

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства  
та природокористування  
Кафедра екології, технології захисту навколишнього середовища та  
лісового господарства

**05-02-507М**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

для виконання практичних завдань та самостійної роботи  
з навчальної дисципліни  
*«Технології утилізації побутових відходів»*  
для здобувачів вищої освіти третього (pHD) рівня  
за освітньо-науковою програмою «Екологія» спеціальності  
101 «Екологія» галузі знань 10 «Природничі науки»  
денної і заочної форм навчання

Рекомендовано  
науково-методичною радою з якості  
ННІ агроєкології та землеустрою  
Протокол № 11 від 28.01.2025 р.

Методичні вказівки для виконання практичних завдань та самостійної роботи з навчальної дисципліни *«Технології утилізації побутових відходів»* для здобувачів вищої освіти третього (pHD) рівня за освітньо-науковою програмою «Екологія» спеціальності 101 «Екологія» галузі знань 10 «Природничі науки» денної і заочної форм навчання. [Електронне видання] / Бедункова О. О. – Рівне : НУВГП, 2025. – 45 с.

Укладач: Бедункова О. О., доктор біологічних наук, професор, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

Відповідальний за випуск: Клименко М. О., доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

Керівник групи забезпечення спеціальності 101 «Екологія»

Бедункова О. О.

© О. О. Бедункова, 2025  
© Національний університет водного господарства та природокористування, 2025

## ЗМІСТ

Передмова.....	3
Практична робота №1 Вимірювання кількості твердих побутових відходів .....	5
Практична робота № 2 Визначення кількості великогабаритних та ремонтних побутових відходів .....	12
Практична робота №3 Визначення кількості рідких побутових відходів .....	15
Практична робота № 4 Піроліз відходів як високоефективний термічний спосіб їх переробки .....	18
Практична робота № 5 Переробка текстильних відходів .....	24
Практична робота № 6 Еколого-економічна оцінка об'єктів видалення відходів.....	31
Практична робота №7 Визначення категорії екологічної безпеки місць видалення відходів.....	36
Приклади тестових завдань .....	40
Рекомендована література.....	43

### Передмова

Методичні вказівки з дисципліни «Технології утилізації побутових відходів» спрямовані на формування висококваліфікованих екологів, здатних застосовувати свої знання для розв'язання актуальних проблем поводження з побутовими відходами. Виконання практичних завдань дозволить здобувачам набути професійних навичок, необхідних для подальшої наукової, освітньої чи практичної діяльності:

Аналіз складу та властивостей відходів: у рамках робіт, таких як вимірювання кількості побутових, великогабаритних, ремонтних, рідких текстильних відходів, аспіранти набувають навичок

проведення кількісного та якісного аналізу різних типів відходів. Це включає вимірювання, облік, сортування та первинну обробку.

Розробка екологічно безпечних методів утилізації: на основі роботи з технологіями піролізу та переробки текстильних матеріалів аспіранти вивчають сучасні методи термічної, механічної та хімічної обробки відходів. Вони здатні оцінювати ефективність цих методів для різних типів матеріалів та умов.

Оцінка екологічної безпеки місць видалення відходів: завдяки практичним завданням, спрямованим на розрахунок інтегральних показників негативного впливу від полігонів, аспіранти отримують навички визначення категорій екологічної безпеки об'єктів видалення відходів, що є важливим для прийняття управлінських рішень.

Еколого-економічне обґрунтування рішень: виконуючи розрахунки економічного збитку від забруднення атмосферного повітря і водних ресурсів, здобувачі опановують методики економічної оцінки шкоди довкіллю. Ця компетенція є ключовою для підготовки обґрунтованих рекомендацій щодо впровадження нових технологій утилізації.

Системний підхід до управління відходами: всі практичні роботи побудовані таким чином, щоб аспіранти могли інтегрувати отримані знання та навички для розробки комплексних рішень у сфері поводження з відходами. Вони навчаються аналізувати весь цикл поводження з відходами – від їх утворення до утилізації чи переробки.

Розвиток критичного мислення та аналітичних здібностей: розрахункові та аналітичні завдання, що виконуються у кожній практичній роботі, сприяють розвитку у аспірантів здатності критично оцінювати екологічні ризики, прогнозувати наслідки впливу відходів на довкілля та розробляти ефективні заходи їх мінімізації.

Методичні вказівки також містять приклади тестових завдань, які дозволяють аспірантам перевірити рівень засвоєння матеріалу, закріпити ключові поняття та підготуватись до тестового контролю знань.

## Практична робота №1

Тема: *Вимірювання кількості твердих побутових відходів*

Мета роботи: *Оволодіти методикою проведення вимірювань та розрахунків з встановлення кількості ТПВ суспільних об'єктів різного призначення.*

Проведення вимірювання кількості ТПВ є необхідною складовою частиною при виконанні робіт з визначення норм надання послуг з вивезення побутових відходів у містах, селищах і селах, які застосовуються для визначення обсягів надання послуг з вивезення побутових відходів.

Зазначена процедура нормується у постанові Кабінету Міністрів України від 10.12.08 № 1070 “Про затвердження Правил надання послуг з вивезення побутових відходів” сформованій на підставі Законів України “Про відходи” і “Про житлово-комунальні послуги”.

Вимірювання кількості твердих побутових відходів у житлових будинках проводять на території житлової забудови населеного пункту з урахуванням чисельності мешканців:

- до 300000 мешканців у населеному пункті - у 2 % від загальної чисельності населення;
- від 300000 до 500000 мешканців – у 1%;
- більше 500000 мешканців – у 0,5%.

Під час вимірювання кількості твердих побутових відходів, що утворюються на підприємствах, установах, організаціях, обирають найбільш характерні для даного населеного пункту джерела у кількості не менше 2.

Кількість твердих побутових відходів розраховують на одиницю виміру, характерну для кожного джерела утворення побутових відходів (далі – розрахункова одиниця) (додаток 1). Органи місцевого самоврядування можуть додатково визначати характерні для населеного пункту підприємства, установи та організації, для яких мають бути встановлені норми надання послуг з вивезення твердих побутових відходів, але які не включено до переліку, наведеного у додатку 1, та відповідні їм розрахункові одиниці.

Для проведення вимірювання кількості твердих побутових відходів обирають житлові будинки, нежитлові приміщення яких вільні від підприємств, установ, організації.

Вимірювання кількості твердих побутових відходів проводять протягом чотирьох сезонів року.

Вимірювання кількості твердих побутових відходів може проводитися прискореним методом - протягом одного сезону року з урахуванням коефіцієнту сезонної нерівномірності утворення твердих побутових відходів, який визначається згідно з додатком 2.

Вимірювання кількості твердих побутових відходів у одному сезоні виконують безперервно протягом семи діб незалежно від періодичності збирання та перевезення твердих побутових відходів.

Обладнання, необхідне для вимірювання кількості твердих побутових відходів:

а) мірна лінійка на 1,5 м або рулетка;

б) автомобільні ваги з дискретністю до 10 кг та похибкою зважування  $0,5 \pm 1\%$  або ваги на 500 кг, похибка зважування  $0,5 \pm 1\%$ .

Вимірювання кількості твердих побутових відходів розпочинають з вибору маршрутів спеціального автотранспорту, що здійснює збирання та перевезення твердих побутових відходів (далі – сміттєвоз), для кожного з обраних джерел, а також кількості розрахункових одиниць для кожного маршруту.

Результати вибору маршрутів сміттєвозів та кількості розрахункових одиниць заносяться до протоколу за формою, наведеною у додатку 3.

З метою планування проведення робіт з вимірювання кількості твердих побутових відходів складають графік вимірювань за формою, наведеною у додатку 4.

Під час проведення вимірювання кількості твердих побутових відходів визначають:

- кількість контейнерів,
- об'єм кожного контейнера,
- ступінь заповнення контейнерів твердими побутовими відходами;
- масу контейнера порожнього та заповненого твердими побутовими відходами (у разі наявності ваг на 500 кг) або масу порожнього та заповненого твердими побутовими відходами сміттєвозу.

Об'єм контейнера визначають у разі:

- використання стандартних контейнерів - згідно з технічним паспортом,
- використання нестандартних контейнерів – шляхом розрахунку об'єму контейнера за результатами вимірювання розмірів сторін нижньої та верхньої основи контейнера, його висоти за формулою:

$$V_{\text{конт}} = \frac{h}{3} (S_1 + \sqrt{S_1 \cdot S_2} + S_2) \quad (1.1)$$

де:

$V_{\text{конт}}$  - об'єм контейнера, м<sup>3</sup>;

$h$  - висота контейнера, м;

$S_1$ - площа нижньої основи контейнера, м<sup>2</sup>;

$S_2$ - площа верхньої основи контейнера, м<sup>2</sup>.

Результати вимірювань заносять у протокол за формою, наведеною у додатку 5 із зазначенням дати проведення вимірювання, адресу житлового будинку або іншого джерела утворення відходів, номер маршруту, номер рейсу за маршрутом, технічні характеристики сміттєвоза.

Перед початком вимірювання усі контейнери слід очистити від твердих побутових відходів.

Під час проведення вимірювання кількості твердих побутових відходів розрівнюють поверхню твердих побутових відходів, що знаходяться у контейнері, та визначають ступінь його заповнення. Об'єм твердих побутових відходів дорівнює об'єму наповненої відходами частини контейнера.

Якщо контейнер заповнено з верхом, знімають надлишок та перевантажують його у незаповнений контейнер, або, у разі його відсутності, завантажують у той же контейнер після його спорожнення, після чого проводять вимірювання.

