

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**



**ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ТА РЕЦИКЛІНГ**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ  
ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ**

для студентів спеціальностей  
101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Дніпро  
НТУ «ДПУ»  
2019

Технології утилізації відходів та рециклінг. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища». [Текст] / О. О. Борисовська, В. Ю. Грунтова. НТУ «Дніпровська політехніка». — Дніпро: НТУ «ДП», 2019. — 52 с.

Автори:

О. О. Борисовська, канд. техн. наук, доц.

В. Ю. Грунтова, ас.

Затверджено методичними комісіями зі спеціальностей 101 «Екологія» (протокол № 2 від 13.02.2019 р.) та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» (протокол № 2 від 13.02.2019 р.) за поданням кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища (протокол № 6 від 13.02.2019)

Подано методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Технології утилізації відходів та рециклінг» для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища»..

Відповідальний за випуск: завідувач кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, д-р. техн. наук, проф. А. В. Павличенко

Борисовська О.О., Грунтова В.Ю.  
НТУ «Дніпровська політехніка», 2019

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Методичні рекомендації призначені для закріплення теоретичних знань, набутих студентами в лекційному курсі, а також формування практичних навичок щодо поводження з відходами.

Методичні рекомендації включають 3 практичні роботи, тексти яких викладено за типовою структурною схемою – тема, мета роботи, подання теоретичних положень за темою, завдання для самостійного виконання та питання для самоконтролю.

Послідовність проведення практичних робіт відповідає темам лекційних занять, що сприяє практичному закріпленню теоретичних знань з дисципліни.

***В результаті виконання практичних робіт студенти повинні набути практичні навички з розрахунку:***

- ❖ питомого виходу біогазу за період його активної стабілізованої генерації при метановому бродінні;
- ❖ кількісного виходу біогазу за рік, віднесеного до однієї тонни відходів;
- ❖ періоду повного зброджування органічної частини відходів (період активного виділення біогазу);
- ❖ щільності біогазу;
- ❖ вагового процентного вмісту компонентів у біогазі;
- ❖ питомої маси компонентів, що викидаються на рік з полігонів твердих побутових і промислових відходів;
- ❖ максимальних разових викидів  $i$ -го компонента біогазу з полігонів твердих побутових і промислових відходів;
- ❖ валових викидів  $i$ -ої забруднюючої речовини з полігонів твердих побутових і промислових відходів;
- ❖ матеріального балансу процесу переробки відходів методом піролізу;
- ❖ маси рідкої і твердої фази, а також маси газу, що виділяються внаслідок переробки відходів методом піролізу;
- ❖ щільності та питомого виходу піролізного газу;
- ❖ ступеня переробки відходів методом піролізу;
- ❖ теплотворної здатності одержуваного піролізного газу;
- ❖ ефективності роботи піролізної установки;
- ❖ необхідного об'єму хвостосховища на заданий термін його експлуатації;
- ❖ річного виходу хвостів і загальних характеристик хвостосховища;
- ❖ загального об'єму хвостосховища першої черги та вторинних дамб кожного ярусу хвостосховища;
- ❖ терміну експлуатації хвостосховища та ін.

# ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

## РОЗРАХУНОК ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРУ ВІД ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ І ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ

**Мета роботи:** набуття студентами практичних навичок розрахунку викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря з полігонів твердих побутових і промислових відходів.

Поставлена мета досягається послідовним вирішенням наступних **завдань:**

- ознайомлення з біотермічним анаеробним процесом розкладання органічної складової твердих побутових і промислових відходів;
- ознайомлення з методикою розрахунку максимальних разових і валових викидів забруднюючих речовин з полігону твердих побутових і промислових відходів;
- ознайомлення з прикладом розрахунку викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря з полігонів відходів;
- самостійний розрахунок максимальних разових і валових викидів забруднюючих речовин з полігону твердих побутових і промислових відходів.

### 1.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

#### 1.1.1. Загальні положення

У товщі твердих побутових і промислових відходів, що складовані на полігонах, під впливом мікрофлори відбувається процес біотермічного анаеробного розкладання органічної складової відходів.

Кінцевим продуктом такого процесу розкладання є **біогаз**, основну об'ємну масу якого складають *метан* і *діоксид вуглецю*. Поряд з названими компонентами, біогаз містить пари води, оксид вуглецю, оксиди азоту, аміак, вуглеводні, сірководень, фенол і в незначних кількостях інші домішки, що володіють шкідливими для здоров'я людини і навколишнього середовища властивостями.

Кількісний та якісний склад біогазу залежить від багатьох факторів, в тому числі від кліматичних і геологічних умов місця розташування полігону, морфологічного та хімічного складу відходів, умов їх складування (площа, обсяг, глибина захоронення), вологості відходів, їх щільності тощо, та підлягає уточненню в кожному конкретному випадку, але не раніше **двох років з початку експлуатації полігону**.

#### 1.1.2. Характеристика полігонів відходів

На більшій частині полігонів України складуються як побутові, так і промислові відходи, дозволені в установленому порядку для захоронення спільно з побутовими.

На полігони твердих побутових відходів можуть вивозитися промислові відходи III та IV класу небезпеки (з дозволу контролюючих органів). Тверді відходи IV класу небезпеки використовують на полігонах твердих побутових

відходів в якості ізолюючого матеріалу у середній та верхній частинах полігону, а тверді відходи III класу небезпеки можуть складуватися разом з побутовими відходами з дотриманням особливих умов (Додаток 1).

Морфологічний склад твердих побутових відходів (ТПВ), складованих на полігонах, у відсотках за масою наступний:

• папір, картон	<b>20-30</b>	• чорний метал	<b>1,5-4,5</b>
• харчові відходи	<b>28-45</b>	• кольоровий метал	<b>0,2-0,3</b>
• дерево	<b>1,5-4</b>	• скло	<b>3-8</b>
• текстиль	<b>4-7</b>	• каміння, кераміка	<b>1-3</b>
• шкіра, гума	<b>1-4</b>	• відсів менше 16 мм	<b>7-18</b>
• полімерні матеріали	<b>1,5-5</b>	• інше	<b>1-3</b>
• кістки	<b>0,5-2</b>		

Щільність (насіпна маса) відходів становить 0,19-0,23 т/м<sup>3</sup>, вологість коливається від 40 % до 55 %, вміст органічної речовини у відсотках на суху масу може досягати 70 % (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Хімічний склад ТПВ, % від сухої маси

Показники	Кліматичні зони	
	середня	південна
Органічна речовина	56–72	56–80
Зольність	28–44	20–44
Вологість	40–50	35–70

Що ж стосується промислових відходів (ПВ), то їх склад залежить від профілю промислових підприємств того чи іншого регіону та підлягає уточненню в кожному конкретному випадку при обстеженні полігону, але не раніше **двох років з початку його експлуатації**.

Обстеження полігону ТПВ та ПВ також рекомендується проводити не раніше **двох років з початку його експлуатації**.

За загальноприйнятою технологією захоронення відходів передбачається планування й ущільнення відходів, які завозяться на полігон, а також регулярна ізоляція ґрунтом «робочих» шарів відходів.

У початковий період (близько року) процес розкладання відходів супроводжується їх окисленням в верхніх шарах за рахунок кисню повітря, що міститься в порожнинах, і кисню, що проникає з атмосфери. Потім, по мірі природного та механічного ущільнення відходів й ізолювання їх за рахунок прошарку з ґрунту, посилюються анаеробні процеси з утворенням **біогазу**, що є кінцевим продуктом біотермічного анаеробного розкладання органічної складової відходів під впливом мікрофлори. Біогаз через товщу відходів й ізолюючих шарів ґрунту виділяється в атмосферне повітря і обумовлює його забруднення. Якщо умови складування відходів не змінюються, то процес анаеробного розкладання з часом стабілізується, і відбувається постійне (за питомим обсягом) виділення біогазу, який має практично однаковий газовий склад (при стабільності морфологічного складу відходів).

Таким чином, розрізняють п'ять фаз процесу розкладання органічної складової твердих побутових відходів на полігонах:

- *1-а фаза* – аеробне розкладання;
- *2-а фаза* – анаеробне розкладання без виділення метану (бродиння);
- *3-я фаза* – анаеробне розкладання з непостійним виділенням метану (змішане бродіння);
- *4-а фаза* – анаеробне розкладання з постійним виділенням метану;
- *5-а фаза* – загасання анаеробних процесів.

*Перша і друга фази* мають місце в перші **20–40 днів** з моменту укладання відходів. Тривалість протікання *третьої фази* складає **до 700 днів**, а *четвертої фази* – визначається місцевими кліматичними умовами і для різних регіонів коливається в інтервалі від **10 років** (на півдні) до **50 років** (на півночі), якщо умови складування не змінюються.

За період анаеробного розкладання відходів з постійним виділенням метану та максимальним виходом біогазу (*четверта фаза*) генерується **близько 80 %** від загальної кількості біогазу; **решта 20 %** припадають на перші три фази та кінцеву фазу, під час протікання яких в утворенні продуктів розкладання бере участь тільки частина відходів, що знаходяться на полігоні (верхні шари відходів і частина органічної маси, що повільно розкладається мікроорганізмами). Кількісний та якісний склад викидів, що припадають на ці фази, залежить від складу відходів, який визначається при обстеженні того чи іншого конкретного полігону.

Тому розрахунок викидів доцільно проводити для умов стабілізованого процесу розкладання відходів при максимальному виході біогазу (*четверта фаза*) з урахуванням того, що стабілізація процесу газовиділення в середньому настає **через два роки** після захоронення відходів. На цю фазу припадає 80 % біогазу, що виділяється; а решта 20% враховуються концентраціями компонентів біогазу, що визначаються шляхом аналізу (при аналізі відібраних проб біогазу не представляється можливим диференціювати, яка частина із загальної концентрації того чи іншого компонента створюється при змішаному бродінні, а яка – при анаеробному розкладанні з постійним виділенням метану).

Процес мінералізації відходів відбувається протягом 1-го року – на 12 см, 2-го року – на 21 см, 3-го року – на 27 см і т. д.

Надходження біогазу з поверхні полігону в атмосферне повітря відбувається рівномірно без помітних коливань його кількісних та якісних характеристик.

### **1.1.3. Розрахунок викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря з полігонів**

Розрахунок викидів газоподібних забруднюючих речовин в атмосферне повітря наводиться для нормального режиму експлуатації полігону ТПВ та ПВ.

Викиди твердих і газоподібних шкідливих речовин при роботі автотранспортної та дорожньої техніки і котелень (при їх наявності), а також викиди твердих шкідливих речовин при складуванні, переміщенні та зберіганні

відходів, розраховуються (при необхідності) згідно з відповідними діючими методиками. Займання відходів на різних ділянках полігону розглядається як аварійний викид.

На кількісну характеристику викидів забруднюючих речовин з полігонів відходів впливає значна кількість чинників, серед яких:

- кліматичні умови;
- робоча (активна) площа полігону;
- термін експлуатації полігону;
- кількість відходів, що захороненні;
- потужність шару складованих відходів;
- співвідношення кількості завезених побутових і промислових відходів;
- морфологічний склад завезених відходів;
- вологість відходів;
- вміст органічної складової у відходах;
- вміст жироподібних, вуглеводоподібних і білкових речовин в органічній масі відходів;
- технологія захоронення відходів.

Питомий вихід біогазу за період його активної стабілізованої генерації при метановому бродінні визначається за формулою:

$$Q = 10^{-4} \cdot R \cdot (0,92 \cdot \mathcal{J} + 0,62 \cdot B + 0,34 \cdot \mathcal{B}), \text{ кг/кг відходів,} \quad (1.1)$$

де  $Q$  – питомий вихід біогазу за період його активної генерації, кг/кг відходів;  $R$  – вміст органічної складової у відходах, %;  $\mathcal{J}$  – вміст жироподібних речовин в органіці відходів, %;  $B$  – вміст вуглеводоподібних речовин в органіці відходів, %;  $\mathcal{B}$  – вміст білкових речовин в органіці відходів, %.

$R$ ,  $\mathcal{J}$ ,  $B$  і  $\mathcal{B}$  – визначаються шляхом аналізу відібраних проб відходів. Жири та білки визначаються за стандартними методиками аналітичного аналізу (жири – екстрагуванням, білки – із застосуванням гідролізу); методика визначення вуглеводів описана в працях Академії комунального господарства ім. К. Д. Памфілова – «Методика дослідження властивостей твердих відходів».

Формула (1.1) складена відповідно до абсолютно сухої речовини відходів. В реальних умовах відходи містять певну кількість вологи, яка сама по собі біогаз не генерує. Отже вихід біогазу, віднесений до одиниці ваги реальних вологих відходів, буде меншим, ніж віднесений до тієї ж одиниці абсолютно сухих відходів у  $10^{-2} \cdot (100 - W)$  раз, оскільки у ваговій одиниці вологих відходів абсолютно сухих відходів, що генерують біогаз, буде спостерігатись  $10^{-2} \cdot (100 - W)$  від цієї одиниці (тут  $W$  – фактична вологість відходів у %, визначена шляхом аналізу проб відходів).

З урахуванням зазначеного вище, формула виходу біогазу при метановому бродінні реальних вологих відходів набуває вигляду:

$$Q_w = 10^{-6} \cdot R \cdot (100 - W) \cdot (0,92 \cdot \mathcal{J} + 0,62 \cdot B + 0,34 \cdot \mathcal{B}), \text{ кг/кг відходів,} \quad (1.2)$$

де співмножник  $10^{-2} \cdot (100 - W)$  враховує, якою є частка абсолютно сухих відходів, для яких складена формула (1.1), в загальній кількості реальних

вологих відходів.

Кількісний вихід біогазу за рік, віднесений до однієї тонни відходів, визначається за формулою:

$$P_{\text{пит}} = \frac{Q_w}{t_{\text{збр}}} * 10^3, \text{ кг/т відходів на рік,} \quad (1.3)$$

де  $t_{\text{збр}}$  – період повного зброджування органічної частини відходів (період активного виділення біогазу), який визначається за наближеною емпіричною формулою:

$$t_{\text{збр}} = \frac{10248}{T_{\text{менл}} * (t_{\text{сер.менл}})^{0,301966}}, \text{ роки,} \quad (1.4)$$

де  $t_{\text{сер.менл}}$  – середня середньомісячна температура повітря в районі полігону твердих побутових і промислових відходів за теплий період року ( $t_{\text{сер.міс}} > 0$ ), °C;  $T_{\text{менл}}$  – тривалість теплового періоду року в районі полігону ТПВ та ПВ, дні; 10248 і 0,301966 – питомі коефіцієнти, що враховують біотермічне розкладання органіки.

Органічні речовини, що містяться у відходах, характеризуються різною інтенсивністю розкладання (табл. 1.2): так, гума, шкіра, полімерні матеріали тощо розкладаються мікроорганізмами дуже повільно, в той час як органічні складові відходів, що містять білкові речовини, крохмаль, розкладаються дуже швидко.

Таблиця 1.2 – Орієнтовна тривалість розкладання компонентів ТПВ

Компонент ТПВ	Тривалість розкладання	Компонент ТПВ	Тривалість розкладання
Паперовий рушник	2-3 тижні	Коробка з-під молока	5 років
Бананова шкірка	3-4 тижні	Недопалок сигарети	10-12 років
Паперовий пакет	1 місяць	Шкіряні чоботи	25-40 років
Газета	1,5 місяці	Пінопластовий стакан	50 років
Огризок яблука	2 місяці	Гумова шина	80 років
Картон	2 місяці	Алюмінієва банка	200-500 років
Апельсинова шкірка	6 місяців	Пластикова пляшка	450 років
Фанера	1-3 роки	Одноразовий підгузок	500 років
Вовняна шкарпетка	1-5 років	Пластиковий пакет	200-1000 років

Таким чином, можна вважати, що органічна складова відходів складається з «пасивної» (такої, що не генерує або генерує дуже повільно) органічної речовини й «активної» органічної речовини (такої, що генерує). Отже, від морфологічного складу відходів залежить інтенсивність утворення та виділення біогазу; а також в залежності від нього і від кліматичних умов коливається тривалість періоду стабілізованого активного виходу біогазу.

