

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології

Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

завідувач кафедри цивільної інженерії,
технологій будівництва і захисту довкілля

ВОЛКОВА Вікторія Євгеніївна

«_____» _____ 2026 р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

на тему: «Обґрунтування технологій зеленого курсу: нульове забруднення у
селищі Слобожанське Дніпровського району Дніпропетровської області»

Виконала: здобувачка вищої освіти
групи ТЗНС-1-22
на здобуття освітнього ступеня бакалавр
спеціальності – 183 «Технології
захисту навколишнього середовища»
освітньої програми – «Технології захисту
навколишнього середовища»

_____ Пікінер Л. Ю.
(підпис, прізвище та ініціали)

Керівник _____ Макарова Т.К.

Рецензент _____

Дніпро - 2026

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Обґрунтування технологій зеленого курсу: нульове забруднення у селищі Слобожанське Дніпровського району Дніпропетровської області» складається із вступу, 5 розділів, висновків, 2 додатків та переліку використаної літератури. Повний обсяг роботи становить 87 сторінок друкованого тексту, включаючи 20 рисунків та 11 таблиць. Перелік використаних джерел містить 66 найменувань.

Об'єкт дослідження – процеси техногенного навантаження на компоненти навколишнього середовища та системи муніципального екологічного управління водними ресурсами, атмосферним повітрям і відходами на території Слобожанської територіальної громади.

Предмет дослідження – інженерно-технологічні параметри локальних споруд очищення господарсько-побутових і поверхневих стічних вод, матеріально-потоківий баланс та просторова організація інфраструктури поводження з твердими побутовими відходами та відходами від руйнувань.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка, обґрунтування та техніко-економічний розрахунок комплексу децентралізованих інженерно-екологічних рішень і превентивних муніципальних механізмів, спрямованих на практичну реалізацію цілей стратегії нульового забруднення (Zero Pollution) та локальну декарбонізацію інфраструктури селища Слобожанське.

Методи дослідження: інструментальний та хіміко-технологічний аналіз якості компонентів довкілля (виміри пересувною станцією моніторингу «Sapphire 64», польові дослідження мультипараметровим аналізатором Hanna HI98194), інженерне моделювання та розрахунок матеріальних і конструктивних балансів технологічних споруд, просторовий аналіз та картографічне моделювання в геоінформаційній системі QGIS.

За результатами дослідження розроблено комплекс інженерних рішень для зниження локальних екологічних загроз. Обґрунтовано доцільність будівництва

Центру управління відходами, що дозволить скоротити обсяги їх захоронення на 71%. Запропоновано технологічну схему очисних споруд на базі мембранних біореакторів (MBR) та впровадження природоорієнтованих рішень (NbS) для акумуляції поверхневого стоку. Розраховано параметри енергетичної модернізації інфраструктури зі зниженням емісії парникових газів на 229,7 т CO₂ – екв/рік та створено просторовий алгоритм рециклінгу відходів від руйнувань. Економічна доцільність рішень підтверджена розрахунковим терміном окупності 2,4 року при капітальних інвестиціях 6,6 млн грн.

Актуальність. Інтенсивне техногенне навантаження на приміські території внаслідок високої щільності автотранспорту та транскордонного перенесення викидів промислових гігантів, відсутність очисних споруд зливової каналізації та системна деформація екологічного балансу вимагають негайного впровадження новітніх підходів. Розробка децентралізованих інженерних технологій замкненого циклу та адаптація муніципальних екологічних програм до стандартів Європейського зеленого курсу на рівні селища Слобожанське є дієвим інструментом забезпечення екологічної безпеки та реалізації повоєнної «зеленої» відбудови.

Ключові слова: технології захисту довкілля, нульове забруднення (zero pollution), європейський зелений курс, Слобожанське, мембранні біореактори (mbr), природоорієнтовані рішення (nbs), центр управління відходами, декарбонізація, рециклінг.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
 Факультет водогосподарської інженерії та екології
 Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля
 Освітній ступінь «Бакалавр»
 Спеціальність – 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
 Освітня програма «Технології захисту навколишнього середовища»

З А Т В Е Р Д Ж У Ю :

Зав. кафедрою цивільної інженерії,
 технологій будівництва і захисту довкілля
 ВОЛКОВА Вікторія Євгеніївна
 «_____» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти

Пікінер Леся Юріївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Обґрунтування технологій зеленого курсу: нульове забруднення у селищі Слобожанське Дніпровського району Дніпропетровської області

керівник роботи: кандидатка сільськогосподарських наук, доцентка Макарова Тетяна Костянтинівна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання) Затверджена наказом по університету від
«12» березня 2026 р. № 515

1. Термін здачі здобувачем закінченої роботи : «_____» _____ 2026 р.
2. Вихідні дані до роботи: Дані інструментального екологічного моніторингу якості атмосферного повітря (пересувна станція «Sapphire 64», грудень 2025 р.) та водних ресурсів р. Самара (аналізатор Hanna HI98194, грудень 2025 р.) у Слобожанській ОТГ. Статистичні дані щодо генерації ТПВ (розрахунково 4500 т/рік на 15000 осіб) та матеріальний баланс відходів громади. Нормативно-правова база ЄС (Європейський зелений курс, План дій з нульового забруднення) та України у сфері захисту довкілля. Кліматичні, геологічні та гідрологічні характеристики території Дніпровського району.
3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити)
Вступ. 1. Теоретичні засади концепції нульового забруднення в рамках Green Deal. 2. Еколого-технологічний аналіз стану довкілля Слобожанської ОТГ. 3. Розробка комплексних

технологічних рішень для досягнення цілей зеленого курсу (модернізація системи поводження з ТПВ, проектування локальних систем очищення стічних вод (MBR) та природоорієнтованих рішень (NbS), енергоефективні рішення). 4. Нормативно-управлінські та превентивні механізми впровадження інженерно-екологічних рішень. 5. Охорона праці. Висновки. Перелік джерел посилання. Додатки.

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень). 1. Картосхема Слобожанської територіальної громади. 2. Структурно-логічна схема процесу відкритого компостування муніципальних відходів. 3. Картосхема просторового розміщення Центру управління відходами (Waste Management Hub) та його логістики. 4. Принципова схема локальних очисних споруд та технології мембранних біореакторів (MBR). 5. Принципова технологічна схема управління поверхневим стоком на муніципальних об'єктах (NbS).

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
5			
6			
7			

6. Дата видачі завдання: «_____» _____ 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пп	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літературних джерел, збір вихідних даних та аналіз нормативно-правової бази концепції нульового забруднення	березень	
2	Проведення еколого-технологічного аналізу стану довкілля Слобожанської ОТГ (повітря, вода, відходи)	квітень	
3	Розробка технологічних рішень: проектування Центру управління відходами, систем очищення стічних вод (MBR) та управління поверхневим стоком (NbS)	травень	
4	Еколого-економічне обґрунтування та розробка нормативно-управлінських механізмів впровадження рішень	травень	
5	Написання розділу "Охорона праці" та аналіз безпеки експлуатації запропонованих об'єктів	червень	
6	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки, підготовка графічного матеріалу та презентації	червень	
7	Перевірка роботи на плагіат, отримання відгуку керівника та рецензії, попередній захист.	червень	

Здобувач вищої освіти _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ЗМІСТ	7
ВСТУП.....	9
1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ КОНЦЕПЦІЇ НУЛЬОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ В РАМКАХ GREEN DEAL.....	11
1.1 Стратегія ЄС щодо нульового забруднення повітря, води та ґрунту до 2050 року	11
1.2 Законодавче регулювання екологічної безпеки в Україні та вектори адаптації до стандартів ЄС.....	15
1.3 Роль місцевих громад у впровадженні цілей сталого розвитку Європейського зеленого курсу.....	20
2 ЕКОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ СЛОБОЖАНСЬКОЇ ОТГ	24
2.1 Характеристика фізико-географічних умов та техногенного навантаження на територію громади	24
2.2 Аналіз стану атмосферного повітря та системи управління відходами	29
2.3 Оцінка стану водних ресурсів та ефективності роботи очисних споруд селища	32
2.4 Ідентифікація основних екологічних ризиків для населення громади	34
3 РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ ЗЕЛЕНОГО КУРСУ	37
3.1 Модернізація системи поводження з твердими побутовими відходами через впровадження технологій замкненого циклу	37
3.2 Проєктування локальних систем очищення стічних вод та впровадження природоорієнтованих рішень (Nature – Based Solutions) для управління поверхневим стоком.....	47
3.2.1 Розрахунок споруд механічного очищення господарсько-побутових стічних вод	49
3.2.2 Технологія біологічного очищення: розрахунок аеротенків та мембранних біореакторів (MBR)	52
3.2.3 Децентралізовані природоорієнтовані рішення (NbS) для управління поверхневим (злизовим) стоком	55
3.2.4 Інженерне обґрунтування локальної системи збору зливових вод та підземного зрошення на базі Слобожанського ліцею	59
3.3 Впровадження енергоефективних рішень та відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в комунальному секторі селища	61
3.3.1 Еколого-економічна ефективність впровадження дахової СЕС	67

3.4 Заходи щодо мінімізації «вуглецевого сліду» через розвиток зеленої інфраструктури та еко-коридорів.....	68
4 НОРМАТИВНО-УПРАВЛІНСЬКІ ТА ПРЕВЕНТИВНІ МЕХАНІЗМИ ВПРОЖАДЖЕННЯ ІНЖЕНЕРО-ЕКОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ.....	72
4.1 Розрахунковий блок обґрунтування об'єму резервуара для перехоплення фільтрату	72
4.2. Імплементация європейської ієрархії поводження з відходами та технологічні перспективи.....	73
4.3 Стратегічна екологічна оцінка у просторовому плануванні та інженерні рішення щодо управління відходами від руйнувань	76
4.3.1 Визначення кількості ТПВ для Слобожанської об'єднаної громади	78
4.4 Еколого-економічне обґрунтування впровадження Центру управління відходами (Waste Management Hub)	84
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	87
5.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів у Центрі управління відходами.....	87
5.2. Технічні та організаційні заходи безпеки при експлуатації сортувального комплексу і технологій компостування.....	88
5.3. Вимоги безпеки під час експлуатації локальних очисних споруд та обладнання для анаеробного зброджування.....	90
5.4. Заходи безпеки під час монтажу та обслуговування систем відновлюваної енергетики.....	91
5.5. Пожежна безпека та дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій і воєнного стану	92
ВИСНОВКИ.....	94
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	96
ДОДАТКИ	104

ВСТУП

Актуальність теми. Впровадження принципів Європейського зеленого курсу та концепції нульового забруднення (Zero Pollution) є обов'язковою вимогою до модернізації екологічної інфраструктури територіальних громад України. Приміські урбанізовані зони, зокрема селище Слобожанське, зазнають критичного техногенного навантаження через високу щільність населення, транзитний автотранспорт та вплив промислових об'єктів. Ситуація ускладнюється наслідками військових дій, що зумовлюють утворення нових видів відходів від руйнувань. Відсутність локальних очисних споруд, зливової каналізації та потужностей для глибокої переробки твердих побутових відходів призводить до деградації водних об'єктів (р. Самара) і забруднення ґрунтів. Це вимагає відмови від традиційних методів складування відходів та розробки децентралізованих інженерних рішень замкненого циклу, що визначає актуальність кваліфікаційної роботи.

Мета дослідження – обґрунтування комплексу інженерно-технологічних рішень для реалізації концепції нульового забруднення та зменшення техногенного навантаження на довкілля селища Слобожанське.

Для досягнення мети вирішено такі завдання:

1. Проаналізувати нормативно-правову базу реалізації стратегії нульового забруднення в межах законодавства ЄС та України.
2. Оцінити екологічний стан атмосферного повітря, водних об'єктів та акустичного середовища громади за даними інструментального моніторингу.
3. Розрахувати матеріальний баланс відходів та виконати інженерне проєктування Центру управління відходами.
4. Розробити технологічну схему очищення стічних вод і природоорієнтовані рішення для акумуляції поверхневого стоку.
5. Запропонувати алгоритм локального рециклінгу відходів від руйнувань та заходи з декарбонізації інфраструктури.

6. Виконати техніко-економічний розрахунок впровадження запропонованих проєктів.

Об'єкт дослідження – процеси техногенного навантаження на компоненти навколишнього середовища в умовах приміської урбанізованої території.

Предмет дослідження – інженерно-технологічні параметри споруд очищення стічних вод, системи рециклінгу відходів та еколого-економічні показники модернізації інфраструктури селища Слобожанське.

Методи дослідження: інструментально-лабораторні (для аналізу якості повітря та води), розрахунково-балансові (для визначення обсягів генерації відходів), інженерне проєктування технологічних процесів, просторове моделювання в геоінформаційних системах (QGIS), еколого-економічний аналіз.

Наукова новизна одержаних результатів. Удосконалено підходи до проєктування локальної інфраструктури поводження з відходами шляхом інтеграції алгоритмів переробки будівельних відходів війни у муніципальні схеми. Обґрунтовано параметри суміщення технологій мембранних біореакторів (MBR) із природоорієнтованими рішеннями (NbS) для регулювання зливого стоку в умовах високого рівня ґрунтових вод.

Практичне значення одержаних результатів. Розраховані параметри Центру управління відходами, локальних очисних споруд та систем декарбонізації готові до використання виконавчими органами Слобожанської селищної ради для розробки проєктно-кошторисної документації та оновлення місцевого Плану дій зі сталого енергетичного розвитку та клімату.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ КОНЦЕПЦІЇ НУЛЬОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ В РАМКАХ GREEN DEAL

1.1 Стратегія ЄС щодо нульового забруднення повітря, води та ґрунту до 2050 року

Гаслом Європейського зеленого курсу лежить принцип «не залишити поза увагою жодну людину чи місце». Реалізація цього курсу справляє позитивний вплив на більшість аспектів людського життя, оскільки його основними завданнями є стимулювання економічного зростання, поліпшення екологічного стану довкілля, забезпечення доступу до чистої енергії, здорового харчування та екологічно безпечної продукції [21].



Рисунок - 1.1 Десять позитивних факторів впливу Європейського зеленого курсу на якість життя людей [21]

Фундаментальною метою концепції нульового забруднення є формування вільного від токсичних речовин довкілля Європейського Союзу. Досягнення цієї мети передбачає посилення інструментів моніторингу, зокрема через діджиталізацію, а також вдосконалення систем звітування, запобігання та ліквідації

забруднення. Важливим елементом є посилення вимог до якості повітря, води та ґрунтів [52].

У рамках Європейського зеленого курсу 12 травня 2021 року Європейська комісія прийняла План дій з досягнення нульового забруднення повітря, води та ґрунтів. Цей документ містить комплексне бачення екологічної ситуації, згідно з яким у 2050 році рівень забруднення має бути знижено до показників, що не завдаватимуть шкоди здоров'ю людини та природним екосистемам. План дій систематизує політику ЄС щодо боротьби із забрудненням та запобігання йому, визначаючи пріоритетним використання цифрових рішень [22].

Для повноцінної оцінки масштабів зеленого переходу необхідно проаналізувати ключові цілі Плану дій, встановлені до 2030 року [52]. Вони охоплюють життєво важливі сфери збереження біорізноманіття та управління якістю екосистем:

- 1) покращення якості повітря з метою зменшення кількості передчасних смертей, спричинених його забрудненням, на 55 %;
- 2) зменшення кількості пластикового сміття в морському середовищі на 50 % та мікропластику, що викидається у довкілля, на 30 %;
- 3) покращення якості ґрунтів за рахунок зменшення втрат поживних речовин та скорочення використання хімічних пестицидів на 50 %;
- 4) зменшення на 25 % площі екосистем ЄС, де забруднення повітря становить загрозу біорізноманіттю;
- 5) скорочення на 30 % частки населення, що хронічно страждає від шуму транспорту;
- 6) істотне зменшення утворення відходів, зокрема скорочення залишкових побутових відходів на 50 %.

План дій не лише декларує цілі, але й формулює конкретні інструменти їх досягнення. Серед них особливе місце займає узгодження стандартів якості повітря з останніми рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я. За даними останнього звіту Європейського агентства з довкілля, саме забруднення повітря є причиною передчасної смерті у ЄС близько 400 000 осіб щороку, у тому числі від

онкозахворювань [65]. Також передбачено перегляд стандартів якості води, в річках та морях ЄС, зменшення забруднення ґрунту та посилення його відновлення.

Аналіз наведених статистичних даних в Додатку А дозволяє предметно оцінити масштаб проблеми. Як бачимо, у середньому по ЄС-27 фактична концентрація дрібнодисперсного пилу становить $10,2 \text{ мкг/м}^3$. Це формує вагому частку, понад 182 тисячі летальних випадків та майже 1,9 млн втрачених років життя, у загальній структурі екологічно зумовленої смертності. Особливо показовою є ситуація в індустріально-аграрних країнах Східної Європи, наприклад, Болгарії та Польщі, де через інтенсивне господарювання та застарілі технології рівень смертності від $\text{PM}_{2.5}$ (143,8 та 99,5 відповідно) значно перевищує середньоєвропейський показник (59,7 на 100 тис. населення).

Через ці критичні диспропорції план ЄС щодо скорочення смертності від забруднення повітря на 55% до 2030 року є єдино правильним орієнтиром. На практиці це означає, що сталий розвиток українських промислово-аграрних громад неможливий без жорсткого управління місцевими викидами [52].

Щодо контролю атмосферних викидів, європейська політика спирається на чітку ієрархію нульового забруднення. Головна логіка підходу - найкраще взагалі не допустити утворення викидів безпосередньо на джерелі. Якщо ж уникнути їх технологічно неможливо, підприємство мусить звести обсяги до мінімуму, і лише на самому кінці ланцюжка - застосовувати заходи з очищення та ліквідації наслідків [66].

У сфері управління водними ресурсами, що є одним із профільних напрямів технологій захисту довкілля, План дій ЄС ставить доволі жорсткі рамки [52]. Громади та міста повинні кардинально скоротити скиди недостатньо очищених стоків та вирішити проблему надлишку сполук азоту й фосфору, через які масово «цвітуть» і деградують водойми. Щоб відповідати цим нормам, необхідно впроваджувати найкращі доступні технології для глибокого очищення, інакше підземні водоносні горизонти не вберегти від дифузного забруднення.

Аграрному сектору також доведеться суттєво переформатувати свою роботу. Окрім вимоги вдвічі зменшити використання хімічних пестицидів до 2030 року,

європейці роблять величезну ставку на збереження живого мікробіому ґрунту. Для територій з інтенсивним сільським господарством це на практиці означає перехід до масштабної рекультивації вже виснажених земель, запровадження точного землеробства та постійний жорсткий контроль за внесенням агрохімікатів [22].

Європейський зелений курс чітко артикулює вектори, які потребують системного реформування у 5 позиціях. Через нульове забруднення, чисту воду, чисте повітря, промисловість та хімічні речовини. Впровадження заходів для покращення моніторингу, зокрема дистанційного, запобігання та ліквідації забруднення повітря, води, ґрунту та споживчих товарів. Зменшення забруднення вод надлишками біогенних речовин, протидія забрудненню від міських стічних вод та нових джерел, включення кліматичних вимог до найкращих доступних технологій, подолання комбінованого впливу різних забруднювачів [52]. Узгодження стандартів ЄС із рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я та надання допомоги місцевим органам влади у забезпеченні чистішого повітря через посилення моніторингу і моделювання. Перегляд заходів щодо забруднення від великих промислових установок, покращення попередження промислових аварій та узгодження законодавства про промислові викиди з кліматичною політикою. Зміцнення правової бази ЄС щодо оцінки хімічних речовин, принцип «одна речовина - одна оцінка», швидке реагування на ризики від ендокринних руйнівників, небезпечних хімічних речовин у товарах та стійких хімічних сполук [52].

Інституційним майданчиком для втілення цих амбіцій є Платформа зацікавлених сторін із нульового забруднення. Вона об'єднує учасників з різних галузей для вирішення взаємопов'язаних викликів, обміну передовою практикою фінансування інновацій та стимулювання сталого виробництва і споживання.

Зелений тиждень ЄС 2021 року чітко розставив акценти на те, що концепція нульового забруднення не може існувати ізольовано. Наприклад, щоб зберегти біорізноманіття, необхідно жорстко контролювати потрапляння пестицидів і пластику у довкілля [21]. Окрім того, наслідки забруднення завжди найбільш шкідливі для вразливих верств населення, тому екологічний перехід має бути

соціально справедливим і підкріпленим реальними «зеленими» інвестиціями. Проте головний висновок для нас полягає в іншому: глобальні європейські директиви залишаються лише на папері, якщо їх не адаптувати до реалій на місцях [23].

Тому Стратегію нульового забруднення варто сприймати як суто практичний інструмент для трансформації нашої економіки. Наведена раніше статистика підтверджує, що забруднення повітря дрібнодисперсним пилом $PM_{2.5}$ вже стало критичною загрозою, особливо для промислово-аграрних регіонів. Щоб досягти цілей Європейського зеленого курсу до 2050 року, рішень «згори» від національного уряду буде недостатньо - уся основна інженерна та управлінська робота має виконуватися на рівні територіальних громад. Від місцевої влади це вимагає переходу до реальної екологічної політики: громадам доведеться самостійно залучати зелене фінансування, вимагати екомодернізації від місцевого агробізнесу, налагоджувати локальний моніторинг повітря і води, а також формувати нову культуру споживання серед своїх мешканців.

1.2 Законодавче регулювання екологічної безпеки в Україні та вектори адаптації до стандартів ЄС

Європейський зелений курс European Green Deal - це не просто внутрішня ініціатива ЄС, а вектор, який визначає майбутнє політичних та економічних відносин між Україною та Європою [52]. Наша держава офіційно приєдналася до цього процесу ще у 2020 році, запропонувавши Єврокомісії власне бачення спільної Дорожньої карти. Практичним результатом цієї інтеграції вже стала угода «Кліматичний пакет для стабільної економіки в Україні» (CASE) із фінансуванням у 10 млн євро на підтримку переходу до чистої енергії [22].

Для України принципово важливо не просто адаптуватися до готових європейських правил постфактум, а брати участь у їх розробці ще на етапі

проектування через регулярний діалог з ЄС. Орієнтиром для цієї роботи має стати повноцінна спільна Дорожня карта [22].

Загалом адаптація нашого законодавства до європейських стандартів базується на восьми ключових напрямках екологічної трансформації через кліматичні дії, чисту енергію, стійку промисловість, будівництво та реновації, зменшення забруднення довкілля, збереження біорізноманіття, стійку аграрну політику та мобільність.

Водночас маємо об'єктивно оцінювати наші кліматичні амбіції на тлі європейських. Тоді як Євросоюз планує вийти на повну кліматичну нейтральність до 2050 року, Україна заклала до своєї стратегії інший рубіж 2060 рік. Проміжним індикатором цього переходу є урядова ціль від 2021 року - скоротити емісію парникових газів до 35% від показників базового 1990 року до 2030 року [32].

Проміжним індикатором цього переходу є урядова ціль від 2021 року - скоротити емісію парникових газів до 35% від показників базового 1990 року до 2030 року (табл. 1.1) [32]

Таблиця 1.1- Очікувана динаміка та цільові показники викидів парникових газів в Україні [32]

Рік	Рівень викидів парникових газів	Відношення до базового 1990 року	Статус показника
1990	~924 млн тонн CO ₂ – екв.	100%	Базовий рік (відправна точка для розрахунків за Паризькою угодою)
2019	~345 млн тонн CO ₂ – екв.	~37%	Фактичний стан економіки до затвердження Оновленого національного внеску (НВВ2)
2030	Не більше 324 млн тонн CO ₂ – екв.	35%	Офіційна державна ціль, затверджена Урядом у 2021 році
2060	0 (Чистий нуль)	0%	Стратегічна ціль досягнення повної кліматичної нейтральності України

Державна ціль щодо утримання викидів парникових газів на рівні 35% до 2030 року вимагає докорінної екомодернізації економіки. Враховуючи, що напередодні повномасштабного вторгнення цей показник вже становив 37%, будь-яке економічне відновлення громад неминуче призведе до перевищення лімітів,

якщо не запровадити сучасні технології захисту довкілля. Зростання виробництва має бути повністю відв'язане від збільшення шкідливих викидів.