Об'єм утворення твердих побутових відходів у житлових будинках або на інших об'єктах утворення побутових відходів на добу визначають за формулою:

$$V_{\text{дооб}}^i = V_o^i / n_i \cdot t_i \quad (1.2)$$

де:

$V_{\text{дооб}}^i$  – розрахунковий добовий об'єм твердих побутових відходів, що утворюються однією розрахунковою одиницею за «i»-м рейсом, м<sup>3</sup>/розрахункова одиниця на добу;

$V_o^i$  – сумарний об’єм твердих побутових відходів «і»-го рейсу, м<sup>3</sup> (отриманий шляхом вимірювання об’ємів твердих побутових відходів протягом усього терміну проведення вимірювань за «і»-м рейсом;

$n_i$  – кількість розрахункових одиниць «і»-го рейсу (відповідно для житлових будинків або об’єктів утворення побутових відходів);

$t_i$  – періодичність вивезення твердих побутових відходів «і»-го рейсу;

$i$  - порядковий номер рейсу на маршруті сміттєвоза.

Масу утворення твердих побутових відходів у житлових будинках або на інших об’єктах утворення побутових відходів на добу визначають за формулою:

$$m_{\text{доб}}^i = m_o^i / n_i \cdot t_i \quad (1.3)$$

де:

$m_{\text{доб}}^i$  – розрахункова добова маса твердих побутових відходів, що утворюються однією розрахунковою одиницею за «і»-м рейсом, кг/розрахункова одиниця/добу;

$m_o^i$  – сумарна маса твердих побутових відходів «і»-го рейсу, кг.

Сумарну масу твердих побутових відходів визначають шляхом:

- зважування за допомогою ваг на 500 кг порожніх та заповнених контейнерів з твердими побутовими відходами, що завантажуються у сміттєвоз на «і»-му рейсі, і підсумовування результатів визначення різниці між масами заповненого і порожнього контейнерів;
- зважування на автомобільних вагах порожнього та заповненого сміттєвоза з твердими побутовими відходами, що завантажуються у сміттєвоз на «і»-му рейсі, та визначення різниці між цими зважуваннями);

Середній об’єм утворення твердих побутових відходів на добу у житлових будинках або на інших джерелах утворення побутових відходів для кожного сезону року, протягом якого проводяться вимірювання, визначають за формулою:

$$V_{\text{доб}}^{\text{сеп}} = \sum V_{\text{доб}}^i / R \quad (1.4)$$

де:



$V_{доб}^{сер}$  – розрахунковий середній добовий об’єм утворення твердих побутових відходів на одну розрахункову одиницю у сезоні року, коли проводиться вимірювання, м<sup>3</sup>/розрахункова одиниця/добу;

$R$  – загальне число рейсів, виконаних за відповідними маршрутами.

Середню масу утворення твердих побутових відходів на добу у житлових будинках або на інших об’єктах утворення побутових відходів для кожного сезону року, протягом якого проводяться вимірювання, визначають за формулою:

$$m_{доб}^{сер} = \sum m_{доб}^i / R \quad (1.5)$$

де:

$m_{доб}^{сер}$  – розрахункова середня добова маса утворення твердих побутових відходів на одну розрахункову одиницю у сезоні року, коли проводиться вимірювання, кг/розрахункова одиниця/добу;

$R$  – загальне число рейсів, виконаних за відповідними маршрутами.

Добовий об’єм утворення твердих побутових відходів у житлових будинках та на інших джерелах утворення побутових відходів у середньому за рік визначається за формулою:

$$V_{доб.річ.}^{сер} = \sum V_{доб}^{сер} / 4 \quad (1.6)$$

де:

$V_{доб.річ.}^{сер}$  – розрахунковий добовий об’єм утворення твердих побутових відходів у середньому за рік на одну розрахункову одиницю, м<sup>3</sup>/розрахункова одиниця/добу.

Добова маса утворення твердих побутових відходів у житлових будинках та на інших джерелах утворення побутових відходів у середньому за рік визначається за формулою:

$$m_{доб.річ.}^{сер} = \sum m_{доб}^{сер} / 4 \quad (1.7)$$

де:

$m_{\text{доб.річ.}}^{\text{сер}}$  – розрахункова добова маса утворення твердих побутових відходів у середньому за рік на розрахункову одиницю, кг/розрахункова одиниця/добу.

Об'єм утворення твердих побутових відходів у житлових будинках або на інших джерелах утворення побутових відходів у середньому за рік визначається за формулою:

$$V_{\text{річ}}^{\text{сер}} = V_{\text{доб.річ.}}^{\text{сер}} \cdot T \quad (1.8)$$

де:

$V_{\text{річ}}^{\text{сер}}$  - об'єм утворення твердих побутових відходів у середньому за рік на розрахункову одиницю, м<sup>3</sup>/рік.

Маса утворення твердих побутових відходів у житлових будинках або на інших об'єктах утворення твердих побутових відходів у середньому за рік визначається за формулою:

$$m_{\text{річ}}^{\text{сер}} = m_{\text{доб.річ.}}^{\text{сер}} \cdot T \quad (1.9)$$

де:

$m_{\text{річ}}^{\text{сер}}$  - маса утворення твердих побутових відходів у середньому за рік на розрахункову одиницю, кг/рік;

$T$  – кількість днів на рік, протягом яких утворюються тверді побутові відходи (для житлових будинків – 365 днів; для інших джерел утворення побутових відходів – за річним фондом часу їх роботи).

Вимірювання кількості твердих побутових відходів у випадку застосування прискореного методу проводять протягом семи днів одного сезону і розраховують добовий середній для сезону об'єм утворення твердих побутових відходів шляхом використання у розрахунках коефіцієнта сезонної нерівномірності утворення твердих побутових відходів (за об'ємом).

За прискореним методом добовий об'єм утворення твердих побутових відходів у середньому за рік визначають за формулою:

$$V_{\text{срдоб}}^{\text{рік}} = \frac{\sum(V_{\text{дод}}^{\text{сер}} \cdot k_j)}{4} \quad (1.10)$$

де:

$V_{срдооб}^{рік}$  - добовий об'єм утворення твердих побутових відходів у середньому за рік, м<sup>3</sup>/розрахункову одиницю на добу;

$V_{дооб}^{сеп}$  - середньодобовий об'єм утворення твердих побутових відходів, який визначають за результатами проведення вимірювання об'ємів твердих побутових відходів у житлових будинках та на інших об'єктах утворення побутових відходів у певний сезон року, м<sup>3</sup>/розрахункову одиницю на добу;

$k_j$ - коефіцієнт сезонної нерівномірності утворення твердих побутових відходів (додаток 1),

$j$  - сезон року.

Для сезону, протягом якого проводяться натурні виміри об'ємів і маси твердих побутових відходів, коефіцієнт сезонності дорівнює 1,0.

Щільність твердих побутових відходів у середньому за рік ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>), визначають за формулою:

$$\rho = \frac{m_{дооб,річ}^{сеп}}{V_{дооб,річ}^{сеп}} \quad (1.11)$$

Кейсове завдання: Визначення кількості твердих побутових відходів у житловому районі

Ситуація. Команді екологів доручено провести розрахунки кількості твердих побутових відходів (ТПВ) для житлового району міста з населенням 150 000 осіб.

Вихідні дані:

Загальна кількість житлових будинків у районі – 500.

Обрано 10 будинків для натурних вимірювань.

Тип контейнерів для збирання ТПВ – стандартні, об'єм 1,1 м<sup>3</sup>.

Періодичність вивезення ТПВ – тричі на тиждень.

Середня маса ТПВ в одному контейнері – 250 кг.

Середній ступінь заповнення контейнерів – 90%.

Коефіцієнт сезонної нерівномірності для обраного сезону – 1,2.

Завдання:

- 1) Проведіть розрахунок середнього об'єму ТПВ, що утворюється в одному будинку за добу, з використанням даних природних вимірювань.

- 2) Визначте масу ТПВ, яка утворюється у всіх районах за тиждень.
- 3) Розрахуйте річний об'єм та масу ТПВ для району за показником коефіцієнту сезонної нерівномірності.
- 4) Запропонуйте рекомендації для оптимізації маршруту сміттєвезів на основі отриманих даних.

Питання для самоконтролю:

1. Який державний документ нормує проведення вимірювань та розрахунків з встановлення кількості ТПВ суспільних об'єктів різного призначення?
2. Чим можна пояснити необхідність врахування сезону року при розрахунках середньої маси утворення твердих побутових відходів на добу у житлових будинках або на інших об'єктах утворення побутових відходів.
3. Які параметри враховує прискорений метод розрахунку добового об'єму утворення твердих побутових відходів у середньому за рік?

## **Практична робота № 2**

Тема: ***Визначення кількості великогабаритних та ремонтних побутових відходів***

Мета роботи: *Оволодіти методикою визначення кількості великогабаритних та ремонтних побутових відходів, яка застосовується при наданні послуг з їх вивезення*

У світовій науковій та практичній діяльності терміном “*габаритні відходи*” позначають великі за розмірами відходи, такі як побутові пристрої, меблі, дерева та гілля, поводження з якими з використанням звичайних методів обробки ТПВ є неможливим.

У зв'язку з ускладненням у визначенні певного відрізка часу, за який утворюються великогабаритні та ремонтні побутові відходи, а також кількості населення, що їх утворює, вимірювання кількості великогабаритних та ремонтних побутових відходів виконують шляхом визначення фактичного обсягу надання послуг з вивезення кожного з цих видів побутових відходів протягом календарного року

на всій території населеного пункту, у розрахунку на загальну кількість жителів населеного пункту.

В залежності від способу збирання великогабаритних та ремонтних побутових відходів фактичний обсяг надання послуг з їх вивезення визначається за об'ємом та масою.

Об'єм великогабаритних і ремонтних побутових відходів визначають у разі:

- завантаження великогабаритних або ремонтних побутових відходів у спеціальний автотранспорт - виходячи із об'єму кузова спеціального автотранспорту;
- у разі завантаження великогабаритних або ремонтних побутових відходів разом з контейнерами - як суму об'ємів завантажених контейнерів.