Щільність біогазу визначається за законом адитивності як сумарна величина добутоків об'ємних концентрацій його компонентів на їх щільності:



$$\rho_{\text{біогаз}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{\text{об.}i} * \rho_i}{100}, \text{ кг/м}^3, \quad (1.5)$$

де  $C_{\text{об.}i}$  – вміст  $i$ -го компонента у біогазі, об'ємні %;  $\rho_i$  – щільність  $i$ -го компонента біогазу, кг/м<sup>3</sup>;  $n$  – кількість компонентів у біогазі.

Примітка: середня щільність біогазу зазвичай становить 0,95–0,98 щільності повітря; тобто при щільності повітря 1,2928 кг/м<sup>3</sup> середня щільність біогазу складатиме  $1,2928 \cdot 0,965 = 1,24755$  кг/м<sup>3</sup>.

З іншого боку, зв'язок щільності компонентів, їх концентрацій у біогазі й об'ємного процентного вмісту визначається за формулою:

$$C_{\text{об.}i} = 10^{-4} * \frac{C_i}{\rho_i}, \text{ \%}, \quad (1.6)$$

де  $C_i$  – концентрація  $i$ -го компонента у біогазі, мг/м<sup>3</sup>.

Формула для визначення щільності біогазу виводиться спільним рішенням рівнянь (1.5) та (1.6):

$$\rho_{\text{біогаз}} = 10^{-6} * \sum_{i=1}^n C_i, \text{ кг/м}^3. \quad (1.7)$$

У табл. 1.3 вказані щільності найбільш ймовірних компонентів біогазу. Склад біогазу та концентрації компонентів в ньому визначаються через 2 роки після початку експлуатації полігону шляхом хімічних аналізів проб біогазу, відібраних в ряді точок за рахунок його відсмоктування по площі полігону на глибині 1,0-1,5 м (кількість і місце розташування точок відбору залежить від активної площі полігону та числа різномірних ділянок), за існуючими затвердженими методиками.

Таблиця 1.3 – Щільність компонентів біогазу

Найменування речовини	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Найменування речовини	Щільність, кг/м <sup>3</sup>
Метан	0,717	Формальдегід	0,815
Вуглецю діоксид	1,977	Ангідрид сірчистий	2,930
Толуол	0,867	Етилбензол	0,867
Аміак	0,771	Бензол	0,869
Ксилол	0,869	Сірководень	1,540
Вуглецю оксид	1,250	Фенол	1,071
Азоту діоксид	1,490		

Використовуючи дані щодо отриманих концентрацій компонентів біогазу та його щільності, можна визначити ваговий процентний їх вміст компонентів у біогазі:

$$C_{\text{ваг.}i} = 10^{-4} * \frac{C_i}{\rho_{\text{біогаз}}}, \text{ \%}, \quad (1.8)$$

де  $C_i$  – концентрації компонентів у біогазі, мг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{біогаз}}$  – щільність біогазу, мг/м<sup>3</sup>.

Враховуючи показники кількісного виходу біогазу за рік, віднесеного до

однієї тонни відходів (формула 1.3), і вагового процентного вмісту компонентів у біогазі (формула 1.8), визначають питомі маси компонентів, що викидаються за рік, за формулою:

$$P_{num,i} = \frac{C_{ваг,i} * P_{num}}{100}, \text{ кг/т відходів на рік} \quad (1.9)$$

При використанні розрахункового методу інвентаризації викидів діючого полігону, а також при проектуванні нового або розширення існуючого полігону ТПВ, може прийматися наступний середньостатистичний склад біогазу, рекомендований при проектуванні (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Середньостатистичний склад біогазу

Компонент	$C_{ваг,i}, \%$	Компонент	$C_{ваг,i}, \%$
Метан	52,915	Азоту діоксид	0,111
Толуол	0,723	Формальдегід	0,096
Аміак	0,533	Етилбензол	0,095
Ксилол	0,443	Ангідрид сірчистий	0,070
Вуглецю оксид	0,252	Сірководень	0,026

Для розрахунку величин викидів підраховується кількість активних відходів, стабільно генеруючих біогаз, з урахуванням того, що період стабілізованого активного виходу біогазу в середньому становить **двадцять років**, а фаза анаеробного стабільного розкладання органічної складової відходів в середньому настає **через два роки** після захоронення відходів (тобто відходи, завезені в останні два роки, не входять до числа активних).

Підрахунок можна проводити за одним з двох наведених нижче варіантів:

- **перший варіант** – полігон функціонує менше двадцяти років, тобто менше періоду повного зброджування ( $t_{збр}$ ). У цьому випадку враховуються всі відходи, завезені з початку роботи полігону (за винятком відходів, завезених за останні два роки);

- **другий варіант** – полігон функціонує більше двадцяти років, тобто більше періоду повного зброджування ( $t_{збр}$ ). В цьому випадку підраховуються відходи, завезені за останні двадцять років (без урахування відходів, завезених за останні два роки).

Максимальні разові викиди  $i$ -го компонента біогазу з поверхні полігону визначаються за формулою:

$$M_i = 0,01 * C_{ваг,i} * M_{сум}, \text{ г/с}, \quad (1.10)$$

де  $C_{ваг,i}$  – ваговий процентний вміст компонентів у біогазі (визначається за формулою 1.8 або за табл. 1.4);  $M_{сум}$  – сумарний максимальний разовий викид біогазу з поверхні полігону, г/с.

У свою чергу, сумарний максимальний разовий викид біогазу з поверхні полігону складе:

$$M_{сум} = \frac{P_{num} * \sum D}{T_{тепл} * 24 * 3600 * 10^{-3}} = \frac{P_{num} * \sum D}{86,4 * T_{тепл}}, \text{ г/с}, \quad (1.11)$$

де  $\sum D$  – кількість активних стабільно генеруючих біогаз відходів, т;  $T_{тепл}$  – тривалість теплового періоду року в районі полігону ТПВ та ПВ, дні.

Біогаз утворюється нерівномірно в залежності від пори року. При негативних температурах процес «мезофільного зброджування» (до 55°C) органічної частини ТПВ і ПВ припиняється; відбувається так зване «призупинення» до настання більш теплого періоду року ( $t_{сер.міс.} > 0^\circ\text{C}$ ).

Наведена формула (1.10) справедлива для випадку обстеження полігону і відбору проб біогазу в теплу пору року ( $t_{сер.міс.} > 8^\circ\text{C}$ ). При обстеженні у більш холодну пору року ( $0 < t_{сер.міс.} \leq 8^\circ\text{C}$ ), що недоцільно хоча б через додаткові похибки вимірювань, у формулі 1.10 слід застосовувати коефіцієнт нерівномірності утворення біогазу, який дорівнює 1,3.

З урахуванням коефіцієнта нерівномірності валові викиди  $i$ -ої забруднюючої речовини з полігону визначаються за формулою:

$$G_i = 0,01 \cdot C_{ваг.і} \cdot G_{сум}, \text{ т/рік}, \quad (1.12)$$

де  $G_{сум}$  – валові викиди біогазу, т/рік.

У свою чергу, валові викиди біогазу будуть дорівнювати:

$$G_{сум} = M_{сум} \cdot \left( \frac{a \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12} + \frac{b \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12 \cdot 1,3} \right) \cdot 10^{-6}, \text{ т/рік}, \quad (1.13)$$

де  $a$  і  $b$  відповідно періоди теплої та холодної пори року, місяці ( $a$ : при  $t_{сер.міс.} > 8^\circ\text{C}$ ;  $b$ : при  $0 < t_{сер.міс.} \leq 8^\circ\text{C}$ ).

## 1.2 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.2.1. Приклад розрахунку

Необхідно розрахувати максимальні разові і валові викиди забруднюючих речовин з полігону твердих побутових і промислових відходів міста.

Вихідні дані для розрахунку представлені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення
Рік початку функціонування полігону	2 000
Щорічна кількість відходів, що надходять на полігон, т	208 200
Вміст органічної складової у відходах $R$ , %	55
Вміст жироподібних речовин в органіці відходів $Ж$ , %	2
Вміст вуглеводородоподібних речовин в органіці відходів $B$ , %	83
Вміст білкових речовин в органіці відходів, %	15
Середня вологість відходів $W$ , %	47
<i>Результати аналізу проб біогазу, <math>C_i</math>, мг/м<sup>3</sup></i>	
Метан	660 908
Вуглецю діоксид	558 958
Толуол	9 029
Аміак	6 659
Ксилол	5 530
Вуглецю оксид	3 148
Азоту діоксид	1 392
Формальдегід	1 204
Етилбензол	1 191

Показник	Значення
Ангідрид сірчистий	878
Сірководень	326
<i>Середня місячна температура повітря (норма) в районі полігону твердих побутових і промислових відходів, °С</i>	
Січень	-3,6
Лютий	-3,4
Березень	1,8
Квітень	9,7
Травень	16,2
Червень	19,9
Липень	22,1
Серпень	21,4
Вересень	15,6
Жовтень	9
Листопад	2,0
Грудень	-2,4

**Розв'язок прикладу:**

*Питомий вихід біогазу за період активного його виділення (1.2):*

$$Q_w = 10^{-6} \cdot R \cdot (100 - W) \cdot (0,92 \cdot Ж + 0,62 \cdot В + 0,34 \cdot Б) = 10^{-6} \cdot 55 \cdot (100 - 47) \cdot (0,92 \cdot 2 + 0,62 \cdot 83 + 0,3 \cdot 15) = 0,170236 \text{ кг/кг відходів.}$$

*Період активного виділення біогазу для міста (при  $t_{\text{сер.тепл.}} = 13,08^\circ\text{C}$ ;  $T_{\text{тепл.}} = 275$  днів) (1.4):*

$$t_{\text{збр}} = \frac{10248}{T_{\text{тепл.}} \cdot (t_{\text{сер.тепл.}})^{0,301966}} = \frac{10248}{275 \cdot (13,08)^{0,301966}} = 17,1 \text{ років.}$$

*Кількісний вихід біогазу за рік, віднесений до однієї тонни захоронених відходів (1.3):*

$$P_{\text{пит}} = \frac{Q_w}{t_{\text{збр}}} \cdot 10^3 = \frac{0,170236}{17,1} \cdot 10^3 = 9,9289 \text{ кг/т відходів на рік.}$$

*Щільність біогазу (1.7):*

$$\sum_{i=1}^n C_i = C_{\text{метан}} + C_{\text{вугл.діокс}} + C_{\text{толуол}} + C_{\text{аміак}} + C_{\text{ксилол}} + C_{\text{вугл.оксид}} + C_{\text{азоту.діокс}} + C_{\text{формальд.}} + C_{\text{етилбензол}} + C_{\text{ангідр.сірчист}} + C_{\text{сірковод.}} = 660908 + 558958 + 9029 + 6659 + 5530 + 3148 + 1392 + 1204 + 1191 + 878 + 326 = 1249223 \text{ мг/м}^3.$$

$$\rho_{\text{біогаз}} = 10^{-6} \cdot \sum_{i=1}^n C_i = 10^{-6} \cdot 1249223 = 1,249 \text{ кг/м}^3.$$

Відповідно

*Ваговий процентний вміст компонентів в біогазі (1.8):*

Примітка: Діоксид вуглецю, як ненормовану речовину, з подальшого розгляду виключаємо.

$$C_{\text{ваг.метан}} = 10^{-4} \cdot \frac{C_{\text{метан}}}{\rho_{\text{біогаз}}} = 10^{-4} \cdot \frac{660908}{1,249} = 52,906\%$$

$$C_{\text{ваг.толуол}} = 10^{-4} * \frac{C_{\text{толуол}}}{\rho_{\text{біогаз}}} = 10^{-4} * \frac{9029}{1,249} = 0,723\%$$

і т.д.

$$C_{\text{ваг.аміак}} = 0,533 \%;$$

$$C_{\text{ваг.формальд.}} = 0,096 \%;$$

$$C_{\text{ваг.кисл.}} = 0,443 \%;$$

$$C_{\text{ваг.етилбензол}} = 0,095 \%;$$

$$C_{\text{ваг.вугл.оксид}} = 0,252 \%;$$

$$C_{\text{ваг.ангідр.сірчист.}} = 0,070 \%;$$

$$C_{\text{ваг.азоту.діокс}} = 0,111 \%;$$

$$C_{\text{ваг.сірковод.}} = 0,026 \%.$$

Питомі маси компонентів біогазу, що викидаються за рік (1.9):

$$P_{\text{пит.метан}} = \frac{C_{\text{ваг.метан}} * P_{\text{пит}}}{100} = \frac{52,906 * 9,93}{100} = 5,253 \text{ кг/т відходів на рік};$$

$$P_{\text{пит.толуол}} = \frac{C_{\text{ваг.толуол}} * P_{\text{пит}}}{100} = \frac{0,723 * 9,9}{100} = 0,072 \text{ кг/т відходів на рік}$$

і т.д.

$$P_{\text{пит.аміак}} = 0,053 \text{ кг/т};$$

$$P_{\text{пит.формальд.}} = 0,010 \text{ кг/т}$$

$$P_{\text{пит.кисл.}} = 0,044 \text{ кг/т};$$

$$P_{\text{пит.етилбензол}} = 0,009 \text{ кг/т};$$

$$P_{\text{пит.вугл.оксид}} = 0,025 \text{ кг/т};$$

$$P_{\text{пит.ангідр.сірчист.}} = 0,007 \text{ кг/т};$$

$$P_{\text{пит.азоту.діокс}} = 0,011 \text{ кг/т};$$

$$P_{\text{пит.сірковод.}} = 0,003 \text{ кг/т}.$$

Кількість активних стабільно генеруючих біогаз відходів:

Активно виділяють біогаз відходи, завезені на полігон за період з початку його роботи (2000 р.) до моменту розрахунку (кінець 2019 р.) мінус останні два роки, тобто за 18 років:

$$\Sigma D = 208200 * 18 = 3747600 \text{ т.}$$

Сумарний максимальний разовий викид біогазу з поверхні полігону (1.11):

$$M_{\text{сум}} = \frac{P_{\text{пит}} * \Sigma D}{T_{\text{тепл}} * 24 * 3600 * 10^{-3}} = \frac{9,9289 * 3747600}{86,4 * 275} = 1566,06 \text{ г/с.}$$

З цієї кількості на кожну речовину припадає (1.10):

$$M_{\text{метан}} = 0,01 * C_{\text{ваг.метан}} * M_{\text{сум}} = 0,01 * 52,906 * 1566,06 = 828,530 \text{ г/с};$$

$$M_{\text{толуол}} = 0,01 * C_{\text{ваг.толуол}} * M_{\text{сум}} = 0,01 * 0,723 * 1566,06 = 11,319 \text{ г/с і т.д.}$$

$$M_{\text{аміак}} = 8,348 \text{ г/с};$$

$$M_{\text{формальд.}} = 1,509 \text{ г/с};$$

$$M_{\text{кисл.}} = 6,933 \text{ г/с};$$

$$M_{\text{етилбензол}} = 1,493 \text{ г/с};$$

$$M_{\text{вугл.оксид}} = 3,946 \text{ г/с};$$

$$M_{\text{ангідр.сірчист.}} = 1,101 \text{ г/с};$$

$$M_{\text{азоту.діокс}} = 1,745 \text{ г/с};$$

$$M_{\text{сірковод.}} = 0,409 \text{ г/с}.$$

Валові викиди біогазу (1.13):

Згідно з розрахунками періоди теплої та холодної пори року (*a* і *b*) в місті відповідно становлять 7 місяців та 2 місяці, тому:

$$G_{\text{сум}} = M_{\text{сум}} * \left( \frac{a * 365 * 24 * 3600}{12} + \frac{b * 365 * 24 * 3600}{12 * 1,3} \right) * 10^{-6} =$$

$$= 1566,06 * \left( \frac{7 * 365 * 24 * 3600}{12} + \frac{2 * 365 * 2483600}{12 * 1,3} \right) * 10^{-6} = 35140,83 \text{ т/рік.}$$

З цієї кількості на кожну речовину припадає (1.12):

$$G_{\text{метан}} = 0,01 * C_{\text{ваг.метан}} * G_{\text{сум}} = 0,01 * 52,915 * 35140,83 = 18593,01 \text{ т/рік};$$

$$G_{\text{толуол}} = 0,01 * C_{\text{ваг.толуол}} * G_{\text{сум}} = 0,01 * 0,723 * 35140,83 = 254,07 \text{ т/рік і т.д.}$$

$$G_{\text{аміак}} = 187,32 \text{ т/рік};$$

$$G_{\text{формальд.}} = 33,87 \text{ т/рік};$$

$$G_{\text{кисл.}} = 155,56 \text{ т/рік};$$

$$G_{\text{етилбензол}} = 33,50 \text{ т/рік};$$

$$G_{\text{вугл.оксид}} = 88,55 \text{ т/рік};$$

$$G_{\text{ангідр.сірчист.}} = 24,70 \text{ т/рік};$$

$G_{\text{азоту.діокс}} = 39,16$  т/рік;

$G_{\text{сірковод.}} = 9,17$  т/рік.