Проте на практиці динаміка емісій пішла зовсім іншим сценарієм. Спочатку пандемія COVID – 19, а потім повномасштабна війна повністю зламали попередні прогнози [32]. Бойові дії не лише зупинили більшість локальних природоохоронних проєктів, але й згенерували колосальні обсяги нових, абсолютно неконтрольованих викидів. Вплив цих факторів на структуру парникових емісій у 2020 - 2025 роках зведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Динаміка та структура викидів парникових газів в Україні (2020 - 2025 рр.) [5, 32]

Рік/Період	Основний фактор впливу на емісію	Орієнтовний обсяг / Тенденція	Екологічний та економічний контекст
2020	Пандемія COVID – 19	Незначне зниження	Тимчасове скорочення викидів через карантинні обмеження та спад виробництва
2021	Постковідне відновлення	~344,6 млн тонн CO ₂ – екв.	Останній стабільний довоєнний рік. Викиди становили близько 37% від базового 1990 року
2022–2023	Початок повномасштабного вторгнення рф	Безпрецедентний спад промислових викидів	Через зупинку заводів, руйнування інфраструктури та окупацію економічні викиди різко впали (відповідно до падіння ВВП приблизно на 29 % у 2022 р.)
2022–2025 (сумарно)	Прямі та непрямі наслідки бойових дій	+237 млн тонн CO ₂ – екв. (додатковий «вуглецевий слід війни»)	Викиди формуються з таких ключових джерел: бойові дії (спалювання пального технікою), ландшафтні пожежі (понад 92 тис. га згарищ лише у 2024 р.), пошкодження енергоінфраструктури, переміщення осіб та майбутня потреба у вуглецево-ємній відбудові

Якщо проаналізувати ці дані за 2020 - 2025 роки, стає очевидним, що війна повністю деформувала національну статистику парникових емісій. У 2021 році ми фіксували відносну стабільність на рівні 344,6 млн тонн CO₂ – еквівалента, проте з початком повномасштабного вторгнення загальнодержавні показники перестали відображати реальну ефективність управління довкіллям.

Різке падіння промислових емісій - це не досягнення технологій захисту довкілля, а прямий наслідок зупинки підприємств. Зруйновані виробничі потужності, розбита енергетична інфраструктура та окупація територій штучно занизили загальний рівень промислового забруднення.

Натомість з'явилося абсолютно нове джерело викидів, яке неможливо контролювати класичними інструментами екоменеджменту - безпосередньо самі бойові дії. Масштабні пожежі в екосистемах, палаючі нафтобази, руйнування будівель та робота тисяч одиниць військової техніки генерують колосальний обсяг газів. За попередніми оцінками, цей сукупний «вуглецевий слід війни» лише за 2022 - 2025 роки вже сягає 237 млн тонн CO₂ — еквівалента [32].

Отже, сьогоднішній спад викидів не варто ілюзорно сприймати як успішну екологічну трансформацію. Це вимушений наслідок бойових дій та зупинки промисловості. Саме тому повоєнна відбудова не має зводитися до сліпого відновлення зруйнованого. Це ідеальний майданчик для системної модернізації на базі чистих технологій. Для нас впровадження європейських екологічних норм це не просто бюрократична вимога для вступу до ЄС, а реальний інструмент збереження довкілля під час війни та основа для подальшої зеленої відбудови [23].

Звісно, розрив в екологічних стандартах між Україною та країнами ЄС залишається колосальним, і наш перехід триватиме довше. Проте відкладати цю адаптацію не можна. Наше економічне майбутнє прямо залежить від того, наскільки швидко ми позбудемося брудного індустріального спадку і почнемо впроваджувати сучасні інженерні рішення. Цьому є і жорстке економічне пояснення: оскільки Європа є нашим головним ринком, без курсу на декарбонізацію та нульове забруднення українська продукція просто не витримає конкуренції. Тому модернізація одночасно гарантує і відновлення природи, і виживання нашої економіки [66].

Щоб реальна політика «нульового забруднення» запрацювала в Україні, нам недостатньо просто точково змінювати закони. Потрібна системна імплементація базових європейських директив.

Наприклад, для індустріально-аграрних регіонів критичною є Директива 2010/75/ЄС щодо промислових викидів. Вона змушує підприємства нарешті відмовлятися від застарілих очисних споруд і переходити на найкращі доступні технології та методи управління (НДТМ). Це робиться за допомогою інтегрованого екологічного дозволу, який контролює викиди у повітря, воду та ґрунт одночасно [52].

У сфері технологій захисту довкілля та управління водними ресурсами базовим документом стає Водна рамкова директива 2000/60/ЄС. Вона кардинально змінює підхід: замість фрагментарного контролю запроваджується басейновий принцип із жорсткими критеріями для досягнення «доброго стану» кожної водойми [66]. Водночас для аграрних територій обов'язковою є Нітратна директива 91/676/ЄЕС. Без жорсткого контролю за азотними добривами та визначення вразливих зон ми не зможемо зупинити токсичне забруднення підземних водоносних горизонтів і масову евтрофікацію поверхневих водойм [66].

Щодо відходів, то новий рамковий Закон України вже запустив перехід до європейської ієрархії згідно з Директивою 2008/98/ЄС. На практиці це вимагає кардинальних змін: закриття старих полігонів, чий фільтрат роками отруює ґрунти, і будівництва сучасної інфраструктури для глибокої переробки сміття [61].

Усі ці європейські норми створюють набагато жорсткіші умови саме для територіальних громад. Місцевій владі доведеться повністю переписувати свої екологічні програми: від модернізації очисних споруд і водопровідних мереж за принципами НДТМ до суворого нагляду за тим, скільки агрохімії потрапляє на землі сільськогосподарського призначення. І тут ключову роль відіграє децентралізація. Поки політики на державному рівні лише визначаються з деталями переходу, основна інженерна та управлінська відповідальність вже лягає на місцеве самоврядування. Плануючи свій розвиток, кожна громада мусить спиратися на Європейський зелений курс [23].

Звісно, повномасштабна війна внесла катастрофічні корективи, адже значна частина території України перебуває в зоні бойових дій або окупації. Проте саме концепція «зеленого відновлення» дає нам реальний шанс на відбудову. Якщо ми

сприйматимемо Європейський зелений курс не як формальність, а як технологічну базу, ми зможемо не просто відновити економіку, а побудувати екологічно безпечне життя після війни.

1.3 Роль місцевих громад у впровадженні цілей сталого розвитку Європейського зеленого курсу

Успіх Європейського зеленого курсу безпосередньо залежить від того, наскільки ефективно його цілі будуть інтегровані в життя конкретних територіальних громад [22]. Для спеціалістів із технологій захисту довкілля саме рівень ОТГ є основним майданчиком для впровадження інженерних рішень. В умовах децентралізації місцева влада отримала не лише ресурси, а й відповідальність за формування локальної політики, яка б відповідала принципам «нульового забруднення».

Першочерговим завданням для міських та приміських територій є збереження екосистем через грамотне просторове планування. Стратегія біорізноманіття ЄС висуває чітку вимогу: міста з населенням понад 20 тисяч осіб повинні мати реальні плани озеленення [22]. Важливо розуміти, що це не просто висадка дерев, а створення стійкої зеленої інфраструктури. Наприклад, у межах таких зон діє повна заборона на використання хімічних пестицидів, що вимагає від комунальних служб переходу на альтернативні методи догляду за насадженнями.

Паралельно громади мають долучатися до європейської «хвилі реновації». Це масштабний виклик, що передбачає енергомодернізацію муніципальних будівель, насамперед шкіл та лікарень. Ресурсна ефективність тут має прямий економічний ефект: кошти, зекономлені на опаленні та електроенергії, місцеві бюджети зможуть переспрямувати на розвиток соціальної сфери або подальші екологічні проєкти [22].

Зниження енергоспоживання логічно веде до наступного кроку - переходу на місцеві відновлювані джерела енергії (ВДЕ). Децентралізована генерація - це не лише внесок у загальнодержавну декарбонізацію, а й питання елементарної енергетичної безпеки громади. Дієвим інструментом тут стають енергетичні кооперативи. Виробництво паливних брикетів із місцевої агробіомаси (соломи, лушпиння, залишків кукурудзи) дозволяє громаді забезпечувати себе доступним паливом, оминаючи комерційних посередників, і формувати локальну економіку замкненого циклу [22].

Ефективність такого підходу вже підтверджена практикою українських громад:

- у Северинівці на Вінниччині соціальну інфраструктуру успішно перевели на котли на деревній трісці та теплові насоси, повністю відмовившись від газу;
- у Веселому на Харківщині комплексна термомодернізація та запуск котелень на солом'яних брикетах забезпечили громаді статус першої енергоефективної ОТГ в Україні;
- у Запорізькій та Тернопільській областях місцеві кооперативи успішно переробляють агровідходи на брикети, заміщуючи для населення дороге вугілля [22].

Проте для досягнення цілей «нульового забруднення» чи не найбільшим викликом залишається інженерія водних об'єктів та управління відходами. На базовому рівні саме ОТГ відповідають за ліквідацію стихійних звалищ і розбудову інфраструктури для роздільного збору сміття. Щодо охорони вод, головним завданням є будівництво або глибока модернізація локальних очисних споруд, щоб повністю виключити скидання сирих стоків. Окрім суто технологічних рішень, критичну роль відіграє проектування прибережних захисних смуг. Вони працюють як природні біофільтри, що затримують змиви агрохімікатів з полів і рятують поверхневі водойми від масової евтрофікації.

У сфері транспорту пріоритетом стає оптимізація мобільності. Замість стимулювання користування приватними авто, громадам варто впроваджувати концепцію Mobility as a Service (MaaS) - об'єднання громадського транспорту,

прокату велосипедів та електросамокатів у єдину цифрову мережу. Перерозподіл міського простору на користь пішохідних і велозон дозволяє реально знизити викиди CO₂ та покращити якість повітря в житлових масивах [22].

Звісно, перехід до таких сталих систем, включно зі змінами в аграрному секторі, потребує комплексного планування. Не всі громади мають однакові стартові фінансові чи технічні можливості, тому європейська політика передбачає розробку індивідуальних територіальних планів. Головне завдання зробити так, щоб технології захисту довкілля стали основою для будь-яких управлінських рішень під час відбудови та розвитку наших громад.

Як саме ці глобальні пріоритети трансформуються у практичні інженерні та управлінські завдання на базовому рівні, систематизовано у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 - Трансформація пріоритетів Зеленого тижня ЄС (2021) у завдання для територіальних громад [52, 22, 46]

Пріоритетний напрямок ЄС	Фокус проблеми (згідно з дискусіями)	Вектори впровадження на місцевому рівні
Збереження біорізноманіття	Надмірне використання хімічних пестицидів, втрата поживних речовин з ґрунтів, забруднення агропластиком.	Впровадження технологій точного землеробства; контроль за утилізацією пластикової тари та агроволокна; стимулювання переходу до органічного фермерства.
Екологічна та соціальна справедливість	Найбільший негативний вплив забруднення (повітря, води, ґрунтів) відчувають вразливі та малозабезпечені верстви населення.	Забезпечення сільських територій доступом до якісної питної води; жорстка заборона спалювання стерні, від якого потерпають місцеві жителі; створення санітарних зон.
Фінансове стимулювання	Необхідність запровадження «зелених» пакетів стимулів для підтримки сталих, екологічно безпечних проєктів.	Залучення грантового фінансування для місцевих фермерів на екомодернізацію; співфінансування з місцевих бюджетів проєктів із рекультивації деградованих земель.

З огляду на це, стратегію Zero Pollution варто сприймати не просто як частину Green Deal, а як інженерну інструкцію для повної модернізації інфраструктури до 2050 року [23]. Огляд теорії підтверджує: ми не зможемо досягти нейтральності лише на папері, потрібні реальні цифрові рішення для моніторингу та впровадження технологій замкненого циклу. Для України, в

контексті повоєнної відбудови, це стає базою екологічної безпеки саме на рівні громад.

Щоб перевірити, як ці принципи працюють на практиці, об'єктом дослідження я обрала Слобожанську територіальну громаду. Це складний індустріально-аграрний вузол Дніпропетровщини, який потребує не загальних гасел, а конкретних технологічних рішень. Тому в наступному розділі я перейду від теорії до аналізу технічного стану довкілля громади, щоб оцінити реальні джерела забруднення та знайти точки для впровадження стратегії «нульового забруднення».

2 ЕКОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ СЛОБОЖАНСЬКОЇ ОТГ

2.1 Характеристика фізико-географічних умов та техногенного навантаження на територію громади

Адміністративно-територіальний устрій Слобожанської селищної громади сформований чотирма старостинськими округами (згідно з рішенням ради від 05.11.2020 № 12 – 1/VIII): Степнянським (с. Степове), Балівським (с. Балівка), Партизанським (с. Партизанське) та Олександрівським (с. Олександрівка і с. Василівка) . Такий просторовий розподіл населених пунктів є базовим для подальшого картування в QGIS та розробки логістики управління відходами на території ОТГ (рис.2.1).

Географічно громада розташована в центральній частині Дніпропетровської області, в межах Придніпровської денудаційної низини. Рельєф місцевості переважно рівнинний, оскільки територія приурочена до надзаплавних терас річок Самара та Кільчень [35]. Проте для екологічного аналізу ключовим фактором є те, що природний ландшафт зазнав глибоких змін. На лесових породах сформувався потужний антропогенний покрив, а в районах колишніх стариць річки Дніпро збереглися місцеві пониження рельєфу [16]. З інженерної точки зору такі геоморфологічні умови суттєво впливають на напрямки поверхневого стоку та створюють зони потенційного накопичення забруднюючих речовин.

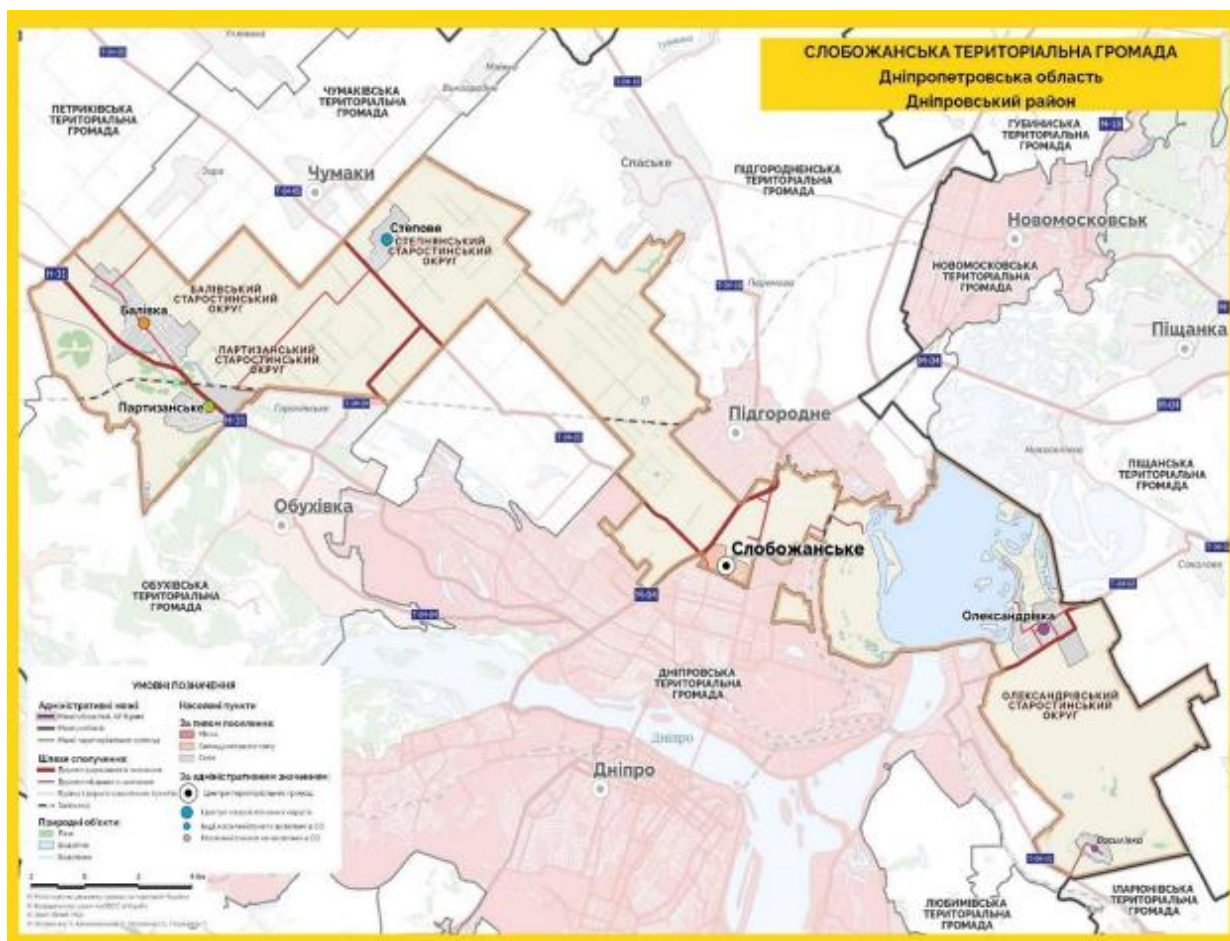


Рисунок 2.1 - Слобожанська територіальна громада [35]

Клімат громади помірно-континентальний, типовий для Степової зони. Літо зазвичай посушливе, зима м'яка [35]. Але для нашого аналізу критичними є не стільки середні показники ($+8,5^{\circ}\text{C}$ та 513 мм опадів на рік - рис. 2.2-2.5), скільки вітровий режим. Переважання східних та південно-східних вітрів (рис. 2.6, 2.7) у теплий період провокує сухості та пилові бурі. Це створює постійний фон забруднення атмосферного повітря зваженими частками.

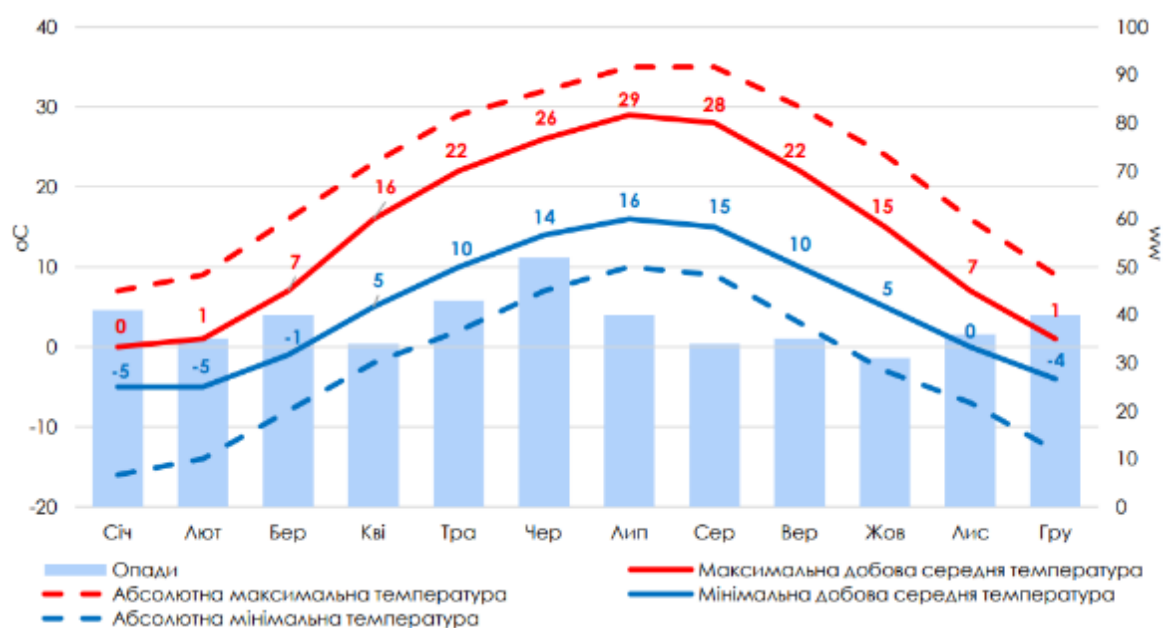


Рисунок 2.2 - Середньомісячні температури і опадів за 2023 рік [55]

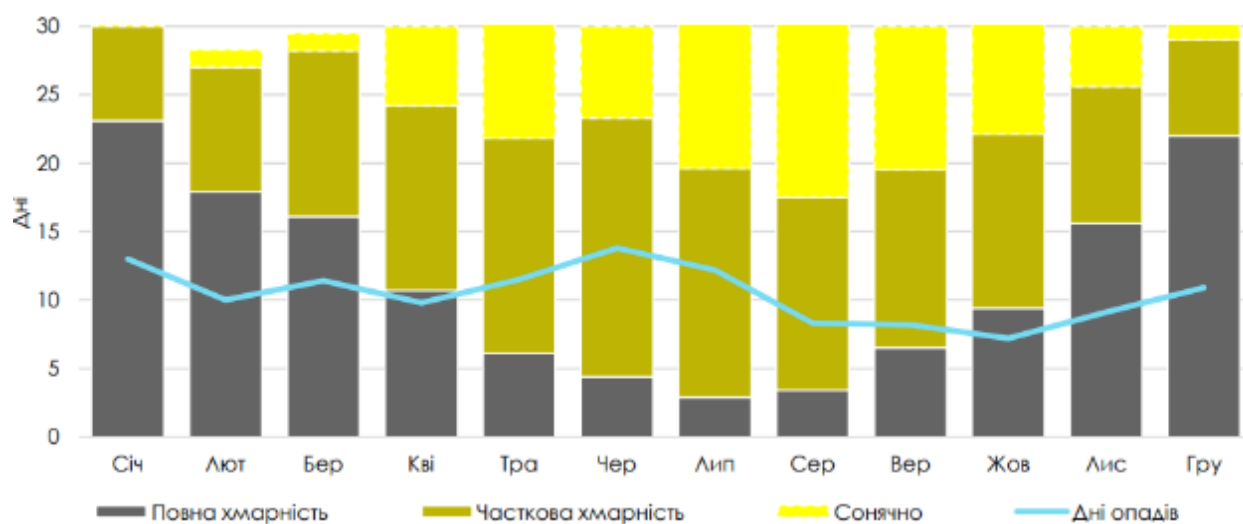


Рисунок 2.3 - Сонячні похмури і дні опадів за рік 2023 рік [55]

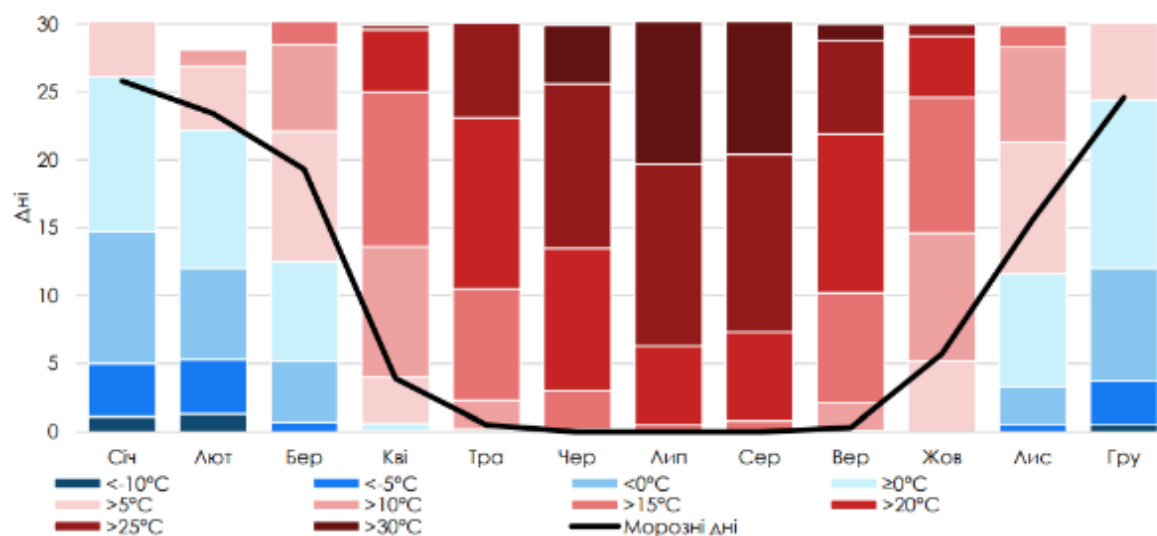
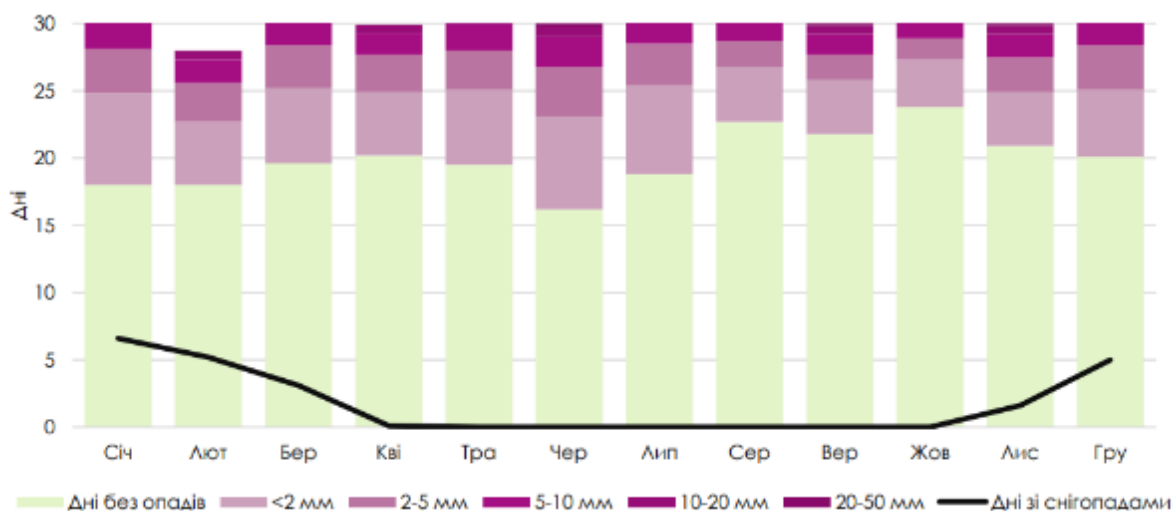
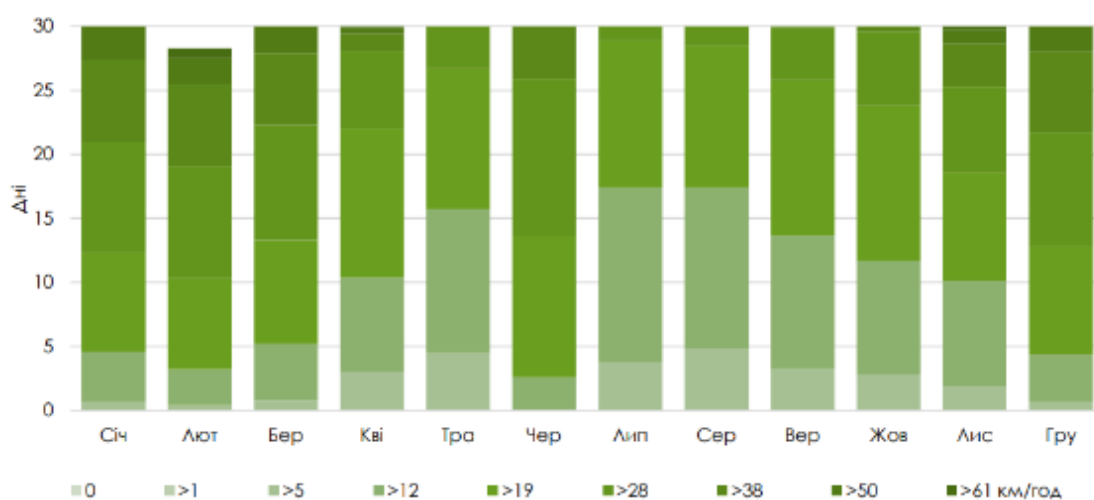