Масу великогабаритних і ремонтних побутових відходів визначають у разі:

- завантаження великогабаритних або ремонтних побутових відходів у спеціальний автотранспорт – як різницю маси заповненого великогабаритними і ремонтними побутовими відходами і порожнього спеціального автотранспорту;
- завантаження великогабаритних або ремонтних побутових відходів разом з контейнерами - як сумарну різницю між вагами завантажених великогабаритними і ремонтними побутовими відходами та порожніх контейнерів.

Розрахунок об'ємів утворення великогабаритних та ремонтних побутових відходів у середньому за рік проводиться за формулою:

$$V_c = V_o/n \quad (2.1)$$

де:

$V_c$  – об'єм утворення відповідно великогабаритних або ремонтних побутових відходів одним мешканцем населеного пункту у середньому за рік ( $m^3$ /мешканець на рік);

$V_o$  - об'єм великогабаритних та ремонтних побутових відходів, що видалені з населеного пункту за календарний рік ( $m^3$ );

$n$  – загальна чисельність населення у населеному пункті.

Розрахунок маси утворення великогабаритних та ремонтних побутових відходів у середньому за рік проводять за формулою:

$$m_c = m_o/n \quad (2.2)$$

де:

$m_c$  – маса утворення великогабаритних та ремонтних побутових відходів одним мешканцем населеного пункту у середньому за рік (кг/мешканець на рік);

$m_o$  – маса великогабаритних та ремонтних побутових відходів, що видалені з населеного пункту за календарний рік (кг);

$n$  – загальна чисельність населення у населеному пункті.

Розрахунок щільності великогабаритних і ремонтних побутових відходів у середньому за рік ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) здійснюють за формулою:

$$\rho = m_c/V_c \quad (2.3)$$

Кейсове завдання: Визначення кількості великогабаритних та ремонтних побутових відходів

Ситуація. Ви працюєте у відділах екології міської ради та отримали завдання розробити кількість великогабаритних та ремонтних побутових відходів, створених у містах з населенням 500 000 осіб, для планування оптимізації послуг з їх вивезення.

Вихідні дані:

Загальний об'єм великогабаритних та ремонтних побутових відходів, видалених із міста за рік, становить 12 500 м<sup>3</sup>.

Загальна маса цих відходів, видалених із міста за рік, – 9 000 тонн.

Для завантаження відходів використовується спеціальний автотранспорт з об'ємом кузова 15 м<sup>3</sup>.

Коефіцієнт ущільнення для цих відходів у транспорті – 1,3.

Завдання:

1) Розрахуйте об'єм великогабаритних та ремонтних побутових відходів, що утворюється одним мешканцем міста в середньому за рік.

2) Визначте масу великогабаритних та ремонтних побутових відходів на одного мешканця за рік.

3) Обчисліть середню щільність великогабаритних та ремонтних побутових відходів.

4) Дати рекомендації щодо можливого підвищення ефективності транспортування таких відходів.

Питання для самоконтролю:

1. Що означає термін “великогабаритні відходи”?
2. За якими параметрами визначається фактичний обсяг надання послуг з вивезення великогабаритних та ремонтних побутових відходів?
3. Які параметри враховуються при розрахунках об'ємів утворення великогабаритних та ремонтних побутових відходів у середньому за рік?
4. Які параметри враховуються при розрахунках маси утворення великогабаритних та ремонтних побутових відходів у середньому за рік?

### **Практична робота №3**

Тема: Визначення кількості рідких побутових відходів

Мета роботи: Освоїти методику визначення кількості рідких побутових відходів у житлових будинках, підприємствах і установах різного соціального призначення

Кількість рідких побутових відходів визначають для житлових будинків та інших об'єктів утворення побутових відходів, не підключених до системи каналізації населеного пункту.

Показником кількості утворення рідких побутових відходів є об'єм.

Кількість рідких побутових відходів для об'єктів з централізованим водопостачанням визначають відповідно до показів засобів обліку води або норм водоспоживання згідно з наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 27.06.08 № 190 "Про затвердження Правил користування системами централізованого комунального водопостачання та водовідведення в населених пунктах України", зареєстрованого у Міністерстві юстиції України 07.10.08 за № 936/15627.

Кількість рідких побутових відходів для об'єктів без централізованого водопостачання та каналізації, визначають на підставі:

- даних про обсяги надання послуг з вивезення рідких побутових відходів у населеному пункті протягом календарного року на розрахункову одиницю відповідно для житлових будинків та інших об'єктів утворення побутових відходів без централізованого водопостачання та каналізації;
- проведення вимірювань об'єму утворення рідких побутових відходів відповідно для житлових будинків та інших об'єктів утворення побутових відходів без централізованого водопостачання та каналізації.

У разі визначення кількості рідких побутових відходів згідно з абзацом другим п. 4.3. цих Правил розрахунок об'єму утворення рідких відходів на 1 мешканця у житлових будинках або на 1 робітника підприємства, установи та організації у середньому за рік проводиться за формулою:

$$V_p = V_{pe}/n \quad (3.1)$$

де:

$V_p$  – об'єм утворення рідких побутових відходів на 1 мешканця для житлових будинків та на 1 робітника підприємства, установи та організації, де відсутня система каналізації у середньому за рік ( $\text{м}^3/\text{розрахункова одиниця на рік}$ );

$V_{pe}$  – обсяги надання послуг з вивезення рідких відходів у населеному пункті протягом календарного року відповідно для житлових будинків та інших об'єктів утворення відходів без централізованого водопостачання та каналізації ( $\text{м}^3$ );

$n$  – загальна чисельність мешканців для житлових будинків та робітників для підприємства, установи та організації без централізованого водопостачання та каналізації.

У разі визначення кількості рідких побутових відходів згідно з абзацом третім п. 4.3. цих Правил для проведення робіт з вимірювання об'ємів утворення рідких відходів виділяється не менше двох найбільш характерних для населеного пункту житлових будинків або інших об'єктів утворення відходів.

Вимірювання об'ємів утворення рідких відходів проводиться шляхом визначення об'єму рідких відходів, що вивозяться спеціальним транспортом від обраного об'єкту протягом календарного року.



Об'єм рідких відходів визначають за об'ємом цистерни спеціалізованого автотранспорту для збирання та перевезення рідких відходів.

Розрахунок об'єму утворення рідких відходів у середньому за рік проводять за формулою:

$$V_p = V_{p\phi} / n \quad (3.2)$$

де:

$V_p$  – річний об'єм утворення рідких побутових відходів на 1 мешканця для житлових будинків та на 1 робітника підприємства, установи та організації, де відсутня система каналізації ( $\text{м}^3/\text{розрахункова одиниця}$ );

$V_{p\phi}$  – річний об'єм рідких відходів, видалених з житлового будинку або іншого об'єкту утворення рідких відходів без централізованого водопостачання та каналізації, де проводиться вимірювання, ( $\text{м}^3$ );

$n$  – чисельність мешканців для житлового будинку або робітників для підприємства, установи та організації без централізованого водопостачання та каналізації, де проводиться вимірювання.

Отримані результати розрахунків усереднюють та визначають об'єм утворення рідких побутових відходів у середньому за рік відповідно для житлових будинків та інших об'єктів утворення відходів для населеного пункту.

Кейсове завдання: Визначення кількості рідких побутових відходів

Ситуація:

Міська рада отримала запит на аналіз обсягів рідкого побутового відходу у передмісті, де будинки та установи не підключені до систем централізованого водовідведення. Ви маєте провести розрахунки для оцінки загальної кількості рідких споживчих витрат для планування послуг з їх вивезення.

Вихідні дані:

Населення передмістя – 5 000 осіб.

У населеному пункті за рік вивезено 10 000  $\text{м}^3$  рідких побутових відходів.

Для транспортування використовується спеціальний транспорт із цистернами об'ємом 10  $\text{м}^3$ .

Дані вибору вимірювань для двох житлових будинків:

Будинок 1: чисельність мешканців – 50 осіб, річний об'єм вивезених рідких відходів – 100 м<sup>3</sup>.

Будинок 2: чисельність мешканців – 70 осіб, річний об'єм вивезених рідких відходів – 140 м<sup>3</sup>.

Завдання:

1) Розрахуйте річний об'єм утворення рідких побутових відходів на одного мешканця в передмісті.

2) Визначте середній річний об'єм утворення рідких побутових відходів для двох обраних будинків.

3) На основі отриманих даних оцініть середній річний об'єм утворення рідких побутових відходів для передмістя.

4) Запропонуйте рекомендації щодо оптимізації логістики вивезення рідких споживчих відходів із використанням спеціального транспорту.

Питання для самоконтролю:

1. Що є показником кількості утворення рідких побутових відходів?
2. Які параметри враховують при розрахунках об'єму утворення рідких відходів?

## **Практична робота № 4**

Тема: *Піроліз відходів як високоефективний термічний спосіб їх переробки*

Мета роботи: *Ознайомитись з основною схемою піролізного методу знезараження та зменшення кількості відходів*

Піроліз являє собою процес розкладання органічних сполук під дією високих температур при відсутності або недостатчі кисню. Результатом є утворення піролізного газу, смоли і твердого залишку (сажа, активоване вугілля й ін.).

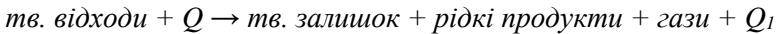
Піроліз відходів (суха перегонка) заключається у термічному розкладі відходів без доступу повітря.

Твердий продукт піролізу - *саджу* використовують у виробництві гумовотехнічних виробів, пластмас, типографських фарб, пігментів.

Інертні матеріали, наприклад, розплавлений шлак, гранулюють і використовують у промисловості будівельних матеріалів.

При піролізі органічної речовини відбувається не лише її розпад, але і синтез нових продуктів. Ці стадії процесу взаємопов'язані та відбуваються одночасно лише з тією різницею, що кожна з них переважає у певному інтервалі температур.