Заносимо результати розрахунків до підсумкової табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Результати розрахунків

Показник	Значення
Питомий вихід біогазу за період його активного виділення $Q_w$ , кг/кг відходів	0,170236
Період активного виділення біогазу $t_{збр}$ , років	17,1
Кількісний вихід біогазу за рік $P_{пит}$ , кг/т відходів на рік	9,9289
Щільність біогазу $\rho_{біогаз}$ , кг/м <sup>3</sup>	1,249
Кількість активних стабільно генеруючих біогаз відходів $\Sigma D$ , т	3747600
Сумарний максимальний разовий викид біогазу полігону $M_{сум}$ , г/с	1566,06
Валовий викид біогазу полігону $G_{сум}$ , т/рік	35140,83
у т.ч. валовий викид метану $G_{метан}$	18591,44
толуолу $G_{толуол}$	253,99
аміаку $G_{аміак}$	187,32
ксилолу $G_{ксилол}$	155,56
оксиду вуглецю $G_{оксид\ вуглецю}$	88,55
діоксиду азоту $G_{діоксид\ азоту}$	39,16
формальдегіду $G_{формальдегід}$	33,87
етилбензолу $G_{етилбензол}$	33,50
сірчистого ангідриду $G_{сірч.ангідрид}$	24,70
сірководню $G_{сірководень}$	9,17

**Висновок.** В результаті функціонування полігону твердих побутових і промислових відходів валовий викид біогазу дорівнює 35140,83 т/рік, з яких вміст метану складає 18591,44 т/рік. Оскільки відомо, що при вмісті метану 45–50 % (а в нашому випадку це майже 53 %) біогаз теоретично демонструє енергетичний потенціал в розмірі 5 кВт·ч/м<sup>3</sup>, то будемо мати річну кількість альтернативної енергії у розмірі орієнтовно 141 млн кВт·ч.

### 1.2.2. Практичне завдання.

1. Вивчити теоретичні аспекти біотермічного анаеробного процесу розкладання органічної складової твердих побутових і промислових відходів.

2. Ознайомитись з методикою розрахунку максимальних разових і валових викидів забруднюючих речовин з полігону твердих побутових і промислових відходів.

3. Самостійно розрахувати максимальні разові та валові викиди забруднюючих речовин з полігону твердих побутових і промислових відходів.

Вихідні дані для розрахунку представлені в табл. 1.7–1.9.

Таблиця 1.7 – Результати аналізу проб відходів, відібраних на полігоні твердих побутових і промислових відходів

Показник	Варіанти											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Місто	Вінниця	Житомир	Запоріжжя	Київ	Львів	Одеса	Харків	Херсон	Чернігів	Рівне	Чернівці	Суми
Рік початку функціонування полігону	1999	2001	1998	2002	1997	2000	1996	1995	1994	2004	2003	2005
Щорічна кількість відходів, що надходять на полігон, т	208300	208100	208400	208000	208500	208150	208600	208700	208900	207800	207900	207700
Вміст органічної складової у відходах $R$ , %	56	54	57	53	54	52	58	53	57	54	56	55
Вміст жироподібних речовин в органіці відходів $Ж$ , %	4	4	1	6	1	2	2	2	3	4	6	1
Вміст вуглеводородоподібних речовин в органіці відходів $B$ , %	80	82	82	81	85	83	87	82	86	81	80	88
Вміст білкових речовин в органіці відходів, %	16	14	17	13	14	15	11	16	11	15	14	11
Середня вологість відходів $W$ , %	48	46	49	45	47	44	50	45	49	46	48	47

Таблиця 1.8 – Результати аналізу проб біогазу (вміст  $C_i$ , мг/м<sup>3</sup>)

Компонент	Варіанти					
	1	2	3	4	5	6
Метан	661050	660807	661165	660700	661305	660905
Вуглецю діоксид	559130	558842	559111	558732	559270	558956
Толуол	9 041	9 018	9 049	9 001	9 060	9 030
Аміак	6 705	6 647	6 671	6 634	6 704	6 661
Ксилол	5 547	5 521	5 550	5 521	5 572	5 528
Вуглецю оксид	3 153	3 135	3 167	3 119	3 182	3 147
Азоту діоксид	1 417	1 381	1 409	1 373	1 425	1 395
Формальдегід	1 218	1 194	1 221	1 185	1 236	1 206
Етилбензол	1 202	1 180	1 214	1 168	1 229	1 194
Ангідрид сірчистий	879	877	880	876	881	876
Сірководень	327	325	328	324	329	325

Компонент	Варіанти					
	7	8	9	10	11	12
Метан	661370	661500	661642	660507	660607	660307
Вуглецю діоксид	559280	559410	559530	558530	558642	558349
Толуол	9 073	9 090	9 099	8 875	8 993	8 872
Аміак	5 575	6 703	6 704	6 641	6 624	6 609
Ксилол	3 182	5 592	5 601	5 490	5 500	5 480
Вуглецю оксид	1 429	3 200	3 205	3 100	3 108	3 093
Азоту діоксид	1 246	1 445	1 464	1 352	1 361	1 342
Формальдегід	1 231	1 247	1 281	1 162	1 175	1 150
Етилбензол	1 230	1 241	1 260	1 151	1 161	1 140
Ангідрид сірчистий	881	883	886	874	875	873
Сірководень	330	331	334	322	323	321

Таблиця 1.9 – Середня місячна температура повітря (норма) в районі полігону, °С

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Січень	-5,3	-4,8	-2,8	-5,4	-4,0	-1,6	-6,0	-1,9	-3,6	-3,9	-4,0	-6,8
Лютий	-4,0	-3,6	-2,2	-4,4	-2,7	-1,1	-5,3	-1,2	-3,6	-3,5	-2,3	-6,0
Березень	0,6	0,9	3,7	0,5	1,7	2,8	0	3,2	1,6	1,6	2,2	0,8
Квітень	8,2	8,4	10,7	8,5	8,3	9,0	8,9	10,3	9,6	8,5	9,2	8,2
Травень	14,1	14,1	16,1	15,3	13,6	15,4	15,4	16,1	14,8	14,0	14,6	14,7
Червень	17,4	17,4	20,3	18,5	16,7	19,7	19,2	20,4	17,8	16,9	17,9	18,4
Липень	19,2	19,1	23,8	20,4	18,3	22,3	21,2	22,8	21,4	18,7	19,6	20,0
Серпень	18,3	18,3	22,2	19,3	17,6	21,6	20,1	22,0	18,9	18,0	18,8	18,9
Вересень	13,9	13,7	16,7	14,5	13,5	17,1	14,4	17,0	13,7	13,6	14,6	13,5
Жовтень	7,8	7,6	9,5	8,2	8,2	11,5	7,7	10,6	7,5	7,8	9,0	6,8
Листопад	2,1	1,7	3,7	1,8	3,0	5,8	1,3	4,4	2,2	2,3	3,3	0
Грудень	-2,7	-2,5	-2,0	-2,9	-1,8	-0,9	-3,5	0	-2,9	-1,8	-1,7	-4,6

### *Питання для самоконтролю*

1. З яких основних компонентів складається біогаз?
2. Які фактори впливають на кількісний та якісний склад біогазу?
3. Промислові відходи якого класу небезпеки дозволяється розміщувати на полігонах твердих побутових відходів?
4. Протягом першого року складування відходів процес їх розкладання носить аеробний чи анаеробний характер?
5. Зі скількох фаз складається процес розкладання органічної складової твердих відходів на полігонах?
6. У якій фазі процесу розкладання відходів генерується максимальна кількість біогазу?
7. Протягом якого часу після захоронення відходів настає стабілізація процесу газовиділення?



## ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

### ПЕРЕРОБКА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ І ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ МЕТОДОМ ПІРОЛІЗУ

**Мета роботи:** набуття студентами практичних навичок розрахунку показників утилізації твердих побутових і промислових відходів методом піролізу.

Поставлена мета досягається послідовним вирішенням наступних **завдань**:

- ознайомлення з процесом піролізу твердих побутових і промислових відходів, принциповою схемою піролізної установки;
- ознайомлення з прикладом розрахунку показників матеріального балансу процесу утилізації ТПВ та ПВ методом піролізу;
- самостійний розрахунок ступеня переробки різних видів відходів за допомогою піролізної установки;
- оцінка енергоефективності роботи піролізної установки за умов спалювання різних видів відходів.

## 2.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

### 2.1.1. Загальні положення

На даний час промислове виробництво характеризується значною відходністю: 70–90% вихідної сировини і матеріалів переходять у відходи (залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, що утворилися при виробництві продукції і втратили повністю або частково вихідні споживчі властивості).

Більшість відходів за своєю токсикологічною дією відносяться до високо небезпечних і надзвичайно небезпечних. Незважаючи на це, велика їх частина продовжує розповсюджуватися в навколишньому середовищі, погіршуючи його якість, що є однією з причин виникнення та загострення екологічних проблем.

Можливість стабілізації та подальшого покращення несприятливої екологічної ситуації, що склалася, при необхідності збільшення обсягів виробництва, полягає в створенні та розвитку маловідходних і безвідходних технологічних процесів і виробництв, переробці відходів і їх утилізації, а також у знешкодженні та безпечному захороненні використовуваних відходів.

Під *безпечним* розуміють такий спосіб виробництва продукції, при якому найбільш раціонально та комплексно використовуються сировина й енергія.

**Утилізація** (франц. *utilisation*, від лат. *utilis* – корисний) – вживання з користю, використання. Утилізацію будь-яких відходів правомірно розглядати у контексті з загальними проблемами життєзабезпечення, а саме з розвитком екологічної й енергетичної кризи. У зв'язку з цим вкрай бажано, щоб крім екологічної безпеки технологія була б енергетично вигідною або в крайньому випадку могла б максимально скоротити негативний енергетичний баланс.

Вагому частку в загальному обсязі відходів складають ТПВ. Практично без будь-якої попередньої переробки вони складаються в місцях організованого

захоронення, знищуються або утилізуються, а частина їх хаотично розсіюється в навколишньому середовищі. У зв'язку з урбанізацією ускладнюється і склад ТПВ. За рік в містах накопичується від 300 до 1000 кг побутового сміття в розрахунку на одного жителя.

Під відходами зайняті значні площі земель, які тривалий час після закриття звалищ не підлягають рекультивації та поверненню в обіг, тому що процес розкладання органічної речовини відходів в природних умовах протікає вкрай повільно.

*Видалення і знешкодження твердих побутових відходів* – найбільш значимий для міста несприятливий екологічний фактор, найважливіший показник санітарного благополуччя населення, суспільної гігієни.

Серед методів ліквідації відходів на даний час найбільш розповсюдженим є складування на полігонах твердих побутових відходів, куди вивозять близько 90–95 % відходів (спалювання не перевищує 10 %). При цьому склалася стійка думка: якщо ТПВ складуються, то тим самим вони знешкоджуються. Але це не так: полігони – «міни» уповільненої дії, які діятимуть десятки років, завдаючи величезної екологічної і соціальної шкоди природному середовищу, і тим самим, населенню.

*Біохімічне розкладання і виділення біогазу* (метану), вміст якого може становити десятки відсотків, використовується для збору цих газів в деяких технологіях на полігонах.

Третім напрямком утилізації ТПВ є *переробка їх в органічне добриво (компост)* шляхом біопереробки в обертових циліндричних барабанах (діаметром до 4 метрів і довжиною до 30–60 метрів). Процес відбувається автоматично без участі людини. Труднощі здійснення даного методу полягають в необхідності складного сортування та попередньої переробки ТПВ.

Четвертий метод – *спалювання і пірометалургічна переробка*, супроводжується великим виділенням шкідливих газів (в тому числі діоксинів), що вимагає дуже дорогого устаткування для очищення викидів.

Одним з найбільш енергозберігаючих екологічно чистих методів утилізації є *піроліз*, при якому тверді органічні відходи, що складаються з низькосортних горючих речовин, переробляють у висококалорійні вуглеводні нафтового ряду з подальшою утилізацією одержуваних енергоносіїв. При цьому глибина утилізації досягає 90%.

### **2.1.2. Переробка твердих побутових і промислових відходів методом піролізу**

Під **піролізом відходів** прийнято розуміти процес термічного розкладання вуглеводневої сировини відходів, що відбувається без доступу кисню, в результаті чого отримують (рис. 2.1):

- 1) горючий газ (суміш CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> та ін.);
- 2) рідкі продукти;
- 3) твердий вуглецевий залишок.