Рисунок 2.4 - Максимальні місячні температури за 2023 рік [55]



Рисуюнок 2.5 - Кількість опадів за 2023 рік [55]



Рисуюнок 2.6 - Швидкість вітру за 2023 рік [55]

Таблиця 2.1 – Напрямки вітру за 2023 рік [55]

Повторюваність напрямків вітру, %								
Період року	Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
Теплий період	14,1	12,8	8,8	9,7	13,7	9,6	12,6	20,6
Холодний період	9,6	12,2	13,6	16,6	15,8	10,6	7,6	14,0
Рік	12,0	13,0	11,0	12,0	15,0	10,0	9,0	18,0

Геологічний розріз території представлений докембрійськими кристалічними породами, перекритими товщею третинних і четвертинних відкладів [55]. Четвертинні червоно-бурі глини слугують природним водоупором для верховодки, що різко обмежує відтік підземних вод. Саме цей геологічний чинник провокує

постійні ризики підтоплення та активізацію зсувних процесів. Ґрунти -чорноземи звичайні на лесових породах в умовах громади зазнають сильної деградації [55].

Техногенне навантаження робить територію Слобожанського вкрай складною для освоєння. Гідрогеологічний режим тут порушений історично: спочатку через каскад водосховищ на Дніпрі, зокрема, після створення Запорізької ГЕС рівень підземних вод піднявся на 4,4 м, а зараз через ущільнення забудови [16]. Напівпідземні паркінги та глибокі інженерні мережі працюють як бар'єри для природного руху підземних стоків. Як наслідок, ґрунтові води часто залягають на критичній позначці 3 метри і менше [35].

Окрім порушеного гідрологічного режиму, територія Слобожанського зазнає інтенсивного техногенного навантаження від транспорту. Селище фактично обмежене великими транзитними коридорами: магістраллю М-30 (колишня М-04), Донецьким шосе та Слобожанським проспектом. Таке розташування генерує постійне акустичне забруднення. Фактичний еквівалентний рівень шуму від автотранспорту тут сягає 77 дБА [35]. Це суттєво порушує санітарні вимоги: згідно з Державними санітарними нормами допустимих рівнів шуму та правилами забудови, вдень рівень звуку на прилеглих територіях не повинен перевищувати 65 дБА [13, 45]. Щоб усунути це понаднормове навантаження, простір громади потребує впровадження інженерних засобів шумозахисту, які мають проєктуватися за розрахунками ДСТУ – Н Б В. 1.1 – 33:2013 [20].

Хімічне забруднення розподілене майже порівну. 50,5% емісій припадає на транспорт, решта на проммайданчики, АЗС та склади. Проте найбільшою інженерною проблемою громади є відсутність очисних споруд зливової каналізації. Весь поверхневий змив з доріг, насичений нафтопродуктами та металами, без жодного очищення потрапляє у водойми.

Отже, попри зручний рівнинний рельєф, громада перебуває під жорстким техногенним пресом. Для реалізації стратегії Zero Pollution це означає, що ми не можемо обмежуватися лише моніторингом, потрібні реальні технологічні рішення: від локальних систем очищення зливостоку до сучасного шумозахисту при плануванні забудови.

2.2 Аналіз стану атмосферного повітря та системи управління відходами

Оцінювати стан атмосферного повітря у Слобожанській громаді ізолювано від Дніпра це помилка. Через щільне межування з індустріальним мегаполісом територія постійно перебуває під впливом транскордонного перенесення викидів. Лише в радіусі трьох кілометрів від меж ОТГ працюють об'єкти з високими ризиками, зокрема Придніпровська ТЕС (1-ша група небезпеки) та завод «Енергоавтоматика» (2-га група) [16]. Вони формують стабільний і важкий фоновий тиск на територію.

Половину всіх викидів (50,5%) генерує інтенсивний транзитний трафік на проспекті Слобожанському та магістралі М-30. Інші 49,5% припадають на місцеві стаціонарні джерела - складські хаби, АЗС, котельні та дрібні виробництва. Згідно з міськими трендами, індекс якості повітря (AQI) у громаді найчастіше просідає через стабільну присутність дрібнодисперсного пилу ($PM_{2.5}$) та регулярне перевищення ГДК по діоксиду азоту класичному маркеру автомобільного забруднення [16].

Але для розробки стратегії Zero Pollution оперувати лише усередненими даними недостатньо. Щоб отримати точний локальний зріз, використовуючи результати інструментальних вимірювань, які фахівці Центру екологічного моніторингу провели у грудні 2025 року пересувною станцією «Sapphire 64». Заміри робилися у кілька етапів (3 та 12 грудня) безпосередньо у контрольних точках селища Слобожанське. Результати першої серії вимірювань (від 03.12.2025 р.) зведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати вимірювання якості атмосферного повітря в смт Слобожанське за 03.12.2025 р. [26]

Параметр	Нормативне значення	Середнє в Т.1 (12:00-12:30) с-ще Слобожанське 48.534440, 35.085985	Середнє в Т.2 (12:35-13:00) с-ще Слобожанське 48.535510, 35.078133
Оксид вуглецю (CO), мкг/м ³	5000	742,8	569,4
Діоксид азоту (NO ₂), мкг/м ³	200	40,3	29,5
Озон (O ₃), мкг/м ³	160	55,9	39,8
Діоксид сірки (SO ₂), мкг/м ³	500	0	0
Формальдегід (CH ₂ O), мкг/м ³	35	10,3	0
Дрібнодисперсний пил (ТЧ10), мкг/м ³	50	24,1	15,2
Дрібнодисперсний пил (ТЧ2.5), мкг/м ³	25	13,3	7,5
γ –Радіація, мкЗв/год	-	0,10	0,12
Температура, °С	-	3,8	4,2
Атмосферний тиск, Ра	-	102257,9	102257,9

Результати другого етапу вимірювань, проведених 12.12.2025 р. у трьох інших локаціях селища, відображено у таблиці 2.3.

Аналізуючи дані з таблиць 2.1 та 2.2, можна побачити, що в момент замірів прямих перевищень ГДК не зафіксовано. Радіаційний фон також тримається у межах природної норми (0,09 - 0,12 мкЗв/год). Максимальні значення дрібнодисперсного пилу ТЧ2.5 сягали 18,9 мкг/м³ (при тому, що середньорічна норма становить 25 мкг/м³), а діоксид азоту стабільно фіксується приладами. Це означає, що повітряний басейн громади інколи може бути «перевантажений». Такий фон є результатом кумулятивного впливу: транзитні фури, місцеві котельні та транскордонний перенос викидів від сусіднього Дніпра формують спільний токсичний смог, який особливо відчутний узимку.

Таблиця 2.3 - Результати вимірювання якості атмосферного повітря в смт Слобожанське за 12.12.2025 р. [27]

Параметр	Нормативне значення	Середнє в Т.1 (11:00-11:30) с-ще Слобожанське 48.531661, 35.080348	Середнє в Т.2 (11:40-12:10) с-ще Слобожанське 48.537126, 35.078511	Середнє в Т.3 (12:20-12:50) с-ще Слобожанське 48.534480, 35.085914
Оксид вуглецю (CO), мкг/м ³	5000	542,8	0	661,3
Діоксид азоту (NO ₂), мкг/м ³	200	13,4	51,7	45,8
Озон (O ₃), мкг/м ³	160	35,9	39,8	0
Діоксид сірки (SO ₂), мкг/м ³	500	0	0	0
Формальдегід (CH ₂ O), мкг/м ³	35	8,8	11,2	3,8
Дрібнодисперсний пил (ТЧ10), мкг/м ³	50	23,8	18,2	34,1
Дрібнодисперсний пил (ТЧ2.5), мкг/м ³	25	14,3	10,5	18,9
γ –Радіація, мкЗв/год	-	0,10	0,11	0,09
Температура, °C	-	5,5	5,7	5,6
Атмосферний тиск, Ра	-	100658,1	100658,1	100658,1

Ще одна гостра проблема громади, яка повністю суперечить концепції Zero Pollution, це управління побутовими відходами. На папері, згідно з місцевим планом, централізованим вивезенням сміття охоплено 100% населення. Але цифри говорять про інше: фактично збирається лише 35 тис. куб. м на рік, що становить 63,5% від розрахункової норми. Виникає логічне запитання: куди діваються ще 36,5% відходів [35]. На практиці це означає, що понад третина всього сміття громади осідає в ярах, лісосмугах та перетворюється на стихійні звалища через відсутність реальних договорів з мешканцями приватного сектору.

Сама інфраструктура збору також потребує докорінної модернізації. У громаді встановлено 153 контейнерні майданчики, проте роздільний збір працює радше як виняток - лише 19,6% локацій мають баки для базового сортування (пластик, скло, папір) [35]. Окрім цього, повністю відсутня ланка збору

небезпечних побутових відходів (батареєнок, ламп) і немає жодної інфраструктури для компостування органіки, хоча саме вона складає значну частку відходів у сільській місцевості.

2.3 Оцінка стану водних ресурсів та ефективності роботи очисних споруд селища

Річка Дніпро як джерело водозабору вкрай нестабільна. Моніторинг показує, що у 30 - 32% випадків вода не відповідає стандартам за хімічним складом. Епізодичні викиди аміаку та формальдегіду перевищують ГДК утричі, а важких металів (цинку та міді) - удвічі. Наявність нафтопродуктів та фенолів створює колосальне технологічне навантаження на очисні споруди міста, що прямо впливає на ризики для нашої громади [16].

Окрім р.Дніпро, на екологічний стан ОТГ суттєво впливає р.Самара. Щоб оцінити реальну картину, використовували результати польових досліджень за грудень 2025 року. Заміри проводилися мультипараметровим аналізатором Hanna HI98194 безпосередньо на двох критичних точках: у самому Слобожанському (12.12.2025) та біля села Олександрівка (24.12.2025). Отримані інструментальні дані, що характеризують стан р. Самари за координатами т.1 - 48.5518566, 35.1695542; т.2 - 48.5499450, 35.1681534; т.3 - 48.5508343, 35.1687641; поблизу с. Олександрівка, координати: т.1 - 48.4975493, 35.1812646; т.2 - 48.5053048, 35.1889122; т.3 - 48.5213642, 35.2176079, наведено у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Результати дослідження якості води річки Самара в межах селища Слобожанське (грудень 2025 р.) [24, 25]

Параметр	Граничне значення*	Середнє значення (сmt. Слобожанське, 12.12)	Середнє значення (с. Олександрівка, 24.12)
Водневий показник (pH)	6,5 - 8,5	8,38	8,60
Водневий показник (pH), mV	-	-72,4	-91,7
Окислювально-відновний потенціал, mV	-	153,2	189,0
Розчинений кисень (O ₂), мг/л	> 4,0	4,31	3,07
Відсоток насичення киснем (%DO), %	-	55,1	57,6
Мінералізація, мг/л	1000	665	264
Електропровідність, μ S/cm	-	1317	566
Температура, °C	-	5,11	3,49
Солоність, PSU	-	0,66	0,45
Щільність (σ)	-	0,1	0,08
Питомий опір води, M Ω · cm	-	0,001	0,0022
Атмосферний тиск, psi	-	14,74	14,694
Глибина, м	-	0,3	0,3

Дані інструментальних замірів чітко показують неоднорідність гідрохімічного стану р. Самари. Якщо біля самого селища Слобожанського вода відповідає санітарним нормам, то нижче за течією, в районі с. Олександрівки, ситуація різко погіршується. Прилади зафіксували лужну реакцію (pH 8,60 при нормі до 8,5) та критичне падіння розчиненого кисню - до 3,07 мг/л (за норми понад 4,0 мг/л). Такий дефіцит кисню означає, що водойма втрачає здатність до самоочищення, що становить пряму загрозу для місцевої гідробіоти.

2.4 Ідентифікація основних екологічних ризиків для населення громади

Специфіка Слобожанської громади полягає в тому, що вона є найближчим передмістям великого індустріального центру. Її екосистема потерпає не лише від внутрішніх проблем, а й від потужного зовнішнього тиску. Щоб впровадити тут європейську стратегію Zero Pollution, необхідно чітко розставити пріоритети екологічних ризиків та відмовитися від застарілих підходів.

Найбільш відчутним ризиком для здоров'я мешканців є якість повітря. Понад половину локального забруднення (50,5%) дає транзитний автотранспорт на М-30 та проспекті Слобожанському, а решту додає транскордонне перенесення викидів від промислових гігантів Дніпра, зокрема Придніпровської ТЕС. Розрахунки СЕО підтверджують, що найбільш небезпечним забруднювачем є діоксид азоту (коефіцієнт небезпеки $HQ = 1,525$). У комбінації з дрібнодисперсним пилом це створює критичне навантаження на дихальну систему. Медична статистика лише підтверджує ці інженерні побоювання: хвороби органів дихання стабільно тримають перше місце, охоплюючи 29% випадків у дорослих і рекордні 70% у дітей. Також через тривалий вплив вихлопних газів фіксується зростання серцево-судинних патологій.

Ці ж транспортні коридори генерують потужне акустичне забруднення. Хронічний вплив такого шуму провокує розлади сну, гіпертензію та виснаження нервової системи у мешканців прилеглих будинків.

Основним гідрогеологічним ризиком залишається критично високий рівень ґрунтових вод, близько 3 метрів від поверхні. В умовах слабого природного дренажу та активної забудови це створює постійну загрозу підтоплень і локального просідання ґрунтів.

Геологічна вразливість громади підсилюється провальною системою водовідведення. Повна відсутність очисних споруд зливової каналізації призводить до того, що весь поверхневий злив з доріг, насичений нафтопродуктами та мікропластиком від шин, потрапляє у водойми без жодного очищення. Водночас

використання вигрібних ям у приватному секторі при такому високому рівні ґрунтових вод створює пряму загрозу бактеріологічного забруднення водоносних горизонтів.

На основі проведеного аналізу систематизовано ці загрози у матриці пріоритетних екологічних ризиків (табл. 2.5). Саме ці показники стануть основою для розробки конкретних технологічних рішень у наступному розділі.

Таблиця 2.5 - Матриця пріоритетних екологічних ризиків Слобожанської ТГ (за даними СЕО та моніторингу)

Сфера довкілля	Джерело ризику	Підтверджений показник	Наслідки для населення/довкілля	Рівень загрози
Атмосферне повітря	транзитний автотранспорт (50,5% емісій) та ПрТЕС	коефіцієнт небезпеки діоксиду азоту ($HQ\ NO_2$) = 1,525; наявність ТЧ2.5	хвороби органів дихання: 29% у дорослих, 70% у дітей	високий
Акустичне середовище	траса М-04, просп. Слобожанський	рівень шуму до 77 дБА (при нормі 65 дБА)	зона дискомфорту до 90 м; розлади сну, гіпертензія	високий
Гідросфера (поверхневі води)	відсутність очисних споруд зливової каналізації	перевищення ГДК у 4-7разів; дефіцит кисню 3,07 мг/л (р. Самара)	забруднення нафтопродуктами, погіршення якості води	значний
Геологічне середовище	порушення гідрологічного режиму водосховищами	ґрунтові води $\leq$ 3 м (над червоно-бурими глинами)	підтоплення, заболочування, бактеріологічне забруднення	значний
Санітарне очищення (ТПВ)	неповне охоплення збором, відсутність сортування	36,5% ТПВ не збирається; 19,6% майданчиків із роздільним збором	стихійні звалища, забруднення ґрунтів токсичним фільтратом	помірний

Ще одним критичним викликом для ґрунтів і підземних вод громади є застаріла система поводження з відходами. Цифри вказують на серйозний розрив: при формальному 100-відсотковому охопленні послугами, реально збирається лише 63,5% від розрахункового обсягу сміття. Це означає, що понад третина всіх відходів громади осідає у лісосмугах та на пустирях. Через високе залягання ґрунтових вод токсичний фільтрат із цих звалищ практично безперешкодно отруює водоносні горизонти.

Отже, екологічна ситуація в Слобожанському - це результат багаторічного антропогенного пресу. Найбільшу небезпеку сьогодні становлять неконтрольовані транспортні потоки (шум, запиленість), а також критично застарілі підходи до управління стічними водами й відходами. Вирішення цих проблем вимагає переходу від простої фіксації збитків до впровадження новітніх інженерних рішень, які дозволять громаді вийти на шлях сталого розвитку.

3 РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ ЗЕЛЕНОГО КУРСУ

3.1 Модернізація системи поводження з твердими побутовими відходами через впровадження технологій замкненого циклу

Для ефективного впровадження стратегії «Zero Pollution» у Слобожанській територіальній громаді першочерговим завданням є просторова та технологічна оптимізація інфраструктури поводження з відходами. З огляду на існуючу мережу збору ТПВ, доцільним є проведення комплексного ГІС-аналізу для моделювання перспективного розміщення пунктів роздільного збору та створення логістично обґрунтованої системи поводження з відходами.

Враховуючи гідрогеологічні особливості території громади, зокрема високий рівень природного залягання ґрунтових вод ≤ 3 м на надзаплавних терасах р. Самара та р. Кільчень, впровадження підземних систем збору сміття є технічно ускладненим та несе ризики підтоплення конструкцій. Водночас аналіз існуючої інфраструктури в нових житлових масивах, зокрема, ЖК «Дніпровська Брама 2» демонструє наявність відокремлених закритих павільйонів з індивідуальним контрольованим доступом для мешканців. Для таких локацій пропонується рішення щодо їх модернізації та переобладнання у повноцінні смарт-екопункти.

Проектне рішення передбачає встановлення всередині існуючих павільйонів ергономічних ємностей для багатofракційного роздільного збору, окремі бокси для пластику, паперу, скла та змішаних відходів, з відповідним кольоровим маркуванням. Такий підхід трансформує існуючі локальні практики, зокрема, ручне досортування у стандартизований безпечний процес, унеможлиблює доступ до відходів безпритульних тварин, запобігає розповсюдженню запахів та розвіюванню сміття (рис.3.1). Для районів старої забудови пропонується зведення аналогічних модульних наземних павільйонів закритого типу.



Рисунок 3.1 - Облаштування місця розподілу сміття [57, 60]

Стратегічним кроком просторового розвитку є створення єдиного Центру управління відходами (Waste Management Hub), який включатиме технологічну схему глибокого досортування зібраної вторинної сировини, її пресування та відокремлену зону безпечного збору небезпечних побутових відходів, батарейки, люмінесцентні лампи.

За результатами просторового аналізу, найоптимальнішим варіантом розміщення хабу визначено ділянку в межах існуючої індустріально-складської зони поблизу транзитних автомагістралей, траси М-30. Такий логістичний підхід дозволяє спрямувати рух великогабаритної комунальної спецтехніки та вантажівок кінцевих переробників в обхід житлових вулиць селища. Це запобігає руйнуванню дорожнього покриття та суттєво знижує рівень акустичного навантаження і локальних емісій (парникових газів, оксидів азоту) в житлових зонах. Для безбар'єрного залучення населення до роздільного збору, враховуючи віддаленість хабу, пропонується впровадити роботу мобільного «Еко-буса», який за графіком збиратиме небезпечні та відсортовані відходи територією всієї громади.

При проектуванні Центру управління відходами ключовим обмежувальним фактором є дотримання нормативних санітарно-захисних зон. Відповідно до вимог ДСП 173 – 96[13], об'єкти поводження з відходами класифікуються за рівнем санітарної небезпеки. Оскільки запропонований комплекс поєднує процеси сортування та біотермічного компостування, він оцінюється за найбільш суворим критерієм II клас небезпеки. Відтак, мінімальна розрахункова санітарно-захисна

зона для хабу повинна становити не менше 500 метрів. Саме ця нормативна вимога безальтернативно підтверджує доцільність винесення об'єкта за межі щільної житлової забудови в індустріальну зону.

Окремим технологічним напрямком в межах Центру є впровадження системи переробки органічної фракції. Пропонується проектування майданчика для відкритого аеробного компостування в буртах (Windrow composting) муніципальних зелених відходів: опале листя, скошена трава, подрібнена деревина, з паркових територій громади (рис.3.2). Зважаючи на гідрогеологічні умови, майданчик повинен бути облаштований на водонепроникній основі, щільне асфальтобетонне покриття або геомембрана, з ухилом до дренажної мережі.



Рисунок 3.2 - Структурно-логічна схема процесу відкритого компостування муніципальних відходів: від підготовки до отримання готового продукту [64]

Система збиратиме компостний фільтрат у накопичувальний резервуар для подальшого зволоження буртів, забезпечуючи замкнений безстічний цикл. Для підтримання термофільної фази 55 - 65°C та запобігання анаеробному гниттю передбачається регулярне перемішування мас компостним аератором.

У результаті 3 - 4 -місячного циклу аеробного компостування зелених відходів громада отримуватиме високоякісне біодобриво для відновлення антропогенно змінених ґрунтів та підживлення муніципальних насаджень. Водночас для максимального розширення моделі циркулярної економіки та досягнення енергетичної автономії доцільно передбачити відокремлене впровадження біогазової установки для анаеробної переробки інших видів органіки.

Аеробне компостування у буртах є високоефективним для садово-паркових відходів (опалого листя, гілля, скошеної трави). Проте воно не вирішує проблеми безпечної утилізації вологої фракції муніципальних відходів (харчових залишків), сільськогосподарської біомаси, а також надлишкового активного мулу, що утворюватиметься на проєктованих локальних очисних спорудах. Саме ці висококонцентровані субстрати є ідеальною сировиною для анаеробного зброджування.

Технологічний процес біогазової станції базується на розкладанні біомаси метаногенними бактеріями в герметичних реакторах (метантенках) без доступу кисню. Процес протікає за сталої мезофільної (30 - 40°C) або термофільної (50 - 55°C) температури. Впровадження цього інженерного рішення сформує два потужні ресурсні потоки. Енергетичний потік (виробництво біогазу) під час зброджування генерується газ із високим вмістом метану (50 - 70%). Він спрямовується на когенераційну установку (КГУ) для одночасного виробництва електричної та теплової енергії. Згенерована електроенергія здатна повністю покрити власні потреби Центру управління відходами - живлення сортувальних ліній, потужних промислових компакторів, освітлення та систем вентиляції з біофільтрами. Залишкова тепла енергія направляється на підтримання робочої температури метантенків у зимовий період та опалення адміністративно-побутових приміщень. Завдяки цьому підприємство замикає свій енергетичний баланс, уникає споживання викопних енергоносіїв і стає повністю автономним.

