1)$$

де

$V_1$  – об'єм мулу,

$V_2$  - об'єм наповнювача.

З рівняння (5.1) визначимо об'єм наповнювача:

$$V_2 = 0,72V_1 \quad (4.2)$$

$$V_2 = 0,72 \times 20,75 = 14,94 (\text{м}^3).$$

Тоді знаходимо об'єм суміші:

$$V_3 = 20,75 + 14,94 = 35,69 \approx 36 (\text{м}^3).$$

Якщо  $V_1=20,75 \approx 21 \text{ м}^3$ , а відповідно  $V_2=14,94 \approx 15 \text{ м}^3$ , то компостну суміш змішуємо у співвідношенні мул:наповнювач 21:15 (7:5).

Отже, витрата суміші  $Q_3$  на ділянці компостування  $Q_3 = 36 \text{ м}^3/\text{добу}$ .  
Період компостування  $t=30$  днів. Розраховуємо об'єм штабелів:

$$V_4 = 36 \cdot 30 = 1080 (\text{м}^3).$$

Приймаємо 2 штабелі по  $540 \text{ м}^3$ . Орієнтовні розміри одного штабеля висота×ширина ×довжина:  $3 \text{ м} \times 4 \text{ м} \times 50 \text{ м}$ . Довжину штабеля вибирали відповідно до довжини мулової карти.

Розраховуємо ділянку для складування наповнювача. Денна витрата  $Q=14,94 \text{ м}^3/\text{добу}$ . Запас на період 30 днів:

$$V=14,94 \cdot 30=448,2 (\text{м}^3).$$

Приймаємо 2 штабелі довжиною по 50 м (об'ємом  $224,1 \text{ м}^3$ ). Орієнтовні розміри одного штабеля:  $1,5 \text{ м} \times 3 \text{ м} \times 50 \text{ м}$ .

Розраховуємо ділянку для складування мулу. Витрата мулу  $20,75 \text{ м}^3/\text{добу}$ , запас на період 30 днів. Знаходимо об'єм:

$$V = 20,75 \cdot 30 = 622,5 (\text{м}^3)$$

Приймаємо 2 штабелі довжиною по 50 м (об'ємом 311,25 м<sup>3</sup>) .  
Орієнтовні розміри одного штабеля: 2,5 м × 2,5 м × 50 м.

Отже, лінія компостування місячного надходження мулу має поміститися в одну мулову карту 50 м × 20 м (рис. 5.2).

**Ділянка дозрівання мулу.** Ділянка під склад готового компосту вологість 40 %, витрата 36 м<sup>3</sup>/добу. Час складування 3,5 місяців. Необхідний об'єм дорівнює:

$$V = 36 \cdot 3,5 \cdot 30 = 3780 \text{ (м}^3\text{)}$$

Розміри ділянки під склад компосту приймаємо з врахуванням площі мулової карти: 50 м × 20 м, тоді висота складування  $h=3,78 \approx 4$  м (рис. 5.2). Як бачимо, усе компостувальне господарство поміщається лише на двох картах мулових майданчиків.

### 3.5. Організація роботи лінії компостування мулу

Як зазначено вище, мулові майданчики КОС складаються з 36 карт. 22 карти неробочі, завантажені мулом, їхня дренажна система не працює і потребує ремонту. Загальний обсяг мулу, що на них зберігається дорівнює 25815 т, що становить  $25815/22 = 1173$  т мулу на 1-й карті.

У робочому стані знаходиться  $36 - 22 = 14$  карт. Розрахунками, викладеними у попередньому розділі, показано, що для переробки річного надходження мулу достатньо 7-ми карт. Отже,  $14 - 7 = 7$  робочих мулових карт є вільними, їх можна використати для розміщення компостувального господарства.

Для подальших розрахунків доцільно перейти до значень обсягів в одиницях маси з метою оцінки матеріального балансу переробки мулу на майданчиках.

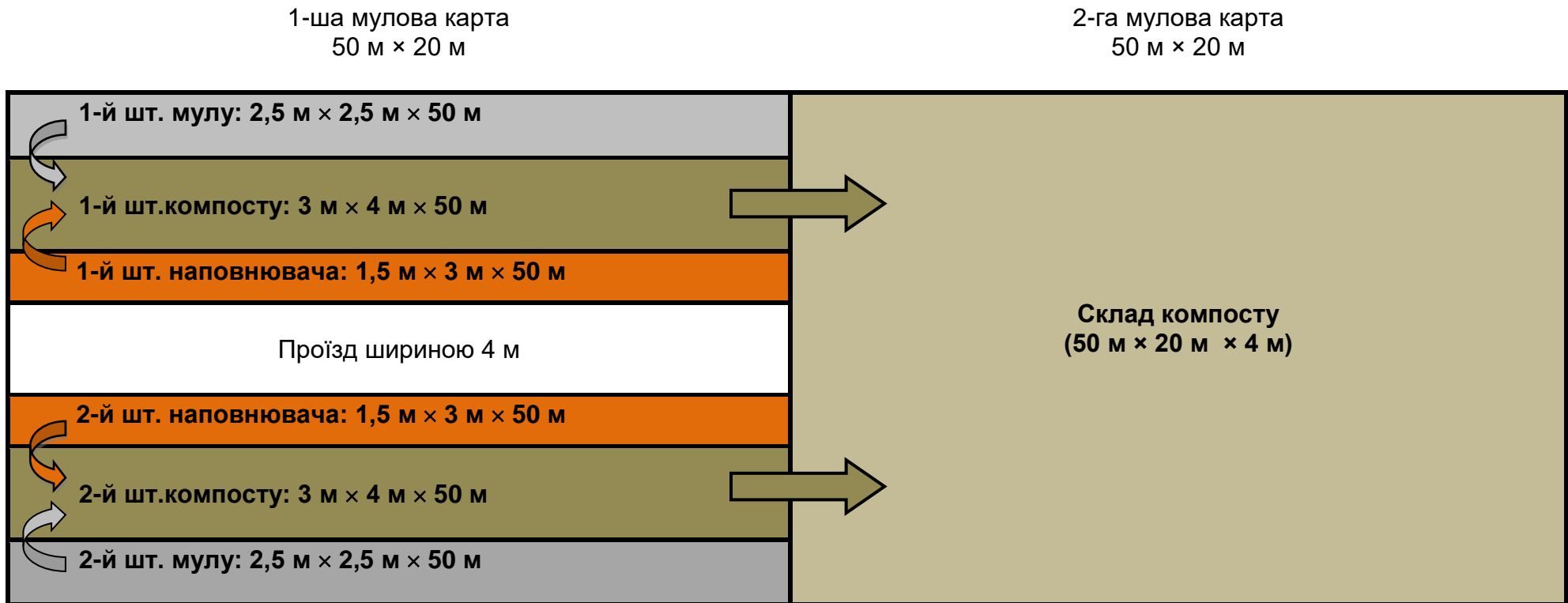


Рис. 3.2. Схема компостувальної лінії

Як зазначено вище, добове надходження мулу з КОС на компостування – 20,75 м<sup>3</sup>/добу, що відповідно дорівнює 4,2 т/добу; необхідний обсяг наповнювача (листя) – 14,94 м<sup>3</sup>/добу або 3 т/добу.

Отже, сумарне надходження матеріалів на компостування дорівнює: 4,2 + 3 = 7,2 т/добу, що становить: 7,2 × 30 = 216 т/місяць = 2 штабелі × 108 т.

Одна лінія компостування перероблятиме 4,2 т/добу, 4,2 × 30 = 126 т/місяць, 126 × 12 = 1512 т/рік мулу. Останнє значення співмірне з обсягом зберігання мулу на 1-й неробочій карті (1173 т).