Наприклад, в результаті піролізу деревини (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>O<sub>z</sub>) у бідному кисневому

середовищі маємо:

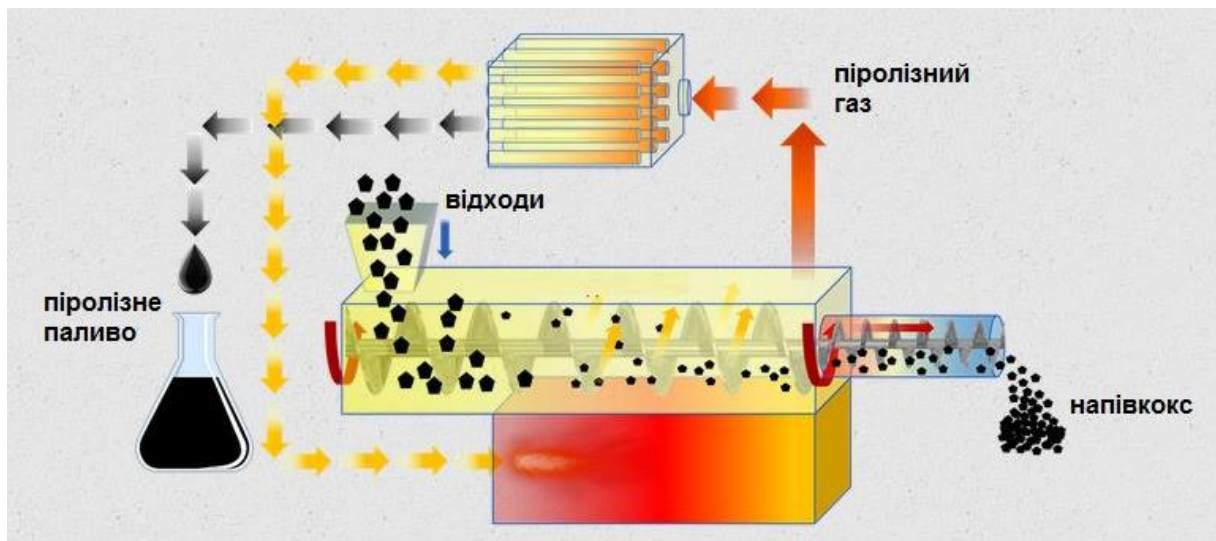
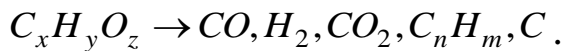


Рис. 2.1. Схема піролізу відходів

Цей метод утилізації відходів вважається набагато безпечнішим, ніж спалювання. Не дивлячись на те, що процес піролізу є більш трудомістким, у порівнянні з традиційним спалюванням сміття, дана технологія є найбільш перспективною, оскільки під час піролізу в атмосферу потрапляє значно менша кількість викидів, ніж при традиційному спалюванні.

Під час піролізу відбуваються наступні процеси:

- сушка;
- суха перегонка;
- горіння залишків;
- газифікація.

Кількість й якість продуктів піролізу безпосередньо залежить від початкового складу відходів, а також від поточних умов, при яких відбувається сам процес піролізу.

Залежно від температурного режиму розрізняють наступні види піролізу:

– *низькотемпературний піроліз* (до 500°C), при якому спостерігається максимальний вихід рідких продуктів, твердого залишку і мінімальний вихід піролізного газу;

– *середньо температурний піроліз* або *середньо температурне коксування* (500-1000 °C), при якому вихід газу збільшується, а вихід рідких продуктів і коксового залишку зменшується;

– *високотемпературний піроліз* або *коксування* (понад 1000 °C), при якому маємо мінімальний вихід рідких продуктів, твердого залишку і максимальний вихід піролізного газу.

Більш перспективним є метод високотемпературного піролізу, при якому температура процесу перевищує температуру плавлення більшості компонентів відходів. Крім того, при температурі протікання реакції вище 1500 °C відбувається розкладання будь-яких небезпечних відходів; при цьому зростає

швидкість реакції, збільшується відсоток виходу летючих компонентів, знижується обсяг шлаків. Змінюється також об'ємне співвідношення між твердою і газоподібною складовою кінцевого продукту, що дає можливість уникнути складних технологій подальшої переробки вугільного залишку та безпосередньо використовувати горючий газ (після очищення).

Використання запропонованого способу переробки ТПВ дозволяє утилізувати вуглецьмісткі побутові відходи, в яких відсутні або перебувають в малій кількості метали і мінерали: деревні (опіл, стружка), харчові відходи, рослинні залишки, пластмаси, автомобільні шини та гумовотехнічні вироби, ганчір'я, папір, нафтошлам, відпрацьовані масла, замазучені і фенольні води, відходи мулобіологічних очисних каналізаційних стоків, поліетиленова тара, попутний газ та ін. Крім того, на піролізній установці можна отримувати карбід кальцію і синтезувати цінні вуглеводні нафтового ряду, внаслідок чого значно скоротяться витрати на переробку сміття.

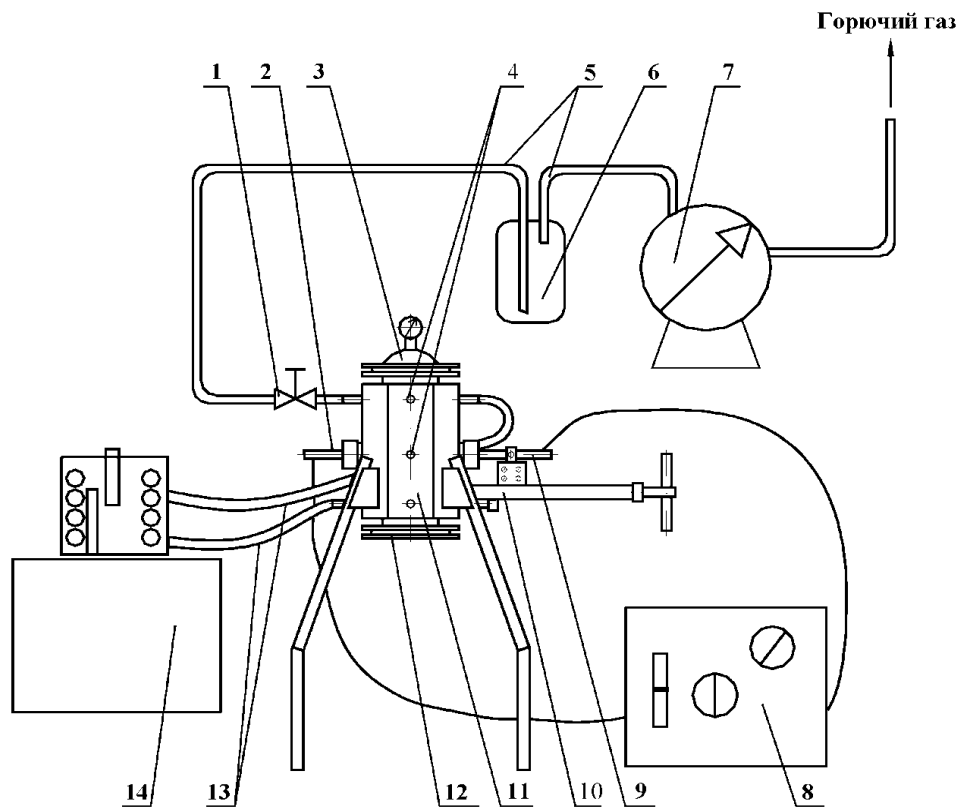
Незважаючи на певні переваги піролізу перед іншими способами утилізації, слід зазначити, що при такому способі утилізації відходів відбуваються безповоротні втрати органічної речовини (що вкрай небезпечно з позицій збереження ґрунтової родючості), а також випадання зі сфери біологічного кругообігу багатьох біофільних макро- і мікроелементів.

### 2.1.3. Схема та характеристики піролізної установки

Для переробки вуглецьмістких відходів різного походження в газоподібне та рідке вуглеводневе паливо використовують піролізну установку, основні технічні характеристики якої наведені у табл. 2.1, а схема установки – на рис. 2.2.

Таблиця 2.1 – Технічні дані та характеристики піролізної установки

Параметр	Од. вим.	Значення
Рід струму		перемінний
Напруга трансформатора первинна	В	220/380
Максимальний зварювальний струм трансформатора	А	250
Максимальна вторинна напруга під навантаженням	В	24
Споживана потужність трансформатора, не більше	кВт	6
Габаритні розміри (реактора)		
Довжина	мм	800
Ширина		800
Висота		1500
Об'єм реактора	л	3,5
Маса реактора, не більше	кг	50
Максимальна температура стінок реактора	°С	100
Розмір фракції	мм	25x25
Насипна щільність відходів	кг/м <sup>3</sup>	140-1160



**Рис. 2.2 – Схема піролізної установки**

1 – регулятор виходу газу; 2 – електрод (D); 3 – завантажувальний люк з пристроєм контролю тиску газу; 4 – гнізда розміщення температурних датчиків; 5 – газопровідні лінії; 6 – сепаратор (збірник конденсату); 7 – газовий лічильник; 8 – зварювальний трансформатор ТД-250; 9 – електрод (*d*);

10 – пристрій подачі електрода; 11 – реактор; 12 – люк вивантаження зольного залишку; 13 – шланги системи охолодження реактора; 14 – термостат

Реактор (11) призначений для утилізації органічних відходів і являє собою герметично виконаний металевий бак циліндричної форми. У верхній частині бака розташований люк завантаження відходів (3), на якому встановлені манометр і запобіжний клапан. У нижній частині є люк для вивантаження зольного залишку (12). Кришки люків виконані знімними, герметичне їх закриття проводиться за допомогою болтових з'єднань. Для завантаження можуть застосовуватися різні пристосування в залежності від вигляду відходу (конус, дозатор і т. п.).

Реактор має водяну «сорочку охолодження» об'ємом 5 л, яка призначена для відводу надлишків тепла від зовнішніх стінок, забезпечуючи безпеку роботи реактора і підтримуючи в ньому температуру, необхідну для протікання процесу піролізу. «Сорочка охолодження» укладена в загальну систему з холодильником і насосом, призначеним для примусової циркуляції охолоджуючої рідини (води). Подача води в «сорочку охолодження» здійснюється насосом термостату (14) по шлангах (13). Загальний обсяг води для охолодження – 28 л.

Усередині реактора перпендикулярно його поздовжньої осі встановлені

два електроди (2, 9), що підключені до основи зварювального трансформатора змінного струму ТД-250 (8), за допомогою яких ініціюється процес піролізу. Один з електродів закріплений нерухомо, інший має можливість подовжнього переміщення, що забезпечує регулювання зазору між електродами, тобто довжини дуги і її струмових характеристик (напруга і сила струму). При збільшенні відстані зростає напруга і знижується сила струму. Електроди виконані з графіту. Діаметр рухомого електрода 16 мм (9), нерухомого – 30 мм (2). Електричні характеристики, що подаються на цей тип електродів, сприяють досягненню високих температур (близько 3000 °К). Це дозволяє уникнути утворення високотоксичних діоксинів в піролізному газі, що відходить, а отже знизити вплив викидів на атмосферу при спалюванні газу. Подача електродів проводиться вручну за допомогою пристрою подачі (10).

По висоті стінки реактора розміщені гнізда для установки термодатчиків (4). Перша термопара розташована у середній частині установки (на висоті 155 мм від нижньої точки реактора) і призначена для визначення значень температури в зоні протікання реакції; друга – на висоті 300 мм, використовується для контролю температури піролізного газу. Вимірювання температури можливе в різних точках установки за рахунок переміщення термопари відповідно до джерела нагріву, що дозволяє досліджувати значення градієнта температури по перетину реактора.

Електрообладнання установки призначене для приведення в дію й управління роботою трансформатора і термостата та включає комплект датчиків, пускової і захисної апаратури, щит управління і т. п.

Органи управління установкою розташовані на виносному щиті, де змонтовані: розподільчий пристрій електричної енергії, електричні розетки, вольтметр і амперметр вторинного струму, лічильник газу, манометр. Пальник на виході горючого газу оснащений форсункою, яка запобігає проникненню полум'я усередину трубопроводу.

Пускачі трансформатори, двигун вентиляційної системи і лічильник електричної енергії змонтовані на стіні лабораторії. Живлення щита управління здійснюється від 4-х клемної розетки (380 В).

#### **2.1.4. Принцип роботи установки**

Вихідний матеріал (відходи) завантажується в реактор, який герметично закривається.

Потім за допомогою електричної дуги в ньому підвищується температура. При досягненні її значення порядку 400°C без доступу повітря починається процес піролізу завантаженого матеріалу. Суміш газів і парів, що в ньому утворюються, відводиться по трубопроводу через сепаратор в газовий лічильник і далі в накопичувач або на факел.

У сепараторі відбувається поділ на газову і рідку фазу. З метою більш повного поділу вся газова суміш ще до сепаратора проходить через холодильник (змійовик), в якому відбувається конденсація основної маси води і важких вуглеводнів. Вся сконденсована рідина збирається в сепараторі.

Додаткове й останнє очищення газу від вологи і твердих частинок здійснюється при проходженні його через волокнистий (ватяний) фільтр на виході з сепаратора.

Тверда частина, що залишилася після обробки, видаляється з реактора механічним (спеціальним совком) або пневматичним (пилососом) шляхом.

Для проведення аналізу газу проба відбирається після газового лічильника в скляні бюретки, спеціальну бутель. З метою утилізації газ може збиратися в м'яку ємність або спалюватися.

### 2.1.5. Аналіз ефективності переробки відходів методом піролізу

*Матеріальний баланс* являє собою співвідношення мас вихідного матеріалу і всіх продуктів, що утворюються в результаті переробки.

За величиною матеріального балансу можемо судити про питомі параметри процесу, ступінь переробки матеріалу і можливі втрати.

Матеріальний баланс можна представити у вигляді такої формули:

$$M_n = M, \text{ г}, \quad (2.1)$$

де  $M_n$  – початкова маса перероблюваного матеріалу (маса навіски), г;  $M$  – розрахункова сумарна маса всіх одержуваних продуктів, г.

Розрахункова сумарна маса всіх одержуваних продуктів визначається як:

$$M = \sum_{i=1}^n Mi, \text{ г}. \quad (2.2)$$

Відхилення ( $\sum_{i=1}^n Mi$ , %) розрахункової величини сумарної маси від маси, завантаженої в установку, не повинно перевищувати 10 %. Відхилення в розрахунках пояснюється похибкою вимірювань і можливими втратами в технологічному процесі.

Розрахункова сумарна маса всіх одержуваних продуктів складається з маси твердого вуглецевого залишку, маси рідких продуктів піролізу і маси горючого газу та може бути розрахована за формулою:

$$\sum_{i=1}^n Mi = M_m + M_p + M_g, \text{ г}, \quad (2.3)$$

де  $M_m$  – кінцева маса твердої фази, г;  $M_p$  – маса рідкої фази, г;  $M_g$  – маса газу, що утворився, г.

Маса рідкої фази визначається зі співвідношення:

$$M_p = M_{kc} - M_{nc} + M_{kf} - M_{nf}, \text{ г}, \quad (2.4)$$

де  $M_{kc}$  – кінцева маса сепаратора (колби), г;  $M_{nc}$  – початкова маса сепаратора (колби), г;  $M_{kf}$  – кінцева маса фільтра, г;  $M_{nf}$  – початкова маса фільтра, г.

Маса газу визначається за формулою:

$$M_g = V_g * \rho_g, \text{ г}, \quad (2.5)$$

де  $V_g$  – обсяг газу, що утворився,  $\text{дм}^3$ ;  $\rho_g$  – щільність газу, що утворився,  $\text{г}/\text{дм}^3$ .

Обсяг газу, що утворився, буде дорівнювати:

$$V_g = V_k - V_n, \text{ дм}^3, \quad (2.6)$$

де  $V_k$  – кінцеве показання газового лічильника (дм<sup>3</sup>);  $V_n$  – початкове показання газового лічильника, дм<sup>3</sup>.

Щільність газу визначається сумарною щільністю всіх його компонентів:

$$\rho_z = \rho_{H_2} * \frac{C_{H_2}}{100} + \rho_{CO} * \frac{C_{CO}}{100} + \rho_{CH_4} * \frac{C_{CH_4}}{100} + \rho_{CO_2} * \frac{C_{CO_2}}{100}, \text{ г/дм}^3, \quad (2.7)$$

де  $\rho_{H_2}$ ,  $\rho_{CO}$ ,  $\rho_{CH_4}$  і  $\rho_{CO_2}$  – щільність водню, оксиду вуглецю, метану і діоксиду вуглецю відповідно, г/дм<sup>3</sup> (значення наведені у табл. 2.2);  $C_{H_2}$ ,  $C_{CO}$ ,  $C_{CH_4}$ ,  $C_{CO_2}$  – об'ємна концентрація водню, оксиду вуглецю, метану і діоксиду вуглецю відповідно, %, (значення наведені у табл. 2.3).