Побічним продуктом анаеробної переробки є дигестат - незаражена рідко-тверда органічна маса, повністю позбавлена насіння бур'янів та патогенної мікрофлори. На відміну від класичного компосту, дигестат містить ключові біогенні

елементи (азот, фосфор і калій) у легкодоступній мінералізованій формі, що робить його добривом швидкої дії. Після проходження через сепаратор рідка фракція може використовуватись фермерськими господарствами громади для точного підживлення угідь, а тверда, як додатковий ґрунтовий меліорант, що працюватиме в синергії з аеробним компостом.

Інтеграція біогазової установки технологічно доповнює майданчик компостування та трансформує Центр управління відходами на повноцінний енергетично-ресурсний хаб. Таке інженерне рішення ліквідує ризики гниття харчових відходів, унеможлиблює утворення токсичного фільтрату і неконтрольованої емісії звалищного метану, стаючи еталонним інструментом локальної декарбонізації в рамках Європейського зеленого курсу.

Для технологічного обґрунтування параметрів проєктного Центру управління відходами здійснено орієнтовний розрахунок матеріального балансу генерації ТПВ у селищі Слобожанське.

В основу розрахунку покладено усереднену кількість населення громади, орієнтовно 15 000 осіб, та середню норму накопичення відходів для населених пунктів змішаної забудови, яка згідно з ДБН Б. 2.2 – 12: 2019 (табл.11.2) становить $q = 300$ кг/рік на одного мешканця [9].

Загальний річний обсяг утворення ТПВ $M_{\text{заг}}$ розраховується за формулою:

$$M_{\text{заг}} = N \cdot q \cdot 10^{-3} = 15000 \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 4500 \text{ т/рік}$$

де N - кількість населення (15 000 осіб);

q - питома норма утворення ТПВ (300 кг/рік).

Подальші розрахунки параметрів системи роздільного збирання виконано відповідно до «Методики роздільного збирання побутових відходів», затвердженої Наказом Мінінфраструктури від 13.12.2023 №1130 [47] та з урахуванням Правил визначення норм надання послуг [49]. Згідно з вимогами Методики, розрахунок маси кожного виду ресурсоцінних відходів M_i у загальному потоці проводиться за формулою (1):

$$M_i = \frac{d}{100} \cdot M_{\text{заг}},$$

де d - вміст у відсотках відповідної фракції у загальній масі відходів [47].

Для розрахунку потреби в контейнерному парку громади (за контейнерною системою) використано формулу (3) з Методики:

$$N_b = \frac{Q_A \cdot t \cdot K_1 \cdot K_2}{C \cdot K_3}$$

де N_b - необхідна кількість контейнерів, шт;

Q_A - добове утворення відходів певної фракції, $\text{м}^3/\text{добу}$ (визначається як добова маса, поділена на середню щільність фракції);

t - періодичність перевезення, діб;

$K_1 = 1,4$ - добовий коефіцієнт нерівномірності утворення;

$K_2 = 1,05$ - коефіцієнт резерву (на випадок ремонту);

C - місткість стандартного євроконтейнера ($C = 1,1 \text{ м}^3$);

$K_3 = 0,9$ - коефіцієнт заповнення [47].

Для проєкту обрано адаптовану технологічну схему, яка передбачає збір ресурсоцінних відходів (блакитні контейнери), біовідходів (коричневі контейнери) та змішаних відходів (сірі контейнери). Небезпечні відходи (червоні бокси) збираються окремо через мобільний «Еко-бус» [47].

З огляду на морфологічний склад, усереднену щільність фракцій (органіка - 350 кг/м^3 , змішані - 200 кг/м^3 , вторинна сировина - 150 кг/м^3) та різну періодичність вивезення (органіка і змішані - щоденно, $t = 1$; вторинна сировина - раз на 3 дні, $t = 3$), розраховано необхідну кількість контейнерів для Слобожанської громади. Результати комплексного розрахунку матеріального балансу та інфраструктури зведено у табл.3.1.

Таблиця 3.1 - Прогнозний матеріальний баланс та розрахунок контейнерного парку (згідно з Наказом № 1130 [47])

Фракція відходів	Частка (d), %	Прогнозний обсяг (M_i), т/рік	Добовий об'єм (QA), м ³ /добу	Періодичність вивезення (t), діб	Потреба в контейнерах (Nb, 1.1 м ³), шт.	Напрямок подальшого поводження у Центрі
Біовідходи (органічна фракція)	40	1800	14,09	1	21	Аеробне компостування (Windrow)
Ресурсоцінні відходи (ПЕТ, папір, скло, метал)	30	1350	24,65	3	110	Глибоке сортування, пресування, реалізація переробникам
Змішані побутові відходи (баласт)	29	1305	17,87	1	27	Пресування для зменшення об'єму
Небезпечні відходи	1	45	-	-	Спецбокси	Тимчасове зберігання, передача ліцензіатам
РАЗОМ	100	4500	56,61	-	158	-

Для кращого візуального сприйняття розрахункових даних щодо структури відходів, які проходитимуть через сортувальну лінію та майданчик компостування, побудовано кругову діаграму. Прогнозний перерозподіл цих матеріальних потоків графічно відображено на рис. 3.3.

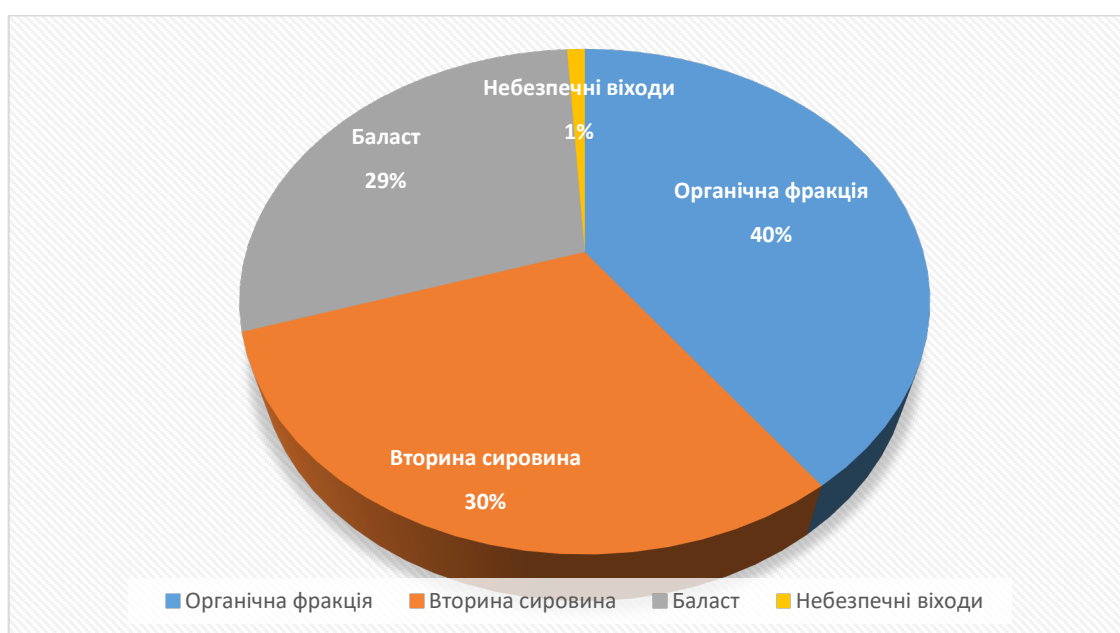


Рисунок 3.3 - Прогнозний перерозподіл потоків ТПВ

Як видно з розрахунку, впровадження системи глибокого сортування та компостування дозволяє зменшити обсяг відходів, що підлягають остаточному захороненню на полігоні, на 71% (з 4500 до 1305 т/рік). Це є вагомим кроком, який наближає громаду до виконання цілей стратегії «Zero Pollution», мінімізуючи поточний екологічний вплив.

Окремо розраховано мінімальну площу майданчика для компостування [9]. Зважаючи на річний обсяг органіки 1800 т, її середню насипну щільність 0,5 т/м³ та 3-місячний цикл дозрівання буртів, одночасне навантаження на майданчик становитиме близько 900 м³ маси. За нормативної висоти бурту 2 метри та з урахуванням 40% додаткової площі для маневрування аератора (техніки), мінімальна корисна площа водонепроникної основи для компостування $S_{\text{комп}}$ складатиме:

$$S_{\text{комп}} = \frac{V \cdot k}{h} = \frac{900 \cdot 1,4}{2} = 630 \text{ м}^2$$

де : V - річний обсяг органічних відходів, що надходять (м³);

k - коефіцієнт, що враховує площу для проїздів та обслуговування (1,2-1,4);

h - середня висота формування компостної купи чи бурта.

Коефіцієнт k (1,2 - 1,4) - ДБН В.2.2 – 12:2019 [9], де прописані норми проїздів для спецтехніки (сміттєвозів, навантажувачів). Оскільки компостні бурти не можуть стояти впритул один до одного (потрібен доступ для перекидання/аерації), площа збільшується на 20 - 40%. Висота h обмежена ДержСанПіН 2.2.7.029 – 99 (Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами) [14]. Для процесів, де відбувається виділення тепла та газів (компостування), висота бурта обмежена 1,5 - 2 метрами для запобігання самозайманню та забезпечення доступу кисню.

Отже, проєктом передбачається облаштування асфальтобетонного майданчика для компостування площею не менше 0,06 га, з інтегрованою системою збору фільтрату. Картосхема просторового розміщення проєктного Центру управління відходами та меж санітарно-захисної зони спроектовані в QGIS наведена на рис.3.4.



Рисунок 3.4 - Картосхема Центру управління відходами

За результатами просторового моделювання в геоінформаційній системі було підібрано оптимальну земельну ділянку площею 0,9 га (8900 м²). Загальна площа проєктованого Хабу дозволяє з дотриманням усіх будівельних, логістичних та екологічних норм розмістити повний комплекс інфраструктури. Зокрема, розрахунковий майданчик для аеробного компостування (0,06 га) займатиме лише близько 7% від загальної площі об'єкта, залишаючи достатньо простору для ангара лінії глибокого сортування, спецбоксів для зберігання небезпечних відходів, вагового комплексу та зони безпечного маневрування великогабаритної спецтехніки.

Особливу увагу під час просторового аналізу було приділено дотриманню санітарно-захисної зони. У межі СЗЗ потрапляють виключно об'єкти, сусідство з якими допускається чинними санітарними правилами: автомагістраль М-30, сільськогосподарські угіддя та індустріально-складські приміщення.

Наявність значного резерву території проєктної ділянки дозволяє закласти до проєкту облаштування щільного зеленого захисного екрана з деревних насаджень по всьому периметру Хабу. Це архітектурно-екологічне рішення слугуватиме

додатковим природним бар'єром для уловлювання дрібнодисперсного пилу, біоаерозолів та мінімізації шумового впливу від роботи пресувального обладнання.

Логічним завершенням технологічного ланцюга поводження з органічною фракцією є цільове використання отриманого високоякісного біодобрива для потреб благоустрою Слобожанської територіальної громади. Згенерований компост слугуватиме базовим матеріалом для відновлення антропогенно змінених ґрунтів селища, підживлення існуючих паркових зон, газонів, скверів та створення нових зелених насаджень.

Регулярне внесення такого муніципального біодобрива виконує не лише функцію живлення рослин, а й діє як потужний природний меліорант. За усередненими агрохімічними показниками, зрілий компост із зелених відходів характеризується високим вмістом органічної речовини (40 - 60% на суху масу) та містить ключові біогенні макроелементи: загальний азот (N) - 1,0 - 2,0%, фосфор (P_2O_5) - 0,5 - 1,5%, та калій (K_2O) - 1,0 - 2,0% [53]. Крім того, завдяки оптимальному співвідношенню вуглецю до азоту (C:N на рівні 15:1 – 20:1), нейтральному показнику рН (7,0 - 8,0) та наявності кальцію і магнію, такий компост ефективно розкислює деградовані урбаноземи селища і відновлює їхню вологоутримуючу здатність [37].

Прямий економічний ефект від цього заходу полягає у суттєвому скороченні витрат місцевого бюджету, оскільки комунальні підприємства громади зможуть повністю відмовитися від регулярної закупівлі комерційних мінеральних добрив. Таким чином, цикл «зелені відходи громади – глибоке компостування – муніципальний благоустрій» стає еталонним інструментом локальної циркулярної економіки.

3.2 Проєктування локальних систем очищення стічних вод та впровадження природоорієнтованих рішень (Nature – Based Solutions) для управління поверхневим стоком

В умовах посилення антропогенного навантаження на екосистеми та наближеності смт Слобожанське до індустріального центру, традиційні підходи до водовідведення та очищення вод потребують комплексної модернізації. Відповідно до цілей Європейського зеленого курсу, зокрема, стратегії Zero Pollution, управління водними ресурсами громади має базуватися на принципах замкненого циклу та мінімізації скидів неочищених вод у басейн річки Самара, що відповідає нормам Водного кодексу України [6]. Для досягнення цих показників пропонується розділення стратегій управління господарсько-побутовими та поверхневими (зливовими) стічними водами.

Проблема водовідведення також упирається у відсутність власної інфраструктури. Громада не має очисних споруд для повного циклу обробки господарсько-побутових стоків [35]. Натомість мережа розбита на дві гілки: частина стоків через каналізаційні насосні станції (КНС) перекачується на Лівобережні очисні споруди Дніпра, інша - через Підгороднє транспортується аж до Новомосковська [35]. Така залежність від сусідніх міст створює постійні технологічні ризики для ОТГ у разі будь-яких аварій на транзитних магістралях.

Проте найбільший технологічний недолік, який повністю суперечить концепції Zero Pollution, це управління поверхневим дощовим стоком. Громада має величезну мережу зливової каналізації (близько 528 км [35]), але в місцях випуску стоків очисні споруди повністю відсутні.

Для Слобожанського раціонально розвивати децентралізовані технології захисту довкілля - біодренажні системи. Візуально вони виглядають як звичайні міські клумби, але їхнім «робочим органом» є спеціально підібрані ґрунтосуміші з високою пропускнуою здатністю та дикорослі посухостійкі рослини. Цей природний біофільтр перехоплює, очищає та утримує дощовий стік безпосередньо у житлових

кварталах. Таке рішення дозволить різко знизити обсяг неочищених хімічних зливів у водойми та ґрунтові горизонти. Водночас для районів нової забудови необхідно закладати облаштування повністю закритих систем зливової каналізації ще на етапі їх проєктування.

Для досягнення цих показників пропонується розділення стратегій управління господарсько-побутовими та поверхневими (злизовими) стічними водами житлового масиву Молодіжний, де приватний сектор не має централізованої системи водовідведення.

Проєктовані очисні споруди включають такі основні елементи: приймальна камера - вирівнювання потоку та спрямування стічних вод; піскоуловлювачі - видалення мінеральних домішок; первинні відстійники - осадження завислих речовин; аеротенки - біологічне очищення за участю активного мулу (рис.3.5).

Таке технологічне рішення забезпечує надійне очищення стічних вод у відповідності з екологічними та санітарними вимогами, а також характеризується простотою експлуатації та економічною ефективністю.

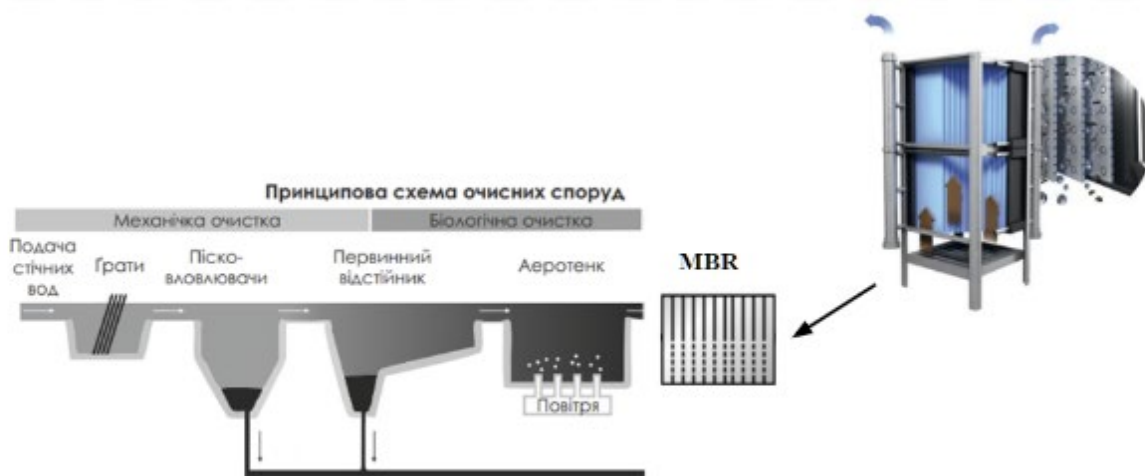


Рисунок 3.5 - Принципова схема очисних споруд

Комплекс очисних споруд включає всі основні елементи, необхідні для повного очищення господарсько-побутових стічних вод. Взаємозв'язок між окремими спорудами та послідовність технологічних процесів зображено на рисунку 3.5, що демонструє логіку руху стоків від моменту надходження до випуску очищеної води у водоприймач.

3.2.1 Розрахунок споруд механічного очищення господарсько-побутових стічних вод

Для прийняття стічних вод з напірних трубопроводів перед станцією очищення влаштовують приймальну камеру, призначену для гасіння напору.

Розміри приймальної камери визначають у залежності від максимального годинного припливу стічних вод на станцію очищення.



Рисунок 3.6 - Приймальна камера

Відповідно до ДБН «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди» (В. 2.5 – 75) [12], проєктну приймальну камеру розраховано на максимальну годинну витрату, прийняту з урахуванням пікового коефіцієнта $K = 2,0$.

При середньогодинній витраті $Q = 122,2 \text{ м}^3/\text{год}$ та $K = 2,0$, максимальна годинна витрата становить $Q_{\text{max}} = 244,33 \text{ м}^3/\text{год}$.

Для забезпечення гасіння напору за час $t = 10 \text{ хв}$ розрахунковий об'єм камери становить $40,7 \text{ м}^3$

Прийнявши проєктну глибину $H=1,8 \text{ м}$, орієнтовні планові розміри камери становлять: ширина $3,4 \text{ м}$; довжина $6,7 \text{ м}$; площа дна: $22,6 \text{ м}^2$; корисний об'єм: $40,7 \text{ м}^3$.

Піскоуловлювачі призначені для затримання важких мінеральних домішок (головним чином піску), що містяться у стічних водах. Площу живого перерізу, w, m^2 , піскоуловлювача (або його відділення) визначаємо за формулою в Додатку Б.1.

Для розрахунку спершу необхідно визначити максимальну витрату стічних вод. Норма водопостачання $200 \text{ л/добу} = 0.2 \text{ м}^3/\text{добу}$ на 1 мешканця за нормами ДБН В.2.5 – 75:2013 [12, 33]

$$Q_{\text{доб}} = 14660 \cdot 0,2 = 2932 \text{ м}^3/\text{добу}$$

$$Q_{\text{год}} = 2932 \cdot 24 = 122.2 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$q_w = \frac{2932}{86400} = 0.0339 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площа живого перерізу становить :

$$\omega = \frac{0.0339}{0,3} = 0,113 \text{ м}^2$$

Запроєктовано 2 робочих та 2 резервних піскоуловлювача.

Довжину робочої частини піскоуловлювача, $L_s \text{ м}$, визначають за формулою з Додатку Б.2.

$$L_s = 1000 \cdot 1,7 \cdot 0,6 \cdot 0,3 / 18,7 = 16,4 \text{ м}$$

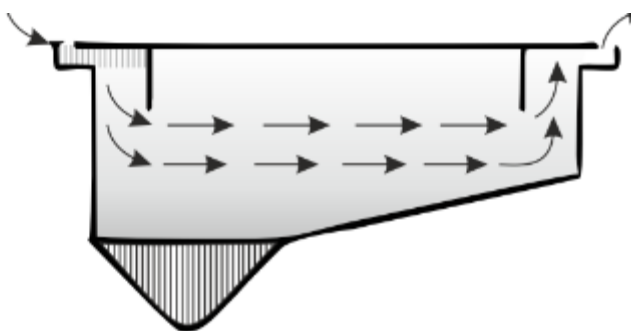


Рисунок 3.7 - Горизонтальний піскоуловлювач з прямолінійним рухом води [7]

Як видно з рисунка 3.7, горизонтальний піскоуловлювач забезпечує уповільнення стоку та осадження важких мінеральних домішок на дно камери. Розрахунки показують, що при максимальній витраті стічних вод.

$q_w = 0,0339 \text{ м}^3/\text{с}$ площа живого перерізу одного робочого піскоуловлювача становить $0,113 \text{ м}^2$, а довжина робочої частини - $16,4 \text{ м}$.

Отже, первинний відстійник забезпечує ефективне видалення зважених речовин із стічних вод та часткове анаеробне збродження осаду. Вхідні стоки надходять у верхній ярус відстійника, де відбувається осадження важких часток та підйом спливаючих домішок до поверхні. Запропонована конструкція горизонтального відстійника з прямолінійним рухом води забезпечує необхідну тривалість протоки та ефективне освітлення води перед наступними етапами очищення.

3.2.2 Технологія біологічного очищення: розрахунок аеротенків та мембранних біореакторів (MBR)

Період аерації в аеротенках, t_{atm} , год, що працюють за принципом змішувачів, визначається за формулою з Додатку Б.4

$$\rho = 85 \frac{2,1 \cdot 2}{2,1 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 2,1} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 3} = 5,8 \text{ мг}/(\text{г} \cdot \text{год})$$

Згідно ДБН ρ – середня швидкість окиснення за БСКповн- 6 мг/(г · год), отже одержаний показник перебуває у межах допустимих коливань і може вважатися таким, що відповідає нормативним вимогам.

Тепер можемо розрахувати період аерації в аеротенках, t_{atm} , год, що працюють за принципом змішувачів:

$$t_{\text{atm}} = \frac{85 - 50}{3 \cdot (1 - 0,3) \cdot 5,8} = 2,8 \text{ год}$$

Ступінь рециркуляції активного мулу, R_i (у частках одиниці) в аеротенках розраховується за формулою з Додатка Б.5).

Формула застосовується при $J_i < 175 \text{ см}^3/\text{г}$ і a_i до $5 \text{ г}/\text{дм}^3$.

$$R_i = \frac{3}{\frac{1000}{110} - 3} = 0,5$$

Питома витрата повітря, q_{air} , мг/л, при пневматичній системі аерації визначається за формулою з Додатка Б.6.

Знайшовши C_a , визначаємо питому витрату повітря

$$q_{\text{air}} = \frac{1,25 \cdot (85 - 50)}{0,75 \cdot 2,52 \cdot 1,11 \cdot 0,85 \cdot (9,9 - 2)} = 1,5 \text{ мг/л}$$

Витрата повітря при цьому згідно за добу, Q_{air} , м³/добу, Додатку Б.7 складе:

$$Q_{\text{air}} = 2932 \cdot 1,5 = 4398 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Площа аеротенка, F , м², згідно Додатку Б.8 складе:

$$I_{\text{air}} = \frac{1,5 \cdot 4}{2,8} = 2,1 \text{ м}^3 \cdot \text{год}/\text{м}^2$$

Звідси площа аеротенка буде складати:

$$F = \frac{4398}{24 \cdot 2,1} = 87,2 \text{ м}^2$$

Число аераторів, N , шт., для аеротенків визначається за формулою з Додатку Б.9 :

$$N = \frac{1,25 \cdot (85 - 50) \cdot 36,6}{1,11 \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{9,9 - 2}{2}\right) \cdot 2,8 \cdot 3} = 50 \text{ шт}$$

Питома витрата повітря при проєктуванні аераторної системи складає 1,5 мг/л, що забезпечує необхідну інтенсивність аерації для досягнення нормативного ступеня очищення. Розрахункова площа аеротенка становить 87,2 м², а кількість аераторів - 50 шт., що відповідає технологічним вимогам та забезпечує стабільну роботу споруди.

Як видно з рис. 3.9, аеротенк призначений для біологічного очищення стічних вод шляхом активного аераційного змішування. Стоки надходять у резервуар, де відбувається інтенсивне насичення киснем і контакт з активним мулом. Проведені розрахунки показали, що при заданих концентраціях БСКповн, глибині занурення аераторів та витраті стічних вод, період аерації становить 2,8 години, а ступінь рециркуляції активного мулу - 0,5.