З огляду на це, після запуску першої доцільно запускати й другу лінію компостування, що дасть змогу переробляти 3024 т/мулу за рік, або обсяг з 3024/1173 ≈ 2,5 мулових карт. Враховуючи, що річний обсяг мулу з КОС зневоднюється протягом року на 7-картах, а потім його можна переробляти на 1-й компостувальній лінії або зберігати на 1-й вільній карті, то на 2-й компостувальній лінії можна переробляти обсягу мулу з 1,5 завантаженої карти. Це дасть змогу звільнити 1,5 карти в рік, на звільнених картах проводити ремонтні роботи (рис. 3.3).

завантажена	завантажена	завантажена	завантажена	1 лінія компостування	1 склад компосту
завантажена	завантажена	завантажена	завантажена	2 лінія компостування	2 склад компосту
завантажена	завантажена	завантажена	завантажена	вільна	вільна
завантажена	завантажена	завантажена	завантажена	робоча	вільна
завантажена	завантажена	завантажена	робоча	робоча	робоча
завантажена	завантажена	завантажена	робоча	робоча	робоча

Рис. 3.3. Схема роботи карт мулових майданчиків з лінією компостування

З огляду на кількість завантажених мулових карт – 22 шт., тривалість проекту при повному завантаженні обох ліній компостування 22/1,5 ≈ 15-20

років. На перспективу, після закінчення цього періоду, вивільнену лінію можна використовувати для компостування органічної фракції твердих побутових відходів.

## РОЗДІЛ 4

### ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ДІЛЬНИЦІ КОМПОСТУВАННЯ МУЛУ НА КОС М. ШЕПТИЦЬКИЙ

Для оцінки впливу лінії компостування на компоненти довкілля, а саме для визначення обсягів утворення продуктів переробки мулу: твердих, рідких та газоподібних скористаємося масово-балансовим методом. Враховуючи, що працюватимуть дві ідентичні лінії компостування, розрахунки робимо для однієї.

#### 4.1. Трансформація органічної речовини при аеробному компостуванні

**Маса матеріалів у сухому стані.** Як зазначалось вище для перебігу аеробних біохімічних реакції деструкції органічної речовини потрібна вода (вологість). Оптимальне її значення для процесу компостування – 60 %. Для розрахунку продуктів реакції потрібно знати масу органічної речовини у сухому стані.

Для розрахунку маси компонентів компосту в сухому стані можна скористатися такою формулою [37]:

$$m_{\text{сух.}} = m_i - \frac{m_i \cdot W_i}{100}. \quad (4.1)$$

На компостування надходить 126 т/місяць мулу вологістю 75% та 90 т/місяць листя (наповнювача) вологістю 60 %. Тоді маса мулу у сухому стані дорівнює:

$$m_{\text{мул.сух.}} = 126 - \frac{126 \times 75}{100} = 31,5 \text{ (т)} = 31500 \text{ (кг)};$$

відповідна маса наповнювача

$$m_{\text{л.сух.}} = 90 - \frac{90 \times 60}{100} = 36 \text{ (т)} = 36000 \text{ (кг)}.$$

**Хімічний склад матеріалів.** Характеристика матеріалів за хімічним складом дозволяє визначити відсотковий вміст Карбону, Гідрогену, Оксигену, Нітрогену, Сульфуру та ін.

Середній хімічний склад кожного компонента для приготування компосту, що піддаються біодеструкції, поданий у таблиці 4.1 [37].

Таблиця 4.1

Середній хімічний склад компонентів побутових відходів

Компонент	Склад, %					
	С	Н	О	N	S	Зола
Мул	48,0	6,3	37,7	2,5	0,3	5,2
Садово-паркові відходи (листя)	47,7	6,0	38,0	3,5	0,3	4,5

Використовуючи ці дані можна знайти вміст основних хімічних елементів у кожному з компонентів компостування:

$$m_{ix} = m_{\text{ісух.}} \cdot \frac{m_{ix\%}}{100}, \quad (4.2)$$

де

$x = \text{C, H, O, N, S, зола}$ ;

$m_{ix\%}$  - відсотковий вміст хімічного елементу в компоненті.

Результати розрахунків занесені у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2

Хімічний склад компонентів компостування

Компонент	Маса, кг	Маса у сухому стані, кг	Склад, кг					
			С	Н	О	N	S	Зола
Мул	126000	31500	15120	1980	11880	790	90	1600
Садово-паркові відходи (листя)	90000	36000	17172	2160	13680	1260	108	1620
Загалом	216000	67500	32292	4140	25560	2050	198	3220

**Хімічна формула суміші для компостування.** Розрахуємо молярну масу хімічних елементів суміші компостування, нехтуючи золою:

$$M_x = \frac{m_x}{m_{ax}}, \quad (4.3)$$

де

$m_x$  – маса хімічного елементу, кг;

$m_{ax}$  – атомна маса хімічного елемента.

Результати розрахунків занесені у таблицю 5.3.

Таблиця 4.3

Хімічний склад суміші

	C	H	O	N	S
Атомна маса	12	1	16	14	32
M, кг/моль	2691	4140	1597	146	6

Визначимо приблизну хімічну формулу органічних матеріалів у вигляді  $C_aH_bO_cN_d$  без Сульфуру. Для цього знайдіть коефіцієнти  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ . Так як, маса Нітрогену у відходах, то у молярному співвідношенні його вміст приймаємо  $d = 1$ . Тоді кількість решти елементів розраховуємо так:

$$a = \frac{M_c}{M_N}; \quad b = \frac{M_H}{M_N}; \quad c = \frac{M_O}{M_N}. \quad (4.4)$$

$$a = \frac{2692}{146} = 18;$$

$$b = \frac{4140}{146} = 28;$$

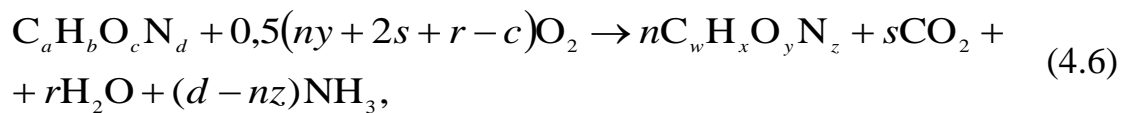
$$c = \frac{1597}{146} = 11.$$

Отже, хімічна формула суміші органічних матеріалів для компостування матиме вигляд:  $C_{18}H_{28}O_{11}N$ .

**Схема біохімічного трансформації органіки при аеробному компостуванні.** Узагальнене рівняння аеробної біохімічної трансформації органічної речовини можна записати у вигляді [37, 39]:



Якщо органічну речовину для компостування у молярному співвідношенні представити як  $C_aH_bO_cN_d$ , не брати до уваги синтез нового клітинного матеріалу та сульфати, а нерозкладну органіку записати у вигляді  $C_wH_xO_yN_z$ , то кількість продуктів біохімічної трансформації можна визначити за рівнянням відповідно до роботи [39]:



де

$$r = 0,5(b - nz - 3(d - nz));$$

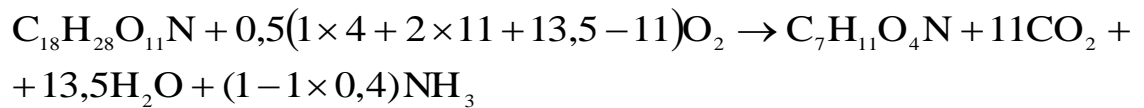
$$s = a - nw.$$

Згідно з результатами досліджень [39] після аеробного окиснення органічної речовини залишається приблизно 40% нерозкладної органіки. З огляду на це, у молярному співвідношенні: з 1 моля  $C_{18}H_{28}O_{11}N$  утвориться 1 моль нерозкладної органіки, яка матиме таку приблизну хімічну формулу:  $C_{7,2}H_{11,2}O_{4,4}N_{0,4} \rightarrow (C_7H_{11}O_4N)$ . Отже, у рівнянні (5.6) коефіцієнт  $n=1$ . Знайдемо інші коефіцієнти:

$$r = 0,5 (28 - 1 \times 1 - 3(1 - 1 \times 1)) = 13,5;$$

$$s = 18 - 1 \times 7 = 11.$$

Отримані значення коефіцієнтів підставляємо у рівняння (5.6):