Таблиця 2.2 – Щільність компонентів піролізного газу

Гази	H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
Щільність, г/дм <sup>3</sup>	0,0893	1,25	0,7143	1,9643

Таблиця 2.3 – Об'ємна концентрація компонентів піролізного газу (% об.)

Найменування відходів	H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
Опіл деревний	44	48	4	4
Осад від очистки стічних вод	61	32	3	4
Тверді побутові відходи	45	43	5	7

Далі проводиться розрахунок кількості продуктів піролізу, що утворилися (питомий вихід газової, рідкої фази, ступінь переробки відходів).

Питомий вихід газу може бути розрахований за формулою:

$$\omega_z = \frac{M_g}{M_n} * 100, \%, \quad (2.8)$$

де  $M_z$  – маса газу, що утворився, г;  $M_n$  – початкова маса перероблюваного матеріалу (маса навіски), г.

Розрахунок питомого виходу рідкої фази здійснюється наступним чином:

$$\omega_p = \frac{M_p}{M_n} * 100, \%, \quad (2.9)$$

де  $M_p$  – маса рідкої фази, г.

Питомий вихід твердої речовини розраховується за формулою:

$$\omega_m = \frac{M_m}{M_n} * 100, \%, \quad (2.10)$$

де  $M_m$  – маса твердої фази, г.

Ступінь переробки відходів оцінюється наступним чином:

$$S = 100 - \omega_m, \%. \quad (2.11)$$

Теплотворну здатність одержуваного газу можна розрахувати за формулою розрахунку калорійності генераторного, доменного і коксового газів:

$$Q = [25,7 * \frac{C_{H_2}}{100} + 30,2 * \frac{C_{CO}}{100} + 85,55 * \frac{C_{CH_4}}{100}] * 100, \text{ ккал/м}^3 \quad (2.12)$$

Ефективність роботи піролізної установки визначається відношенням енергії, витраченої на переробку відходів до енергії, одержуваної при використанні газу, що виділився:

$$E = \frac{Q * V_g * K_n}{W_k - W_n}, \quad (2.13)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт переведення ( $K_n=0,001163$ , Вт-год/ккал);  $W_n$  – початкове



значення лічильника, кВт-год;  $W_k$  – кінцеве значення електролічильника, кВт-год.

## 2.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 2.2.1. Приклад розрахунку

Розрахувати ефективність утилізації різних видів відходів (осад від очистки стічних вод, опіл деревний і тверді побутові відходи) за допомогою піролізної установки. Оцінити енергоефективність піролізної установки.

Вихідні дані для розрахунку представлені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для розрахунку

Найменування відходів	$M_n$ , г	$M_m$ , г	$M_{nf}$ , г	$M_{kf}$ , г	$M_{nc}$ , г	$M_{kc}$ , г	$V_n$ , дм <sup>3</sup>	$V_k$ , дм <sup>3</sup>	$W_n$ , кВт-год	$W_k$ , кВт-год
Опіл деревний	200	36	1	7	649,2	706,2	931	1065	349,5	350,5
Осад від очищення стічних вод	400	281,1	1,1	3,8	419,7	455,8	472	606,5	398,6	399,7
Тверді побутові відходи	200	19,2	2	9	398,5	458,2	910,3	1058	453,9	454,9

#### Розв'язок прикладу:

##### Опіл деревний

Маса рідкої фази (2.4):

$$M_p = M_{kc} - M_{nc} + M_{kf} - M_{nf} = 706,2 - 649,2 + 7 - 1 = 63 \text{ г.}$$

Обсяг газу, що утворився (2.6):

$$V_z = V_k - V_n = 1065 - 931 = 134 \text{ дм}^3.$$

Щільність газу визначаємо за сумарною щільністю компонентів (2.7):

$$\begin{aligned} \rho_g &= \rho_{H_2} * \frac{C_{H_2}}{100} + \rho_{CO} * \frac{C_{CO}}{100} + \rho_{CH_4} * \frac{C_{CH_4}}{100} + \rho_{CO_2} * \frac{C_{CO_2}}{100} = \\ &= 0,0893 * \frac{44}{100} + 1,25 * \frac{48}{100} + 0,7143 * \frac{4}{100} + 1,9643 * \frac{4}{100} = 0,746 \text{ г/дм}^3. \end{aligned}$$

Маса газу (2.5):

$$M_z = V_z * \rho_z = 134 * 0,747 = 100,02 \text{ г.}$$

Далі проводимо розрахунок кількості продуктів піролізу (2.3), що утворилися (питомий вихід газової, рідкої фази, ступінь переробки відходів). Відхилення розрахункової величини сумарної маси від маси, завантаженої в установку, не повинно перевищувати 10 %:

$$\sum_{i=1}^n M_i = M_m + M_p + M_z = 36 + 63 + 100,02 = 199,02 \text{ г (умова виконується).}$$

Питомий вихід газу (2.8):

$$\omega_g = \frac{M_g}{M_p} * 100 = \frac{100,1}{200} * 100 = 50,01 \text{ \%}.$$

Питомий вихід рідкої фази (2.9):

$$\omega_p = \frac{M_p}{M_p} * 100 = \frac{63}{200} * 100 = 31,5 \text{ \%}.$$

Питомий вихід твердої речовини (2.10):

$$\omega_t = \frac{M_t}{M_p} * 100 = \frac{36}{200} * 100 = 18 \text{ \%}.$$

Ступінь переробки відходів (2.11):

$$S = 100 - \omega_T = 100 - 18 = 82\%.$$

Теплотворна здатність одержуваного газу (2.12):

$$Q = [25,7 * \frac{C_{H_2}}{100} + 30,2 * \frac{C_{CO}}{100} + 85,55 * \frac{C_{CH_4}}{100}] * 1000 = \\ = [25,7 * \frac{44}{100} + 30,2 * \frac{48}{100} * 85,5 * \frac{4}{100}] * 1000 = 29226 \text{ м}^3.$$

Енергоефективність роботи піролізної установки при спалюванні опілу деревного (2.13):

$$E = \frac{Q * V_T * K_{П}}{W_K - W_{П}} = \frac{29226 * 0,134 * 0,001163}{349,5 - 350,5} = 4,55 \text{ рази.}$$

### Осад від очищення стічних вод

Маса рідкої фази (2.4):

$$M_p = M_{кк} - M_{пс} + M_{кф} - M_{пф} = 455,8 - 419,7 + 3,8 - 1,1 = 38,8 \text{ г.}$$

Обсяг газу, що утворився (2.6):

$$V_T = V_K - V_{П} = 606,5 - 472 = 134,5 \text{ дм}^3.$$

Щільність газу визначаємо за сумарною щільністю компонентів (2.7):

$$\rho_T = \rho_{H_2} * \frac{C_{H_2}}{100} + \rho_{CO} * \frac{C_{CO}}{100} + \rho_{CH_4} * \frac{C_{CH_4}}{100} + \rho_{CO_2} * \frac{C_{CO_2}}{100} = \\ = 0,0893 * \frac{61}{100} + 1,25 * \frac{32}{100} + 0,7143 * \frac{3}{100} + 1,9643 * \frac{4}{100} = 0,55 \text{ г/дм}^3.$$

Маса газу (2.5):

$$M_T = V_T * \rho_T = 134,5 * 0,55 = 74,58 \text{ г.}$$

Відхилення розрахункової величини сумарної маси від маси, завантаженої в установку, не повинно перевищувати 10 %:

$$\sum_{i=1}^n M_i = M_T + M_p + M_T = 281,1 + 38,8 + 74,58 = 394,48 \text{ г (умова виконується).}$$

Питомий вихід газу (2.8):

$$\omega_T = \frac{M_T}{M_{П}} * 100 = \frac{74,58}{400} * 100 = 18,64 \text{ \%}.$$

Питомий вихід рідкої фази (2.9):

$$\omega_p = \frac{M_p}{M_{П}} * 100 = \frac{38,8}{400} * 100 = 9,7 \text{ \%}.$$

Питомий вихід твердої речовини (2.10):

$$\omega_T = \frac{M_T}{M_{П}} * 100 = \frac{281,1}{400} * 100 = 70,28 \text{ \%}.$$

Ступінь переробки відходів (2.11):

$$S = 100 - \omega_T = 100 - 70,3 = 29,7\%.$$

Теплотворна здатність одержуваного газу (2.12):

$$Q = [25,7 * \frac{C_{H_2}}{100} + 30,2 * \frac{C_{CO}}{100} + 85,55 * \frac{C_{CH_4}}{100}] * 1000 = \\ = [25,7 * \frac{61}{100} + 30,2 * \frac{32}{100} * 85,5 * \frac{3}{100}] * 1000 = 27907,5 \text{ м}^3.$$

Енергоефективність роботи піролізної установки при спалюванні осаду від очищення стічних вод (2.13):

$$E = \frac{Q * V_T * K_{П}}{W_K - W_{П}} = \frac{27907,5 * 0,1345 * 0,001163}{398,6 - 399,7} = 3,97 \text{ рази.}$$

### Тверді побутові відходи

Маса рідкої фази (2.4):

$$M_p = M_{kc} - M_{nc} + M_{кф} - M_{нф} = 455,8 - 398,5 + 9 - 2 = 66,7 \text{ г.}$$

Обсяг газу, що утворився (2.6):

$$V_2 = V_k - V_n = 1058 - 910,3 = 147,7 \text{ дм}^3.$$

Щільність газу визначаємо за сумарною щільністю компонентів (2.7):

$$\rho_2 = \rho_{H_2} * \frac{C_{H_2}}{100} + \rho_{CO} * \frac{C_{CO}}{100} + \rho_{CH_4} * \frac{C_{CH_4}}{100} + \rho_{CO_2} * \frac{C_{CO_2}}{100} = \\ = 0,0893 * \frac{45}{100} + 1,25 * \frac{43}{100} + 0,7143 * \frac{5}{100} + 1,9643 * \frac{7}{100} = 0,75 \text{ г/дм}^3.$$

Маса газу (2.5):

$$M_2 = V_2 * \rho_2 = 147,7 * 0,75 = 110,91 \text{ г.}$$

Відхилення розрахункової величини сумарної маси відходів від маси, завантаженої в установку, не повинно перевищувати 10 %:

$$\sum_{i=1}^n M_i = M_m + M_p + M_2 = 19,2 + 66,7 + 110,91 = 394,48 \text{ г (умова виконується).}$$

Питомий вихід газу (2.8):

$$\omega_2 = \frac{M_2}{M_{\Pi}} * 100 = \frac{110,91}{200} * 100 = 55,45 \text{ \%}.$$

Питомий вихід рідкої фази (2.9):

$$\omega_p = \frac{M_p}{M_{\Pi}} * 100 = \frac{66,7}{200} * 100 = 33,35 \text{ \%}.$$

Питомий вихід твердої речовини (2.10):

$$\omega_m = \frac{M_T}{M_{\Pi}} * 100 = \frac{19,2}{200} * 100 = 9,6 \text{ \%}.$$

Ступінь переробки відходів (2.11):

$$S = 100 - \omega_T = 100 - 9,6 = 90,4 \text{ \%}.$$

Теплотворна здатність одержуваного газу (2.12):

$$Q = [25,7 * \frac{C_{H_2}}{100} + 30,2 * \frac{C_{CO}}{100} + 85,55 * \frac{C_{CH_4}}{100}] * 1000 = \\ = [25,7 * \frac{45}{100} + 30,2 * \frac{43}{100} + 85,5 * \frac{5}{100}] * 1000 = 28828,5 \text{ М}^3.$$

Енергоефективність роботи піролізної установки при спалюванні твердих побутових відходів (2.13):

$$E = \frac{Q * V_T * K_{\Pi}}{W_K - W_{\Pi}} = \frac{28828,5 * 0,148 * 0,001163}{453,9 - 454,9} = 4,95 \text{ рази.}$$

Заносимо результати розрахунків до підсумкової табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків

Найменування відходів	Питомий вихід газу $\omega_2$ , %	Питомий вихід рідкої фази $\omega_p$ , %	Питомий вихід твердої фази $\omega_T$ , %	Ступінь переробки відходів S, %	Енерго-ефективність, рази
Опіл деревний	50,01	31,5	18,0	82	4,55
Осад від очищення стічних вод	18,64	9,7	70,3	29,7	3,97
Тверді побутові відходи	55,45	33,35	9,6	90,4	4,95

**Висновок:** Піролізна установка найбільш ефективно утилізує тверді побутові відходи, оскільки при їх розкладанні твердий залишок складає лише 9,6 % від початкової кількості завантаженого матеріалу, у порівнянні з опілом деревним й осадом стічних вод (18 % та 70,3 % відповідно).

Ступінь переробки ТПВ методом піролізу становить 90,4%. При цьому енергоефективність даної установки при розкладанні різних видів відходів суттєво не відрізняється – відношення отриманої з відходів енергії до енергії, яка була витрачена установкою, змінюється у діапазоні від 3,97 до 4,95 разів.

### 2.2.2. Практичне завдання

1. Вивчити теоретичні аспекти утилізації твердих побутових і промислових відходів за допомогою піролізного методу, принцип роботи піролізної установки.

2. Ознайомитись з методикою розрахунку ефективності роботи піролізної установки.

3. Самостійно розрахувати ступінь переробки різних видів відходів та оцінити енергоефективність роботи піролізної установки.