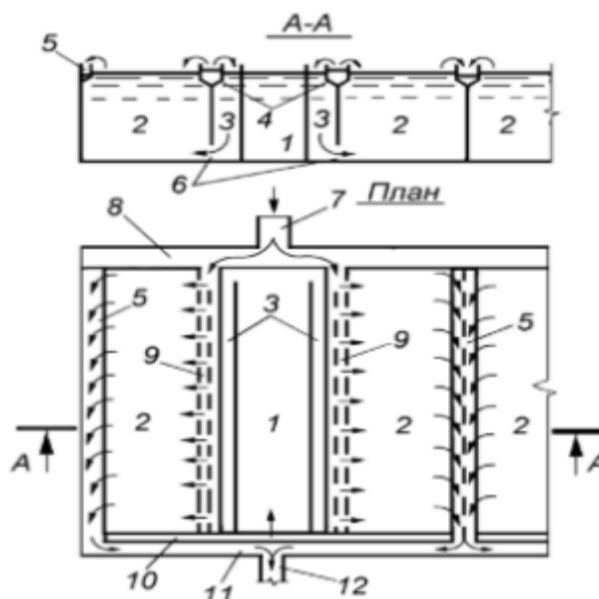


Рисунок 3.9 - Схема трикоридорного аеротенка-змішувача:

1 - регенератор; 2 - аеротенки; 3 - розподільні канали активного мулу; 4 - розподільні канали освітлених (у первинних відстійниках) стічних вод; 5 - збірні лотки очищеної води; 6 - входні отвори активного мулу; 7- підвідний канал від первинних відстійників; 8 - розподільний канал освітленої води; 9 – впуск освітленої води в аеротенк; 10 - нижній канал активного мулу; 11 - збірний канал очищеної води; 12 - відвідний канал [28]

Модернізація локальних очисних споруд (ЛОС) необхідна для стабільного та глибокого очищення господарсько-побутових стічних вод нових житлових масивів селища через впровадження технології мембранних біореакторів (MBR, Membrane Bioreactor) [36]. Дана технологія комбінує класичне біологічне очищення активним мулом із мембранною ультрафільтрацією (розмір пор мембран становить 0,04 - 0,1 мкм). Це дозволяє повністю відмовитися від вторинних відстійників, зменшити площу очисних споруд на 30 - 50% та гарантовано затримувати не лише завислі речовини, але й бактеріальне забруднення.



Рисунок 3.10 - технологія MBR: абсолютний фізичний бар'єр

MBR - це абсолютно фізичний бар'єр. Ідеальне передочищення для систем зворотного осмосу RO та впровадження закритого водного циклу на підприємстві.

Головною екологічною перевагою MBR (рис.3.10) є стабільне досягнення жорстких європейських нормативів щодо вмісту біогенних елементів, азоту та фосфору, які є головними чинниками евтрофікації місцевих водойм [21]. Очищена за такою технологією вода відповідає санітарно-епідеміологічним нормам і може акумулюватися в інженерних резервуарах для повторного використання у системах зрошення зелених зон.

3.2.3 Децентралізовані природоорієнтовані рішення (NbS) для управління поверхневим (злизовим) стоком

Впровадження децентралізованих природоорієнтованих рішень (NbS) - управління неорганізованим поверхневим (злизовим) стоком вимагає іншого технологічного підходу [44]. Акумулювання всього об'єму дощових вод в єдиних відкритих фітоспорудах, великомасштабних біоплато, у рельєфних умовах громади несе високі гідрологічні та санітарні ризики: загрозу переповнення під час залпових

злив, стагнацію води у посушливі періоди, розмноження кровосисних комах та порушення місцевого мікроклімату прибережної зони р. Самара.

Альтернативою традиційній «сірій» інфраструктурі є імплементація природоорієнтованих рішень, які працюють за принципом децентралізованого перехоплення, інфільтрації та фітоочищення води безпосередньо у місцях її випадання. Для території Слобожанської громади пропонується розгортання наступних інженерно-екологічних елементів NbS.

Дощові опади та біоретенційні зони - проєктуються як інженерні біофільтри, інтегровані у ландшафт дворів великих ЖК та на територіях дитячих садочків, ліцеїв, амбулаторій та інші заклади комунальної власності громади [29]. Заглиблення заповнюються спеціальним дренажним шаром (пісок, гравій, компост) та засаджуються вологолюбними макрофітами (міскантус, ірис болотний). Під час дощу ці садки перехоплюватимуть до 40% поверхневого стоку з тротуарів, а коренева система рослин очищатиме воду від важких металів перед інфільтрацією у водоносний горизонт. біодренажні канави – розташовуються вздовж ключових транспортних магістралей та автошляхів громади. На відміну від звичайних бетонних лотків, біодренажні траншеї заповнені фільтруючими матеріалами та фітоценозами, які здатні акумулювати та розкласти нафтопродукти, затримувати завислі речовини і важкі метали (Zn, Cu, Pb), що змиваються з дорожнього покриття.

Водопроникні покриття - застосування модульних георешіток та пористих матеріалів при проєктуванні нових паркувальних зон та пішохідних алей. Це рішення відновлює природний гідрологічний цикл, запобігаючи швидкому формуванню забрудненого поверхневого стоку.

Для обґрунтування доцільності впровадження систем перехоплення поверхневого стоку обрано територію новозбудованого Спортивного комплексу «Слобожанський». Зважаючи на те, що загальна площа будівлі становить понад 2700 м², площа покрівлі дорівнює орієнтовно 900 - 1000 м². З урахуванням прилеглих асфальтованих під'їзних шляхів та паркувальних зон для відвідувачів, загальна розрахункова площа водозбору (водонепроникних поверхонь) становить

близько 3000 м² (0,3 га). Згідно з кліматичними даними для регіону, середньорічна кількість опадів становить 550 мм.

Річний об'єм дощових вод, що утворюється на розрахунковій території, визначається за формулою:

$$W_{\text{рік}} = S \cdot H_{\text{рік}} \cdot \Psi$$

де: S - площа водозбірної поверхні, 3000 м²; $H_{\text{рік}}$ - середньорічний шар опадів, 0,55 м; Ψ - середній коефіцієнт стоку для водонепроникних поверхонь (дах, асфальт), приймаємо 0,9.

$$W_{\text{рік}} = 3000 \cdot 0,55 \cdot 0,9 = 1485 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Таким чином, потенціал збору дощової води з території спорткомплексу становить майже 1,5 тис. кубічних метрів на рік, які наразі без очищення перевантажують існуючу систему водовідведення або скидаються на прилеглу територію.

Для розрахунку резервуара систем *NbS* інженерно доцільним є перехоплення найбільш забрудненого "першого змиву". Тому, на відміну від резервуарів для токсичного фільтрату (де враховується добовий максимум 45 мм), приймаємо шар опадів за одну зливу $H_{\text{дощ}} = 25 \text{ мм}$ (0,025 м):

$$W_{\text{рез}} = S \cdot H_{\text{дощ}} \cdot \Psi = 3000 \cdot 0,025 \cdot 0,9 = 67,5 \text{ м}^3$$

Для забезпечення цього об'єму пропонується встановлення підземної модульної акумулюючої системи корисним об'ємом 75 м³. Підземне розміщення під зоною паркінгу дозволяє зберегти корисну площу на поверхні.

Технологічна схема передбачає обов'язкову попередню механічну очистку стоку. Вона включає піскоуловлювач та коалесцентний сепаратор нафтопродуктів для виділення вільних масел з паркувальної зони. Акумульована вода, яка пройшла таке механічне та сорбційне очищення, відповідає вимогам до технічної води і може бути використана для наступних потреб Спортивного комплексу: іригаційні цілі - забезпечення роботи систем крапельного та автоматичного зрошення зелених насаджень навколо комплексу в посушливий період; санітарно-технічні потреби - миття прилеглих тротуарів, асфальтованих доріжок та території паркінгу у літній

період (для зниження пилового забруднення та нівелювання ефекту «міського теплового острова»).

Масштабування технології на муніципальні об'єкти громади, запропонована для спорткомплексу технологічна лінія - зображена на рис.3.11, є універсальною.

В рамках стратегії сталого водокористування пропонується обов'язкове масштабування цього підходу на інші будівлі комунальної власності: Слобожанський ліцей, дитячі садочки, будівлі амбулаторій та ЦНАП.



Рисунок 3.11 - Принципова технологічна схема управління поверхневим стоком на муніципальних об'єктах (NbS)

Орієнтовна сумарна площа водозбору з дахів муніципального сектору громади становить понад 15 000 м². За умови впровадження таких локальних систем, загальний потенціал акумулювання дощової води досягне понад 7400 м³ на рік. Це дозволить створити повністю автономну мережу водопостачання для догляду за комунальними зеленими насадженнями.

Оцінка еколого-енергетичного ефекту від заміщення водопровідної води, акумульована дощова вода 1485 м³ щорічно, використовуватиметься для систем автоматичного зрошення зелених насаджень комплексу в посушливий період та миття території. Це дозволяє громаді повністю відмовитися від використання води водоканалу для технічних потреб об'єкта.

Зважаючи на те, що водоканали витрачають в середньому 0,8 кВт · год електроенергії на підготовку та транспортування 1 м³ питної води, використання дощового стоку дозволить заощадити:

$$E_{\text{збер}} = 1485 \cdot 0,8 = 1188 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Зниження непрямих викидів парникових газів (при емісійному факторі електромережі 0,42 кг CO₂ кВт · год складе:

$$M_{\text{CO}_2} = 1188 \cdot 0,42 = 498,9 \text{ кг CO}_2$$

У разі масштабування системи на всі школи та садочки громади, економія електроенергії перевищить 5900 кВт · год, а скорочення викидів сягне майже 2,5 тонн CO₂ щорічно.

Запропонована комбінована модель (*MBR* для стабільних побутових стоків та *NbS* для непередбачуваних зливових вод) є технологічно обґрунтованим підходом для смт Слобожанське. Перехоплення та акумулювання майже 1500 м³ дощової води на рік лише з одного інфраструктурного об'єкта доводить високу ефективність такого підходу. Крім того, просторова інтеграція природоорієнтованих рішень у міське середовище формує додаткові екосистемні послуги: зниження ефекту теплового острова (*Urban Heat Island*), покращення якості атмосферного повітря та підвищення біорізноманіття, що повністю відповідає стратегічним цілям Європейського зеленого курсу.

3.2.4 Інженерне обґрунтування локальної системи збору зливових вод та підземного зрошення на базі Слобожанського ліцею

Об'єктом для проєктування децентралізованої системи управління поверхневим стоком (*Nature – Based Solutions*) у Слобожанській територіальній громаді обрано будівлю місцевого ліцею. Загальна площа покрівлі становить 2322 м², що формує достатній водозбірний басейн. Реалізація запропонованих заходів має на меті розвантаження муніципальної зливної мережі та забезпечення

технічною водою пришкільного стадіону площею 162 м² за принципами циркулярного водокористування.

Пропускна здатність дощеприймальної системи розрахована за нормативною інтенсивністю опадів $i = 0,01 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$ та коефіцієнтом стоку для твердих покрівель $C = 0,9$. Відповідно, пікова витрата води становить:

$$Q = A \cdot i \cdot C = 2322 \cdot 0,01 \cdot 0,9 = 20,9 \text{ л/с}$$

Для запобігання потраплянню атмосферного пилу, важких металів та органіки до основного резервуара, технологічною схемою передбачено встановлення гравітаційного скидача першого змиву. Його об'єм розраховано на перехоплення перших 0,5 - 1,0 мм опадів, що для даної покрівлі еквівалентно 1,16 - 2,32 м³ води. Цей об'єм автоматично відводиться на локальний дренажний біофільтр і не бере участі в подальшому водопостачанні.

Очищена механічними фільтрами вода спрямовується до підземного накопичувача. Згідно з розрахунками, за одну годину дощу розрахункової інтенсивності акумулюється близько 75 м³ води. Для формування експлуатаційного запасу на посушливий період передбачається монтаж підземного полімерного резервуара місткістю 80 м³.

Замість традиційного поверхневого дощування, для зрошення стадіону запропоновано технологію підземного крапельного поливу (*Subsurface Drip Irrigation, SDI*). Система передбачає укладання спеціальних крапельних ліній безпосередньо в кореневій зоні газону на глибині 10 - 15 см. Таке інженерне рішення дозволяє повністю ліквідувати втрати води на випаровування та вітрове знесення, що скорочує загальну норму поливу з 10 до 7 мм/м² на добу. Крім того, відсутність наземних елементів підвищує експлуатаційну безпеку об'єкта під час проведення спортивних занять.

З урахуванням застосованої технології, добова потреба стадіону у воді становить:

$$V_{\text{доба}} = 162 \cdot 0,007 = 1,134 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Тривалість циклу поливу прийнято на рівні 3 годин, що визначає необхідну витрату:

$$Q = 1134 / 3 = 378 \text{ л/год} \approx 0,105 \text{ л/с} (0,000105 \text{ м}^3/\text{с})$$

Робочий тиск підземних крапельних систем (1,5 - 2,0 бар) є значно нижчим за роторні аналоги. Необхідний робочий напір для циркуляції води через фільтростанцію та емітери становить $H = 25$ м. Відповідно, корисна потужність насосного обладнання розраховується як:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,000105 \cdot 25 = 25,7 \text{ Вт}$$

Для забезпечення стабільної роботи системи з урахуванням коефіцієнта корисної дії достатньо встановити енергоощадний поверхневий насос потужністю 200 - 250 Вт.

Внутрішній діаметр магістрального трубопроводу розраховано для швидкості потоку $v = 1,0$ м/с:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,000105}{3,14 \cdot 1,0}} = 0,0115 \text{ м}$$

Для транспортування води від резервуара до колекторів приймаються поліетиленові труби низького тиску $\varnothing 16 - 20$ мм.

Розрахунком підтверджено, що застосування підземного крапельного поливу в комплексі з акумулюванням 75 м^3 дощового стоку здатне забезпечити стадіон Слобожанського ліцею технічною водою понад 65 днів поспіль без залучення ресурсів централізованого водопостачання. Додатково це суттєво мінімізує споживання електроенергії комунальним закладом за рахунок використання малопотужного насосного обладнання.

3.3 Впровадження енергоефективних рішень та відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в комунальному секторі селища

Умови місце розташування відкривають можливість встановлення геотермальних теплових насосів типу «ґрунт-вода» з горизонтальним контуром.

Інженерний розрахунок ефективності комбінованої системи геліоколектори + тепловий насос, для практичного обґрунтування доцільності заходу проведемо розрахунок для типового дитячого садочка Слобожанської громади, який потребує стабільного гарячого водопостачання (ГВП) та базового опалення.

Вихідні дані для розрахунку системи ГВП:

середньодобова потреба садочка в гарячій воді: $V = 1500$ л/доб [11];

температура нагрівання води: $T_2 = 55$ °C;

температура холодної води з водопроводу: $T_1 = 10$ °C;

питома теплоємність води: $c = 4,18$ кДж/(кг · °C);

кількість робочих днів закладу на рік: 250 днів.

Розрахунок енергії на гаряче водопостачання, добова кількість теплової енергії $Q_{\text{доба}}$, необхідна для нагрівання 1500 літрів води:

$$Q_{\text{доба}} = c \cdot V \cdot (T_2 - T_1) = 4,18 \cdot 1500 \cdot (55 - 10) = 282150 \text{ кДж}$$

Переведемо отримане значення у кіловат-години (1 кВт · год = 3600 кДж):

$$Q_{\text{доба}} = \frac{282150}{3600} = 78,4 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}$$

Річна потреба комунального закладу в тепловій енергії на потреби ГВП становить:

$$Q_{\text{рік}} = Q_{\text{доба}} \cdot 250 = 78,4 \cdot 250 = 19600 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}$$

Ефективність сонячних колекторів, враховуючи рівень інсоляції у Дніпропетровській області, сучасна геліосистема здатна покрити до 70% річної потреби в енергії на ГВП, забезпечуючи 100% потреби з травня по вересень та працюючи як система попереднього підігріву у перехідні місяці.

$$Q_{\text{соняч}} = 19600 \cdot 0,70 = 13720 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}$$

Цю енергію заклад отримує безкоштовно з відновлюваного джерела. Решту 30% (5 880 кВт · год) у похмурі та зимові дні догріває геотермальний тепловий насос.

Ефективність теплового насоса, оскільки середньорічна температура ґрунтів у громаді є стабільною, середній сезонний коефіцієнт перетворення ($SCOP$) теплового насоса типу «ґрунт-вода» становить близько 3,5 [31]. Відповідно, для

генерації необхідних $5880 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ тепла, насос икористає з електричної мережі електроенергії:

$$W_{\text{ел}} = \frac{5880}{3,5} = 1680 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Еколого-економічний ефект (порівняння з газовим котлом), якби цей садочок продовжував підігрівати воду традиційним газовим котлом середній ККД $\eta = 0,90$, нижча теплотворна здатність газу близько $9,4 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^3$, річна витрата викопного палива лише на гарячу воду становила б:

$$V_{\text{газ}} = \frac{19600}{9,4 \cdot 0,90} = 2316 \text{ м}^3 \text{ природного газу}$$

Зниження викидів парникових газів (враховуючи, що емісійний фактор спалювання 1 м^3 газу дорівнює близько $1,9 \text{ кг CO}_2$):

$$\text{Еко. ефект} = 2316 \cdot 1,9 = 4400 \text{ кг},$$

тобто, $4,4$ тонни CO_2 на рік з одного закладу.

Комплексне впровадження геліосистем та теплових насосів в одному типовому комунальному закладі Слобожанської громади дозволяє економити понад $2,3$ тис. кубометрів газу щорічно, зменшуючи викиди парникових газів на $4,4$ тонни.

Враховуючи наявність великих площ плоских та скатних дахів, доцільним є встановлення мережевих сонячних електростанцій для покриття власного споживання цих закладів у денний час. Це рішення є важливим в умовах енергетичного дефіциту в об'єднаній енергосистемі та дозволяє суттєво зменшити навантаження на місцевий бюджет.

Інженерний розрахунок ефективності дахової СЕС, проведемо розрахунок для типового ліцею громади з корисною площею даху $S = 600 \text{ м}^2$, яка придатна для встановлення фотоелектричних модулів без ефекту затінення.

Прийmemo середню питому потужність сучасних монокристалічних сонячних панелей на рівні $P_{\text{пит}} = 0,18 \text{ кВт}/\text{м}^2$ (коефіцієнт корисної дії близько $18 - 20\%$).

Максимальна встановлена потужність такої станції становитиме:

$$P_{\text{вст}} = S \cdot P_{\text{пит}} = 600 \cdot 0,18 = 108 \text{ кВт}$$

Для оптимізації роботи інверторного обладнання приймаємо робочу встановлену потужність СЕС на рівні 100 кВт. Згідно з даними інсоляції для Дніпропетровської області, питомий річний виробіток електроенергії $k_{\text{інсол}}$ для оптимально зорієнтованих панелей становить близько 1150 кВт·год на 1 кВт встановленої потужності [31]. Прогнозована річна генерація електроенергії $E_{\text{рік}}$ розраховується як:

$$E_{\text{рік}} = P_{\text{вст}} \cdot k_{\text{інсол}} = 100 \cdot 1150 = 115000 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Цей обсяг електроенергії заклад споживатиме безпосередньо від сонця, минаючи зовнішні мережі. Екологічний ефект: зниження викидів парникових газів за рахунок заміщення мережевої електроенергії (де емісійний фактор $K_{\text{еміс}} = 0,42 \text{ кг/кВт} \cdot \text{год}$ [63]) складе:

$$M_{\text{CO}_2} = E_{\text{рік}} \cdot K_{\text{еміс}} = 115000 \cdot 0,42 = 48300 \text{ кг} = 48,3 \text{ т}$$

Встановлення мережевої сонячної електростанції потужністю 100 кВт на даху типового ліцею Слобожанської громади є високоефективним рішенням. Згенеровані 115 тис. кВт·год дозволять майже повністю перекрити базове споживання електроенергії закладом у весняно-літній період та суттєво знизити його залежність від загальної енергомережі. Окрім вагомego екологічного ефекту, скорочення викидів парникових газів на 48,3 тонни щорічно.

Модернізація вуличного освітлення з використанням автономних систем, мережа вуличного освітлення периферійних територій громади, зокрема села Олександрівка та Василівка. Оптимальним рішенням є встановлення автономних *LED*-ліхтарів із сонячними панелями та датчиками руху.

При встановленні 200 таких опор, замість традиційних ламп потужністю 250 Вт, та середньому часі роботи 4000 годин на рік, громада уникає споживання електроенергії з централізованої мережі на рівні:

$$E = 0,25 \cdot 200 \cdot 4000 = 200000 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Це прямо сприяє декарбонізації, знижуючи «вуглецевий слід» енергосистеми на:

$$M_{\text{CO}_2} = 200000 \cdot 0,42 = 84000 \text{ кг} = 84 \text{ т}$$

Додатковим еко-ефектом є зниження світлового забруднення завдяки датчикам руху.

Для обґрунтування доцільності впровадження заходу проведено розрахунок потенціалу заміщення природного газу місцевою біомасою. Важливо зазначити, що ресурсною базою для отримання паливної тріски є вся площа об'єднаної територіальної громади.

Зважаючи на загальні масштаби громади, орієнтовний щорічний обсяг утворення придатної для енергетичного використання деревини становить близько $M_{\text{дерев}} = 150$ тонн/рік. Ця розрахункова маса акумулюється виключно за рахунок відходів комунального господарства.

Враховуючи середню теплотворну здатність паливної тріски, при вологості 30-40%, прийнято коефіцієнт заміщення, за яким 1 тонна деревної маси еквівалентна приблизно 330 м^3 природного газу.

Розрахунковий обсяг заміщеного природного газу $V_{\text{газ}}$ становитиме:

$$V_{\text{газ}} = M_{\text{дерев}} \cdot 330 = 150 \cdot 330 = 49500 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Окрім прямого економічного ефекту для місцевого бюджету від економії на закупівлі майже 50 тисяч кубометрів енергоносіїв, цей захід має суттєвий екологічний ефект. Відповідно до базових коефіцієнтів емісії, спалювання 1000 м^3 природного газу генерує близько 1,88 тонни парникових газів [63]. Відповідно, скорочення викидів діоксиду вуглецю E_{CO_2} від заміщення газу біомасою складе:

$$E_{\text{CO}_2} = \frac{49500}{1000} \cdot 1,88 \approx 93 \text{ тонни CO}_2 \text{ на рік}$$

Таким чином, створення локального циклу «санітарна обрізка – виробництво тріски – генерація тепла» є дієвим інструментом декарбонізації муніципальної енергетики Слобожанської територіальної громади та кроком до енергетичної незалежності.

Впровадження муніципальної системи енергомоніторингу, відповідно до *ISO 50001*, для забезпечення максимальної ефективності всіх вищезазначених технічних рішень: теплових насосів, котелень на біомасі, СЕС та *LED*-освітлення, невід'ємною інженерною складовою є впровадження автоматизованої системи

енергомоніторингу та енергоменеджменту [19]. Технологічне рішення передбачає встановлення смарт-лічильників тепла, води, електроенергії та газу, з модулями дистанційної передачі даних такі як *LoRaWAN* або *NB – IoT* на всіх без винятку об'єктах бюджетної сфери Слобожанської громади.

Дані в режимі реального часу акумулюються на єдиному сервері громади. Програмне забезпечення автоматично аналізує питоме споживання енергоресурсів на квадратний метр площі будівлі, порівнює їх із нормативними показниками та миттєво сигналізує про нетипові витрати, наприклад, порив трубопроводу ГВП або залишену ввімкненою систему вентиляції на вихідні. За статистикою європейських муніципалітетів, лише запровадження такого цифрового контролю, без капітальних ремонтів будівель, дає організаційну економію енергоресурсів на рівні 5 - 10% щорічно за рахунок усунення нераціонального використання.

Реалізація наведеного комплексу інженерних рішень у комунальному секторі Слобожанської територіальної громади дозволить не лише кардинально підвищити рівень енергонезалежності, але й виконати жорсткі вимоги європейського законодавства щодо декарбонізації. Впровадження котелень на місцевій біомасі, комбінованих систем для ГВП, дахових сонячних електростанцій та автономного вуличного освітлення, керованих єдиною системою енергомоніторингу, дозволить сумарно скоротити викиди парникових газів від комунального сектору щонайменше на 229,7 тонн CO_2 -еквіваленту щорічно, з яких: 4,4 т - від теплових насосів; 48,3 т - від дахових СЕС; 84 т - від модернізації освітлення; 93 т - від заміщення природного газу біомасою.

Такі кроки перетворюють громаду на сучасний муніципальний еко-хаб та формують надійний фундамент для залучення міжнародних «зелених» інвестицій у повосенну відбудову.

3.3.1 Еколого-економічна ефективність впровадження дахової СЕС

Окрім вагомого екологічного ефекту (скорочення емісії парникових газів на 48,3 тонни щорічно), встановлення мережевої сонячної електростанції потужністю 100 кВт має чітке економічне обґрунтування.