Загальну схему піролізу можна уявити наступним чином:



де:

$Q$  та  $Q_1$  – додаткове та вторинне тепло

піролізом перероблюються тверді відходи, у тому числі відходи пластмас, гуми та ін. навантаження на навколишнє середовище при піролізі є меншим порівняно зі спалюванням відходів.

В основі класифікації піролізних установок лежить температура процесу, оскільки вона визначає кількість та якість кінцевих продуктів. Залежно від температури розрізняють три види піролізу:

- *низькотемпературний піроліз або напівкоксування*. Процес протікає за 450-550°C з утворенням максимальної кількості рідкого продукту (напівкоксу) та мінімальним виходом піролізного газу.

- *газ*, який утворюється за низькотемпературного піролізу характеризується максимальною температурою згоряння;

- *середньотемпературний піроліз, або середньотемпературне коксування*. Процес здійснюють при температурах до 800°C. за таких умов збільшується вихід газу, але понижується його теплота згоряння, одночасно понижується вихід рідкого та твердого продуктів;

- *виськотемпературний піроліз або коксування*. Процес здійснюють при 900 - 1050°C. За таких температур вихід рідкого та твердого продуктів мінімальний, а вихід піролізного газу максимальний, проте такий газ має найнижчу теплоту згоряння.

Прикладом низькотемпературного піролізу може бути метод термічного обробітку сміття (США) – представлений на рис. 4.1.

Відходи з бункеру 1 по двом віброжолобам спрямовуються у дробарку 2, а потім у бункер для дробіння відходів 3, звідки їх безперервно подають у піч, що обертається 4. Всередині піч вислана вогнетривким матеріалом та встановлена з невеликим нахилом,

завдяки чому подрібнені відходи у ній легко переміщуються, при цьому частина паливних складових згоряє.

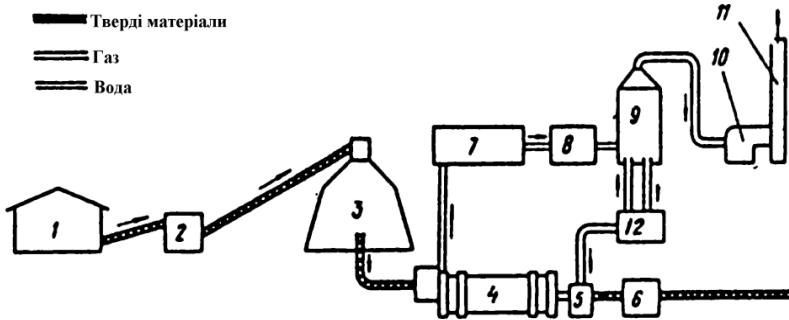


Рис. 4.1. Технологічна схема низькотемпературної піролізної установки

Відходи, які підлягають піролізу рухаються у зворотньому напрямку по відношенню до газів підігріву. Процес ендотермічний і для його здійснення підводиться додаткове паливо.

Залишок твердих відходів після піролізу потрапляє у шлакову ванну 5, яка знаходиться наприкінці печі, і живиться водою, що надходить зі скрубера 9, який слугує для очищення вихідних газів. Шлак спрямовується на магнітний сепаратор 6. Звільнений від заліза залишок являє собою скломістку темну речовину. Піролізний газ повністю згорає у камері з вогнетривким покриттям 7, до якої надходить повітря. Тепло використовується для виробництва пари за допомогою парогенератора 8. Газ, що відходить, пройшовши скрубера, за допомогою димотягу 10 крізь димову трубу 11 викидається в атмосферу. Вода використовується у скрубері та шлаковій ванні, очищується на установці 12. Потужність такої установки 35 т/добу.

Високотемпературний піроліз має ряд переваг. Зокрема, він дозволяє більш інтенсивно і глибоко перетворювати вихідний продукт, оскільки при збільшенні температури швидкість реакції зростає скоріше ніж збільшуються тепловтрати, відбувається більш повне виділення летючих продуктів, а кількість твердого залишку зменшується. Важливою частиною піролізної установки є реактор, один з типів яких нагадує шахтну піч (рис. 4.2).

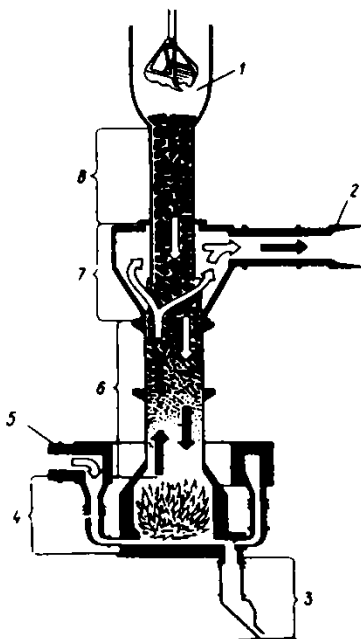


Рис. 4.2. Реактор високотемпературного піролізу: 1 – завантаження відходів; 2 – кільцеподібний канал; 3 – видалення та охолодження шлаку; 4 – зона спалювання та розплавлення; 5 – подача гарячого повітря в зону горіння; 6 – зона піролізу; 7 – зона сушіння; 8 – відходи.

Висота такого реактору становить 15 м, внутрішній діаметр 3 м. Реактор здатен переробляти протягом доби 300 т відходів. Відходи періодично завантажуються у верхню частину реактора та під власною вагою проходять вниз крізь три зони: сушіння, піролізу, згорання та плавлення. Горючі гази із зони згорання проходять крізь шар відходів та віддають тепло у зонах сушіння та піролізу. В зоні сушіння відбувається випаровування вологи, яку містять відходи. В зоні піролізу просушені відходи без доступу повітря розкладаються з утворенням горючого газу, вуглеводу та інертного матеріалу. Горючі гази піднімаються вгору і надходять у кільцеподібний канал, звідки вони разом з парою (яка утворилася в зоні сушіння) відсмоктуються вентилятором.

Основними компонентами піролізного газу є водень, оксид вуглеводу, метан. Теплота згорання цієї суміші залежно від складу відходів та організації процесу становить 6680 – 10450 кДж/м<sup>3</sup>.

Частина енергії отриманого газу використовується для підігріву повітря, що подається у зону згоряння реактора. Решта енергії передається споживачу у вигляді газоподібного палива або у вигляді теплоносіїв.

Піролізний газ має переваги перед природним, оскільки не містить з'єднань сірки та азоту. Однак, у зв'язку з низькою теплотворною здатністю, труднощами акумуляції та зберігання піролізного газу він не може збиратись та транспортуватись на значні відстані, внаслідок чого споживач газу повинен знаходитись не даліше 3 км від піролізної установки.

Кокс, що отримується при піролізі відходів, можна використовувати в різних цілях, залежно від його складу та фізичних властивостей. При піролізі твердих відходів нафтопереробних підприємств кокс із зольністю до 50% після незначного додаткового обробітку може бути використаний в якості замітника природних та синтетичних вуглецевих матеріалів. Коксовий залишок, що утворюється при піролізі осаду стічних вод, можна використовувати в якості сорбенту на станціях водопідготовки та очищення стічних вод. При піролізі зношених автомобільних покришок отримують газову саджу, що використовується у виробництві гумових технічних виробів, пластмас, типографських фарб, пігментів. Можливі також інші напрямки використання твердого вуглецевого залишку.

Ефективність процесу можливо оцінити за величиною отримано доходу від реалізації енергії піролізної установки:

$$D = Q / 3,6 \times \text{Ціна енергії} \quad (4.1)$$

де:

D – дохід від енергії; Q - кількість теплової енергії

$$Q = V_{\text{газ}} \times H_{\text{газ}} \quad (4.2)$$

де:

$H_{\text{газ}}$  – теплота згоряння піролізного газу;  $V_{\text{газ}}$  – об'єм піролізного газу.

$$V_{\text{газ}} = m_{\text{газ}} / \rho_{\text{газ}} \quad (4.3)$$

де:

$\rho_{\text{газ}}$  – щільність газу (умовно: 1 кг/м<sup>3</sup>); m – маса продуктів піролізу.

$$m_{\text{продукт}} = m_{\text{відходи}} \times \text{вихід продукту (\%)} \quad (4.4)$$

Кейсове завдання: Ефективність піролізу для переробки відходів  
Ситуація:

На міському сміттєпереробному підприємстві планується впровадження піролізної установки для термічної переробки відходів. Мета проекту – зменшення обсягів відходів, виробництво піролізного газу та коксівного залишку для подальшого використання. Ви отримали завдання оцінити ефективність роботи низькотемпературної та високотемпературної піролізних установок для переробки 300 тонн відходів на добу.

Вихідні дані:

1. Добовий обсяг відходів для переробки – 300 тонн.
2. Склад відходів:
  - органічні сполуки – 70%;
  - інертні матеріали – 20%;
  - волога – 10%.
3. Результати піролізу:
  - Низькотемпературний піроліз:
    - 40% рідких продуктів;
    - 30% піролізного газу;
    - 30% твердого залишку.
  - Високотемпературний піроліз:
    - 10% рідких продуктів;
    - 60% піролізного газу;
    - 30% твердого залишку.
4. Теплота згоряння піролізного газу:
  - Низькотемпературний: 10 450 кДж/м<sup>3</sup>.
  - Високотемпературний: 6 680 кДж/м<sup>3</sup>.
5. Вартість енергії: 1 кВт·год = 3,6 МДж, ціна – 1,5 грн/кВт·год.

Завдання:

- 1) Розрахуйте вихід продуктів піролізу для обох методів, враховуючи добовий обсяг відходів.
- 2) Визначте кількість теплової енергії, яку можна отримати з піролізного газу для кожного методу.
- 3) Оцініть економічний дохід від продажу енергії для кожного методу.
- 4) Запропонуйте рекомендації щодо вибору методу для конкретного підприємства.