Результуюче рівняння матиме вигляд:



Знайдемо молярні маси сполук за цим рівнянням:



Обчислимо кількість продуктів реакції аеробної трансформації органіки за формулою [37]:

$$m_{\text{продукту}} = \frac{M_{\text{продукту}} \cdot m_{\text{сух}}}{M_{\text{органіки}}}. \quad (5.7)$$

$$m(C_7H_{11}O_4N) = \frac{173 \times 67500}{434} = 29907 \text{ (кг)}; \quad (5.8)$$

$$m(CO_2) = \frac{484 \times 67500}{434} = 75276 \text{ (кг)}; \quad (5.9)$$

$$m(H_2O) = \frac{243 \times 67500}{434} = 37794 \text{ (кг)}; \quad (5.10)$$

$$m(NH_3) = \frac{10,2 \times 67500}{434} = 1586 \text{ (кг)}, \quad (5.11)$$

та потребу у кисні:

$$m(\text{O}_2) = \frac{456 \times 67500}{434} = 70922 \text{ (кг)}. \quad (4.12)$$

#### 4.2. Вплив лінії компостування на компоненти довкілля

**Вплив на ґрунти.** Як показали результати розрахунків (див. р-ня (5.8)) у процесі компостування на одній лінії утворюватиметься 29907 кг компосту, відповідно на обох лініях:  $29907 \times 2 = 59814 \text{ (кг)} \approx 59,8 \text{ (т)}$ . Як зазначено вище, весь цей обсяг зберігатиметься на складі компосту, на площах 2-х мулових карт, до реалізації. Залучення додаткових земельних площ непотрібне. Мулові карти складів обладнані водонепроникним покриттям з вертикальним плануванням та дренажною системою, тому інфільтрація мулових вод у ґрунт відсутня.

**Вплив на гідросферу.** Як показали результати розрахунків (див. р-ня (5.10)) у процесі компостування на одній лінії утворюватиметься 37794 кг води, відповідно з 2-х ліній:  $37794 \times 2 = 75588 \text{ (кг)}$ .

Розрахуємо водний баланс у системі компостування:

- 1) маса вхідної води з вологістю мулу і наповнювача (див. таблицю 5.2):  $m = 216000 - 67500 = 148500 \text{ (кг)}$ ;
- 2) маса води від розкладу органіки:  $m = 37794 \text{ кг}$ ;
- 3) загальна маса води в системі  $m_{\text{сум}} = 148500 + 37794 = 186294 \text{ (кг)}$ ;
- 4) за 40% вологості компосту маса води у компості:  
 $m_{\text{комп}} = 186294 \times 40/100 = 74518 \text{ (кг)}$ ;
- 5) маса дренажної води:  $m_{\text{дрен}} = 186294 - 74518 = 111776 \text{ (кг)}$ ;
- б) витрата дренажних вод зі всієї системи компостування (2-х ліній):

$$Q_{\text{дрен}} = \frac{m}{\rho} = \frac{111776}{1000} \times 2 \approx 223,5 \text{ (м}^3\text{/рік)}.$$

Отже, на очищення додатково надходитиме 223,5 м<sup>3</sup>/рік дренажних вод, що з врахуванням фактичного надходження стічних вод на КОС 8409,6 тис.м<sup>3</sup>/рік створюватиме мізерне додаткове навантаження на технологічну схему очищення на 0,003%.

Прямий вплив на поверхневі та підземні води відсутній, оскільки, як зазначено вище, мулові карти обладнані водонепроникним покриттям і дренажною системою.

**Вплив на атмосферу.** У процесі компостування виділятимуться такі гази: аміак та вуглекислий газ.

Викиди *аміаку* з обох ліній дорівнюють:  $1586 \times 2 = 3172$  (кг/рік)  $\approx$  3,2 (т/рік), що може створювати проблеми з неприємним запахом у робочій зоні ділянки компостування.

Викиди *діоксиду вуглецю* з обох ліній дорівнюють:  $75276 \times 2 = 150552$  (кг/рік)  $\approx$  150,6 (т/рік). Враховуючи потенціал глобального потепління  $\text{ПП}_{\text{CO}_2}=1$  [38], то внесок ділянки компостування на КОС м.Шептицький у глобальні зміни клімату становить 150,6 тCO<sub>2</sub>екв/рік (що співмірне з внеском невеликого молокопереробного заводу).

Крім того, технологічний процес компостування споживатиме  $70022 \times 2 = 141844$  (кг)  $\approx$  141,8 (т/рік) атмосферного кисню.

**Викиди від пересувних джерел.** Для обертання компостованої суміші та вивантаження готового компосту на склад, завантаження автомобілів буде задіяна спецтехніка, а саме, екскаватор-навантажувач на базі трактора БМ-2014БЦ вітчизняного виробництва від ТОВ «Машинобудівна компанія «Будагромаш»» [40].

Джерелом потенційного впливу на атмосферу є двигун внутрішнього згорання трактора, під час роботи якого, виділятимуться продукти згорання дизельного палива (діоксид вуглецю, оксид вуглецю, оксиди сірки, азоту, сажа, вуглеводні, у тому числі бензопірен).

Викиди забруднюючих речовин від роботи спецтехніки виконуємо за формулою:

$$B_{ij} = M_i \times A_{ji}, \quad (5.13)$$

де

$B_{ij}$  – обсяги викидів забруднюючої речовини, кг;

$M_i$  – обсяги спожитого палива, т;

$A_{ji}$  – усереднені питомі викиди забруднюючої речовини, кг/т.

Середнє споживання дизельного палива двигуном навантажувача становить:  $M = 11,7$  кг/год;  $11,7 \times 8 = 93,6$  кг/роб.день;  $93,6 \times 264 = 24,71$  т/рік. Результати розрахунків занесені у таблицю 4.4.

Таблиця 4.4

Викиди забруднюючих речовин від спецтехніки

Речовина	Питомі викиди ЗР для дизельного палива, кг/т	Обсяги спожитого палива, т/рік	Викиди, т/рік
Оксид вуглецю	36,2	24,71	0,895
Діоксид азоту	31,4		0,776
Діоксид сірки	4,3		0,106
Неметанові леткі органічні сполуки	8,16		0,202
Метан	0,25		0,006
Оксид азоту	0,12		0,003
Сажа	3,85		0,095
Вуглекислий газ	3138		77,54
Бензопірен	0,03		0,0007

Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від спецтехніки не є значними. Внесок роботи навантажувача в глобальні зміни клімату відповідає внеску 1-ї лінії компостування.

**Шумове навантаження.** На ділянці компостування постійно працюватиме один трактор-навантажувач. За інформацією від виробника [40] максимальне шумове навантаження від роботи спецавтотранспорту дорівнюватиме:  $L = 80,5$  дБА.

Рівень звуку біля найближчої житлової забудови (592 м) розраховували за методикою [36]:

$$L_A = L_{PA} - 10 \times \lg \Omega - 20 \lg r - \Delta Ar + \Delta L_{отр} - \Delta L_{CA}, \quad (5.14)$$

де

$L_{PA}$  – рівень звуку від джерела шуму;

$\Omega$  – просторовий кут випромінювання звуку ( $2\pi$ );

$r$  – відстань від джерела шуму до точки розрахунку – 592 м;

$\Delta Ar$  – поправка на поглинання (5 дБА);

$\Delta L_{отр}$  – підвищення рівня звуку через відбивання від поверхонь (10 дБА);

$\Delta L_{CA}$  - зниження рівня звуку:

$$\Delta L_{CA} = \Delta L_{Аекр} + \beta_{зел}, \quad (5.15)$$

де

$\Delta L_{Аекр}$  – екранування звуку будівлями, стінами і т.п. (3 дБА);

$\beta_{зел}$  – коефіцієнт екранування шуму зеленими насадженнями (0 дБА).