1. Капітальні витрати (*CAPEX*):

Орієнтовна вартість встановлення мережевої СЕС «під ключ» (фотоелектричні модулі, інвертори, кріплення, монтажні роботи) на сьогодні становить близько \$600 – 700 за 1 кВт встановленої потужності.

$$CAPEX = 100 \text{ кВт} \times \$650 = \$65,000 \text{ (або орієнтовно 2,6 млн грн)}$$

2. Операційна економія (*OPEX*): Прогнозована річна генерація станції становить 115 000 кВт · год. Враховуючи, що тариф на електроенергію для непобутових споживачів (комунальних закладів) становить орієнтовно 8,00 грн/кВт · год (з ПДВ та тарифами на розподіл):

$$\text{Річна економія} = 115000 \text{ кВт} \cdot \text{год} \times 8,00 \text{ грн} = 920000 \text{ грн/рік}$$

3. Простий термін окупності (*Payback Period*):

$$PP = CAPEX / \text{Річна економія} = 2600000 \text{ грн} / 920000 \text{ грн} \approx 2,8 \text{ року}$$

Враховуючи термін експлуатації сонячних панелей (понад 25 років), після повної окупності менш ніж за 3 роки, ліцей отримуватиме безкоштовну електроенергію, що вивільнить майже мільйон гривень з бюджету громади щорічно. Ці кошти можуть бути реінвестовані в подальші природоорієнтовані рішення (*NbS*), такі як біоретенційні зони чи підземний полив стадіону.

3.4 Заходи щодо мінімізації «вуглецевого сліду» через розвиток зеленої інфраструктури та еко-коридорів

Впровадження принципів Європейського зеленого курсу (ЄЗК) на рівні територіальних громад України є критично необхідним кроком для подолання системної екологічної кризи. Сучасна державна політика України у сфері збереження біорізноманіття орієнтована на повну синхронізацію із пріоритетами ЄЗК [23, 66]. Згідно з положеннями Національного плану дій з охорони навколишнього природного середовища [48], органи місцевого самоврядування зобов'язані забезпечити розроблення та виконання місцевих схем формування екологічної мережі. Для Слобожанської громади, як невід'ємної частини загальноєвропейського екологічного простору, методологічною основою такого планування виступає Стратегія збереження біорізноманіття ЄС до 2030 року «*EU Biodiversity Strategy for 2030*», яка визначає 17 ключових індикаторів для відновлення природного капіталу [62].

Окрім досягнення кліматичних цілей та мінімізації «вуглецевого сліду», розбудова зеленої інфраструктури є критично важливою для забезпечення акустичної стійкості селища. Як було встановлено під час аналізу еколого-техногенного стану громади, території, прилеглі до транзитних автомагістралей, зазнають інтенсивного шумового забруднення, рівень якого сягає 77 дБА. У цьому контексті створення спеціалізованих багаторядних зелених насаджень діятиме як потужний природний акустичний екран. Щільна просторова структура дерев та чагарників дозволить ефективно поглинати й розсіювати звукові хвилі, знижуючи шумове навантаження на житлову забудову до санітарних нормативів (65 дБА).

Досягнення цілей Європейського зеленого курсу на локальному рівні вимагає не лише технологічної модернізації інфраструктури, але й просторових рішень для поглинання вже існуючих емісій парникових газів [23]. Для Слобожанської територіальної громади, яка безпосередньо межує з індустріальним містом Дніпро

та перетинається транзитними автомагістралями, важливим є створення природних бар'єрів та впровадження систем об'єктивного контролю якості повітря.

Основним просторовим заходом проєкту є формування «Зеленого щита» – системи багатоярусних захисних лісосмуг між житловими зонами селища та основними джерелами шумового і хімічного забруднення. Впровадження цієї просторової системи є прямим виконанням Цілі 14 Стратегії збереження біорізноманіття ЄС до 2030 року, яка вимагає розробки амбітних Планів міського озеленення [38].

На відміну від традиційного рядового озеленення, пропонується використання спеціалізованої каскадної структури насаджень:

- нижній ярус (щільні чагарники: спірея, бірючина): виконує функцію механічного затримання приземного пилу та аерозолів, а також запобігає вітровій ерозії ґрунтів.
- середній ярус (широколистяні породи: клен, липа, ясен): працює як основний акустичний екран. Щільна крона здатна розсіювати звукові хвилі та знижувати шум до нормативних 65 дБА в межах прилеглої житлової забудови.
- верхній ярус (швидкоростучі високі породи: тополя чорна, дуб звичайний): забезпечує активну асиміляцію діоксиду вуглецю CO_2 та фітоаккумуляцію важких металів з вихлопних газів транзитного транспорту.

Важливим інженерно-екологічним аспектом є те, що створення багатоярусних насаджень має відбуватися у повній відповідності до екологічних принципів Європейського зеленого курсу (Ціль 9) [38]. Під час формування «Зеленого щита» перевага надається стійким аборигенним видам, що дозволяє інтегрувати ці насадження як еко-коридори у загальну екомережу для вільного переміщення біоти.

Інноваційним елементом «Зеленого щита» є просторова інтеграція в його структуру лінійних біодренажних систем. Ця природоорієнтована система (*Nature – Based Solution*) виконує роль первинного біофільтра: ризосферні

бактерії та коренева система макрофітів деструкують вуглеводні, не дозволяючи токсикантам потрапляти у підземні водоносні горизонти громади.

На виконання Цілі 5 Стратегії збереження біорізноманіття ЄС, проєктом пропонується створення «острівців біорізноманіття» в межах рекреаційних зон та еко-коридорів селища [38].

Додатково, відповідно до Цілі 15 Стратегії збереження біорізноманіття ЄС та вітчизняних санітарних норм (ДСанПІН 8.8.1.2.001 – 98 [18]), експлуатація створених зелених зон передбачає повну заборону на використання хімічних пестицидів у цих чутливих районах [38].

Ці лісосмуги проєктуються за принципом еко-коридорів, що з'єднують фрагментовані зелені зони (парки, сквери) громади в єдину мережу, підтримуючи місцеве біорізноманіття та створюючи комфортний мікроклімат.

Для оцінки ефективності природоохоронних заходів та інформування населення, проєктом передбачено розгортання локальної мережі громадського моніторингу на базі станцій «Еко-Сіті». Пропонується встановлення трьох стаціонарних датчиків контролю: на адміністративній межі з м. Дніпро, поблизу автомагістралі та в центральній рекреаційній зоні селища. Станції в режимі реального часу вимірюватимуть концентрації дрібнодисперсного пилу $PM_{2.5}$, PM_{10} , діоксиду азоту NO_2 , чадного газу CO та радіаційного фону. Зібрані дані автоматично інтегруватимуться у відкриту муніципальну онлайн-платформу (дашборд). Система забезпечить прозорість екополітики та швидке реагування на зовнішнє забруднення повітря.

Третім вектором локальної декарбонізації є електрифікація комунального автопарку. Використання застарілої дизельної спецтехніки (сміттєвозів, тракторів для прибирання вулиць) є значним джерелом локальних викидів сажі та парникових газів

Для оцінки екологічного ефекту проведено розрахунок скорочення викидів. Середня річна витрата пального для трьох одиниць дизельної спецтехніки, за умови роботи 250 днів на рік із середнім споживанням 15 літрів пального за робочу зміну кожною машиною, становить:

$$V_{\text{диз}} = 3 \cdot 250 \cdot 15 = 11250 \text{ л/рік}$$

Враховуючи, що спалювання 1 літра стандартизованого дизельного пального генерує близько 2,68 кг діоксиду вуглецю, маса попереджених емісій $E_{\text{диз}}$ у разі переходу на електротягу становитиме:

$$E_{\text{диз}} = 11250 \cdot 2,68 = 30150 = 30,15 \text{ т CO}_2 \text{ на рік}$$

Важливо підкреслити синергетичний ефект запропонованих рішень: заряджання цієї комунальної електротехніки планується здійснювати від спроєктованих у підрозділі 3.3 дахових сонячних електростанцій, через системи накопичення енергії або в години пікової генерації. Це створює на 100% безвуглецевий експлуатаційний цикл комунального транспорту.

Комплексне впровадження багатоярусного «Зеленого щита», системи відкритого моніторингу та електрифікація спецтехніки дозволить Слобожанській громаді суттєво мінімізувати свій вуглецевий слід та виконати стратегічні цілі сталого розвитку.

4 НОРМАТИВНО-УПРАВЛІНСЬКІ ТА ПРЕВЕНТИВНІ МЕХАНІЗМИ ВПРОЖАДЖЕННЯ ІНЖЕНЕРО-ЕКОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

4.1 Розрахунковий блок обґрунтування об'єму резервуара для перехоплення фільтрату

Проектування таких інженерних споруд, як Центр управління відходами та майданчики компостування, обов'язково підлягає процедурі оцінки впливу на довкілля (ОВД) та стратегічній екологічній оцінці (СЕО) на етапі просторового планування [50, 4, 1, 3]. Згідно з вимогами екологічної безпеки ДБН В.2.4 – 2 – 2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування» [10], які застосовуються для розрахунку фільтрату, майданчик для компостування проектується на водонепроникній основі (геомембрана) із замкненою системою відведення стічних вод. Отже, необхідно розрахувати об'єм акумулюючого резервуара, здатного прийняти забруднений стік під час розрахункової залпової зливи.

Розрахунковий об'єм дощових вод $W_{\text{дощ}}$, що стікають з майданчика компостування під час максимальної зливи, визначається за формулою:

$$W_{\text{дощ}} = 10 \cdot H_{\text{max}} \cdot F \cdot \Psi$$

Де H_{max} - максимальний добовий шар опадів для регіону (Дніпропетровська обл.), приймаємо $H_{\text{max}} = 45$ мм;

F - розрахункова площа водозбору (водонепроникного майданчика для буртів), яка згідно з розрахунками становить 0,063 га (630 м²);

Ψ - коефіцієнт стоку для асфальтобетонних покриттів, приймаємо 0,9.

Виконуємо розрахунок:

$$W_{\text{дощ}} = 10 \cdot 45 \cdot 0,063 \cdot 0,9 = 25,51 \text{ м}^3$$

Окрім дощових вод, необхідно врахувати власну вологу органічних відходів (фільтрат), що виділяється під час термофільної стадії гниття. За практичними

даними, об'єм утворення фільтрату $W_{\text{фільтр}}$ становить орієнтовно 5 - 7% від маси закладеної органіки на добу у пікові періоди. При одночасному завантаженні 900 тонн маси, добове виділення може сягати до 2 - 3 м³.

Отже, для гарантованого унеможливлення переливу висококонцентрованого фільтрату в ґрунт, проєктний об'єм підземного ізолюваного склопластикового резервуара $V_{\text{рез}}$ повинен мати запас місткості не менше 30%:

$$V_{\text{рез}} = (W_{\text{дощ}} + W_{\text{фільтр}}) \cdot 1,3 = (25,51 + 3,0) \cdot 1,3 = 37,06 \text{ м}^3$$

Отже, встановлення герметичного акумулюючого резервуара об'ємом 40 м³ гарантовано захистить водоупорні горизонти Слобожанської громади від бактеріологічного та хімічного забруднення. Зібраний стік не скидатиметься у рельєф, а використовуватиметься для зволоження компостних буртів у посушливий період, забезпечуючи повністю замкнений безстічний цикл (*Zero Liquid Discharge*), що цілком відповідає Цілям Європейського зеленого курсу.

4.2. Імплементация європейської ієрархії поводження з відходами та технологічні перспективи

Фундаментальним принципом управління відходами в Європейському Союзі, закріпленим у Директиві 2008/98/ЄС (Рамкова директива про відходи) та імплементованим у національний Закон України «Про управління відходами» [51], є суворе дотримання п'ятиступеневої ієрархії [56]. Згідно з цим принципом, запобігання утворенню відходів є найвищим пріоритетом, за яким ідуть підготовка до повторного використання, рециклінг (матеріальна переробка), відновлення (зокрема, енергетична утилізація) і, як найменш бажаний варіант, видалення (захоронення на полігонах).

У рамках розробленої в розділі 3 концепції Центру управління відходами для Слобожанської територіальної громади загальний обсяг ТПВ становить

4500 тонн/рік. Запропоновані технологічні рішення дозволяють спрямувати 71% загального потоку на етап рециклінгу, аеробне компостування органіки та переробка вторинної сировини. Це є вагомим кроком у досягненні показників Національної стратегії управління відходами.



Рисунок 4.1 – Європейська модель управління відходами

Однак, згідно з розрахунковим матеріальним балансом, 29% потоку (або 1305 тонн/рік) становить так званий баласт, неліквідні залишки, що містять забруднені полімери, композитну упаковку, текстиль та санітарно-гігієнічні відходи. На початковому етапі для них передбачено пресування та захоронення на регіональному полігоні. Проте, з точки зору європейських практик [58] (зокрема, концепції *Zero Waste to Landfill*), захоронення фракції з високим вмістом вуглецю є нераціональною втратою ресурсу та порушенням ієрархії відходів.

Оскільки з баласту попередньо вилучено вологу органічну фракцію, він стає ідеальною ресурсною базою для виробництва альтернативного палива

RDF (Refuse Derived Fuel) або *SRF (Solid Recovered Fuel)* [59]. Цей підхід переводить поводження з баластом зі стадії «видалення» на більш екологічну стадію «відновлення».

Проте, першочергова концепція переробки цього баласту на тверде паливо (*RDF*) з подальшим спалюванням відхилена, оскільки вона докорінно суперечить стратегії *Zero Pollution* та європейському курсу на декарбонізацію. Технології термічного оброблення не усувають проблему відходів, а лише перетворюють їх на токсичну золу, яка потребує захоронення на спеціалізованих полігонах, та генерують небезпечні викиди в атмосферу. При спалюванні матеріалів із вмістом хлору (наприклад, залишків ПВХ-пластику) утворюються високотоксичні канцерогенні сполуки - діоксини та фурани [54]. Крім того, з інженерної точки зору, енергетична утилізація змішаних відходів генерує більше парникових газів на одиницю виробленої енергії порівняно з традиційними джерелами. Орієнтація громади на виробництво *RDF* також створила б «ефект замкненого кола» (*lock – in effect*), коли необхідність забезпечення заводу постійним обсягом відходів блокує подальший розвиток систем роздільного збору та перероблення [40].

Для екологічно безпечного управління 29% залишкових відходів (1305 тонн/рік) у Слобожанській громаді доцільно застосувати інженерне рішення на основі системи *MRBT* (відновлення і біологічне оброблення матеріалів) [30]. Ця технологія розглядається як стратегія «з'єднувального містка» між поточним станом та повністю циркулярною економікою. На відміну від традиційних комплексів МБО (механіко-біологічного оброблення), які проєктувалися саме для виробництва *RDF*, система *MRBT* сфокусована на вилученні вторинної сировини та біологічній стабілізації залишку перед його захороненням.

Апаратна схема системи *MRBT* передбачає два ключові етапи.

Установка відновлення матеріалів: залишковий баласт проходить через систему первинних екранів і барабанних сит для розділення фракцій. Далі застосовується механічне сортування з використанням магнітів (для чорних металів), вихрових сепараторів (для кольорових металів), балістичних сепараторів

та оптичних пристроїв для вилучення пластику, що випадково потрапив у залишковий потік.

Установка біологічного оброблення: Брудна органічна фракція, що залишилася, піддається процесу біологічної стабілізації шляхом примусової аерації. Цей етап не є компостуванням і не має на меті створення добрив. Його мета - знизити біохімічну активність матеріалу перед безпечним захороненням.

Впровадження технології *MRBT* забезпечує виконання вимог Директиви про захоронення відходів щодо обов'язкового попереднього оброблення. Біологічна стабілізація радикально зменшує здатність відходів до розкладання, що запобігає утворенню метану (потужного парникового газу) та токсичного фільтрату на полігоні. З огляду на специфіку регіону, це є критично важливим фактором захисту підземних вод та збереження гідрологічного балансу водоохоронної зони річки Самара. Крім того, відбувається фізичне зменшення маси відходів завдяки випаровуванню вологи та вивільненню біогенного вуглекислого газу в процесі стабілізації. Таким чином, обсяг баласту, що спрямовується на полігон, мінімізується без застосування методів спалювання, що повністю відповідає інженерним принципам захисту довкілля.

4.3 Стратегічна екологічна оцінка у просторовому плануванні та інженерні рішення щодо управління відходами від руйнувань

В умовах воєнного стану та повоєнної відбудови екологічно безпечно планування територій набуває нового, критичного значення. Сукупний «вуглецевий слід війни» наразі становить близько 237 млн тонн CO₂-еквіваленту, а бойові дії стали джерелом колосальних обсягів нових, неконтрольованих емісій. Одним із найсерйозніших наслідків є утворення гігантських масивів відходів від руйнувань (будівельного сміття), які за своїми морфологічними властивостями та обсягами докорінно відрізняються від стандартних твердих побутових відходів (ТПВ).

Згідно з європейськими директивами та адаптованим українським законодавством, зокрема постановою Кабінету Міністрів України щодо поводження з відходами від руйнувань [39], стратегія управління такими відходами повинна базуватися на принципах циркулярної економіки [43]. На місцевому рівні громада має розробити та затвердити чіткий інженерно-технологічний алгоритм переробки будівельних залишків для їх подальшого використання у місцевій відбудові [2].

Технологічний протокол поводження з відходами від руйнувань включає такі послідовні етапи:

1. ГІС-просторування майданчиків тимчасового зберігання. Використовуючи програмний комплекс *QGIS*, на етапі просторового планування необхідно визначити та зарезервувати локації для тимчасового складування відходів від руйнувань. Ці ділянки повинні проєктуватися з урахуванням гідрогеологічних ризиків: за межами водоохоронних зон річки Самара, на ділянках із глибоким заляганням ґрунтових вод або на територіях із твердим покриттям (наприклад, покинуті промзони), щоб унеможливити інфільтрацію забруднювачів у ґрунт.

2. Первинне сортування та вилучення небезпечних фракцій. До етапу механічної переробки з масиву уламків мають бути вилучені небезпечні компоненти, насамперед - азбестовмісні матеріали (шифер, ізоляція). Згідно з вимогами екологічної безпеки [10], механічне подрібнення азбесту категорично заборонено через ризик викиду канцерогенних волокон в атмосферу. Такі матеріали пакуються герметично і підлягають окремому захороненню.

3. Механічна переробка (рециклінг). Головним інженерним рішенням є залучення мобільних дробарно-сортувальних комплексів, наприклад, щокових або роторних дробарок, обладнаних магнітними сепараторами для вилучення арматури. Безпосередньо на майданчиках тимчасового зберігання бетонний та цегляний бій переробляється на фракційний вторинний щебінь.

4. Повторне використання у громаді. Отриманий вторинний матеріал є цінним ресурсом для інфраструктурних проєктів громади. Місцеві програми

відновлення мають передбачати пріоритетне використання вторинного щебеню для облаштування підстилаючих шарів доріг місцевого значення, засипання вирв від вибухів та траншей, а також для виготовлення низькомарочних бетонів для невідповідальних конструкцій (тротуарної плитки, бордюрів, елементів благоустрою зелених зон).

Еколого-економічний ефект впровадження такого підходу повністю відповідає цілям Європейського зеленого курсу щодо збереження природного капіталу [30]. Заміщення природного щебеню вторинними матеріалами убезпечує від відкриття нових кар'єрів, запобігаючи деградації ландшафтів та знижуючи емісію парникових газів, яка б утворилася під час видобутку та логістики гірських порід.

Отже, комплексний план просторового розвитку та програми відбудови Слобожанської громади мають слугувати не просто формальними документами, а обов'язковими технічними регламентами, які гарантують, що повоєнна відбудова та розвиток інфраструктури здійснюватимуться за рахунок максимального рециклінгу локальних ресурсів в умовах жорсткого екологічного контролю.

4.3.1 Визначення кількості ТПВ для Слобожанської об'єднаної громади

Чисельність населення: 25 000 осіб.

Розподіл населення за ступенем благоустрою для міст із чисельністю до 50 тис. жителів: повністю впорядковані будинки - 25%; будинки середнього благоустрою - 25%; будинки без благоустрою та приватні будинки - 50%.

Норми накопичення ТПВ на одного жителя (середньодобові та середньорічні) [34]:

повністю впорядковані: 0,77 кг/особу за добу та 304,5 кг/особу за рік.

середнього благоустрою (відсутність центрального опалення):

1,00 кг/особу за добу та 365,0 кг/особу за рік.

приватний сектор (відсутність центрального опалення): 1,52 кг/особу за добу та 555,0 кг/особу за рік.

Розрахунок кількості людей за рівнем благоустрою

Формула розрахунку кількості мешканців у різних секторах [34]:

$$N_i = n \cdot q_i / 100$$

Розрахунки:

$$N_1 = 25000 \cdot 0.25 = 6250 \text{ осіб повністю впорядковані}$$

$$N_2 = 25000 \cdot 0.25 = 6250 \text{ осіб середнього благоустрою}$$

$$N_3 = 25000 \cdot 0.50 = 12500 \text{ осіб приватного сектору}$$

Формула розрахунку обсягу відходів [34]:

$$Q_{zhk} = N_i \cdot H_{zhk}$$

Добові розрахунки

$$Q_{1k} = 6250 \cdot 0.77 = 4812.5 \text{ кг/добу}$$

$$Q_{2k} = 6250 \cdot 1.0 = 6250.0 \text{ кг/добу}$$

$$Q_{3k} = 12500 \cdot 1.52 = 19000.0 \text{ кг/добу}$$

Сумарно по житловому фонду за добу становить 30062,5 кг/добу або 30,063 т/добу

Річні розрахунки

$$Q_{1k} = 6250 \cdot 304.5 = 1903125 \text{ кг/рік}$$

$$Q_{2k} = 6250 \cdot 365 = 2281250 \text{ кг/рік}$$

$$Q_{3k} = 12500 \cdot 555 = 6937500 \text{ кг/рік}$$

Сумарно по житловому фонду за рік становить 11121875 кг/рік або 11121,875 т/рік.

Розрахунок відходи від об'єктів суспільного призначення

Для міста з населенням 25 тис. осіб кількість об'єктів та середню кількість місць у них визначено за таблицями 4 та 5 методички.

Формула розрахунку [34]:

$$Q_c = N_{ob} \cdot n_{ob} \cdot H_c$$

Результати обчислень відходів від об'єктів суспільного призначення знаходяться в табл. 4.1.

Сумарний обсяг від об'єктів суспільного призначення:

добовий: 1 888,5 кг/добу (або 1,889 т/добу);

річний: 626 757,5 кг/рік (або 626,758 т/рік).

Загальна кількість відходів у місті (добово та річно)

Формула загальної кількості відходів [34]:

$$Q_z = Q_{zhk} \cdot Q_c$$

Добове: $30062,5 + 1888,5 = 31951,0$ кг/добу = 31,951 т/добу

Річна: $11121875 + 626757,5 = 11748632,5$ кг/рік = 11748,633 т/рік

Таблиця 4.1 - Результати обчислень відходів від об'єктів суспільного призначення

Об'єкт	Кількість об'єктів	Кількість місць / площа в 1 об'єкті	Норма добова, кг	Норма річна, кг	Відходи, кг/добу	Відходи, кг/рік
Лікарня	2	85	0,35	127,75	59,5	21 717,5
Поліклініка	1	40	0,01	3,0	0,4	120,0
Готель	1	20	0,5	182,0	10,0	3 640,0
Гуртожиток	2	80	0,35	146,0	56,0	23 360,0
Санаторій	0	—	0,7	256,0	0,0	0,0
Дитячий садок	5	100	0,28	70,0	140,0	35 000,0
Школа	9	400	0,08	20,0	288,0	72 000,0
ПТУ	2	50	0,4	100,0	40,0	10 000,0
ВНЗ, технікум	0	—	0,09	23,0	0,0	0,0
Театр / кінотеатр	2	400	0,08	24,5	64,0	19 600,0
Ресторан	1	45	1,4	540,0	63,0	24 300,0
Кафе, їдальня	4	500	0,5	182,5	1 000,0	365 000,0
Пром. магазин	3	60	0,15	46,0	27,0	8 280,0
Прод. магазин	4	30	0,3	91,5	36,0	10 980,0
Ринок	1	60	0,31	96,0	18,6	5 760,0
Пляж	1	300	0,04	—	12,0	—
Вокзал	2	100	0,37	135,0	74,0	27 000,0
Сумарно (Σ)					1 888,5	626 757,5

У результаті розрахунків встановлено, що загальна кількість твердих побутових відходів у місті з чисельністю населення 25 тис. осіб становить майже 32 т/добу та близько 11,75 тис. т/рік.