Вихідні дані для розрахунку представлені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Вихідні дані для розрахунку

Найменування відходів	$M_n$ , Г	$M_m$ , Г	$M_{nf}$ , Г	$M_{kf}$ , Г	$M_{nc}$ , Г	$M_{kc}$ , Г	$V_n$ , дм <sup>3</sup>	$V_k$ , дм <sup>3</sup>	$W_n$ , кВт*год	$W_k$ , кВт*год
<i>1 варіант</i>										
Опіл деревний	180	35	0,8	6,6	640,1	683	928	1057	341,5	342,5
Осад від очищення стічних вод	380	268	1	3,2	410,5	444,7	468	603,7	392,6	393,7
Тверді побутові відходи	180	18,3	1,7	8,4	390,1	433,9	906	1054	450,8	451,8
<i>2 варіант</i>										
Опіл деревний	300	58	2	8,1	750	805	1031	1273	450,5	451,5
Осад від очищення стічних вод	500	323,2	2,4	4,9	520	550	580	840	497,5	498,6
Тверді побутові відходи	300	30	3	19,1	497	546	1011	1283	554,1	555,1
<i>3 варіант</i>										
Опіл деревний	210	39,5	1,3	7,2	651,2	708,1	1068	1212	353,4	354,4
Осад від очищення стічних вод	410	305	1,5	4	422,8	457,9	475	596	402,8	403,8
Тверді побутові відходи	210	33,3	2,4	9,3	401,4	462,3	915	1060	455,5	456,4
<i>4 варіант</i>										
Опіл деревний	205	40,6	1,1	7,2	650,1	708,2	932	1066	350,1	350,9
Осад від очищення стічних вод	405	290	1,3	4	420	456,6	473	607,1	399,2	400,1

Найменування відходів	$M_n$ , Г	$M_m$ , Г	$M_{нф}$ , Г	$M_{кф}$ , Г	$M_{пс}$ , Г	$M_{кс}$ , Г	$V_n$ , дм <sup>3</sup>	$V_k$ , дм <sup>3</sup>	$W_n$ , кВт*год	$W_k$ , кВт*год
Тверді побутові відходи	200	20,8	2,1	9,2	401,1	462	911,1	1059	454,9	455,7
<i>5 варіант</i>										
Опіл деревний	198	36,3	0,9	6	645,1	702,3	930	1063	343,5	344,5
Осад від очищення стічних вод	390	277,5	1	3,4	415,7	451,8	471	604,4	396,4	397,7
Тверді побутові відходи	198	18,6	1,79	8,5	391,6	453,4	908,4	1056	452,8	453,8
Найменування відходів	Мп, Г	Мт, Г	Мпф, Г	Мкф, Г	Мпс, Г	Мкс, Г	Вп, дм <sup>3</sup>	Вк, дм <sup>3</sup>	Wп, кВт*год	Wк, кВт*год
<i>6 варіант</i>										
Опіл деревний	180	22,8	0,1	6	548,2	606,1	830	955	249,5	250,5
Осад від очищення стічних вод	300	186,6	0,5	2,8	319,6	361,7	379	503,4	299,8	301,1
Тверді побутові відходи	180	10	1	8	298,5	357,2	810,2	949	353,9	354,9
<i>7 варіант</i>										
Опіл деревний	200	36,6	0,8	6,8	645,3	704,1	930	1062	346,5	347,5
Осад від очищення стічних вод	370	256,1	1	3,5	416,6	452,7	469	604,7	397,7	398,8
Тверді побутові відходи	200	19,7	1,7	8,7	392,4	455,3	907,3	1054,1	451,8	452,8
<i>8 варіант</i>										
Опіл деревний	330	52,4	2	14	1050	1123,4	1862	2120	707,5	708,6
Осад від очищення стічних вод	530	305	2,3	6,6	840,4	910,6	944	1215,4	804,3	805,5
Тверді побутові відходи	330	31,8	4	18	786,5	860,8	1820,6	2100,1	906,7	907,8
<i>9 варіант</i>										
Опіл деревний	250	46,8	1,4	9	812	871,7	1118	1300	409,2	410,5
Осад від очищення стічних вод	530	372,5	1,8	4,2	520,5	556,7	561	775	465,3	466,9
Тверді побутові відходи	250	30	2,5	12	497,4	566,1	1009,2	1198	554,6	555,8
<i>10 варіант</i>										
Опіл деревний	240	30,3	0,2	2	520,3	590,1	720	905	273,5	274,5
Осад від очищення стічних вод	370	229	0,3	0,9	318,1	350,1	370	565,4	298,6	299,7
Тверді побутові відходи	240	15,6	0,8	1,8	101,4	178,3	710	905	354,9	355,9
<i>11 варіант</i>										
Опіл деревний	200	38,6	1,1	7,3	651,2	706,9	933	1066	351,6	352,6
Осад від очищення стічних вод	400	288,2	1,2	4	421,6	456,3	473	606,9	401,5	402,6

Найменування відходів	$M_n$ , Г	$M_m$ , Г	$M_{nf}$ , Г	$M_{kf}$ , Г	$M_{nc}$ , Г	$M_{kc}$ , Г	$V_n$ , дм <sup>3</sup>	$V_k$ , дм <sup>3</sup>	$W_n$ , кВт*год	$W_k$ , кВт*год
Тверді побутові відходи	200	22,7	2,1	9,3	400,1	459,4	912,6	1060	454,6	455,6
<i>12 варіант</i>										
Опіл деревний	198	34,1	0,9	6,8	648,2	705,8	930	1064,5	349	359
Осад від очищення стічних вод	320	177,4	1	3,6	417,5	455	741,2	926	397,8	399,7
Тверді побутові відходи	198	21,6	1,9	8,8	398	456	909	1057,4	453	454

### **Питання для самоконтролю**

1. Назвіть найбільш розповсюджені методи утилізації та видалення промислових і твердих побутових відходів.
2. Охарактеризуйте морфологічний склад твердих побутових відходів.
3. Розкрийте поняття піролізу і назвіть види піролізу.
4. Охарактеризуйте особливості високотемпературного піролізу як методу утилізації ТПВ.
5. Розкрийте принцип роботи піролізної установки.
6. Проаналізуйте ефективність переробки відходів методом піролізу. Назвіть елементи схеми матеріального балансу процесу піролізу.

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ХВОСТОСХОВИЩА**

**Мета роботи:** надбання практичних навичок з розрахунку параметрів хвостосховища для гідравлічного складування твердих відходів.

Поставлена мета досягається послідовним вирішенням наступних **завдань:**

- ознайомлення з класифікацією хвостосховищ та основними принципами гідравлічного складування відходів;
- ознайомлення з методикою розрахунку ємності хвостосховища та висоти огорожувальної дамби, об'ємів вторинних дамб, об'ємів хвостосховища по ярусах і термінів їх експлуатації;
- самостійний розрахунок ємності хвостосховища та висоти огорожувальної дамби, об'ємів вторинних дамб, об'ємів хвостосховища по ярусах і термінів їх експлуатації.

### **3.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА**

#### **3.1.1. Загальні положення**

При збагаченні руд на гірничо-збагачувальних комбінатах або збагачувальних фабриках утворюється значна кількість дрібнодисперсних відходів – хвостів, що складаються, переважно, з пустої породи.

У більшості випадків при переробці руд використовують мокрі способи збагачення, і хвости одержують в суміші з водою у вигляді пульпи. У зв'язку з цим переміщення хвостів до місця складування здійснюють гідравлічним

способом по трубопроводах за допомогою насосів. Для складування хвостів використовують штучні споруди – хвостосховища, які створюють шляхом перегородження ярів чи балок або обгородження понижених ділянок земної поверхні огороджувальними дамбами.

Скидання пульпи у хвостосховище здійснюють за допомогою випусків або торцевим способом. При цьому відбувається виділення з пульпи твердої складової й освітлювання води, яка потім повертається до оборотної системи підприємства.

Комплекс споруд та обладнання для гідравлічного транспортування і складування хвостів називають *хвостовим господарством*. Хвостове господарство – одна з найбільш вартісних ділянок збагачувального комплексу. Для зниження витрат на складування відходів при спорудженні огороджувальних дамб максимально використовують хвости збагачення.

Гідравлічний спосіб транспортування і складування використовують також і для інших дисперсних відходів, що утворюються в насиченому стані (наприклад, для пилу, золи ТЕС, що уловлюють мокрим способом, осаду стічних вод тощо).

### **3.1.2. Класифікація хвостосховищ**

Залежно від рельєфу місцевості розрізняють такі типи хвостосховищ (рис. 3.1):

а) *балочні*, які розміщують в балках або в ярах, що перегороджені дамбами;

б) *рівнинні*, які розміщують на рівній місцевості шляхом огороження дамбами по всьому периметру;

в) *заплавні*, які розміщують в заплавах річок шляхом огороження з двох або трьох сторін залежно від рельєфу місцевості;

г) *косогірні*, які розміщують на ділянках, огорожених з трьох сторін дамбами, а з четвертої – самим косогором;

д) *котлованні*, які розміщують в котлованах старих кар'єрів, куди відходи складають без спорудження дамб.

Хвостосховища залежно від способу спорудження розділяють на:

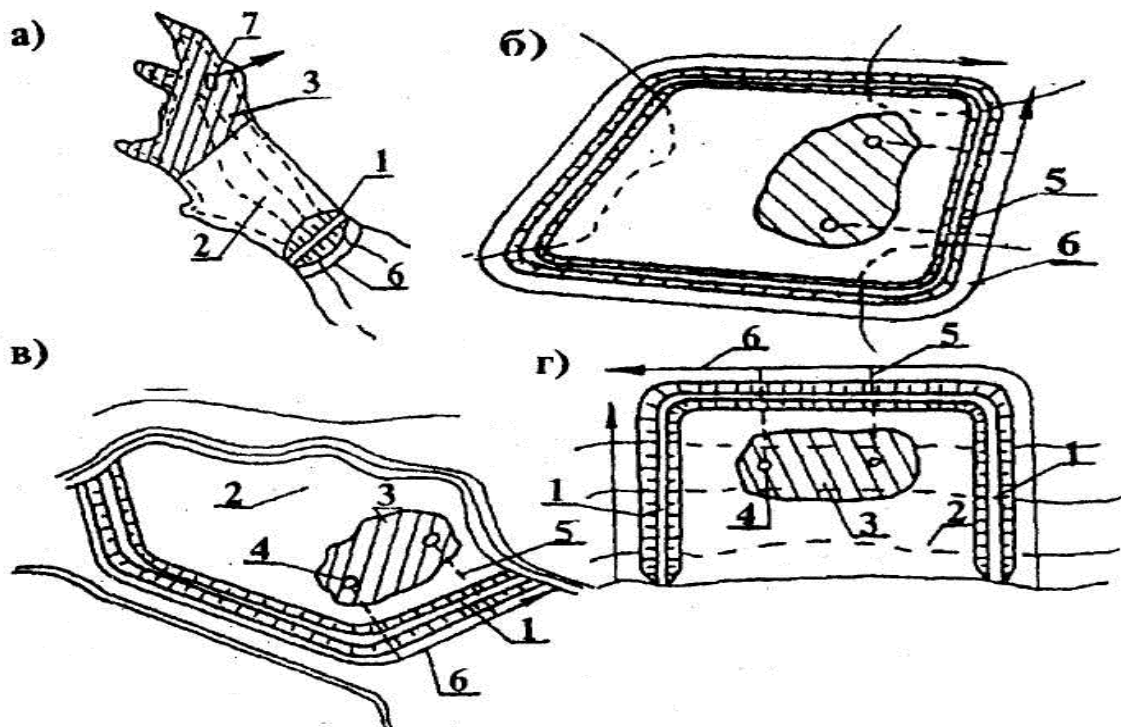
а) **наливні**, в яких огороджувальну дамбу будують з природних матеріалів відразу на повну висоту (це вимагає значних капітальних витрат);

б) **намивні** (поступового заповнення), в яких спочатку споруджують з природних матеріалів первинну дамбу невеликої висоти, а потім поступово відсипають вторинні дамби з хвостів у процесі експлуатації хвостосховища.

До комплексу хвостосховища входять: огороджувальна дамба, надводний пляж, ставок-відстійник, пульповоди, водоскидні, дренажні та інші споруди.

### **3.1.2. Гідравлічне складування відходів**

У даний час при складуванні хвостів збагачення найбільше розповсюдження отримав гідравлічний спосіб, який полягає в подачі пульпи по пульповодах до місця складування і випуску її в хвостосховище.



**Рис. 3.1. Типи хвостосховищ**

а) балочне; б) рівнинне; в) заплавне; г) косогірне;

1 – дамба; 2 – надводний пляж; 3 – ставок-відстійник; 4 – водоскидний колодязь; 5 – водоспускний колектор; 6 – збірна канава; 7 – плавуча насосна станція

**Пульпа** – це суміш твердих відходів з водою, основними характеристиками якої є консистенція, щільність частинок і гранулометричний склад хвостів.

**Консистенція пульпи** – це співвідношення маси твердих відходів  $T$  до маси рідини  $P$ , тобто  $T:P$ .

Щільність частинок пульпи  $\rho_n$ , тобто відношення маси пульпи до її об'єму, визначають за формулою:

$$\rho_n = (T + P) / (T/\rho_{ч.хв} + P/\rho_в), \text{ т/м}^3, \quad (3.1)$$

де  $T$  – маса твердих відходів, т;  $P$  – маса рідини, т;  $\rho_{ч.хв}$  – щільність частинок хвостів, т/м<sup>3</sup>;  $\rho_в$  – щільність води ( $\rho_в=1$  т/м<sup>3</sup>).

Консистенція пульпи ( $T:P$ ) для різних видів хвостів змінюється у великому діапазоні (від 1:1 до 1:30 та більше) і залежить від щільності частинок хвостів, відстані транспортування, діаметру пульповодів, напірного обладнання й інших факторів.

Трубопроводи, що призначені для транспортування пульпи від підприємства і розподілу її по хвостосховищу, називають **пульповодами**. Розподільчі трубопроводи розміщують по гребенях первинної і вторинних дамб та при заповненні хвостосховища переносять на наступний ярус.

При випуску пульпи у хвостосховище відбувається безперервне осадження твердих частинок хвостів на надводному пляжі, а вода для освітлювання поступає в **ставок-відстійник**.

**Надводним пляжем** називають ділянку між огорожувальною дамбою та

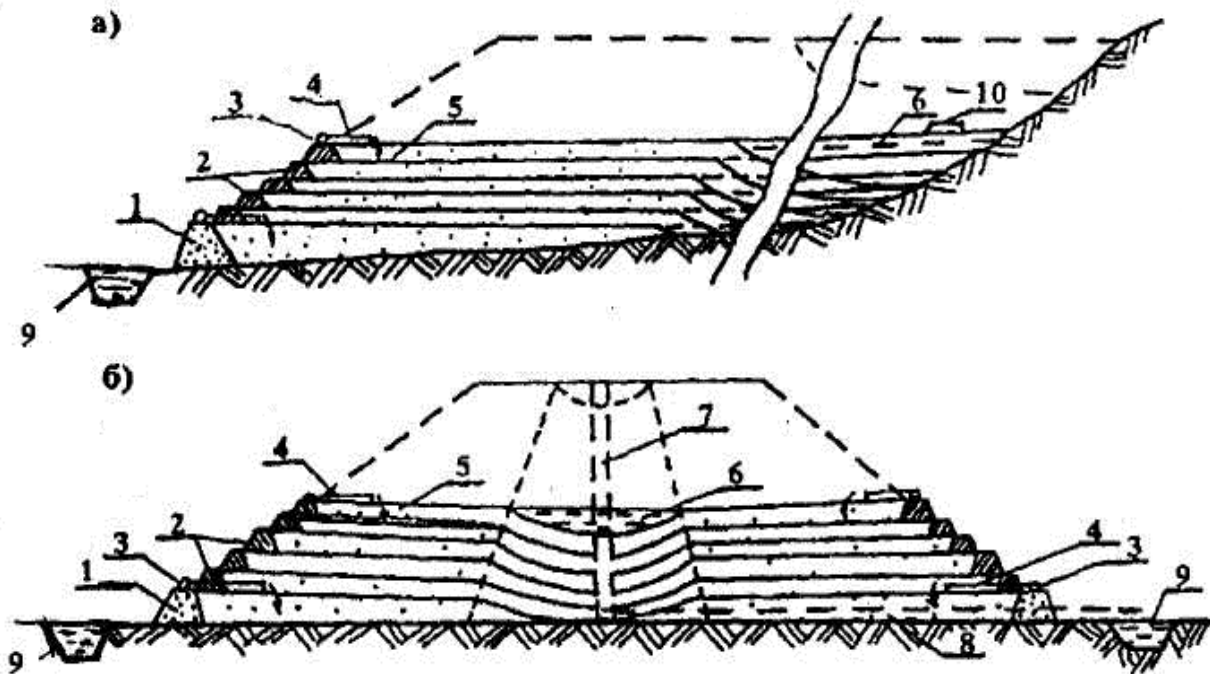


ставком-відстійником. На надводному пляжі відбувається фракціонування частинок хвостів за розміром і щільністю. На початку випуску відкладаються великі й важкі частинки відходів (які в подальшому використовують для спорудження вторинних дамб), а у ставок-відстійник попадають найдрібніші й легкі частинки (розміри ставка-відстійника повинні бути достатніми для освітлювання води).