Питання для самоконтролю:

1. Що являє собою процес піролізу? В чому заключається піроліз відходів?
2. Що відбувається та які продукти утворюються при піролізі органічної речовини?
3. Як протікає процес піролізу за різних температур?
4. Який вид піролізу має більші переваги порівняно з іншими?
5. Наведіть загальну схему за якою протікає процес піролізу.
6. Які продукти є результатом піролізу? В яких галузях вони можуть знайти своє застосування?

## **Практична робота № 5**

Тема: Переробка текстильних відходів

Мета роботи: Ознайомитись з технологічною схемою та основними операціями переробки текстильних відходів

До текстильних матеріалів належать тканини, трикотаж, килими, неткані полотна, нитки, стрічки, сітки, канати та інші вироби з волокон та ниток. Їх структура залежить, як правило, від технології виробництва.

Волокна та нитки, які використовуються при виготовленні текстильних матеріалів, мають, як правило, полімерну природу та можуть бути натуральними (льон, бавовна та ін.), штучними (віскоза) та синтетичними (поліамід, поліефір та ін.). останні часом для виготовлення нових конструкційних матеріалів використовують текстильні матеріали на основі скляних, вуглеводневих та мінеральних волокон.

Послідовність операцій при первинному обробітку текстильних відходів можна уявити у вигляді схеми, що зображена на рис. 5.1.



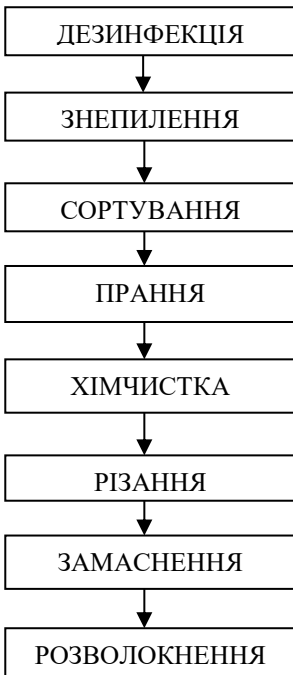


Рис. 5.1 Схе­ма первинної об­робки текстиль­них відходів

Залежно від виду текстильних відходів деякі зі стадій процесу їх первинної обробки можуть бути виключені.

*Дезінфекція* відходів здійснюється для знищення бактерій та комах. Процес здійснюється у стаціонарних камерах, що працюють за принципом запарювання при температурі 115-116 °С і тиску 0,2 МПа.

*Знепилювання* застосовується з метою поліпшення умов праці при наступному сортуванні і для підвищення ефективності хімічного чищення. Основною робочою частиною знепилювальних машин є барабан з лопатями та щипцями. У процесі знепилення відокремлюється та затримується до 30% пилу та дрібних твердих часток, які видаляються за допомогою вентиляторів.

*Сортування* текстильних відходів побутового споживання здійснюється з метою видалення застібок, ґнопок, нетекстильних елементів виробів. Сорткування здійснюється вручну за допомогою малої механізації: сортувальних столиків, оснащених дисковими та

стрічковими ножами. Після сорткування відходи пресуються в кіпи. Забруднена вторинна текстильна сировина піддається пранню для вилучення поглинутого бруду, за допомогою пральних машин періодичної дії. Проте за допомогою прання не вдається видалити масло, фарбу та інші органічні речовини, нерозчинні у воді. Тому технологічний процес підготовки текстильних відходів до розволокнення включає хімічне очищення.

*Хімічне очищення* сильно забруднених та замаслених текстильних матеріалів здійснюється органічними розчинниками. Застосування хімічного очищення замість прання зменшує зношення матеріалу, скорочує тривалість обробки та експлуатаційні витрати, підвищує продуктивність праці.

Попередньо відходи обробляють у висококонцентрованому розчині луку, а потім після віджиму – органічним розчинником.

Різання очищених відходів здійснюється на спеціальних машинах, які складаються із живильного та транспортуючого пристроїв і ріжучого механізму гільотинного або роторного типу. За їх допомогою переробляються сильноспресовані кіпи відходів, які розрізаються на полоски певної ширини за допомогою ножа, що падає униз. Машина гільотинного типу мають ряд недоліків, головним з яких є необхідність частих зупинок для заточування ріжучої кромки ножа, а також для регулювання зазору. Тому більш широке застосування отримали ротаційні машини, на яких закріплені ножі або диски, що нарізають матеріал на певну ширину. Ширина нарізання регулюється шляхом зміни швидкості руху транспортеру, який подає кипу відходів.

Заманення текстильних відходів відбувається з метою полегшення найважливішої операції – розволокнення. Залежно від складу та виду відходів застосовують різні замаснювачі кількості яких сягає 10% від маси відходів. Синтетичні відходи можуть надходити на розволокнення і не замасненими, але зволоженими. В якості замаснювачів використовуються поверхнево-активні речовини.

Розволокнення замаснених відходів здійснюється на щіпальних машинах, де і відбувається перетворення відходів у вторинне волокно, яке потім використовується при виробництві всіляких текстильних матеріалів: тканин, трикотажу, килимів, нетканних матеріалів та ін.

На рис. 5.2 показана лінія фірми “Лярош” (Франція) продуктивністю 1500 кг/год. Для підготовки та розволокнення відходів текстильних матеріалів. Кіпи відходів звільняються від обручів та пакування безпосередньо на стрічковому конвеєрі та розміщуються у бункер гідравлічної різальної машини. Потім за допомогою спеціального приладу кіпи надходять на гільотинний ріжучий механізм 1, який відрізає від них пласти. Товщина нарізаних пластів попередньо встановлюється за допомогою спеціального лічильника і може регулюватись в межах 10-220 мм з інтервалом 10 мм.

Оцінку ефективності технологічної лінії переробки текстильних відходів проводять за показником вартості 1 тони вторинного волокна, загальної вартості процесу та часу роботи лінії:

$$C_{\text{вол}} = \frac{C_{\text{заг}}}{M_{\text{вол}}} \quad (5.1)$$

де:

$C_{\text{вол}}$  – вартість 1 тонни вторинного волокна;  $M_{\text{вол}}$  – маса вторинного волокна.

$$C_{\text{заг}} = \sum(C_i \cdot m) \quad (5.2)$$

де:

$C_i$  – витрати на операцію, грн/т;  $m$  – загальна маса відходів, які необхідно переробити (у тоннах чи кілограмах).

$$T = \frac{M}{\Pi} \quad (5.3)$$

де:

$T$  – час роботи лінії, год.;  $\Pi$  – продуктивність лінії, кг/год.

Вибір типу різального обладнання проводиться з урахуванням загальних витрати на обладнання і вартості обробки 1 тонни матеріалу:

$$C_{\text{об}} = C_{\text{закуп}} + (C_{\text{обслугов}} \cdot m_{\text{річ}} \cdot n) \quad (5.4)$$

де:

$C_{\text{об}}$  – загальні витрати на обладнання;  $C_{\text{закуп}}$  – вартість закупівлі обладнання, грн.;  $C_{\text{обслугов}}$  – витрати на обслуговування, грн/т;  $m_{\text{річ}}$  – річний обсяг відходів, т;  $n$  – термін служби обладнання, років.

$$C_{1\text{т}} = \frac{C_{\text{об}}}{m_{\text{заг}}} \quad (5.5)$$

де:

$m_{\text{заг}}$  – загальна маса відходів, оброблених за весь період експлуатації обладнання (у тоннах чи кілограмах):  $m_{\text{заг}} = m_{\text{річ}} \cdot n$ .

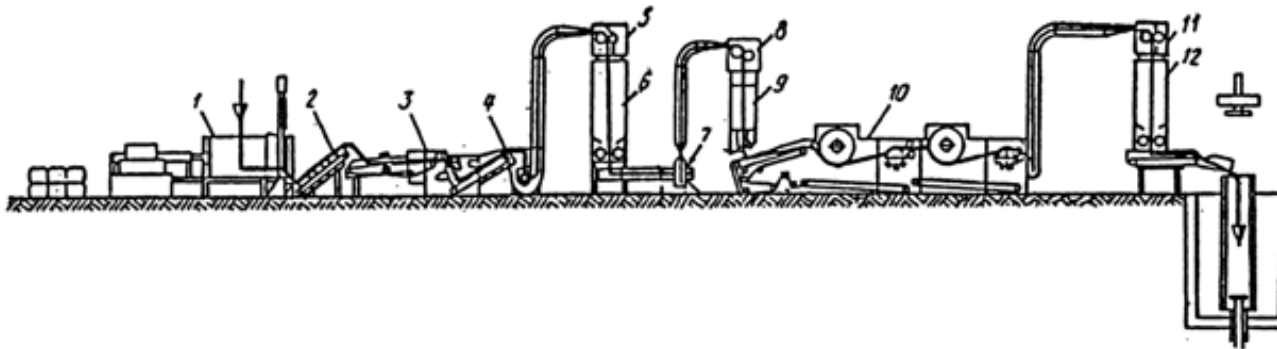


Рис. 5.2. Лінія фірми “Лярош” (Франція) для підготовки та розволокнення текстильних відходів

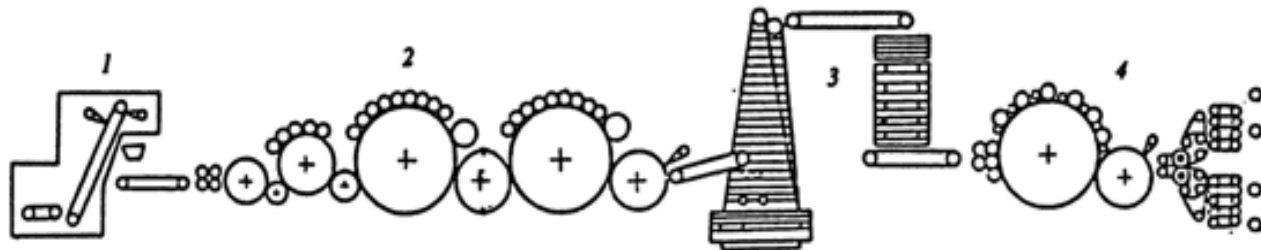


Рис. 5.3. Агрегат для розволокнення відходів із синтетичних волокон: 1 – підживлювач; 2 – чотирьохбарабанна щіпальна машина; 3 – транспортуюча решітка; 4 – чесальна машина

Відрізання пласти подаються на нахилений стрічковий конвеєр 2, за допомогою якого вони переміщуються на ротаційну різальну машину 3. Живильний конвеєр різальної машини оснащений електронним сепаратором для відокремлення металічних включень.