Визначення кількості корисних компонентів ТПВ

Для визначення кількості корисних компонентів використано усереднені значення морфологічного складу ТПВ згідно з методичними рекомендаціями [34]

Формула розрахунку:

$$Q_i = (W/100) \cdot Q_{zag}$$

де W_i - середня частка компонента у загальній масі відходів (%),

Q_{zag} - загальна маса відходів (т).

Таблиця 4.2 - Кількість корисних компонентів ТПВ, що можуть бути утилізовані

Компоненти відходів	Кількість у загальній масі (%)	Кількість складових для утилізації (т/добу)	Кількість складових для утилізації (т/рік)
Папір, картон	25,0	7,988	2 937,158
Харчові відходи	36,0	11,502	4 229,508
Деревина	2,8	0,895	328,962
Метал чорний	3,0	0,959	352,459
Метал кольоровий	0,25	0,080	29,372
Скло	5,5	1,757	646,175
Пластмаса	3,3	1,054	387,705
Разом	75,85	24,235	8 911,339

Об'єднана територіальна громада Слобожанське разом зі всіма старостинськими округами має населення близько 21 000 осіб, за даними розрахунку з визначення кількості ТПВ взята мінімальна кількість населення 25 000 осіб, згідно даного розрахунку щорічно утворюється понад 11,7 тис. т ТПВ, з яких понад 8,9 тис. т/рік (близько 75,85% загальної маси) становлять вторинні матеріальні ресурси, що можуть бути успішно утилізовані. Значну частку формують харчові відходи (близько 4,2 тис. т/рік) та папір/картон (понад 2,9 тис.

т/рік), що обґрунтовує доцільність впровадження системи компостування та роздільного збирання макулатури.

Важливою складовою економічної стійкості проектного Центру управління відходами є налагодження стабільних логістичних ланцюгів збуту відсортованої вторинної сировини, яка становить 30% потоку. Завдяки вигідному географічному розташуванню Слобожанської територіальної громади впритул до потужного промислового м. Дніпро, транспортування спресованих фракцій до кінцевих переробників потребуватиме мінімальних витрат.

У рамках регіональної моделі циркулярної економіки пропонуються такі вектори реалізації відсортованих матеріалів:

- чорний та кольоровий металобрухт - відсортований метал доцільно спрямовувати на сучасний електрометалургійний комплекс «Інтерпайп Сталь» (м. Дніпро), це підприємство є найбільшим в Україні прикладом «зеленої металургії» [17];

- скло, склобій - відсортований та розділений за кольорами (прозоре, зелене, коричневе) склобій є цінною сировиною для скляної промисловості області, його реалізація планується на ПрАТ «Вільногірське скло» (Дніпропетровська обл.) [41] або на потужності заводів у м. Новомосковськ, що знаходиться в безпосередній близькості до громади;

- полімери (ПЕТ-пляшки, ПНД/ПВТ-плівки) - індустріальні зони м. Дніпро мають розвинену мережу підприємств із глибокої переробки полімерів, пресовані тюки пластику передаватимуться місцевим заводам-переробникам для подрібнення, миття та виготовлення ПЕТ-флексу й вторинної гранули, наприклад, через заготівельні бази мережі «Вторма» або спеціалізовані полімерні цехи [42];

- макулатура, картон, папір - зібрана паперова фракція реалізовуватиметься регіональним заготівельникам для подальшого відвантаження на картонно-паперові комбінати України, зокрема, Дніпровську паперову фабрику та Зміївську паперову фабрику, для виробництва пакувальних матеріалів;

- небезпечні відходи, батарейки та акумулятори - для унеможливлення потрапляння важких металів у ґрунт, зібрані на базі Хабу елементи живлення

пропонується передавати через національну екологічну ініціативу «Батарейки, здавайтеся!» [8], яка має розгалужену логістичну мережу в м. Дніпро, ця організація забезпечує гарантований транскордонний експорт небезпечних відходів на спеціалізовані заводи ЄС, зокрема, завод *GreenWEEE* у Румунії, для їхньої 100% переробки згідно з європейськими стандартами [8].

Географічне розташування Хабу відносно підприємств-партнерів, в межах Дніпропетровської області, зображено на рисунку 4.2.

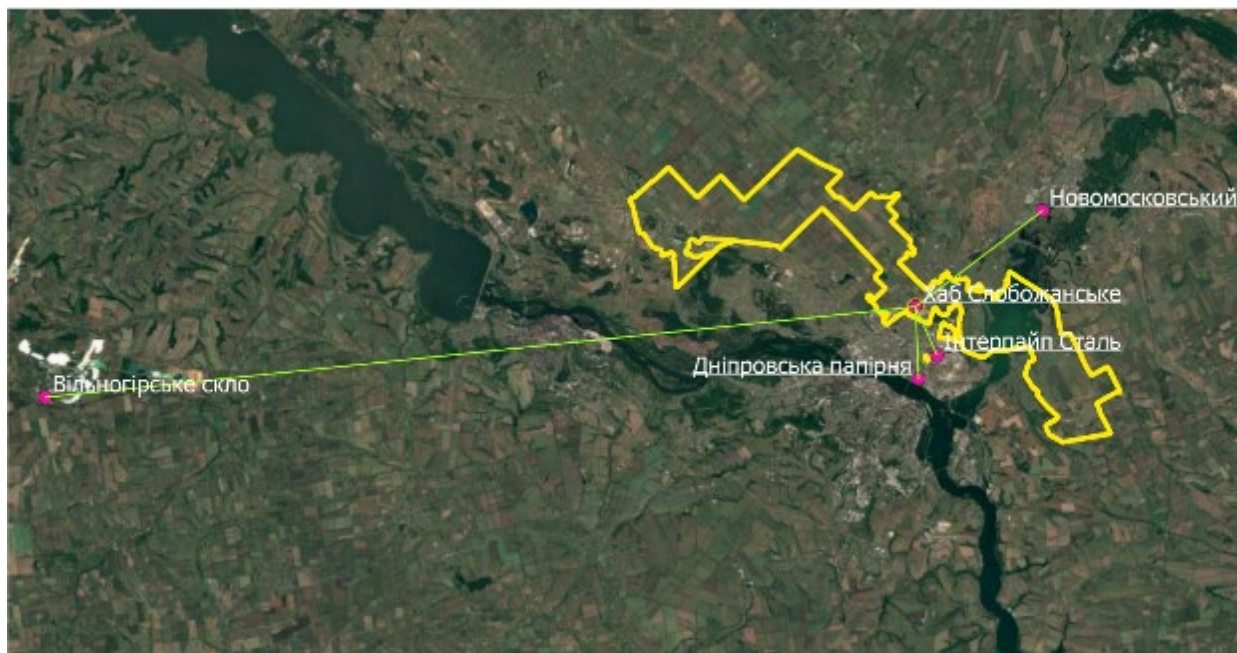


Рисунок 4.2 - Просторова організація логістики відходів *Waste Management Hub* Слобожанської громади

Такий логістичний підхід перетворює *Waste Management Hub* Слобожанської громади в центр накопичення на повноцінного постачальника вторинних ресурсів для промисловості регіону.

Важливим технологічним аспектом є поводження з неліквідними залишками (баластом), які утворюються після етапу глибокого сортування і, згідно з розрахунковим матеріальним балансом, становлять 29% (1305 тонн/рік). До цієї категорії потрапляють відходи, які на сучасному етапі розвитку технологій не підлягають економічно доцільній вторинній переробці: санітарно-гігієнічні відходи, металізована плівка, композитна упаковка та сильно забруднені полімери.

Оскільки з цього масиву повністю вилучено органічну фракцію, залишковий баласт є біологічно інертним. На етапі становлення інфраструктури, як тимчасове рішення, передбачається його екологічно безпечне захоронення. Перед вивезенням баласт обов'язково пресується у промислових компакторах Хабу, що зменшує його об'єм у 4 - 5 разів. Це дозволяє кратно скоротити кількість рейсів великогабаритної спецтехніки до регіонального полігону (комплекс «Правобережний», м. Дніпро) [15], тим самим зменшуючи транспортні викиди CO₂. Головний екологічний ефект цього перехідного етапу полягає в тому, що захоронення очищеного від харчових залишків сміття не супроводжується гниттям, утворенням токсичного фільтрату та емісією парникового звалищного газу.

4.4 Еколого-економічне обґрунтування впровадження Центру управління відходами (Waste Management Hub)

Окрім досягнення цілей стратегії «*Zero Pollution*» та суттєвого зменшення екологічного навантаження на довкілля, створення Центру управління відходами у Слобожанській територіальній громаді має чітке економічне підґрунтя. Перехід від традиційного полігонного захоронення до глибокого сортування та рециклінгу дозволяє трансформувати відходи з екологічної проблеми на джерело муніципального доходу.

Економічна ефективність проєкту розраховується на основі прогностного матеріального балансу, згідно з яким загальний потік ТПВ становить 4500 тонн/рік, з яких 1350 тонн (30%) це ресурсоцінні відходи, а 1800 тонн (40%) біовідходи.

1. Орієнтовні капітальні інвестиції (CAPEX)

Для розгортання базової інфраструктури Хабу на підібраній ділянці необхідні такі капіталовкладення (ціни наведені орієнтовно за середніми ринковими показниками для вітчизняного обладнання):

- напівкаркасний ангар для лінії сортування та зберігання вторсировини ~1500000 грн.
- напівавтоматична сортувальна лінія (потужністю до 5000 т/рік) з магнітним сепаратором та прес-компактором близько 2200000 грн.
- спецтехніка для компостування (навісний аератор (ворошувач) буртів та трактор) 1200000 грн.
- облаштування водонепроникного асфальтобетонного майданчика (0,06 га) з герметичним акумулюючим резервуаром на 40 м³ коштуватиме приблизно 900000 грн.
- мобільний «Еко-бус» та спецбокси для небезпечних відходів 800000 грн.

Загальний орієнтовний обсяг CAPEX: 6600000 грн.

2. Операційна економія та дохідна частина (OPEX & Revenue)

Дохідна частина проєкту формується з двох основних джерел: прямої реалізації відсортованої вторсировини кінцевим переробникам та економії коштів місцевого бюджету.

Реалізація вторинної сировини: з розрахункових 1350 тонн ресурсоцінних відходів приймемо ефективність вилучення на рівні 70% (близько 945 тонн/рік чистого ПЕТ, паперу, скла та металу). За умови середньої консервативної закупівельної ціни міксу вторсировини у 3500 грн/тонна, прямий дохід становитиме: $945 \text{ тонн} \times 3500 \text{ грн} = 3307500 \text{ грн/рік}$.

Економія на захороненні ТПВ (полігонний збір): вилучення з потоку 1800 тонн органіки та 945 тонн вторсировини дозволяє зменшити обсяг сміття, що вивозиться на полігон «Правобережний», на 2745 тонн. При середньому тарифі на захоронення 250 грн/тонна, економія складе: $2745 \text{ тонн} \times 250 \text{ грн} = 686250 \text{ грн/рік}$.

Економія на логістиці баласту: залишковий баласт (1305 тонн) обов'язково пресується у промислових компакторах Хабу, що зменшує його об'єм у 4-5 разів. Це пропорційно зменшує кількість рейсів великогабаритної техніки до полігону, заощаджуючи пальне (орієнтовно 300000 грн/рік).

Економія на добривах: 1800 тонн біовідходів перетворюються на муніципальний компост, що повністю перекриває потребу громади в закупівлі мінеральних добрив для благоустрою зелених зон (орієнтовна економія 250000 грн/рік).

Загальний економічний ефект (дохід + економія): 4543750 грн/рік.

3. Розрахунок терміну окупності (*Payback Period*)

Для розрахунку чистого грошового потоку (*Net Cash Flow*) необхідно відняти щорічні операційні витрати Хабу (*OPEX*: електроенергія, зарплата персоналу, обслуговування техніки), які орієнтовно складуть 1800000 грн/рік.

Чистий грошовий потік = 4543750 грн – 1800000 грн = 2743750 грн/рік.

Простий термін окупності (PP) = $CAPEX / \text{Чистий грошовий потік} = 6600000 / 2743750 = 2,4$ року.

Інженерно-просторове рішення щодо створення Центру управління відходами є не лише екологічним імперативом, але й високорентабельним інфраструктурним проєктом. Розрахунковий термін окупності капітальних інвестицій становить близько 2,5 років. Після цього періоду Хаб почне генерувати стабільний чистий прибуток для бюджету Слобожанської громади, який можна буде реінвестувати у подальші природоорієнтовані рішення та локальну відбудову, формуючи стійку економіку замкненого циклу.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів у Центрі управління відходами

Технологічний процес функціонування Центру управління відходами потужністю 4500 т/рік, який включає роботу лінії глибокого сортування, промислових прес-компакторів та майданчика аеробного компостування площею 630 м², пов'язаний із постійним впливом на персонал комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Оцінка та класифікація цих чинників здійснюється відповідно до Закону України «Про охорону праці» та нормативно-правових актів щодо поводження з промисловими та побутовими відходами.

До фізичних шкідливих і небезпечних факторів належать рухомі машини, транспортні засоби (зокрема мобільний «Еко-бус») та пересувні частини технологічного обладнання: приводи конвеєрних стрічок сортувальної лінії, елементи прес-компакторів баласту, рухомі робочі органи магнітного сепаратора та валів навісного аератора буртів. Наступним постійним чинником є підвищений рівень шуму, що генерується електродвигунами сортувального ангара та компактаторів змішаних відходів, який досягає 77 - 85 дБА, що перевищує гігієнічні нормативи та вимагає розрахунку засобів захисту. Підвищена запиленість повітря робочої зони дрібнодисперсними мінеральними та органічними частками утворюється під час розвантаження комунального транспорту, механічного розділення фракцій макулатури, картону та текстилю. Окремим фактором ризику є недостатня або нерівномірна освітленість на робочих місцях постів ручного досортування вторинної сировини на конвеєрі.

Хімічні небезпечні фактори зумовлені виділенням токсичних, подразнюючих та вибухонебезпечних газів у зонах накопичення змішаної фракції відходів та на початкових стадіях розкладання біовідходів. До них належать аміак, сірководень,

оксид вуглецю та діоксид азоту, концентрації яких у повітрі оцінюються за допомогою стаціонарних та пересувних систем моніторингу. Додаткову хімічну небезпеку для персоналу сортувальної лінії становить безпосередній контакт із залишками засобів побутової хімії, розчинників та лакофарбових матеріалів до моменту їх локалізації у спецбоксах для небезпечних побутових відходів.

Біологічні фактори є специфічними для об'єктів санітарного очищення та рециклінгу і пов'язані з наявністю патогенних мікроорганізмів, бактерій та спор грибів у масі харчових відходів. Процес перекидання та аерації компостних буртів супроводжується інтенсивним утворенням біоаерозолів, що загрожує ураженням шкірних покривів та слизових оболонок дихальних шляхів операторів, вимагаючи суворого дотримання санітарно-гігієнічних вимог. Порушення регламентних термінів видалення баласту та переробки органіки створює загрозу появи гризунів і комах, які є переносниками інфекційних захворювань.

Психофізіологічні виробничі фактори охоплюють значні фізичні перевантаження (динамічне напруження м'язів, тривале перебування у фіксованій позі) під час роботи на постах ручного вилучення корисних компонентів ТПВ, а також нервово-психічне напруження, викликане високим темпом руху конвеєрної стрічки та монотонністю праці.

5.2 Технічні та організаційні заходи безпеки при експлуатації сортувального комплексу і технологій компостування

Зниження впливу ідентифікованих шкідливих і небезпечних факторів у Центрі управління відходами забезпечується впровадженням комплексу інженерно-технічних, організаційних та санітарно-гігієнічних заходів.

Безпечна експлуатація механізованої сортувальної лінії вимагає обладнання всіх рухомих і обертових елементів (барабанів, роlikоопор, ланцюгових та пасових передач) суцільними або сітчастими захисними кожухами. Уздовж сортувальної

естакади з обох боків монтуються кнопки аварійної зупинки («Стоп») для миттєвого блокування руху конвеєрної стрічки в позаштатних ситуаціях. Робочі місця персоналу на постах відбору вторинної сировини облаштовуються підставками з регулюванням висоти для мінімізації статичного напруження опорно-рухового апарату. Сортувальний ангар оснащується припливно-витяжною вентиляцією із забезпеченням нормативної кратності обміну повітря, а над бункером приймання ТПВ та вузлами пересипання встановлюються локальні пиловідсмоктувачі. Очищення магнітного сепаратора від затриманого металообробу проводиться виключно при знеструмленому приводі агрегату.

Виконання технологічних операцій на майданчику аеробного компостування регламентується окремими інструкціями з охорони праці. Процес механізованого перекидання буртів ворошувачем дозволяється розпочинати виключно після перевірки відсутності людей та сторонніх габаритних предметів у радіусі 15 метрів. Кабіна трактора-навантажувача підлягає обов'язковій герметизації та оснащується вугільними фільтрами очищення повітря для захисту оператора від впливу біоаерозолів і спор грибів. Робоче асфальтобетонне покриття майданчика повинно регулярно очищатися від наносів мулу та проливів фільтрату для запобігання падінню працівників. Зливна система збору фільтрату обладнується закритими лотками зі сталевими решітками підвищеної міцності, а оглядові люки підземного резервуара постійно фіксуються запірними пристроями.

Обов'язковою умовою допуску персоналу Центру до роботи є використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) відповідно до галузевих норм. Працівники забезпечуються робочими комбінезонами зі щільної пиловідштовхуючої тканини, спецвзуттям із металевим підноском для захисту стоп від падіння вантажів та нитриловими або кевларовими рукавицями, стійкими до проколів і порізів склом чи металом. Оператори зони сортування використовують промислові респіратори класу захисту FFP2, працівники майданчика компостування - респіратори класу FFP3. Персонал, залучений до роботи поблизу прес-компакторів та двигунів внутрішнього згоряння спецтехніки, обов'язково застосовує засоби індивідуального захисту органів слуху (протишумні навушники або беруші).

5.3 Вимоги безпеки під час експлуатації локальних очисних споруд та обладнання для анаеробного зброджування

Експлуатація локальних очисних споруд на базі мембранних біореакторів (MBR) належить до робіт підвищеної небезпеки через поєднання вологого середовища, використання електрообладнання та хімічних реагентів. Забезпечення електробезпеки вимагає застосування насосних агрегатів, компресорів, повітродувок та засобів автоматизації зі ступенем захисту оболонки не нижче IP65. Усе електрообладнання, металеві конструкції резервуарів, площадки обслуговування та трубопроводи підлягають обов'язковому захисному заземленню (зануленню) з підключенням до загального контуру та встановленням пристроїв захисного відключення (ПЗВ).

Процес хімічної регенерації (промивання) мембранних модулів передбачає використання агресивних речовин, зокрема розчинів гіпохлориту натрію та лимонної кислоти. Виконання цих операцій дозволяється виключно спеціально навченому персоналу, забезпеченому відповідними ЗІЗ: стійкими до лугів і кислот гумовими рукавицями, захисними окулярами закритого типу, респіраторами із захистом від хімічних випарів та прогумованими фартухами. Приміщення реагентного господарства в обов'язковому порядку обладнується автономною примусовою припливно-витяжною вентиляцією та аварійними душовими установками (або фонтанчиками) для негайного промивання очей і шкіри у разі потрапляння хімічних речовин.

Експлуатація обладнання для анаеробного зброджування (метантенків) супроводжується постійним ризиком утворення вибухонебезпечних сумішей біогазу (із вмістом метану до 65-70 %) з атмосферним повітрям. Реактори та газгольдери оснащуються системами безперервного автоматичного газового аналізу, які заблоковані зі світлозвуковою сигналізацією та аварійною витяжною вентиляцією. У радіусі 15 метрів від метантенків встановлюється зона вибухонебезпечності класу В-Іг. У межах цієї зони категорично забороняється

проведення вогневих робіт, паління, використання іскроутворюючого інструменту та експлуатація електрообладнання без відповідного рівня вибухозахисту. Технічне обслуговування та ремонт газових магістралей і запірної арматури здійснюється виключно із застосуванням іскробезпечного (обмідненого) інструменту.

5.4 Заходи безпеки під час монтажу та обслуговування систем відновлюваної енергетики

Реалізація інженерних рішень із декарбонізації, зокрема монтаж та регламентне обслуговування дахової сонячної електростанції (СЕС) потужністю 100 кВт, належить до категорій робіт на висоті та в електроустановках. До виконання висотних робіт допускаються особи, які пройшли спеціальне навчання, інструктаж та відповідний медичний огляд. Обов'язковою умовою допуску є використання випробуваних запобіжних (страхувальних) поясів із фіксацією за надійні конструктивні елементи покрівлі будівлі, а також застосування захисних касок і спеціального взуття з неслизькою підошвою.

Специфіка безпеки фотоелектричних систем полягає у генерації постійного струму модулями навіть за умов низької інсоляції (у похмуру погоду), що створює постійну загрозу ураження електричним струмом під час монтажу. Прокладання кабельних трас, комутація стрінгів та підключення інверторного обладнання виконується виключно кваліфікованим електротехнічним персоналом із групою допуску з електробезпеки не нижче III. Інверторні вузли, акумуляторні блоки та захисна автоматика розміщуються в ізольованих сухих приміщеннях із дотриманням необхідного температурного режиму, природною вентиляцією та технічним обмеженням доступу для недопущення сторонніх осіб. Усі металеві рами кріплення фотомодулів підлягають обов'язковому об'єднанню в єдину систему зрівнювання потенціалів та підключенню до існуючого контуру блискавкозахисту будівлі.

5.5 Пожежна безпека та дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій і воєнного стану

Протипожежний захист території Центру управління відходами базується на принципі суворого зонування з дотриманням нормативних протипожежних розривів між ангаром сортування, зонами тимчасового зберігання відібраної вторинної сировини (макулатури, пластику) та майданчиком біообробки. Специфічним фактором пожежної небезпеки технології аеробного компостування є ймовірність самозаймання органічної маси внаслідок екзотермічних біологічних реакцій при порушенні температурного режиму. Запобігання самозагорянню забезпечується щоденним інструментальним контролем температури всередині буртів (підтримання в межах 55–65 °C) за допомогою щупових термометрів та своєчасним механізованим ворошінням для відведення надлишкового тепла.

Виробничі приміщення та відкриті майданчики обладнуються кільцевим протипожежним водопроводом із гідрантами, а також пожежними щитами, укомплектованими первинними засобами пожежогасіння (вогнегасники ВП-5, ВП-9, ящики з піском, протипожежні покривала, немеханізований інструмент).

У зв'язку з експлуатацією інфраструктурних об'єктів в умовах правового режиму воєнного стану, розроблено та затверджено обов'язковий алгоритм дій персоналу під час надходження сигналу «Повітряна тривога». При активації системи оповіщення:

1. Робота конвеєрних ліній, прес-компакторів та вантажно-розвантажувальні операції негайно призупиняються.
2. Технологічне обладнання знеструмлюється на головному розподільному щиті (за винятком систем безперервного життєзабезпечення, автоматичного газового контролю та сигналізації).
3. Персонал зобов'язаний швидко та організовано евакуюватися до найближчого захисного спорудження (швидкоспоруджуваного модульного залізобетонного укриття на території підприємства).

4. Відновлення технологічного процесу дозволяється виключно після офіційного сигналу про відбій тривоги та візуального обстеження території відповідальним майстром на предмет відсутності вибухонебезпечних предметів або уламків.

ВИСНОВКИ

Підсумовуючи результати роботи, можемо стверджувати, що для досягнення цілей європейської стратегії «Zero Pollution» на рівні Слобожанської громади потрібна повна відмова від застарілих практик на користь сучасних інженерних рішень. Основні результати нашого дослідження зводяться до наступного:

Аналіз екологічної ситуації в Слобожанській ОТГ показав, що найбільший тиск на довкілля чинить транзитний транспорт (який дає понад 50% викидів та створює понаднормовий шум) і критичний стан системи водовідведення. Відсутність очищення зливових вод вже призвела до деградації річки Самара, де рівень кисню під час інструментальних замірів падав до загрозливих 3,07 мг/л.

Для вирішення проблеми відходів ми спроектували просторову та технологічну модель місцевого Центру управління відходами. За нашими розрахунками, він дозволить перенаправити 71% усього обсягу побутового сміття громади (а це близько 4500 тонн на рік) на вторинну переробку та безпечне аеробне компостування.

Щодо залишків, які не підлягають переробці (так званий баласт, що становить 29%), ми свідомо відкинули ідею їх спалювання чи виробництва RDF-палива, оскільки це суперечить курсу на декарбонізацію. Натомість запропоновано технологію біологічної стабілізації (MRBT) перед захороненням, що унеможливить виділення звалищного газу та токсичного фільтрату. Такий комплексний підхід є ще й економічно виправданим - проєкт Центру окупиться орієнтовно за 2,4 року.