Відведення освітленої води за межі хвостосховища здійснюють за допомогою водоскидних споруд. У зв'язку з безперервним підвищенням гребеня дамб обвалування у процесі експлуатації хвостосховища конструкція водоскидних споруд повинна забезпечувати відведення води з різних відміток.

Заповнення хвостосховища може бути одностороннім або кільцевим (рис. 3.2).

При односторонньому заповненні скидання пульпи здійснюють від дамби до берегів (**балочне хвостосховище**), при кільцевому – по периметру дамби (**рівнинне хвостосховище**).



**Рис. 3.2. Схеми заповнення хвостосховища**

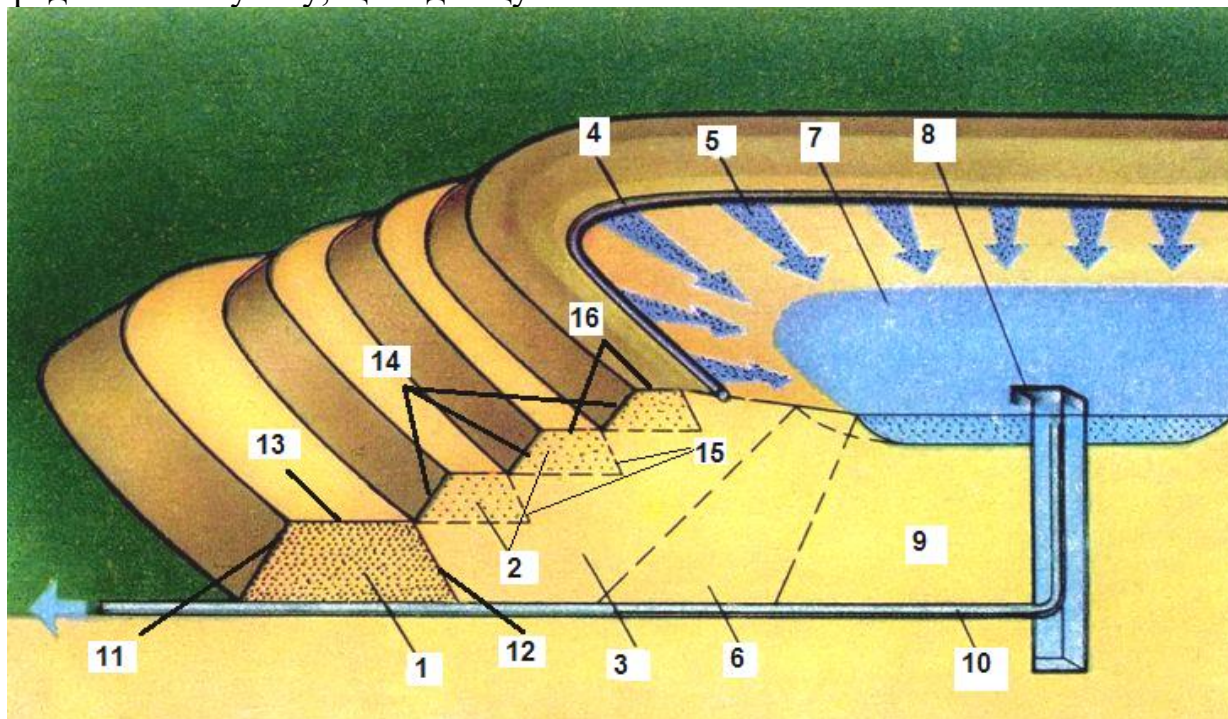
а) одностороннє заповнення **балочного хвостосховища**; б) кільцеве заповнення **рівнинного хвостосховища**; 1 – первинна дамба; 2 – вторинна дамба; 3 – розподільчій пульповід; 4 – випуск; 5 – надводний пляж; 6 – ставок-відстійник; 7 – водоскидний колодязь; 8 – водоспускний колектор; 9 – збірна канава; 10 – плавуча насосна станція

#### **3.1.4. Огороджувальна дамба**

У поперечному перерізі профіль дамби має вигляд трапеції, бокові сторони якої називають **укосами**. Укіс з боку хвостосховища називають **верховим**, із зовнішнього боку – **низовим** (рис. 3.3). Нахили укосів (відношення висоти до закладання укосу) залежать від висоти і матеріалів дамби, а також від її основи.

**Закладання укосу** – це проекція довжини укосу на горизонтальну площину. Верховий укіс як правило споруджують більш пологим, тому що він насичений водою майже на повну висоту.

Горизонтальну площину, яка обмежує тіло дамби зверху, називають **гребенем дамби**. Ширина дамби по гребеню визначається з урахуванням розташування розподільчих пульповодів та улаштування дороги для проїзду машин і будівельних механізмів. Гребінь первинної і вторинних дамб зменшує середній нахил укосу, що підвищує його стійкість.



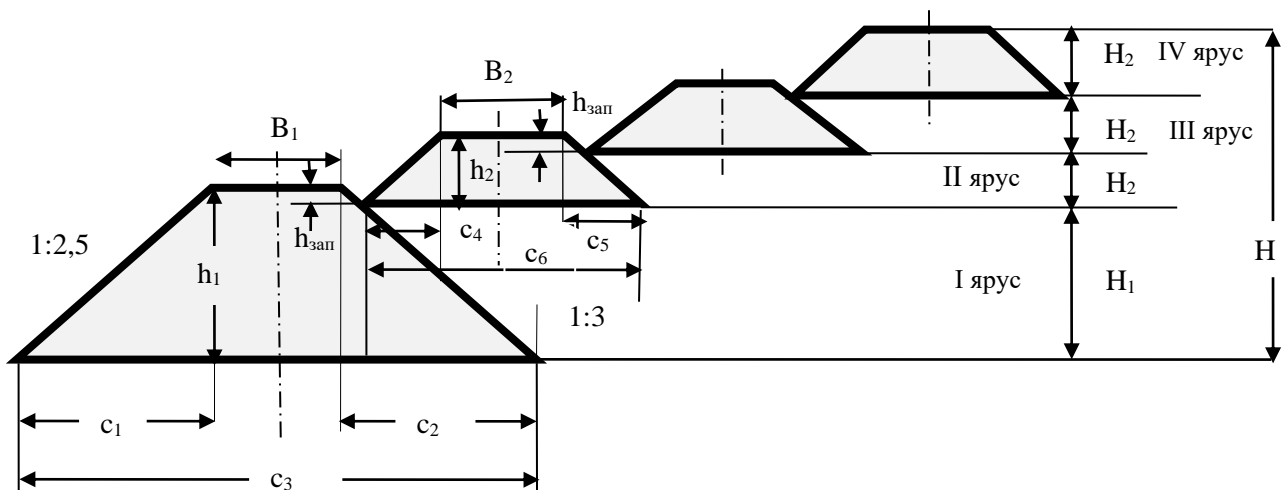
**Рис. 3.3. Схема хвостосховища**

1 – первинна дамба; 2 – вторинні дамби (зводяться поярусно); 3 – призма упору, що складається з найбільш крупнозернистих фракцій ґрунту; 4 – наливний пульповід; 5 – пляж (ділиться на карти); 6 – проміжна зона; 7 – ставок-відстійник, що забезпечує освітлення води і водопостачання; 8 – водоскидний (водозабірний) колодязь; 9 – ядро (центральна зона); 10 – водоскидна труба; 11 – низовий укіс первинної дамби; 12 – верховий укіс вторинної дамби; 13 – гребінь первинної дамби; 14 – низовий укіс вторинних дамб; 15 – верховий укіс вторинних дамб; 16 – гребінь вторинних дамб

**Первинна дамба** – це насип з природного матеріалу або з вскришної породи висотою 5-10 м, призначений для утворення хвостосховища першої черги.

**Вторинні дамби** після заповнення хвостосховища першої черги, споруджують поярусно з намитих хвостів за допомогою будівельної техніки (бульдозерів, скреперів та інших механізмів). Висота вторинних дамб складає 2,5-3 м. Основою вторинних дамб служать намиті хвости надводного пляжу.

**Перевищення гребеня дамби** над рівнем заповнення хвостосховища приймають  $h_{зан}$  з урахуванням вітрового хвилеутворення, але не менше 0,5 м (рис. 3.4).



**Рис. 3.4. Поперечний переріз огорожувальної дамби**

$B_1$  – ширина по гребеню первинної дамби;  $h_1$  – висота первинної дамби;  $C_1$  – закладання низового укосу первинної дамби;  $C_2$  – закладання верхового укосу первинної дамби;  $C_3$  – ширина нижньої основи первинної дамби;  $B_2$  – ширина по гребеню вторинних дамб;  $h_2$  – висота вторинних дамб;  $C_4$  – закладання низових укосів вторинних дамб;  $C_5$  – закладання верхових укосів вторинних дамб;  $C_6$  – ширина нижньої основи вторинних дамб;  $h_{зан}$  – перевищення гребеня дамби над рівнем заповнення

### 3.1.5. Розрахунок ємності хвостосховища

Ємність хвостосховища складається з об'єму заскладованих хвостів і об'єму освітлюючого ставка-відстійника.

Об'єм хвостосховища повинен бути достатнім для вміщення хвостів на період проектного терміну експлуатації, який визначають за залежністю:

$$W = (G_{хв} * t_e) / (\rho_{с.хв} * K_{зан.}), \text{ м}^3, \quad (3.2)$$

де  $G_{хв}$  – вихід хвостів за рік, т;  $t_e$  – число років експлуатації хвостосховища;  $\rho_{с.хв}$  – середня щільність сухих хвостів у хвостосховищі, т/м<sup>3</sup>;  $K_{зан}$  – коефіцієнт заповнення хвостосховища, який характеризує практичну можливість заповнення його геометричного об'єму.

Вихід хвостів буде складати:

$$G_{хв} = Q_n \text{ за масою} / (T + P), \text{ т}, \quad (3.3)$$

де  $Q_n$  за масою – витрата пульпи за масою, т/год.

У свою чергу,

$$Q_n \text{ за масою} = Q_n * \rho_n, \text{ т/год}, \quad (3.4)$$

де  $Q_n$  – витрата пульпи, м<sup>3</sup>/год.

Повне заповнення хвостосховища неможливе, оскільки потрібно залишити такий об'єм ставка-відстійника, який забезпечить необхідне освітлення води. Рекомендується приймати коефіцієнт заповнення хвостосховища рівним 0,75-0,85. Геометричний об'єм хвостосховища визначають за даними топографічного знімання місцевості і закладання укосів дамби шляхом схематизації його форми близько до тієї чи іншої геометричної фігури (зрізаний конус, зрізана піраміда, призма та ін.).

Схематичний розріз хвостосховища показаний на рис. 3.5.

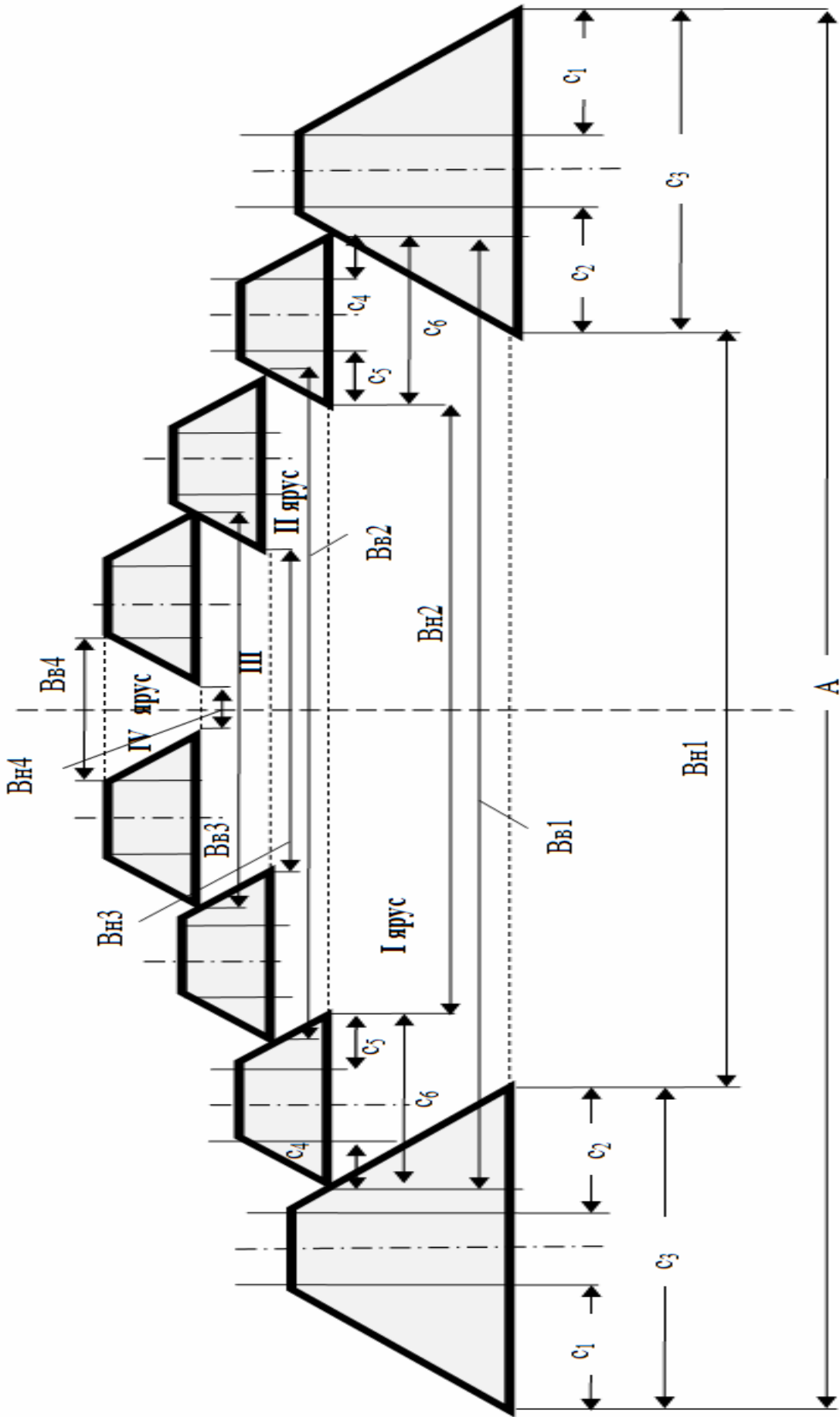


Рис. 3.5. Схематичний розріз хвостосховища

### 3.1.6. Розрахунок параметрів хвостосховища і терміну його експлуатації

Для виконання розрахунків попередньо треба побудувати поперечний переріз огорожувальної дамби, схематичний план і розріз хвостосховища, а також визначити необхідні для розрахунку розміри і нанести їх на креслення.

Довжину однієї сторони земельної ділянки, яку займає хвостосховище, визначають за співвідношенням:

$$A = \sqrt{S}, \text{ м}, \quad (3.5)$$

де  $S$  – площа земельної ділянки,  $\text{м}^2$ .

Розрахунок геометричного об'єму хвостосховища виконують поетапно: спочатку визначають **об'єм хвостосховища першої черги** (перший ярус), потім – **об'єм кожного наступного ярусу**, а загальний об'єм – як їх суму.