Нарізані відходи за допомогою конвеєра, вентилятора 4 та конденсора 5 подаються у бункер 6, оснащений регулятором рівня заповнення. За допомогою валків матеріал подається до регулятора 7 та другого конденсору 8, який заповнює регулюючу трубу 9, котра також має регулятор рівня. Завдяки цьому на щипальну машину 10 надходить рівномірний за товщиною пласт матеріалу. Щипальна машина є найважливішою частиною технологічної лінії. Вона може мати різну кількість барабанів (до 6) залежно від якості перероблюваних відходів. Після розволокнення повністю відновлені волокна пресуються в кіпи або нашаровуються в камері. Прес живиться від конденсора 11 та резервного бункера 12.

Перспективними технологіями розволокнення текстильних відходів є процеси, які засновані на використанні ультразвуку, водяної пари та стисненого повітря, які суттєво полегшують та прискорюють відокремлення волокон одне від одного (рис. 5.3).

Вторинні або відновлені волокна є цінною сировиною для текстильної промисловості. Їх використовують як у “чистому” вигляді, тобто без додавання первинної волокнистої сировини, так і у суміші з останніми. З відновленого волокна отримують апаратну пряжу. Крім того, оминаючи стадію прядіння, із вторинних волокон виготовляють нетканні текстильні матеріали різного призначення. Вміст вторинного волокна у суміші може сягати 80-90% залежно від призначення пряжі та матеріалу.

### Кейсове завдання 1: Оцінка ефективності технологічної лінії переробки текстильних відходів

#### Ситуація:

На текстильному підприємстві планується впровадження нової технологічної лінії для переробки текстильних відходів. Завдання полягає в оцінці продуктивності лінії та економічної доцільності використання різних операцій (дезінфекція, знепилювання, сортування, різання, замаслення та розволокнення).

Вихідні дані:

Обсяг текстильних відходів для переробки – 20 тонн на день.

Продуктивність лінії – 1500 кг/год.

Витрати на основні операції:

Дезінфекція: 500 грн/т.

Знепилювання: 300 грн/т.

Сортування: 400 грн/т.

Різання: 200 грн/т.

Замаслення та розволокнення: 800 грн/т.

Вихід вторинного волокна становить 80% від обсягу відходів.

Завдання:

- 1) Розрахувати час роботи лінії для переробки добового обсягу відходів.
- 2) Визначити загальну вартість технологічного процесу на день.
- 3) Оцінити вартість 1 тонни вторинного волокна.
- 4) Надати рекомендації щодо можливих шляхів оптимізації витрат.

Кейсове завдання 2: Вибір типу різального обладнання

Ситуація:

Підприємство розглядає можливість впровадження нового типу різального обладнання для оптимізації процесу підготовки текстильних відходів. Необхідно оцінити ефективність використання гільйотинного та ротаційного різального обладнання.

Вихідні дані:

Щоденний обсяг текстильних відходів – 10 тонн.

Вартість гільйотинного обладнання – 500 000 грн; вартість обслуговування – 100 грн/т.

Вартість ротаційного обладнання – 800 000 грн; вартість обслуговування – 50 грн/т.

Термін служби обладнання – 10 років.

Продуктивність обох типів обладнання – 2 т/год.

Завдання:

- 1) Розрахувати загальні витрати на обидва типи обладнання за 10 років.
- 2) Визначити, який тип обладнання забезпечує нижчу вартість обробки 1 тонни текстильних відходів.
- 3) Надати рекомендації щодо вибору обладнання.

Питання для самоконтролю:

1. Назвіть послідовність операцій при первинному обробітку текстильних відходів.
2. Як здійснюється сортування текстильних відходів побутового споживання?
3. Де використовують відновлені текстильні відходи?

## **Практична робота № 6**

Тема: Еколого-економічна оцінка об'єктів видалення відходів

Мета роботи: Освоїти методика оцінки економічного збитку від забруднення атмосферного повітря і водних ресурсів при поводженні з відходами

Сучасні вимоги до господарської діяльності у відповідності з національними та міжнародними стандартами в галузі охорони навколишнього середовища орієнтують на перетворення будь-якого виду господарської діяльності на екологічно безпечну. Реалізація положень гармонійного розвитку суспільства і природи потребує залучення інвестицій спираючись на оцінку економічного збитку навколишньому середовищу при впровадженні певних рішень.

У цілому під економічним збитком навколишньому середовищу розуміють фактичні або потенційно можливі витрати, пов'язані з негативними змінами у довкіллі, виражені у грошовій формі.

На сьогоднішній день визначення економічного збитку, що спричиняється навколишньому середовищу при поводженні з відходами, базується на:

- оцінці натуральних негативних ефектів, що створюються у реципієнтів (об'єктів господарської діяльності, у довкіллі, у стані здоров'я людей), та їх переведенні у грошовий вираз;
- передбаченні негативного впливу на здоров'я людей (якщо такий вплив здійснюється) й ліквідації наслідків негативного впливу.

При поводженні з відходами натуральні негативні ефекти у реципієнтів утворюються в результаті забруднення атмосферного повітря, водних об'єктів та ґрунтів. Об'єкти видалення відходів спричиняють короткочасний та довготривалий вплив на навколишнє середовище. Короткочасний вплив створюється на атмосферне

повітря викидами звалищного газу (біогазу) протягом 10-50 років (з максимумом у початковій фазі), довготривалий забруднюючий вплив створюється на підземні та поверхневі води дією фільтрату (протягом 50-100 років).

Згідно даної методики *економічний збиток від забруднення атмосферного повітря* розраховується як:

$$Y = \gamma f \sum_{j=1}^J \delta_j \times \sum_{i=1}^I M_i a_i, \quad (6.1)$$

де:

$Y$  – економічний збиток, що причиняється реципієнтам у результаті забруднення атмосфери, грн.;

$\gamma$  – константа, чисельне значення якої встановлюється з урахуванням інфляції;

$f$  – поправка (безрозмірна), що враховує характер розсіювання шкідливих речовин в атмосфері;

$\delta_j$  – коефіцієнт (безрозмірний) відносної небезпеки забруднення атмосферного повітря над територіями різного  $j$ -го типу, який залежить від різного ступеня стійкості реципієнтів до забруднення атмосфери і асиміляційного потенціалу території;

$M_i$  – маса викиду  $i$ -тої шкідливої речовини, т;

$a_i$  – показник (безрозмірний) відносної агресивності  $i$ -тої шкідливої речовини.

Для визначення кількісних характеристик викидів забруднюючих речовин в атмосферу від полігонів та звалищ відходів першочергово визначається кількість полігонного біогазу (див. формулу 6.5).

На практиці для прогнозу газоутворення використовують залежність:

$$V = L_i \cdot Q \cdot e^{-k_1 \cdot t} \quad (6.2)$$

де:

$V$  – очікувана кількість біогазу, м<sup>3</sup>;

$L_i$  – теоретичний потенціал утворення метану з відходів, м<sup>3</sup>/рік;

$Q$  – середня кількість відходів, що надходять на полігон, т/рік;

$k_1$  – константа утворення метану з органічних відходів (табл. 6.1);

$t$  – час з моменту відкриття полігону, років.

Таблиця 6.1



Значення теоретичного потенціалу утворення метану  $L_i$  та константи утворення метану  $k_i$  з органіки відходів

Компонент	$k_i$	$L_i$
Папір	0,03	250
Харчові відходи	0,2	250
Дерево, листя (біомаса)	0,1	140
Горючі залишкові продукти	0,03	250

Морфологічний склад органічної складової відходів, що вивозиться на звалища та полігони від багатопверхових, приватних будинків, об'єктів суспільного призначення, промислових підприємств, є досить різним (табл. 6.2), ця різниця повинна бути врахована при визначенні обсягів органічної складової відходів.

Таблиця 6.2

Морфологічний склад органічної частини відходів, що вивозиться на звалища й полігони ТПВ

Компонент	Багато-поверхові будинки	Приватні будинки	Об'єкти суспільного призначення	В сільській місцевості	На промислових підприємствах
Папір	10,38	9,08	33,86	26	21,8
Харчові відходи	44,7	42,48	22,45	28,3	7,59
Дерево, листя (біомаса)	2,14	8,6	5	0	0

Щільність відходів, яка значно впливає на кількість утворюваного біогазу – приймається на момент їх надходження на звалище на рівні 600-700 кг/м<sup>3</sup>, фактор самоущільнення враховується додатковим коефіцієнтом.

Взагалі, розрахунок біогазу повинен проводитись не одноразово, а з певною періодичністю, враховуючи динаміку щорічного надходження відходів.

Для здійснення розрахунку потенційного економічного збитку за забруднення атмосфери за основу прийнято вартість тони вуглекислого газу 4,5 євро, яка була рекомендована Данським урядом при розробці Стратегії поводження з ТПВ в Україні (при умові зменшення викидів парникових газів на 50 тис. тон на рік відповідно до Кіотського протоколу).

Визначення економічного збитку від забруднення водних ресурсів, проводиться за тією ж методикою, відповідно до якої величина збитку розраховується як:

$$Y = a \sum_{i=1}^I A_i \cdot b_i \cdot W_i \quad (6.3)$$

де:

$Y$  – економічний збиток, що причиняється реципієнтам у результаті забруднення водних ресурсів;

$a$  – константа, чисельне значення якої встановлюється з урахуванням інфляції, грн./т;

$A_i$  – показник (безрозмірний) відносної агресивності скиду шкідливих речовин у водойми;

$b_i$  – показник (безрозмірний) відносної екологічної небезпеки скиду шкідливих речовин у водойми;

$W_i$  – маса скиду  $i$ -тої шкідливої речовини у водні ресурси, тонн.