Розрахований рівень звуку на межі житлової забудови (592 м) дорівнює  $L_A = 10,07$  дБА, що не перевищує допустимі ( $L_{A.екв.}$  день/ніч = 55/45 дБА) [18].

**Соціальне середовище.** Запуск лінії компостування окрім вирішення екологічних проблем з мулом (органічною фракцією ТПВ), проблем із забрудненням джерел водопостачання всього району створює додаткові робочі місця для жителів міста, що актуально на фоні закриття вуглевидобувних шахт.

## ВИСНОВКИ

У дипломній роботі проаналізовано процес очищення комунально-побутових стічних вод та переробки їхніх осадів на каналізаційних очисних спорудах м. Шептицький. На основі виконаних аналітичних досліджень екологічних показників мулу та технічних розрахунків запропоновано та обґрунтовано систему аерованих штабелів для переробки мулу. Виконано екологічну оцінку системи компостування осадів. Головні рекомендації та висновки полягають у тому що:

- завантажені непрацюючі мулові майданчики КОС КП «Червоноградводоканал» через неналежне стратегічне планування є небезпечною екологічною загрозою громаді Шептицького району;
- існуючих потужностей цеху переробки мулу є достатньо для оброблення проектних та фактичних обсягів осадів стічних вод;
- аеробне компостування мулу у суміші з органічним наповнювачем з утилізацією компосту як органо-мінерального добрива є оптимальним екологічним методом переробки осадів;
- запуск двох ліній компостування є оптимальним способом налагодження роботи цеху переробки мулу і в майбутньому покращення системи переробки органічної фракції твердих побутових відходів у місті;
- ділянка компостування мулу у загальному комплексі КОС матиме незначний вплив на довкілля, що з надлишком компенсується ліквідацією загрози забруднення джерел водопостачання та позитивним соціальним ефектом.

## Список використаних джерел

1. Eikmann T., Kloke A. Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad) Stoffe in Böden. In: Rosenkranz D, Bachmann G, Einsele G, Harreß M (eds) Handbuch Bodenschutz 3590 14. Lfg. E. Schmidt Verlag, Berlin, 1993.
2. Goldstein N. Steady Growth for Sludge Composting / Biocycle. – Vol. 29, N 10. – 1988. – P.34-39.
3. Haug R.T. Compost Engineering, Principles and Practices . – Ann Arbor Science Publication, Ann Arbor, MI, 1980. – 230 p.
4. Karl Imhoff's Handbook of Urban Drainage and Wastewater Disposal / Ed. By V. Novotny, K.R. Imhoff, M. Olthof, P.A. Krenkel. – A Wiley-Interscience Publication, 1989. – 390 p.
5. Kelepertsis A., Alexakis D., I. Kita Environmental geochemistry of soils and waters of Susaki area, Korinthos, Greece // Environmental Geochemistry and Health - 2001. – V. 23. – P. 117–135.
6. Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. // Bull. Geol. Soc. of Amer. - 1961. - V. 72. - № 2. - P. 175-190.
7. Wang L.K., Pereira N.C. Handbook of Environmental Engineering // Biological Treatment Process, Vol. 3. - The Humana press, 1986. - 498 p.
8. Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse, Metcalf&Eddy Inc. / Rev. by G. Tchobanoglous, F.L. Burton. - Irwin/McGraw-Hill, 1991. -1334 p.
9. Water and Wastewater Analysis / Laboratory Manual. – Lenox Institute of Water Technology, Inc. – 1998. -345 p.
10. Water Pollution Control Federation: Wastewater Treatment Plant Design/ Draft Manual of Practice. – N 8. – 1988. – 268 p.
11. Yuriy I. Pankivskyi, Lawrence K. Wang Innovative Wastewater Treatment Using Activated Sludge and Flotation Clarifications Under

- Cold Weather Conditions. Handbook of Environmental Engineering, Volume 21: Environmental Flotation Engineering. - Springer Nature Switzerland AG, 2021. – P.229-300. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54642-7>
12. Бок Р. Методи розкладу в аналітичній хімії. – М.:Хімія, 1984. – 207 с.
  13. Глазовська М.А. Методологічні основи оцінки еколого-геохімімічеської стійкості ґрунтів до техногенних впливів. – Ви-во МГУ, 1997. – 102 с.
  14. ДБН В.2.5-64:2013. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I: Проектування, Частина II: Будівництво. / Київ: Мінрегіон України, 2013. – 223 с.
  15. ДБН В.2.5-74: 2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. / Київ: Мінрегіон України, 2013. – 180 с.
  16. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. / Київ: Мінрегіон України, 2013. – 223 с.
  17. Державний облік водокористування. Звітність. Звіт про використання води за 2021 рік КП «Червоноградводоканал» / Державний облік водокористування. Звітність. Форма 2ТП-водгосп. – 4 с.
  18. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Затверджено наказом МОЗУ від 19.06.96 № 173. – К.: Світ, 1996. - 25 с.
  19. Дозвіл на спеціальне водокористування КП «Червоноградводоканал». – Львів: Департамент екології та природних ресурсів ЛОДА, 2016.- 94 с.
  20. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання

людиною" / Київ: Міністерство охорони здоров'я України, 2013. – 41с.

21. Екологічний паспорт Львівської області 2019 [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/1XFjbIdlsBrsB8kDuWo2n9nWEiGT8jX6K/view>.
22. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води. – К.: Вища школа, 2005. – 671 с.
23. Каналізація / С.В. Яковлев, Я.А. Карелін, А.І. Жуков, С.К. Колобанов. – М.: Стройіздат, 1975. – 632 с.
24. Колобанов С.К. Водопостачання і каналізація. – К.: Держтехвидав УРСР, 1954. – 426 с.
25. Кульський Л.А., Строкач П.П. Технологія очистки природних вод. – К.: Вища школа, 1986. – 352 с.
26. Львівська обласна державна адміністрація [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://old.loda.gov.ua/news?id=42634>
27. Методичні рекомендації для проведення польових і лабораторних досліджень ґрунтів і рослин при контролі забруднення навколишнього середовища важкими металами. – М: Гідрометеоіздат, 1981. – 195 с.
28. Панас Р.Н. Агроекологічні основи рекультивації земель. – Львів: Вид-во ЛДУ, 1989. – 160 с.
29. Суспільні новини. Екологія [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://suspilne.media/79924-u-cervonogradi-zaversuut-rekonstrukciu-ocisnih-sporud-voda-z-akih-vpadae-u-zahidnij-bug/>
30. Технологічний регламент роботи каналізаційних очисних споруд КП «Червоноградводоканал». – Червоноград, 1995. -148 с.
31. Хархаліс Б. І. Системи водокористування : Навчальний посібник / Б. І. Хархаліс, Ю. І. Панківський. – Львів. : РВВ НЛТУ України, 2007. – 171 с.