У сфері управління водними ресурсами доведено необхідність розділення стоків. Побутові води пропонується очищувати за допомогою мембранних біореакторів (MBR), а для дощових вод - масово впроваджувати природоорієнтовані рішення (NbS). Як показав розрахунок для місцевого ліцею, навіть проста система перехоплення злив з підземним резервуаром на 80 кубів та крапельним поливом здатна автономно жити стадіон технічною водою понад два місяці.

Щоб захистити житлову забудову від шуму та викидів з траси М-30, просторово обґрунтовано створення каскадного «Зеленого щита». Це не просто висадка дерев, а повноцінний багатоярусний інженерний бар'єр, ефективність якого має контролюватися відкритою громадською мережею моніторингу якості повітря.

Екологічна модернізація комунального сектору (встановлення дахових сонячних станцій на 100 кВт, використання теплових насосів та перехід на місцеву біомасу) дасть подвійний ефект. Громада не лише підвищить свою енергонезалежність, але й скоротить вуглецевий слід майже на 230 тонн CO₂ щорічно.

Окрему увагу ми приділили викликам повоєнної відбудови. Запропоновано закріпити на рівні Стратегічної екологічної оцінки (СЕО) обов'язкову вимогу: всі будівельні відходи від руйнувань мають перероблятися мобільними дробарками просто на місцях, а отриманий вторинний щебінь -пріоритетно використовуватися для відновлення місцевої інфраструктури.

Впровадження запропонованого комплексу рішень дасть змогу Слобожанській громаді вирішити наявні інфраструктурні проблеми, побудувати економіку замкненого циклу та стати привабливим майданчиком для європейських зелених інвестицій.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Алексеева Є. Оцінка впливу на довкілля: можливості для громадськості : посібник / Є. Алексеева ; за заг. ред. О. Кравченко ; МБО «Екологія-Право-Людина». Львів : Видавництво «Компанія "Манускрипт"», 2017. 36 с.
2. Алгоритм поводження з відходами від руйнувань (будівельним сміттям) [Електронний ресурс] // Децентралізація : [вебпортал]. URL: <https://decentralization.ua/uploads/attachment/document/1212/%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB%D0%B8.pdf> (дата звернення: 02.06.2026).
3. Аналіз типових помилок при проектуванні об'єктів поводження з відходами в рамках процедури ОВД : аналітичний документ / МБО «Екологія-Право-Людина». Львів, 2019. 28 с.
4. Аналітична записка щодо дотримання правил ОВД та СЕО в Україні / WWF-Україна, ГО «Еко клуб». Київ, 2021. 24 с.
5. Аналітичний огляд оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Київ, 2021. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/Analitychnyj-oglyad-NVV-lypen-2021.pdf> (дата звернення: 28.04.2026).
6. Водний кодекс України : Закон України від 06.06.1995 № 213/95-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр> (дата звернення: 20.04.2026).
7. Водовідведення: навчальний посібник / упоряд. М.В. Пеховка ; над посібником працювали: Т.Б. Боброва, С.М. Високос, Ю.Ю. Глушко, В.М. Кузніченко, В.О. Сашко, Т.М. Терещенко ; ред. І.В. Слободянюк ; дизайн і верстка Є.В. Пономаренко. – Київ: Ресурсний центр ГУРТ, 2018. – Видано в рамках українсько-швейцарського проєкту «Державно-приватне партнерство для поліпшення санітарно-технічної освіти в Україні».

8. Всеукраїнська екологічна ініціатива «Батарейки, здавайтеся!» : офіційний сайт [Електронний ресурс]. – URL: <http://batareiky.in.ua> (дата звернення: 22.04.2026).
9. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. Київ : Мінрегіон України, 2019. 175 с.
10. ДБН В.2.4-2-2005. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування. Київ : Мінбуд України, 2005. 38 с.
11. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. 104 с.
12. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ : Мінрегіон України, 2013.
13. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів : ДСП 173-96. Київ, 1996. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96> (дата звернення: 20.04.2026).
14. ДержСанПіН 2.2.7.029-99. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами. Київ, 1999.
15. Детальний план частини території селища Слобожанське Том 1 : Пояснювальна записка. Дніпро, 2024. 138 с.
16. Детальний план частини території селища Слобожанське щодо перспективного розвитку житлової та громадської забудови... Том 6 : Звіт про стратегічну екологічну оцінку / ФОП Єрошек Ю. В. ; О. А. Іваницька та ін. Дніпро, 2024. 88 с.
17. Довкілля. Зелена металургія [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Української промислової компанії «ІНТЕРПАЙП». – URL: <https://interpipe.biz/ua/okruzhaiushchaia-sreda/> (дата звернення: 22.04.2026).
18. ДСанПіН 8.8.1.2.001-98. Транспортування, зберігання та застосування пестицидів. Київ, 1998. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0001282-98> (дата звернення: 20.04.2026).
19. ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT). Системи енергетичного менеджменту. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 44 с.

20. ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму територій, будинків і споруд. Київ : Мінрегіон України, 2014. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50841 (дата звернення: 20.04.2026).
21. Європейський зелений курс. Екодія . 2023. URL: <https://ecoaction.org.ua/ievropejskyj-zelenyj-kurs.html> (дата звернення: 28.04.2026).
22. Європейський зелений курс / ГО «Агентство з відновлюваної енергетики». Київ, 2021. URL: <https://rea.org.ua/wp-content/uploads/2021/09/eu4u-zelenkurs.pdf> (дата звернення: 28.04.2026).
23. Європейський зелений курс: що варто знати об'єднаним територіальним громадам України : посібник / С. Баран, О. Кізима ; за ред. Є. Алексєєвої, О. Кравченко. Львів : Манускрипт, 2021. 40 с.
24. Інформація щодо результатів аналізу якості води річки Самара поблизу селища Слобожанське (Слобожанська громада) за 12.12.2025. Центр екологічного моніторингу . 2025. URL: <https://ecomonitoring.info/informatsiia-shchodo-rezultativ-analizu-yakosti-vody-richky-samara-poblyzu-selyshcha-slobozhanske-slobozhanska-hromada-za-12-12-2025/> (дата звернення: 29.05.2026).
25. Інформація щодо результатів аналізу якості води річки Самара поблизу с. Олександрівка (Слобожанська громада) за 24.12.2025. Центр екологічного моніторингу . 2025. URL: <https://ecomonitoring.info/informatsiia-shchodo-rezultativ-analizu-yakosti-vody-richky-samara-poblyzu-s-oleksandrivka-slobozhanska-hromada-za-24-12-2025/> (дата звернення: 29.05.2026).
26. Інформація щодо результатів вимірювання якості повітря станцією Sapphire 64 у Слобожанській громаді за 03.12.2025 р. Центр екологічного моніторингу . 2025. URL: <https://ecomonitoring.info/informatsiia-shchodo-rezultativ-vymiriuvannia-yakosti-povitria-stantsiiei-sapphire-64u-slobozhanskiy-hromadi-za-03-12-2025-r/> (дата звернення: 29.05.2026).
27. Інформація щодо результатів вимірювання якості повітря станцією Sapphire 64 у Слобожанській громаді за 12.12.2025 р. Центр екологічного моніторингу . 2025. URL: <https://ecomonitoring.info/informatsiia-shchodo-rezultativ->

[vymiriuvannia-yakosti-povitria-stantsiieiu-sapphire-64-u-slobozhanskiy-hromadi-za-12-12-2025-r/](#) (дата звернення: 29.05.2026).

28. Калюжний А.П., Чаленко К.О. Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Малі очищувальні споруди» для студентів спеціальностей 7.06010108, 8.06010108 «Раціональне використання і охорона водних ресурсів» (освітньо-кваліфікаційний рівень – спеціаліст, магістр) усіх форм навчання. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – 83 с

29. Каталог природоорієнтованих рішень / О. Котляренко, А. Козачко, М. Сорока та ін. ; за ред. М. Сороки. Львів : ГО «Плато», 2021. 50 с. URL: <https://plato.lviv.ua/wp-content/uploads/2021/12/katalog-por-1.pdf>

30. Кращі європейські практики управління відходами : посібник / А. Войціховська, О. Кравченко, О. Мелень-Забрамна, М. Панькевич ; за заг. ред. О. Кравченко. Львів : Видавництво «Компанія "Манускрипт"», 2019. 64 с

31. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 492 с.

32. Мерва А. Як три роки війни вплинули на кількість викидів в Україні та світі та чи понесе росія відповідальність за кліматичні втрати? Пояснюють в ГО «Екодія». URSA.MEDIA . 2025. URL: <https://ursamedia.com.ua/novyny/yak-try-roky-vijny-vplynuly-na-kilkist-vykydiv-v-ukrayini-ta-sviti/> (дата звернення: 28.05.2026).

33. Методичні вказівки до виконання курсового проекту (роботи) з дисципліни «Технології захисту навколишнього середовища» на тему: «Проектування споруд з очистки стічних вод» для студентів факультету водогосподарської інженерії та екології спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» денної форми навчання ОС «Бакалавр» / уклад. Г. В. Гапіч. Дніпро : ДДАЕУ, 2020. 34 с.

34. Методичні рекомендації до розрахунково-графічних робіт з навчальної дисципліни «Управління та поводження з відходами» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 183 - «Технології захисту навколишнього середовища» освітньо-професійна програма Технології захисту навколишнього середовища / уклад. О. Г. Карась. Дніпро : ДДАЕУ, 2025. 30 с.

35. Місцевий план управління відходами Слобожанської громади Дніпровського району Дніпропетровської області. Слобожанське, 2024. 126 с.
36. Петрук В. Г., Васильківський І. В., Петрук Р. В. Технології захисту навколишнього середовища. Ч. 2. Методи очищення стічних вод : підручник. Одеса : Гельветика, 2025. 298 с.
37. Писаренко В. М., Писаренко П. В. Органічні добрива на захисті родючості ґрунту : монографія. Полтава : ПДАУ, 2022. 186 с. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/academicdepartment/kafedra-zahyst-roslyn/organichnidobryvaknyga2022.pdf>
38. Полянська К. Відповідність державної політики України у сфері збереження біорізноманіття пріоритетам та цілям Європейського зеленого курсу / за ред. О. Кравченко. Львів : Екологія–Право–Людина, 2022. 36 с.
39. Порядок поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій : постанова Кабінету Міністрів України від 27.09.2022 № 1073. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-п> (дата звернення: 20.04.2026).
40. Посібник для міст і муніципалітетів, які отримують пропозиції побудови сміттєспалювальних заводів «відходи на енергію» («waste-to-energy») / Global Alliance for Incinerator Alternatives (GAIA) ; пер. Zero Waste Alliance Ukraine. 2017. 8 с.
41. ПрАТ «Вільногірське скло» : офіційний сайт [Електронний ресурс]. – URL: <https://v-glass.com/> (дата звернення: 22.04.2026).
42. Прийом відходів вторинної сировини та пластику у Дніпрі [Електронний ресурс] // Ecolos: екологічне підприємство (мережа пунктів прийому). – URL: <https://ecolos.com.ua/dnipro/> (дата звернення: 22.04.2026).
43. Принципи циркулярної економіки у контексті повторного використання матеріалів у громаді : звіт / European Circular Retail (ECR). 2021.
44. Природоорієнтовані рішення у лісовому, водному та аграрному секторах : аналітичний звіт / WWF-Україна. Київ, 2023. 44 с. URL:

https://nbs.wwf.ua/wp-content/uploads/2023/02/politychnyj-poliloh-i-rekomendatsii_insure_ukr.pdf

45. Про затвердження Державних санітарних норм допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 22.02.2019 № 463. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0281-19>

46. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10) : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 № 400. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>

47. Про затвердження Методики роздільного збирання побутових відходів : наказ Мінінфраструктури України від 13.12.2023 № 1130. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0168-24> (дата звернення: 20.04.2026).

48. Про затвердження Національного плану дій з охорони навколишнього природного середовища до 2025 року : розпорядження КМУ від 21.04.2021 № 443-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/443-2021-p> (дата звернення: 20.04.2026).

49. Про затвердження Правил визначення норм надання послуг з управління побутовими відходами : наказ Мінінфраструктури України від 12.01.2024 № 30. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0138-24> (дата звернення: 20.04.2026).

50. Про оцінку впливу на довкілля : Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19> (дата звернення: 20.04.2026).

51. Про управління відходами : Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20> (дата звернення: 20.04.2026).

52. С. Баран, О. Кізима Європейський зелений курс: що варто знати об'єднаним територіальним громадам України: посібник / С. Баран, О. Кізима [заг. ред. Є. Алексєєвої, О. Кравченко]. Львів: «Компанія "Манускрипт"», 2021. 40 с. ISBN 978-966-2400-99-1

53. Скрильник Є. В. Еколого-агрохімічна оцінка та використання компостів з органічних відходів різного походження : монографія. Харків : ФОП Бровін О. В., 2020. 280 с.

54. Спалювання відходів із їх перетворенням у енергію: забруднення та вплив на здоров'я / *Global Alliance for Incinerator Alternatives (GAIA)*. 2019. 6 с.

55. Стратегія розвитку Слобожанської територіальної громади Дніпровського району Дніпропетровської області на 2023–2027 роки / за координації В. Одзімека, Н. Глинського. Слобожанське : Слобожанська селищна рада, 2023. 128 с.

56. Тевкун Т. Ієрархія поводження з відходами. Що це таке і як впровадити в Україні? : аналітичний матеріал / Т. Тевкун ; МБО «Екологія-Право-Людина». Львів, 2019. 5 с

57. У Хмельницькому відкрили другий Центр управління відходами: що і куди приносити [Електронний ресурс] / К. Белоусова // ЕкоПолітика : [вебсайт]. – 2023. – 11 жовтня. – URL: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/u-hmelnickomu-vidkrili-drugij-centr-upravlinnya-vidhodami/> (дата звернення: 21.04.2026).

58. Фавоїно Е. Розробка стратегії «з'єднувального містка» для залишкових відходів. Відновлення і біологічне оброблення матеріалів (MRBT) для управління залишковими відходами в межах кругової економіки : аналітична довідка / Е. Фавоїно ; Zero Waste Europe. 2020. 30 с

59. Шах Д. Що таке RDF (паливо з відходів). Чим насправді є тверде паливо з відходів? / Д. Шах ; *Global Alliance for Incinerator Alternatives (GAIA)*. 2013. 12 с.

60. Як сортувати сміття. Інструкція для початківця і бувалого [Електронний ресурс] / А. Охрей // Ecogrizzly : [вебсайт]. – 2020. – 18 липня. – URL: <https://ecogrizzly.shop/waste-sorting/> (дата звернення: 21.04.2026).

61. Directive 2008/98/
EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste . Official Journal of the European Union. 2008. L 312. P. 3 – 30.

62. EU Biodiversity Strategy for 2030. Brussels, 2020. 24 p.

63. Guidebook How to *develop a Sustainable Energy and Climate Action Plan* Joint Research Centre (JRC).2018.264 p. URL:https://enefcities.org.ua/upload/files/covenant%20of%20mayors/Guidebook_How%20to%20develop%20SECAP_2018_en.pdf (дата звернення: 22.04.2026).

64. Home Composting Process Map [Електронний ресурс] // Wastebuster : [вебсайт]. – URL: <https://www.wastebuster.co.uk/resources/teaching-pack/home-composting-process-map/94> (дата звернення: 21.04.2026).

65. Mortality attributable to long – term exposure to PM2.5, 2023 / European Environment Agency. 2025. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/harm-to-human-health-from-air-pollution-burden-of-disease-status-2025/confidence-intervals-and-the-rates-per-100-00-inhabitants-mortality-due-to-long-term-exposure-to-pm2-5-2023> (date of access: 20.04.2026).

66. The European Green Deal. Brussels, 2019. 24 p.

ДОДАТКИ

Таблиця - Смертність, пов'язана з тривалим впливом $PM_{2.5}$, 2023 р. [65]

Країна або територія	Уражене населення (30+ років)	Середньо зважена концентрація $PM_{2.5}$ (мкг/м ³)	Смертність (абсолютна кількість)	Рівень смертності (на 100 тис.)	Втрачені роки життя	Коефіцієнт втрачених років (на 100 тис.)
Австрія	6 247 989	9,1	2 608	41,8	25 924	414,9
Бельгія	7 706 766	8,8	2 940	38,2	30 396	394,4
Болгарія	4 679 934	14,3	6 729	143,8	72 781	1 555,2
Хорватія	2 689 009	13,0	2 886	107,3	28 876	1 073,9
Кіпр	856 335	14,7	612	71,5	6 579	768,3
Чехія	7 444 639	10,9	4 715	63,3	51 363	689,9
Данія	3 847 060	6,6	703	18,3	7 333	190,6
Естонія	932 969	5,2	46	5,0	501	53,8
Фінляндія	3 765 180	4,2	34	0,9	339	9,0
Франція	43 124 046	8,4	14 741	34,2	160 874	373,1
Німеччина	58 398 257	7,9	21 640	37,1	216 546	370,8
Греція	7 442 760	16,5	10 249	137,7	97 856	1 314,8
Угорщина	6 633 653	12,4	6 767	102,0	72 680	1 095,6
Ірландія	3 284 287	6,2	316	9,7	3 613	110,0
Італія	42 822 566	14,1	43 083	100,6	407 949	952,7
Латвія	1 309 340	7,9	577	44,1	6 315	482,4
Литва	1 999 148	8,1	814	40,7	9 116	456,0
Люксембург	432 503	7,1	66	15,4	743	172,0
Мальта	373 208	10,9	172	46,3	1 925	516,0
Нідерланди	11 737 613	8,2	3 847	32,8	39 747	338,6
Польща	25 394 150	13,8	25 268	99,5	302 510	1 191,3
Португалія	7 152 244	7,7	2 221	31,1	22 894	320,1
Румунія	12 978 168	13,1	14 065	108,4	160 029	1 233,1
Словаччина	3 708 529	12,2	2 732	73,7	33 239	896,3
Словенія	1 486 371	12,0	1 034	69,6	11 163	751,0
Іспанія	32 384 596	9,5	13 317	41,1	140 261	433,1

Продовження ДОДАТКУ А

Швеція	6 832 264	4,7	204	3,0	1 970	28,8
Інші країни						
Албанія	1 810 972	17,4	3 551	196,1	35 817	1 977,8
Андорра	53 237	5,9	6	11,8	68	128,3
Боснія і Герцеговина	2 403 349	18,6	4 783	199,0	49 409	2 055,9
Ісландія	235 441	4,1	0	0,0	0	0,0
Косово	1 238 960	16,6	2 135	172,4	23 877	1 927,2
Ліхтенштейн	27 563	7,7	5	21,5	71	261,2
Монако	25 026	8,7	9	37,5	102	409,3
Чорногорія	391 935	13,6	555	141,8	6 037	1 540,5
Північна Македонія	1 200 381	19,2	2 667	222,2	25 011	2 083,6
Норвегія	3 542 430	5,0	235	6,6	2 367	66,8
Сан-Марино	24 540	12,4	20	83,1	192	786,4
Сербія	4 638 166	17,7	8 735	188,3	90 227	1 945,3
Швейцарія	6 036 865	7,6	1 357	22,5	13 630	225,8
УСЬОГО (ЄС- 27)	305 664 597	10,2	182 399	59,7	1 913 535	626,0
УСЬОГО (Всі країни)	327 293 458	10,3	206 464	63,1	2 160 350	660,1

Примітка : у таблиці наведено дані для кожної країни та групи країн населення віком від 30 років, зважену за чисельністю населення концентрацію $PM_{2.5}$, кількість смертей, рівень смертності, кількість втрачених років життя та рівень втрачених років життя, що пояснюються концентраціями $PM_{2.5}$ вище рівня ВООЗ AQG 5 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$, разом з межами їх 95% довірчих інтервалів.

Методика розрахунку каналізаційних очисних систем

ДОДАТОК Б.1

$$\omega = \frac{q_w}{v_s \cdot n} \text{ м}^2$$

де q_w - максимальна витрата стічних вод, м³/с;

n – число піскоуловлювачів (відділень), приймають не меншим за два;

v_s - швидкість руху стічних вод, м/с

ДОДАТОК Б.2

$$L_s = \frac{1000 \times k_s \times H_s \times V_s}{U_0} \text{ м}$$

де k_s – коефіцієнт, що приймають залежно від типу піскоуловлювач;

H_s – розрахункова глибина піскоуловлювача, м;

U_0 – гідравлічна крупність піску, мм/с:

Для розрахунків використовуємо значання згідно вище зазначеного ДБН, а саме таблиці 19. $k_s=1.70$; $U_0=18.7$ мм/с; $H_s=0.6$ м

ДОДАТОК Б.3

$$Q_{mud} = \frac{q_w \times (C_{en} - C_{ex})}{(100 - P_{mud}) \times \gamma_{mud} \times 10^4}$$

де q_w – середня витрата стічних вод, м³/год.;

C_{en} – концентрація завислих речовин у воді, що надходить, мг/л;
приймаємо 180 мг/л;

C_{ex} – концентрація завислих речовин у освітленій воді, мг/л; значення має бути менше за 150 мг/л, приймаємо що очищення відбулося до 30 мг/л;

P_{mud} – вологість осаду, %; γ_{mud} – щільність осаду, г/см³.

$$t_{atm} \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i - (1 - s) \times p}$$

де L_{en} – БСК_{повне} стічної води на вході в аеротенк (з урахуванням зниження БПК при первинному відстоюванні), мг/л;

L_{ex} – БСК_{повне} очищеної води, мг/л;

a_i – доза мулу, г/л;

s – зольність мулу, 0,3;

p – питома швидкість окиснення, мг БПК_{повне} на 1г беззольної речовини мулу в 1 год. Визначається як:

$$\rho = \rho_{max} \frac{L_{ex} \times C_0}{L_{ex} \times C_0 + K_1 \times C_0 + K_0 \times L_{ex}} \times \frac{1}{1 + \varphi \times a_i}$$

де ρ_{max} – максимальна швидкість окиснення, мг/г – год, яку допускається приймати згідно з таблицею В.4(ДБН)

L_{ex} – за таблицею вихідних даних 50 г/добу = 2,1 г/год

C_0 – концентрація розчиненого кисню, мг/л; згідно ДБН за попередніми розрахунками приймаємо 2 мг/л

K_1 – константа, що характеризує властивості органічних забруднюючих речовин, мг БПК_{повне}/л, за таблицею В4 з ДБН становить 33 мг БСК_{повн}/л;

K_0 – константа, що характеризує властивості органічних забруднюючих речовин, яку для міських стічних вод приймають на рівні 0,625 мг O₂/л;

φ – коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу, що приймають на рівні 0,07 л/г для міських стічних вод.

a_i - від 3 г/дм³ до 4 г/дм³

$$Ri = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i}$$

де J_i – муловий індекс, см³/г.

$$q_{air} = \frac{q_0 \times (L_{en} - L_{ex})}{K_1 \times K_2 \times K_t \times K_3 \times (C_a - C_0)}$$

де q_0 – питома витрата кисню повітря, мг на 1 мг знятої БСК_{повне}, при проектуванні аеротенків з подовженою аерацією – 1,25;

L_{en} – за таблицею вихідних даних 85 г/добу

K_1 – коефіцієнт, що враховує тип аератора для середньобульбашкової і низьконапірної $K_1=0,75$;

K_2 – коефіцієнт, що залежить від глибини занурення аераторів h_a і який приймається за таблицею В.7 (ДБН);

K_t – коефіцієнт, що враховує температуру стічних вод, який можна визначити за формулою :

$$K_t = 1 + 0,02(T_w - 20)$$

де T_w - середньомісячна температура води за літній період, 25.5 °С

$$K_t = 1 + 0,02 (25,5 - 20) = 1,11$$

K_3 – коефіцієнт якості води, який приймається для стічних вод господарсько-побутової каналізації населеного пункту - 0,85

C_0 – розчинність кисню повітря у воді, мг/л.

C_a визначаємо за формулою

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) C_t$$

де h_a – глибина занурення аератора, м;

C_t – розчинність кисню у воді залежно від температури й атмосферного тиску.

$$C_a = \left(1 + \frac{4}{20,6}\right) 8,33 = 9,9$$

$$Q_{air} = Q_w \times q_{air}$$

де Q_w – витрата стічних вод, м³/добу.

$$F = \frac{Q_{air}}{24 \times I_a}$$

де I_a – інтенсивність аерації, $\text{м}^3 \cdot \text{год} / \text{м}^2$.

$$I_{air} = \frac{q_{air} \times H_{at}}{t_{atm}}$$

$$N = \frac{q_0 \times (L_{en} - L_{ex}) \times W_{at}}{1000 \times K_t \times K_3 \left(\frac{C_a - C_0}{C_0} \right) t_{atm} \times Q_{ma}}$$

де Q_{ma} – продуктивність аератора по кисню, $\text{кг} / \text{год}$;

W_{at} – місткість споруд, м^3 .