Для розрахунку економічного збитку від забруднення водних ресурсів, перш за все необхідне визначення об'єму фільтрату, що утворюється на площі полігонів та звалищ. Даний розрахунок проводиться на основі водного балансу об'єкту видалення відходів. Для розрахунків можна використовувати дані типового складу фільтрату (табл. 6.3).

Таблиця 6.3

Типовий склад фільтрату свіжих і старих побутових відходів на різних стадіях розкладання (мг/л)

Параметр	Фільтрат (свіжі відходи)	Фільтрат (старі відходи)
1	2	3
pH	6,2	7,5
БПК	23800	1160
ХПК	11900	260
Загальний органічний вуглець	8000	465
Жирні кислоти	5688	5
Аміачний азот	790	370

продовження табл. 6.3

1	2	3
---	---	---

Оксидований азот	3	1
О-фосфати	0,73	1,4
Хлориди	1315	2080
Na	960	1300
Mg	252	185
K	780	590
Ca	1820	250
Mn	27	2,1
Fe	540	23
Ni	0,6	0,1
Cu	0,12	0,3
Zn	21,5	0,4
Pb	8,4	0,14

Кейсове завдання: Еколого-економічна оцінка об'єктів видалення відходів

Ситуація:

Міський полігон твердих побутових відходів функціонує вже 15 років, приймаючи щорічно 100 000 тонн відходів. У зв'язку із зростанням занепокоєння щодо забруднення атмосфери та водних ресурсів, необхідно провести еколого-економічну оцінку збитків, спричинених забрудненням, для обґрунтування необхідності інвестицій у сучасні технології поводження з відходами.

Вихідні дані:

- Морфологічний склад органічної складової відходів:
  - Папір – 10%;
  - Харчові відходи – 40%;
  - Дерево та біомаса – 5%;
  - Інші компоненти – 45%.
- Теоретичний потенціал утворення метану ( $L_i$ ) та константа утворення ( $k_i$ ):
  - Папір:  $L_i=250$ ,  $k_i=0,03$ ;
  - Харчові відходи:  $L_i=250$ ,  $k_i=0,2$ ;
  - Дерево:  $L_i=140$ ,  $k_i=0,1$ .
- Щільність відходів:  $650 \text{ кг/м}^3$ .
- Константа для розрахунку економічного збитку від забруднення атмосфери ( $\gamma=5$ ).
- Поправка на розсіювання шкідливих речовин ( $f=0,8$ ).

6. Вартість тонни вуглекислого газу – 4,5 євро.

7. Дані щодо фільтрату (див. таблицю у тексті) для оцінки забруднення водних ресурсів.

Завдання:

- 1) Розрахувати очікувану кількість біогазу ( $V$ ) для 15 років функціонування полігону.
- 2) Оцінити економічний збиток від забруднення атмосферного повітря ( $U_{\text{атм}}$ ) на основі розрахованого біогазу.
- 3) Визначити економічний збиток від забруднення водних ресурсів ( $U_{\text{вода}}$ ), враховуючи обсяг фільтрату.
- 4) Надати рекомендації щодо заходів для зменшення екологічного збитку.

## Практична робота №7

Тема: **Визначення категорії екологічної безпеки місць видалення відходів**

Мета роботи: *Ознайомитись з розрахунковим способом визначення категорії екологічної безпеки місць видалення відходів та прогнозом негативного впливу відходів на навколишнє середовище.*

Однією з найбільш актуальних проблем поводження з відходами є забезпечення їх екологічно безпечного накопичення та зберігання на об'єктах видалення. Крім того, при самому широкому та інтенсивному втіленні технологій утилізації, на місцях складування побутового сміття завжди буде зберігатись певна кількість промислових відходів. Це буде призводити до забруднення поверхневих та підземних вод, ґрунту та атмосфери. Практично всі полігони не відповідають сучасним вимогам. На більшості відсутні спеціальні водоохоронні споруди – дамби, канали, дренаж.

Для посилення контролю над такими об'єктами та забезпечення належного захисту навколишнього середовища, розробляються спеціальні паспорти місць видалення відходів (МВВ). Один із ключових моментів у розробці паспортів МВВ – визначення категорії екологічної безпеки сховищ відходів (категорії А, Б, В, Г). Віднесення об'єкта до тієї або іншої категорії передбачає відповідний комплекс заходів із захисту навколишнього середовища.

Розрахунковий спосіб визначення категорії екологічної безпеки місць видалення відходів полягає у встановленні чисельного значення інтегрального (по всім середовищам) показника негативного впливу, а за його величиною об'єкт відноситься до певної категорії.

Розрахунок ведеться за формулою:

$$C = D_m \cdot I_o \cdot (I_a \cdot k_a + I_{g.w.} \cdot k_{g.w.} + I_{s.w.} \cdot k_{s.w.} + I_g \cdot k_g) \cdot K_{inf.}, \quad (7.1)$$

де:  $C$  – інтегральний показник потенціального негативного впливу накопичення відходів на компоненти навколишнього середовища;  $D_m$  – показник середнього ступеня власної небезпеки відходів, використовується у випадку сумісного складування різних типів відходів;  $I_o$  – показник конструкційної екологічної небезпеки споруд для зберігання відходів;  $I_a$  – показник впливу природних факторів на атмосферне повітря;  $I_{g.w.}$  – показник впливу природних факторів на підземні води;  $I_{s.w.}$  – показник впливу природних факторів на поверхневі води;  $I_g$  – показник впливу природних факторів на ґрунти;  $k_a, k_{g.w.}, k_{s.w.}, k_g$  – коефіцієнти технологічного впливу на атмосферне повітря, підземні, поверхневі води та ґрунти, відповідно;  $K_{inf.}$  – коефіцієнт інформативності.

Показник конструкційної екологічної небезпеки об'єкту ( $I_o$ ) визначається за спеціально розробленими таблицями в залежності від наступних характеристик: типу, площі та об'єму об'єкта розміщення відходів, надійності споруд зберігання відходів, ефективності моніторингу навколишнього середовища.

Коефіцієнт технологічного впливу на компоненти навколишнього середовища – числовий параметр, що характеризує у відносних одиницях можливість забруднення даного компоненту навколишнього середовища при експлуатації інженерної споруди за існуючою технологічною схемою. Оцінка коефіцієнтів технологічного впливу на атмосферу ( $k_a$ ), підземні води ( $k_{g.w.}$ ), поверхневі води ( $k_{s.w.}$ ), ґрунти ( $k_g$ ) здійснюється в залежності від наявності системи заходів, спрямованих на зниження негативного впливу накопичених відходів, системи збору та очищення дощових, талих та дренажних вод, наявності та конструкції протифільтраційних завіс та екранів.

Показники впливу природних факторів на атмосферне повітря ( $I_a$ ), підземні води ( $I_{g.w.}$ ), поверхневі води ( $I_{s.w.}$ ), ґрунти ( $I_g$ ) визначаються за спеціальними таблицями. Оцінка здійснюється в

залежності від наступних параметрів: потенціалу забруднення атмосфери в даному районі, категорії захищеності ґрунтових вод, співвідношення глибин залягання рівнів ґрунтових та підземних вод, коефіцієнта фільтрації слабо проникних відкладів зони фільтрації, перевищення ГДК шкідливих речовин у ґрунті, співвідношення розташування об'єкту зберігання відходів та водоохоронної зони водних об'єктів, рельєфу місцевості, виду рослинного покриву та ін..

Коефіцієнт інформативності ( $K_{inf.}$ ) визначається за результатами заповнення опитувального листка для оцінки ступеня потенціального негативного впливу накопичених відходів на навколишнє середовище, в залежності від наявності відповідей на виділені в ньому запитання.

Після розрахунку числового значення інтегрального показника С визначається категорія місць видалення відходів (табл. 7.1).

Таблиця 7.1

Визначення категорії екологічної безпеки за величиною С

Значення інтегрального показника впливу накопичених відходів на навколишнє середовище	Категорія екологічної безпеки місць видалення відходів	
<10	А	Об'єкти епізодичного регламентного контролю.
11 - 20	Б	Об'єкти періодичного регламентного контролю. Визначення шляхів попередження забруднень.
21 - 50	В	Об'єкти постійного контролю. Обов'язковість способів захисту, моніторингу та локалізації забруднень.
>51	Г	Об'єкти особливої (виключної) уваги зі сторони органів державного контролю. Обов'язковість способів захисту, моніторингу. Припинення експлуатації.

Потенціальний негативний вплив на навколишнє середовище – це прогнозований негативний вплив відходів на атмосферне повітря, ґрунти, підземні та ґрунтові води у районі розташування накопичувача.

Величина впливу визначається сукупністю факторів, що відображують технічний стан споруди на даний момент часу та його природно - геологічне розташування.

Величина потенційного негативного впливу визначається наступними факторами:

- ступенем небезпеки самих відходів;
- технічними характеристиками та станом об'єкту розміщення;
- природними умовами території.

Середня ступінь власної небезпеки відходів розраховується за формулою:

$$D_m = (D_1 \cdot M_1 + \dots + D_n \cdot M_n) / M_{\text{сум.}}, \quad (7.2)$$

де:  $D_m$  – середня ступінь власної небезпеки відходів;  $D_1 \dots D_n$  – коефіцієнти власної небезпеки різних видів відходів, що складуються;  $M_1 \dots M_n$  – вага різних видів відходів, що складуються;  $M_{\text{сум.}}$  – сумарна вага відходів, що складуються.