- 32.Червоноградська міська громада [Електронний ресурс]: Режим доступу:  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0\\_%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0\\_%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B4%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B4%D0%B0)
- 33.Шевчук В. Я. Біотехнологія одержання органомінеральних добрив із вторинної сировини./ В.Я. Швчук, К.О.Чеботько, В.М. Разгуляев. – Київ, 2001. – 234 с.
- 34.Закон України. Про оцінку впливу на довкілля / Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 29, ст.315. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>
- 35.Закон України. Про управління відходами / Відомості Верховної Ради (ВВР), 2023, № 17, ст.75. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20?find=1&text>
- 36.ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму. – Київ: Мінрегіон України, 2014. - 85 с.
- 37.Панківський Ю.І. Управління та поведження з відходами: Методичні вказівки до виконання практичних робіт / Ю.І. Панківський, О.Є. Ошуркевич-Панківська. – Львів: НЛТУ України, 2019 р. – 42 с.
- 38.Рекомендації щодо включення кліматичних питань до документів державного планування. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів. Офіційний портал. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/news/34766.html>
- 39.Georg Tchobanoglous, Hilary Theisen, Samuel Vigil Integrated Solid Waste Management. – Irwin/McGraw-Hill Inc., 1993. – 978 p.
- 40.ТОВ «Машинобудівна компанія «Будагромаш»». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/news/34766.html><https://budagromash.com.ua/>

## ДОДАТКИ

## ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ МІСТА ШЕПТИЦЬКИЙ

**Водопостачання.** Водопостачання Червоноградського гірничо-промислового району здійснюється з 5-ти водозаборів: Бендюзького, Правдинського, Межирічанського, Борятинського, Соснівського; з 42 артезіанських свердловин підземними водами сенонського горизонту [19].

*Борятинський водозабір* розташований на відстані 1,5 км у північно-західному напрямку від міста Червонограда в балці Савчинській. Водозабір введений в експлуатацію в 1963 році. Затверджені запаси підземних вод 9,7 тис.м<sup>3</sup>/добу. До складу водозабору входить 7 артсвердловин, станція 2-го підйому, хлораторна, 2 резервуари ємкістю 500 м<sup>3</sup> кожний, водонапірний бак 60 м<sup>3</sup>. Загальний об'єм резервуарів 1060 м<sup>3</sup> [19].

*Бендюзький (Червоноградський) водозабір* розташований за 3 км на Південний Схід від м.Червонограда на правобережжі Західного Бугу в районі с. Бендюга. Введений в експлуатацію з 1962 р. ( окремі свердловини з 1957 р.). Затверджені запаси у кількості 12,0 тис. м<sup>3</sup>/добу. До складу водозабору входить 11 свердловин, станція 2-го підйому, хлораторна, 4 резервуари ємкістю по 1000 м<sup>3</sup> кожний. [19]

*Правдинський водоабір* розташований на відстані 18 км на Північний Захід від м.Червонограда в балці Савчинській. Введений в експлуатацію: 1-га черга у 1971р., 2-га черга у 1977 р. Затверджені запаси у кількості 30,2 тис.м<sup>3</sup>/добу. До складу водозабору входить 14 артсвердловин, станція 2-го підйому, хлораторна, 4 резервуари: 2 по 1500 м<sup>3</sup>, 2 по 2000 м<sup>3</sup>.

*Межирічанський водозабір:* розташований у міжріччі річок Західний Буг (лівобережжя), Солокія (правобережжя) і Рата, за південною околицею м.Червонограда. Введений в експлуатацію з затвердженими запасами вод у кількості 15 тис.м<sup>3</sup>/добу. Водозабір складається з 4 артсвердловини, станцій 2-го підйому, хлораторної, 2 резервуарів по 1500 м<sup>3</sup>.

*Соснівський водозабір* розташований на правобережжі долини р.Західний Буг, в 2 кілометрах на Північний Схід від м. Соснівки. Введений в експлуатацію у 1986р. Водозабір для централізованого водопостачання не розвідувався, призначений для водопостачання шахти № 9 "ВМ", запаси не затверджувались. Через нестачу води в м.Соснівці задіяний для водопостачання міста. До складу водозабору входить 5 артсвердловин, станція 2-го підйому, хлораторна, 2 резервуари по 1000 м<sup>3</sup>. Санітарно-епідеміологічною службою міста Червонограда, постановою від 04.11.1995 р. заборонено подачу води з Соснівського водозабору у м.Соснівку в зв'язку з невідповідністю з вимогами [20] по вмісту фтору (при нормі 1,5 мг/л доходив до 4,0 мг/л). З 1995р. м.Соснівка забезпечується питною водою частково з Бендюзького, частково з Правдинського водозаборів.Свердловин № 1, 2, 3, 4, 5 постачають воду лише для технічних потреб ЦЗФ "Червоноградська". У 2002 р. в зв'язку із закриттям шахти № 5 "ВМ" прийнято на баланс свердловини № 333 і 397 загальною продуктивністю 4100 м<sup>3</sup>/добу, які задіяні для господарсько-питного водопостачання м.Соснівки.

Загальна проектна потужність 5-ти водозаборів - 52 тис. м<sup>3</sup>/добу. Фактично видобувається води у середньому 21,1 тис. м<sup>3</sup>/добу. Загальний об'єм резервуарів запасу питної води всіх водозаборів складає 17060 м<sup>3</sup> [19].

Для цілобового водопостачання споживачів питною водою введено в дію насосну станцію 3-го підйому комплексу споруд "Ванівський водозабір". До складу насосної станції 3-го підйому входить насосна станція, фільтр № 1,2, трансформаторна підстанція, електролізна, резервуар запасу води, ємністю 2000 м<sup>3</sup>.

Загальна протяжність централізованої водопровідної мережі КП «Червоноградводоканал» - 279,6 км.

**Водовідведення.** КП «Червоноградводоканал» приймає стічні води (господарсько-побутові і промислові) м. Червонограда, м. Соснівки і смт. Гірник. А також підприємство займається очисткою стічних вод з різних підприємств, які знаходяться в межах цих трьох населених пунктів.

Всі стоки Червоноградського гірничо-промислового району подаються 16-ма каналізаційними насосами станціями на приймальні камери 3-х очисних споруд: м. Червонограда, м. Соснівки та смт. Гірник [19].

*Очисні споруди м.Соснівки* знаходяться в м.Соснівці. Введені в експлуатацію в 1957 році, потужністю 4.3 тис. м<sup>3</sup>/добу. В 1972р. проведена реконструкція із збільшенням потужності до 5.8 тис. м<sup>3</sup>/добу. В 1987р. проведено переобладнання 4-ої карти біофільтра під аеротенк з установкою 4-х турбоаераторів. В 2004 р.проведено реконструкцію аеротенка із заміною турбоаераторів на полімерні з подачею повітря компресорними установками.

*Очисні споруди смт.Гірник* знаходяться в смт.Гірник. Введені в експлуатацію в 1957р., потужністю 2,5 тис. м<sup>3</sup>/добу. У 1971 році проведена реконструкція по розширенню очисних споруд із збільшенням потужності до 4.2 тис. м<sup>3</sup>/добу. Загальна протяжність каналізаційної мережі 226,9 км.

*Очисні споруди м.Червонограда* знаходяться в с.Добрячин. Введені в експлуатацію: 1-а черга в 1971р., друга в 1976р., третя в 1987р. Проектна потужність очисних споруд 35,0 тис. м<sup>3</sup>/добу [30].

Обсяги господарсько-побутових стічних по місту залежать від ступеня благоустрою помешкань червоноградців [14] (табл. А.1).

Таблиця А.1

Обсяги комунально-побутових стоків м. Шептицький [19]

Умови проживання населення	Кількість населення осіб	Водовідведення м <sup>3</sup> /рік
Житлові будинки квартирного типу з централізованим гарячим водопостарчанням	22324	2444478
Те саме з ваннами і місцевими нагрівачами	31012	2207279,1
Те саме з ваннами без місцевих нагрівачів	588	25970
<b>Всього:</b>	<b>53924</b>	<b>4677727,1</b>

У формуванні надходження промислових стічних вод у каналізаційну мережу міста беруть 194 підприємств і вторинних користувачів. Найбільші з них занесені у таблицю А.2.

Таблиця А.2

## Підприємства і вторинні користувачі в межах м. Шептицький

Назва підприємства	Водовідведення	
	м <sup>3</sup> /рік	м <sup>3</sup> /добу
Шахта “Червоноградська”	135915	543,66
ВАТ “Веста”	139380	555,3
АТП-14628	3451,5	13,75
ВАТ “Калина”	1188	4,7
Молокозавод	27907	11,2
Хлібзавод	12895	51,4
ВАТ “Зміна”	132190	528,7
Лікарня	184344	734,3
Будинок “Просвіта”	784	3,12
ВАТ “Прибужжя”	1234	3,42
Упр. Котельні	612534	1701,48
ВАТ “Док”	2341	6,5
<b>Всього:</b>	<b>1355070,5</b>	<b>5401,1</b>

Найбільшим промисловим користувачем послуг КП «Червоноградводоканал» є ВО «Західноукраїнська вугільна холдингова компанія» [21] (табл. А.3). Компанія включає в себе двадцять одне підприємство різних потужностей і розмірів. До компанії входять одинадцять шахт, центральна збагачувальна фабрика, а також автобази і гуртожитки, та установи, пов'язані з ліквідацією і попередженням аварійних ситуацій на підприємствах холдингу (пожежні частини, гірничо рятувальні команди).

*Таблиця А.3*

Водоспоживання та водовідведення по підприємствах  
ВО «Західноукраїнська вугільна холдингова компанія»

Назва послуги		Обсяг
Водоспоживання (фактичне)	тис. м <sup>3</sup> /рік	3966,907
	м <sup>3</sup> /добу	15514,9
Водоспоживання (по договору)	тис. м <sup>3</sup> /рік	4357,108
	м <sup>3</sup> /добу	17073,32
Водовідведення	тис. м <sup>3</sup> /рік	1901,198
	м <sup>3</sup> /добу	7559,15

Як бачимо, 56% обсягів спожитої води підприємствами ВО «Західноукраїнська вугільна холдингова компанія» використовується безповоротно, що очевидно пов'язане з технологічними особливостями гірничовидобувної і збагачувальної промисловості.

Загальна інформація по водоспоживанню по КП «Червоноградводоканал» зведена у таблиці А.4. Як бачимо, лідером по споживанню води у місті є підприємства ВО «Західноукраїнська вугільна холдингова компанія», дещо менше споживає житловий сектор.



Зведена таблиця водовідведення і водоспоживання КП «Червоноградводоканал»

Назва споживача	Водоспоживання		Водовідведення на КОС	
	м <sup>3</sup> /добу	тис. м <sup>3</sup> /рік	м <sup>3</sup> /добу	тис. м <sup>3</sup> /рік
Населення Червоноградського УЖКГ	15413,78	5626,026	12815,7	4677,727
Вторинні водокористувачі	3407,22	1243,635	3097,53	1130,598
Підприємства ВО «Західноукраїнська вугільна холдингова компанія»	17073,32	4357,108	7559,15	1901,198
Власні потреби УВКГ	2681,62	960,413	1405,5	511,709
Абоненти УВКГ	6077,4	1538,389	5401,1	1355,07
<b>Всього</b>	<b>51625,2</b>	<b>15701,07</b>	<b>30278,98</b>	<b>9576,302</b>

Проте 42% обсягів водовідведення становлять господарсьопобутові стічні води.

Загальне водовідведення згідно з документом [17] становить 30278,98 м<sup>3</sup>/добу, що є нормативно-розрахунковим значенням (табл. А.5). Проте, на теперішній час у зв'язку з закриттям низки підприємств і виїздом населення закордон денне надходження стічних вод на КОС за даним обліку становить 18 тис. м<sup>3</sup> (18010 м<sup>3</sup>/добу). Протягом доби надходження стічних вод є нерівномірним, у пікові години, у період значимих атмосферних опадів, навантаження на потужності КОС значно зростає. За даними первинного обліку надходження стічних вод на КОС визначено коефіцієнт нерівномірності  $K = 1,28$ . Тому фактичне-розрахункове значення для виконання досліджень дорівнюватиме:

$$Q_{дод} = q \times K = 18010 \times 1,28 = 23052 \text{ (м}^3\text{/добу)} = 23 \text{ тис. м}^3\text{/добу.}$$

Отже, для подальших розрахунків використовуватиметься розрахункове, проектне, значення витрати 23 тис. м<sup>3</sup>/добу, погоджене з фахівцями КП «Червоноградводоканал».

Таблиця А.5

Об'єми стічних вод

Водовідведення				
Нормативно розрахункове		Фактичне		
тис. м <sup>3</sup> /рік	м <sup>3</sup> /добу	тис. м <sup>3</sup> /рік	м <sup>3</sup> /добу	м <sup>3</sup> /год.
9576,302	30278,98	8409,6	23052	960

Якісний стан стічних вод характеризується низкою фізичних, у тому числі фізико-хімічних властивостей, хімічного складу (неорганічних та органічних елементів та їх сполук). Якісний склад стічних вод які надходять

на КОС м. Шептицький наведено у таблиці А.6 [19, 17]. Він характеризується низкою фізико-хімічних показників, серед значень яких не простежується аномалій. Це типові комунальні господарсько-побутові стічні води з середнім рівнем значень основних показників якості (завислих речовин, БСК, ХСК) [30].

*Таблиця А.6*

Якісний склад стічних вод які надходять на КОС міста

№ з/п	Показники якості стічних вод	Концентрації забруднювачів, мг/л	Граничні норми прийому в каналізацію, мг/л
1	Завислі речовини	255	500
3	БСК <sub>повне</sub>	255	350
4	ХСК	728	810
5	Азот амонійний	25	-
6	Сульфати	-	400
7	Фосфати	19,2	-
8	Хлориди	269	350

## ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НА КОС М. ЧЕРВОНОГРАДА

Червоноградські каналізаційні очисні споруди знаходяться на Північ від міста у с. Добрячин. КОС введені в експлуатацію у 1971 р. – 1-ша черга; у 1976 р. – 2-га черга; у 1987 р.- 3 черга.

У 2020 році у межах транскордонної програми «Україна-Польща-Білорусь» зреалізовано проект «Покращення системи транскордонного захисту навколишнього середовища в гміні Ксенжполь у Польщі та м. Червонограді в Україні через розвиток каналізаційної інфраструктури» [29]. Коштом Європейського Союзу проведено реконструкцію КОС Червонограда, а саме: виконано капітальний ремонт аеротенків з заміною повітродувок та металевих конструкцій із нержавіючої сталі; реконструйовано первинні і вторинні відстійники.

Технологічна схема очищення стічних вод на КОС наведена на рисунку 1.1. Головні етапи очищення та технологічн обладнання:

### **Б.1. Первинне очищення**

Всі стічні води з міста: господарсько-побутові та виробничі подаються насосними станціями по напірному трубопроводу в приймальну камеру очисних споруд. Так розпочинається перша стадія очищення стічних вод – механічна. Трубопроводом ( $D = 800$  мм) стоки надходять на механізовані (рухомі) решітки, які служать для затримання домішок виликих розмірів. Решітки суміщені з дробарками для подрібнення вловленого сміття .

Після решіток лотком Паршалья стічні води надходять у дво-секційну горизонтальну пісколовку з коловим рухом води. Пісковловлювачі призначені для затримання важких мінеральних частинок, головно, піску.

Пісок, що випав, щоденно вивантажується з пісколовок за допомогою гідроелеватора. Внаслідок коливань надходження стоків на протягом доби швидкість руху стоків може зрости до 1,8 м/с, внаслідок чого збільшуватиметься гідравлічне навантаження на пісколовку і пісок виноситиметься потоком стічних вод в канал до наступних стадій очищення. З огляду на це, у технологічну схему КОС необхідно ввести резервуар-усереднювач.