Визначення ступені власної небезпеки відходів ( $D_i$ ) базується на віднесенні відходів до класу небезпеки згідно ДСанПин 2.2.7.029-99 та визначенні додаткових факторів їх небезпеки, якими є: вогнебезпечність, вибухонебезпечність, корозійність, окислювальна здатність.

Ці фактори визначають ймовірність виникнення екологічно значущих аварійних ситуацій при зберіганні відходів. Наявність кожного додаткового фактору небезпеки знижує клас небезпеки відходу на 0,25. Її розрахунок здійснюється за формулою:

$$D_i = 5 - (O_i - N_i \cdot 0,25) \quad (7.3)$$

де:  $D_i$  – ступінь власної небезпеки відходу;  $O_i$  – клас небезпеки відходу;  $N_i$  – кількість факторів додаткової небезпеки.

Чим вище значення ступені власної небезпеки відходів, тим більша інтенсивність потенційного впливу на навколишнє середовище.

### Кейсове завдання: Визначення категорії екологічної безпеки місця видалення відходів

#### Ситуація:

На території міста розташований полігон для видалення побутових та промислових відходів, який не відповідає сучасним екологічним стандартам. Мета завдання – оцінити екологічну безпеку цього об'єкта та запропонувати заходи для мінімізації його негативного впливу на навколишнє середовище.

Вихідні дані:

Полігон містить побутові та промислові відходи:

Побутові відходи: 60% від загальної маси, клас небезпеки – 4.

Промислові відходи: 40% від загальної маси, клас небезпеки – 3, додаткові фактори небезпеки (корозійність та вогненебезпечність).

Загальна маса відходів на полігоні – 10000 тонн.

Показник конструкційної екологічної небезпеки полігону – 2,5.

Природні фактори:

– атмосферне повітря ( $I_a$ ): 1,8.

– підземні води ( $I_{g,w}$ ): 2,2.

– поверхневі води ( $I_{s,w}$ ): 1,5.

– ґрунти ( $I_g$ ): 1,7.

Коефіцієнти технологічного впливу:

– на атмосферу ( $k_a$ ): 1,2.

– на підземні води ( $k_{g,w}$ ): 1,5.

– на поверхневі води ( $k_{s,w}$ ): 1,1.

– на ґрунти ( $k_g$ ): 1,3.

– коефіцієнт інформативності ( $K_{inf}$ ): 0,9.

Завдання:

- 1) Розрахуйте середню ступінь власної небезпеки відходів на полігоні.
- 2) Визначте інтегральний показник потенційного негативного впливу.
- 3) Визначте категорію екологічної безпеки полігону на основі показника.
- 4) Запропонуйте заходи для покращення екологічного стану полігону та зменшення його негативного впливу.

### Приклади тестових завдань

1. Який основний метод визначення кількості твердих побутових відходів у населеному пункті?

- A) Проведення натурних вимірювань об'ємів та маси відходів.
- B) Розрахунок за середньою площею забудови.
- C) Використання даних про кількість смітєвозів.
- D) Аналіз даних із системи відеоспостереження.



Е) Використання даних про густоту населення.

2. Яка операція виконується першою під час первинного обробітку текстильних відходів?

- А) Різання відходів.
- В) Хімічне очищення.
- С) *Дезінфекція відходів.*
- Д) Замаслення текстильних матеріалів.
- Е) Сортування відходів за кольором.

3. Що є основним завданням визначення категорії екологічної безпеки місць видалення відходів?

- А) Розробка плану з переробки відходів.
- В) Аналіз економічних витрат на утилізацію відходів.
- С) Підрахунок кількості відходів у місцях складування.
- Д) *Оцінка негативного впливу на компоненти навколишнього середовища.*
- Е) Визначення об'єму полігонів для утилізації.

4. Який основний продукт утворюється при низькотемпературному піролізі?

- А) Мінеральні добрива.
- В) Піролізний газ із високою теплотворністю.
- С) Рідкий синтетичний газ.
- Д) Велика кількість твердого залишку.
- Е) *Напівкокс.*

5. Що визначає інтегральний показник екологічної небезпеки?

- А) *Потенційний негативний вплив відходів на довкілля.*
- В) Максимальну кількість відходів, що може зберігатися на полігоні.
- С) Склад матеріалів, що використовуються для будівництва полігону.
- Д) Час зберігання відходів на полігоні.
- Е) Вартість утилізації відходів.

6. Який компонент органічної частини відходів має найвищий потенціал утворення метану?

- A) Папір.
- B) Дерево та листя.
- C) *Харчові відходи.*
- D) Горючі залишкові продукти.
- E) Пластмаси.

7. Що є основним джерелом довготривалого забруднення від полігонів?

- A) Поверхневі води.
- B) Звалищний газ.
- C) *Фільтрат.*
- D) Тверді залишки від утилізації.
- E) Пилові частинки.

8. Який метод найчастіше застосовують для очищення текстильних відходів від масла та фарби?

- A) Теплова обробка паром.
- B) Прання у великих промислових машинах.
- C) Використання ультразвукових технологій.
- D) *Хімічне очищення органічними розчинниками.*
- E) Використання фільтрувальних установок.

9. Який параметр визначає кількість біогазу, що утворюється на полігоні?

- A) *Морфологічний склад органічної частини відходів.*
- B) Глибина полігону.
- C) Тип дренажної системи полігону.
- D) Час функціонування полігону.
- E) Температура зберігання відходів.

10. Який основний підхід використовується для оцінки економічного збитку від забруднення атмосфери?

- A) Моніторинг здоров'я населення, що проживає поблизу.
- B) Розрахунок об'єму полігонного газу.
- C) Визначення показників агресивності речовин.
- D) Аналіз витрат на очищення повітря.
- E) *Переведення натуральних ефектів у грошовий вираз.*

11. Які основні джерела утворення фільтрату на полігонах відходів?

- A) *Атмосферні опади, що проходять крізь відходи.*
- B) Процеси хімічного окислення металів.
- C) Переміщення підземних вод.
- D) *Органічні процеси розкладу відходів.*
- E) Стічні води промислових підприємств.

12. Які основні етапи підготовки текстильних відходів до розволокнення?

- A) Промивання у розчині хімічних речовин.
- B) *Різання та замаслення.*
- C) Термічна обробка та подрібнення.
- D) *Дезінфекція та сортування*
- E) Упакування у пресовані блоки.

13. Які фактори впливають на кількість біогазу, що утворюється на полігонах?

- A) *Склад органічних відходів.*
- B) *Час функціонування полігону.*
- C) Тип конструкції протифільтраційного бар'єру.
- D) Відстань полігону до населених пунктів.
- E) Середня температура повітря на території полігону.

### **Рекомендована література**

1. Бедункова О. О., Вегера І. П. Вуглецевий слід рослинних відходів. Дорожня карта реалізації Закону України «Про управління відходами»: збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Київ, 24–25 листопада 2022 р.). К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2022. 248 с. С. 88-90.

2. Бедункова О.О., Троцюк В.С., Мороз О.Т., Клименко В.О. Тенденції та стимулювання утилізації харчових відходів. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія Сільськогосподарські науки. Вип. 1(93). Рівне, 2021. С. 18-30.
3. Бедункова О.О., Ціпан Ю.Р. Законодавче регулювання проблеми спалювання рослинних залишків. Тези учасників Регіональної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми природоохоронного законодавства», 4 червня 2021 року, м. Рівне. Рівне : НУВГП, 2021. 83 с. С. 28-31.
4. Войціховська А., Кравченко О., Мелень-Забрамна О., Панькевич М. Кращі європейські практики управління відходами (посібник) / за заг. ред. О. Кравченко. Львів : Видавництво «Компанія “Манускрипт”». 2019. 64 с. URL: [http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2019/07/Krashchi\\_ES\\_praktuku\\_NET.pdf](http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2019/07/Krashchi_ES_praktuku_NET.pdf) (дата звернення 14.08.2023 р.).
5. Захист від забруднення ландшафтів побутовими та промисловими відходами на основі використання природних сорбентів: Монографія / За ред. проф. В.А. Сташука, З.Р. Маланчука та проф. А.М. Рокочинського; [В.А. Сташук, з.р. Маланчук, А.М. Рокочинський, М.О. Клименко, П.Д. Колодич, Л.І. Каменчук, Р.В. Жомірук, С.Ю. Громаченко, О.О. Бедункова]. Херсон: Грінь Д.С., 2014. – 420 с.
6. Клименко М.О., Прищепа А.М., Бедункова О.О. Загрози летких органічних сполук – продуктів вторинного забруднення відкритих звалищ відходів. Збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Святогірськ, Донецька область, 7 – 8 листопада 2019 р.). К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2019. 197 с. С. 46-50.
7. Клименко М.О., Прищепа А.М., Бедункова О.О. Трагування терміну «харчові відходи», як важливий інструмент управління їх потоками. Екологічно дружні технологічні рішення для місцевих громад щодо поводження з відходами: збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Київ, 23–24 листопада 2021 р.). К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2021. 275 с. С. 12-15.

8. Петрук В.Г., Васильківський І.В., Кватернюк С.М. та ін. Управління та поводження з відходами. Частина 2. Тверді побутові відходи : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2015. 100 с.
9. Розумне управління відходами спільнот. Посібник. URL: [https://dzki.kyivcity.gov.ua/files/2018/7/10/Upravlinya\\_vidchodam\\_u.pdf](https://dzki.kyivcity.gov.ua/files/2018/7/10/Upravlinya_vidchodam_u.pdf)
10. Станкевич С.В., Л.В. Головань Є.М., Білецький та ін. Управління та рекуперація відходів: навч. посіб. Х.: Видавництво Іванченка І. С., 2020. 134 с.
11. Утилізація твердих побутових відходів. Навчальний посібник. Клименко М.О., Рокочинський А.М., Бедункова О.О., Маланчук Є.З., Жомирук Р.В., Громаченко С.Ю. Рівне, 2010. 307 с.