Після пісколовок стічні води надходять у розподільчу камеру, звідки розподіляються по трьох первинних відстійниках, які призначені для видалення сирого осаду (твердих завислих частино органічного походження) шляхом осадження.

Сирий осад з первинних відстійників вологістю 95% згідно з технологічним регламентом [29] вивантажується 1-2 рази на добу. За допомогою мулову насосної станції відкачується на мулові майданчики.

## **Б.2. Вторинне очищення**

Очищені стоки після первинних відстійників надходять на біологічне (вторинне) очищення в аеротенках-витискувачах і аеротенках-освітлювачах.

Процес біохімічної очистки полягає в мінералізації органічних забруднень за допомогою численних аеробних мікроорганізмів, що становлять ценоз активного мулу. Для підтримки життєдіяльності мікроорганізмів та завислого стану активного мулу в аеротенки постійно подається повітря з компресорної станції [11].

У технологічну схему КОС включено 4 секції аеротенків-витискувачів. У «голову» аеротенків подається повітря при допомозі повітрорудок ТВ-80/160 (4 шт.). Сюди ж подаються стічні води після первинних відстійників. Раніше повітря в аеротенках розподілялося за допомогою системи фільтросних плит, якими було вкладено дно споруд. На теперішній час після реконструкції фільтросні плити, як технічно застарілі та забиті, замінені на

сучасні полімерні аератори, які є більш ефективним в експлуатації, забезпечують рівномірний розподіл дрібнодисперсних бульбашок повітря.

Суміш очищеної води з активним мулом після аеротенк-витиснювачів поступає в розподільчу камеру вторинних відстійників для відділення очищеної води від активного мулу. У схемв КОС два вторинних відстійники ( $D = 20$  м) з робочим об'ємом 880 м<sup>3</sup> кожний. Час відстоювання в радіальних вторинних відстійниках 1,5-2 год. Для відбору осадженого мулу радіальний відстійник обладнаний мулососом, закріпленим на фермі, що безперервно обертається. Циркуляційним насосом активний зворотний мул відкачується в аеротенки-витискувачі, а надлишковий у цех обробки мулу. Прояснена вода збирається лотками і подається в усереднювач, а після на доочистку на фільтри.

У схему КОС також включені 4 секції аеротенків-освітлювачів, в яких стічна вода знаходиться в зоні аерації по всій довжині реактора. Тут вода перемішується з активним мулом і аерується повітрям через перфоровані труби, вкладені по дну аеротенка. З зони аерації суміш води і мулу надходить в зону прояснення (типу відстійники зашламленого типу) шляхом проходження крізь шар завислого мулу. Прояснена вода відводиться лотками, влаштованими по всій довжині зони прояснення. Частина затриманого у зоні прояснення мулу (зворотний мул) повертається в зону аерації під дією сили тяжіння муловими трубами, решта вікачується мулососами у цех переробки мулу.

Продуктивність кожної секції аеротенків у години максимального потоку 8,5 тис. м<sup>3</sup>/добу.

Після аеротенків-освітлювачів освітлена вода надходить в усереднювач.

### **Б.3. Доочистка**

Очищені води насосами продуктивністю 2000 м<sup>3</sup>/год подаються на доочистку у каркасно-засипні фільтри.

Витрата води, яка подається на доочистку – 2108 м<sup>3</sup>/год., кількість зернистих фільтрів – 8 шт., швидкість фільтрування – 7 м/год., розмір фільтра – 8,8×6 м, корисна площа – 41,8 м<sup>2</sup>, загальна витрата повітря – 996 м<sup>3</sup>/год.

Промивна вода після фільтрів самотічним колектором подається на насосну станцію промивних вод, звідки напірним колектором на біологічне очищення в аеротенках.

Після доочистки у фільтрах вода надходить у контактний резервуар, де обробляється (зnezаражується) хлором під час 30-ти хвилинного контакту.

Контактний резервуар складається з 4-х секцій:

- перша секція для контакту з хлором;
- друга секція для видалення надлишкового хлору (дехлоратор і насичення стічних вод киснем);
- третя та четверта секції для збору промивних вод.

Розрахункова доза хлору - 3 мл/л. Фактична витрата хлору для зnezараження вод - 19 кг/год.

Далі зворотні води трьома трубопроводами (1 –  $D=600$  мм; 2 -  $D=500$  мм) надходять на випуск, розташований на лівому березі річки Західний Буг районі с. Добрячин. Скид зворотних вод КОС здійснюється зосередженим випуском з лівого берега у р. Західний Буг

## ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД

У процесі очищення стічних вод на міських каналізаційних очисних спорудах утворюється велика кількість осадів, що містять багато органічних речовин і біогенних елементів. Загальний об'єм осадів не перевищує 2 % очищуваних стічних вод. Частка надлишкового активного мулу дорівнює 60-70 %. Вологість такого мулу 96-99,5 %. Високий вміст органічних речовин обумовлює здатність осадів до загнивання, а висока бактеріальна зараженість, наявність яєць гельмінтів створюють небезпеку поширення інфекцій. Тому головні завдання обробки осадів – зменшення їх об'ємів і отримання безпечного у санітарному відношенні продукту [4].

Оброблення осадів стічних вод складається із таких технологічних операцій: ущільнення (згущення), стабілізації, кондиціонування, зневоднення, знешкодження, ліквідації, знезараження та утилізації.

Ущільнення осадів зазвичай здійснюється у всіх технологічних схемах їх оброблення. Для цього використовують різні способи ущільнення - гравітаційні, флотаційні, відцентрові, вібраційні та фільтраційні [10].

Гравітаційний мулоущільнювач має таку ж конструкцію як радіальний відстійник. Мул осідає на дно відстійника, збирається у центральній частині, де ущільнюється і відводиться муловідвідним трубопроводом. Віддану у процесі ущільнення мулу воду повертають у первинний прояснювач для очищення. Найкращі результати такі ущільнювачі дають при обробці первинного мулу, підвищуючи його концентрацію до 4-6 % .

Для обробки надлишкового мулу після біологічного очищення більш ефективними є флотаційні ущільнювачі.

Найбільше поширення у вітчизняній і зарубіжній практиці оброблення осадів отримали двоярусні відстійники (емшери), що є простими в експлуатації і дозволяють одночасно відстоювати стічну воду, ущільнювати і зброджувати осад. У верхній частині цих споруд розміщені жолоби, що

виконують роль горизонтального відстійника, в якому випадають зважені речовини. Осад, що випав через щілину надходить у нижню частину емшера, яка виконує роль мулової (септичної) камери, де розкладається зменшуючи свій об'єм удвоє, а також зневоднюється, сумарно досягаючи вологості 90 %.

Стабілізація осадів досягається мінералізацією органічних речовин за допомогою анаеробного метанового бродіння у метантенках – циліндричних залізобетонних резервуарах з конічним дном і герметичним (плаваючим або нерухомим перекриттям), у верхній частині якого розміщено ковпак для збирання газу, звідки його відводять для подальшого використання. Осад у метантенку перемішується за допомогою гідроелеватора і нагрівається шляхом подавання гострої пари або підігрітої до 80-90° води. У процесі зброджування виділяється газова суміш з умістом метану до 64 %, що має теплотворну здатність 21 мДж/м<sup>3</sup>. Із 1 кг осаду утворюється близько 1 м<sup>3</sup> газу. Отриманий газ спалюють у котельнях станції очищення або використовують для інших цілей.

Залежно від температури розрізняють мезофільне (30-35°) і термофільне (50-55°) бродіння. Мезофільний процес повністю забезпечує себе теплом від спалювання газу, що виділяється під час бродіння. Термофільний процес відбувається щонайменше у 2 рази інтенсивніше, дає змогу досягнути повної дегельмінтації осаду, проте потребує додаткових енергозатрат, особливо взимку, а вихідний мул дуже важко зневоднюється.

В аеробних стабілізаторах - звичайних аеротенках надлишковий активний мул продувають повітрям упродовж 7-10 діб. Вологість мулу при цьому зменшується на 2-3 %, у подальшій обробці осад легко зневоднюється. Аеробна стабілізація забезпечує загибель 95 % бактерій, проте яйця гельмінтів при цьому не гинуть. Отриманий осад необхідно знезаражувати.

З цією метою широко застосовують обробку 20 % розчином Ca(OH)<sub>2</sub> чи інші хімічні знезаражуючі агенти, опромінення, якщо це економічно доцільно.

Кондиціонування має забезпечити найкраще зневоднення осадів унаслідок зміни їх структури та послаблення зв'язків з водою. Зневоднення здійснюється природним або штучним шляхом.

Для штучного (механічного) видалення води з осадів застосовують вакуум-фільтри, фільтрпреси, віброфільтри, центрифуги тощо.

Серед зневоднюючих апаратів найбільш розповсюджені вакуум-фільтри. Головна частина такого фільтра - це горизонтально розміщений барабан з перфорованою боковою поверхнею, обтягнутою зверху фільтрувальною капроною тканиною. Під дією вакууму вода відділяється від твердої речовини, проходить через фільтрувальну тканину усередину барабана, звідки відводиться на біологічне очищення. Зневоднений осад знімається з поверхні барабана спеціальним ножом.

Фільтрпреси також працюють за принципом фільтрування через тканину. Рушійною силою процесу є стиснення фільтрувальних плит під тиском 0,2 МПа.

Впроваджені закордоном осаджувальні центрифуги неперервної дії сьогодні широко застосовують у вітчизняній практиці обробки осадів. Під дією відцентрової сили частинки твердої фази відділяються і відкидаються до стінок ротора. Внаслідок різниці частот обертання ротора і шнека зневоднений осад пересувається до отвору у роторі, звідки надходить у бункер. Фугат відводить з протилежного боку.

Під час механічного зневоднення об'єм осадів зменшується в 15-20 разів і їх вологість дорівнює 65-75 % [7].

Природне зневоднення відбувається на мулових майданчиках або у мулових ставках. Мулові майданчики – сплановані ділянки землі 0,25-2 га, обвалованих дамбами заввишки до 1 м. У процесі висушування впродовж кількох місяців (за теплої погоди) осад компостується (перегниває), волога просочується в ґрунт, відводиться дренажною системою, але більша частина видалається внаслідок випаровування. Об'єм осаду зменшується у 5 разів,

вологість дорівнює 75-80 % і його можна використати (у разі відсутності вмісту важких металів) як органічне добриво [24].

Завершальною стадією зневоднення осадів є сушіння, внаслідок чого їх вологість зменшується до 5-40 %. Сушіння осадів відбувається у барабанних, стрічкових, пневматичних і вальцевих сушарках та в сушарках із завислим шаром і зустрічними струменями повітря. У більшості типів сушарок використовується конвективний спосіб сушіння, при якому теплова енергія безпосередньо передається від теплоносія досаду. В якості теплоносія чи сушильного агента використовують пічні гази з температурою 500-800 °С, що дозволяє зменшити габарити установок [31].

Для сушіння зневоднених осадів міських очисних споруд найширше застосовують барабанні сушарки з прямоточним рухом осаду і пічних газів.

Термічна обробка осадів дозволяє отримати сухий сипучий продукт, звільнений від патогенних організмів і яєць гельмінтів. Санітарний стан цих осадів задовільний, але вони не завжди стерильні, хоча і не загнивають у разі збереження початкової вологості. Осади можна транспортувати та утилізувати.

## МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ МУЛУ

**Методи досліджень.** Для оцінки хімічного складу і властивостей осадів стічних вод (ОСВ) виконано натурні і лабораторні дослідження.

Для аналізу відбирали об'днану пробу з різних карт мулових майданчиків. Підготовку до аналізу виконували згідно з методикою [27]; рухому форми металів вилучали зі зразків аміачно-ацетатним буферним розчином згідно з [12]; визначення концентрацій металів виконували атомно-абсорбційним методом на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С 115М.

**Підготовка проб.** Проби мулу доводимо до повітряно-сухого стану, подрібнюємо, пропускаємо через сито з круглими отворами діаметром 1-2 мм і зберігаємо в коробках або пакетах. Для аналітичних визначень проби з різних майданчиків сусереднювали методом квартування.

**Визначення рН.** Для проведення аналізу використовують лабораторні ваги, рН-метр.

Приготування водної витяжки з ґрунту.

Аліквоту зразка мулу масою 30 г, зважену з похибкою не більше 0,1 г, поміщають у конічну колбу. Дозатором або мірним циліндром додають 150 см<sup>3</sup> дистильованої води. Мул з водою перемішують протягом 3 хв. на змішувачі і залишають на 5 хв. для відстоювання.

Допускається пропорційне змінення маси проби ґрунту і об'єму дистильованої води при збереженні відношення між ними 1:5 і при похибці дозування не більше 2 % [9].

Вимірювання рН. Частину суспензії об'ємом 15-20 см<sup>3</sup> зливаємо в хімічний стакан місткістю 50 см<sup>3</sup> і використовуємо для вимірювання рН.

рН-метр калібруємо за трьома буферними розчинами з рН 4,01, 6,86 і 9,18 приготовленими з стандарт-титрів. Дані з приладу зчитуємо не раніше чим через 1,5 хв. після опускання електродів у вимірюване середовище. Під

час роботи налаштування приладу перевіряємо за буферним розчином з рН 6,86.

**Визначення важких металів у мулі.** Вміст водорозчинних форм важких металів (хрому, марганцю, заліза, кобальту, міді, цинку, кадмію свинцю) у мулових відкладах, як і у ґрунтах, визначали екстракційно-атомно-абсорбційним методом.

Визначення їх концентрації у витяжці атомно-абсорбційним методом полягає у вимірюванні поглинання світла вільними атомами цих елементів, що утворюються в полум'ї при введенні в нього розчинів, що аналізуються

Для цього методу потрібні колби на 500 мл, воронки  $d=10$  см, циліндр мірний на 250 мл, електромішалка лабораторна, ацетатний буферний розчин з рН=4,8.

Щоб отримати витяжку 25 г ґрунту насипаємо в колбу на 500 мл, заливаємо 250 мл ацетатного буферного розчину з рН=4,8, струшуємо протягом 1 години на електромішалці. Після цього отриманий розчин фільтруємо через складчатий фільтр (біла стрічка). Паралельно ведемо холосту пробу.

Для визначення концентрацій важких металів потрібні атомно-абсорбційний спектрофотометр С-115 М1, лампи з порожнинним катодом, аналітична вага, колби мірні на 100, 1000 мл, піпетки градуювальні на 5, 20 мл, ацетатний буферний розчин з рН=4,8 зразкові розчини для визначення важких металів.

Вимірювання вмісту рухомих форм важких металів на атомно-абсорбційному спектрофотометрі.

Включити і відкалібрувати атомно-абсорбційний спектрофотометр в режимі вимірювання концентрацій згідно інструкції по експлуатації. Лінійна залежність оптичної густини від концентрації, наприклад, для цинку зберігається до 1 мкг/мл, тому для калібрування доцільно використовувати стандартний розчин з концентрацією 1 мкг/мл або меншою. Монохроматор

налаштувати на характеристичну довжину хвилі кожного металу.  
Оптимальна ширина щілини монохроматора – 0,7 нм.