Для спрощення розрахунків з достатньою точністю можна прийняти, що кожний ярус хвостосховища має форму зрізаної піраміди. У такому випадку об'єм кожного ярусу хвостосховища визначають за формулою:

$$W_i = \frac{1}{3} * H_i * (S_{ni} + S_{ei} + \sqrt{S_{ni} * S_{ei}}), \text{ м}^3, \quad (3.6)$$

де  $H_i$  – висота кожного ярусу, м;  $S_{ni}$  і  $S_{ei}$  – площі нижньої і верхньої основи кожного ярусу відповідно, які визначають за залежностями:

$$S_{ni} = B_{ni}^2, \text{ м}^2; \quad (3.7)$$

$$S_{ei} = B_{ei}^2, \text{ м}^2; \quad (3.8)$$

де  $B_{ni}$  і  $B_{ei}$  – розміри сторін нижньої і верхньої основи кожного ярусу хвостосховища відповідно, м.

Необхідну кількість вторинних ярусів розраховують за формулою:

$$n = \frac{H - H_1 - h_{зан.}}{H_2}, \text{ шт.}, \quad (3.9)$$

де  $H$  – загальна висота огорожувальної дамби;  $H_1$  – висота першого ярусу, м;  $H_2$  – висота вторинних ярусів, м.

При розрахунку об'ємів ярусів хвостосховища, які огорожені вторинними дамбами, враховують ті обставини, що для спорудження вторинних дамб використовують хвости з надводних пляжів. Це призводить до збільшення ємності та терміну експлуатації кожного ярусу хвостосховища. Тому сумарний об'єм кожного ярусу  $W_{ci}$ , складається з його геометричного об'єму і об'єму вторинної дамби цього ярусу.

При схематизації вторинної дамби у вигляді правильної призми її об'єм визначають за виразом:

$$V_i = F * L_{di}, \text{ м}^3, \quad (3.10)$$

де  $F$  – площа поперечного перерізу вторинної дамби,  $\text{м}^2$ ;  $L_{di}$  – довжина вторинної дамби кожного ярусу по осі, м. Визначають за наступною формулою:

$$L_{di} = 4 * A_i, \text{ м}, \quad (3.11)$$

де  $A_i$  – довжина однієї сторони дамби по її осі (рис. 3.6).

Отже сумарний об'єм кожного ярусу буде складати:

$$W_{ci} = W_i + V_i, \text{ м}^3. \quad (3.12)$$

Термін експлуатації кожного ярусу хвостосховища становить:

$$t_i = (W_{ci} * K_{зан} * \rho_{с.хв}) / G_{хв}, \text{ років.} \quad (3.13)$$

Загальний об'єм хвостосховища  $W_3$ , загальний об'єм вторинних дамб  $V_3$ , повний термін експлуатації хвостосховища  $t_n$  і висоту огорожувальної дамби  $H$  визначають за наступними залежностями:

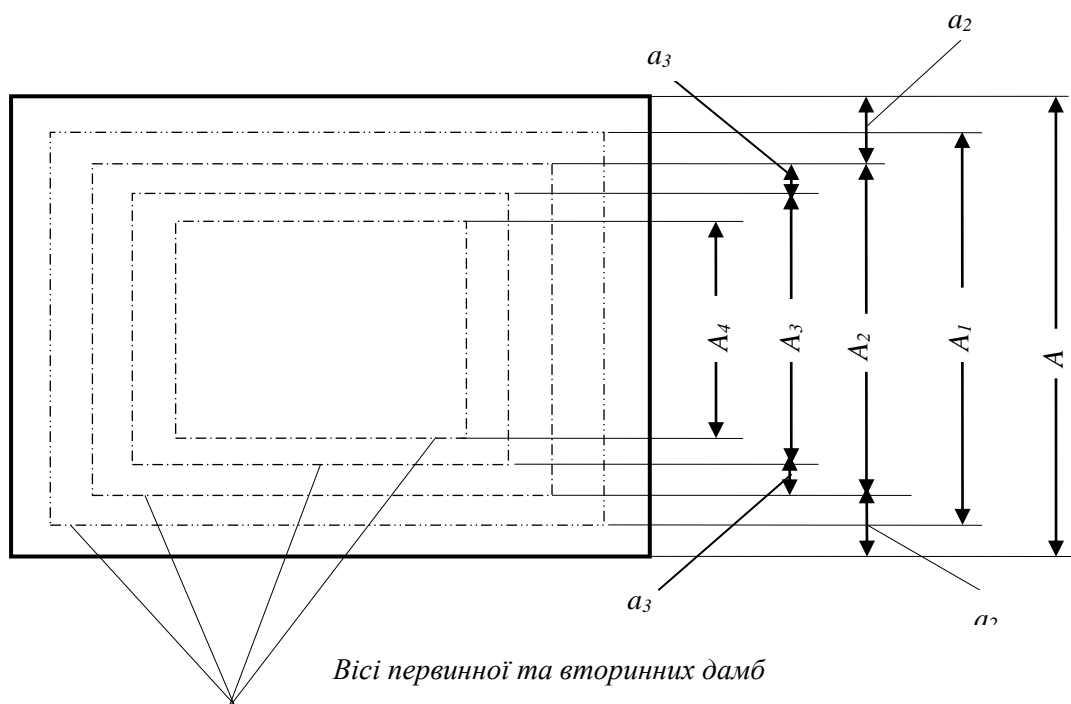
$$W_3 = \sum_{i=1}^n W_{ci}, \text{ м}^3; \quad (3.14)$$

$$V_3 = \sum_{i=2}^n V_i, \text{ м}^3; \quad (3.15)$$

$$t_n = \sum_{i=1}^n t_i, \text{ років;} \quad (3.16)$$

$$H = \sum_{i=1}^n H_i + h_{зан}, \text{ м,} \quad (3.17)$$

де  $n$  – кількість ярусів хвостосховища.



**Рис. 3.6. Схематичний план хвостосховища**

Одержані значення загального об'єму хвостосховища  $W_3$  порівнюють з необхідним об'ємом  $W$ , а значення повного терміну експлуатації  $t$  – з потрібним терміном експлуатації  $t_c$ , беручи до уваги наступні умови:

$$W_3 \geq W; \quad (3.18)$$

$$t \geq t_c. \quad (3.19)$$

## 3.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 3.2.1. Приклад розрахунку

Гірничо-збагачувальний комбінат видаляє хвости збагачення в хвостосховище гідравлічним способом. Необхідно розрахувати параметри хвостосховища і термін його експлуатації.

Вихідні дані для розрахунку представлені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення
Хвостосховище намивне (поступового заповнення) рівнинного типу, в плані має форму квадрата	
Площа земельної ділянки, що відведена під хвостосховище $S$ , га	280
Термін експлуатації хвостосховища $t_e$ , роки	10
Висота огорожувальної дамби $H$ , м	17,5
Витрата пульпи $Q_n$ , м <sup>3</sup> /год	10 000
Консистенція пульпи $T:P$	1:15
Щільність частинок хвостів $\rho_{ч.хв}$ , т/м <sup>3</sup>	3
Щільність води $\rho_в$ , т/м <sup>3</sup>	1
<i>Первинна дамба</i>	природні суглинки
висота $h_1$ , м	10
закладання низового укосу $m_n$	1:2,5
закладання верхового укосу $m_в$	1:3
ширина по гребеню $B_1$ , м	8
<i>Вторинні дамби</i>	поярусно хвости
висота $h_2$ , м	3
закладання низового укосу $m_n$	1:2,5
закладання верхового укосу $m_в$	1:3
ширина по гребеню $B_2$ , м	8
Перевищення гребеня дамб над рівнем заповнення хвостосховища $h_{зан}$ , м	0,5
Середня щільність укладання сухих хвостів, що намиті в хвостосховище і відсипані у вторинні дамби $\rho_{с.хв}$ , т/м <sup>3</sup>	1,85
Коефіцієнт заповнення хвостосховища $K_{зан}$	0,8

**Розв'язок прикладу:****Розрахунок річного виходу хвостів і загальних характеристик хвостосховища**

*Щільність хвостової пульпи (3.1):*

$$\rho_n = (T + P) / (T / \rho_{ч.хв} + P / \rho_в) = (1 + 15) / (1/3 + 15/1) = 1,043 \text{ т/м}^3.$$

*Витрати пульпи за масою (3.4):*

$$Q_n \text{ за масою} = Q_n * \rho_n = 10\,000 * 1,043 = 10434,78 \text{ т/год.}$$

*Вихід хвостів (3.3):*

$$G_{хв} = Q_n \text{ за масою} / (T + P) = 10434,78 / (1 + 15) = 652,17 \text{ т/год.}$$

*Річний вихід хвостів (враховуємо, що гірничо-збагачувальний комбінат працює цілодобово 365 днів на рік):*

$$G_{хв} = 652,17 * 24 * 365 = 5713043,48 \text{ т/рік.}$$

*Об'єм хвостосховища, необхідний для прийому хвостів протягом десяти років (3.2):*

$$W = (G_{хв} * t_e) / (\rho_{с.хв} * K_{зан.}) = (5713043,48 * 10) / (1,85 * 0,8) = 38601645,12 \text{ м}^3.$$

Будуємо поперечний переріз огорожувальної дамби і наносимо на креслення вихідні дані згідно завдання (рис. 3.7).

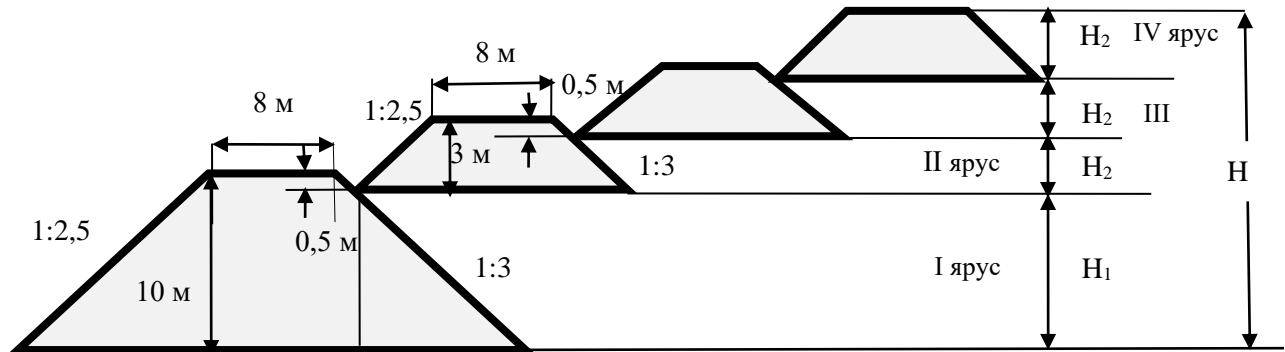


Рис. 3.7. Поперечний переріз огорожувальної дамби

Розмір сторони ділянки, яку займає хвостосховище (3.5):

$$A = \sqrt{S} = \sqrt{2800000} = 1673,32 \text{ м.}$$

Визначаємо необхідну кількість вторинних дамб (3.9):

$$n = \frac{H - H_1 - h_{зан.}}{H_2} = \frac{17,5 - 9,5 - 0,5}{2,5} = 3 \text{ дамби.}$$

Відповідно:  $H_1 = h_1 - h_{зан.} = 10,0 - 0,5 = 9,5 \text{ м}$ ;  $H_2 = h_2 - h_{зан.} = 3 - 0,5 = 2,5 \text{ м}$ , тобто висота ярусу  $H$  – це висота відповідної дамби, зменшена на перевищення дамби на рівнем заповнення на випадок вітрового хвилеутворення  $h_{зан}$  (рис. 3.7).

### Розрахунок хвостосховища першої черги (першого ярусу)

Площа нижньої основи дамби першого ярусу (3.7):

$$S_{н1} = B_{н1}^2, \text{ м}^2.$$

У даному випадку:  $B_{н1} = A - 2 * C_3$ , тобто довжина сторони нижньої основи першого ярусу хвостосховища – це розмір сторони ділянки, яку займає хвостосховище  $A$ , зменшений на дві ширини нижньої основи первинної дамби  $C_3$ .

$$\text{Відповідно: } C_3 = h_1 * m_n + B_1 + h_1 * m_в = 10 * 2,5 + 8 + 10 * 3 = 63,0 \text{ м,}$$

де  $m_n$  та  $m_в$  – закладання низового та верхового укосу дамби відповідно, м (рис. 3.4).

$$\text{Отже: } B_{н1} = A - 2 * C_3 = 1673,32 - 2 * 63 = 1547,32 \text{ м.}$$

$$\text{Таким чином: } S_{н1} = B_{н1}^2 = 1547,32^2 = 2394199,35 \text{ м}^2.$$

Площа верхньої основи дамби першого ярусу (3.8):

$$S_{в1} = B_{в1}^2, \text{ м}^2.$$

У даному випадку:  $B_{в1} = B_{н1} + 2 * C_2 - 2 * h_{зан.} * m_в$ , тобто розмір сторони верхньої основи першого ярусу хвостосховища – це розмір сторони нижньої основи першого ярусу хвостосховища  $B_{н1}$ , збільшений на два закладання верхового укосу первинної дамби  $C_2$  за виключенням двох проєкцій перевищення гребеня дамби  $h_{зан.}$  на верховий укіс (рис. 3.5).



Відповідно:  $C_2 = H_1 * m_6 = 9,5 * 3 = 28,5$  м.

Отже:  $B_{61} = B_{н1} + 2 * C_2 - 2 * h_{зан.} * m_6 = 1547,32 + 2 * 28,5 - 2 * 0,5 * 3 = 1601,32$  м.

Таким чином:  $S_{61} = B_{61}^2 = 1601,32^2 = 2564225,91$  м<sup>2</sup>.

*Геометричний об'єм хвостосховища першої черги (3.6):*

$$W_1 = \frac{1}{3} * H_1 * (S_{н1} + S_{61} + \sqrt{S_{н1} * S_{61}}) = \frac{1}{3} * 9,5 * (2394199,35 + 2564225,91 + \sqrt{2394199,35 * 2564225,91}) = 23547902,98 \text{ м}^3.$$

*Термін експлуатації хвостосховища першої черги (3.13):*

$$t_1 = (W_1 * \rho_{с.хв} * k_{зан}) / G_{хв} = (23547902,98 * 1,85 * 0,8) / 5713043,48 = 6,10 \text{ років.}$$

### **Розрахунок другого ярусу хвостосховища**

*Площа нижньої основи дамби другого ярусу (3.7):*

$$S_{н2} = B_{н2}^2, \text{ м}^2.$$

У даному випадку:  $B_{н2} = B_{61} - 2 * C_6$ , адже розміри сторони нижньої основи другого ярусу – це довжина сторони верхньої основи першого ярусу  $B_{в1}$ , зменшена на дві ширини нижньої основи вторинних дамб  $C_6$  (рис. 3.5).

Відповідно:  $C_6 = h_2 * m_н + B_2 + h_2 * m_6 = 3 * 2,5 + 8 + 3 * 3 = 24,5$  м.

Отже:  $B_{н2} = B_{61} - 2 * C_6 = 1601,32 - 2 * 24,5 = 1552,32$  м.

Таким чином:  $S_{н2} = B_{н2}^2 = 1552,32^2 = 2409697,55$  м<sup>2</sup>.

*Площа верхньої основи дамби другого ярусу (3.8):*

$$S_{62} = B_{62}^2, \text{ м}^2.$$

У даному випадку:  $B_{62} = B_{н2} + 2 * C_5 - 2 * h_{зан.} * m_6$ , тобто ширина верхньої основи другого ярусу хвостосховища – це розмір сторони нижньої основи другого ярусу хвостосховища  $B_{н2}$ , збільшений на два закладання верхнього укосу вторинної дамби  $C_5$  за виключенням двох проєкцій перевищення гребеня дамби  $h_{зан.}$  на верховий укіс (див. рис. 3.5).

Відповідно:  $C_5 = H_2 * m_6 = 2,5 * 3 = 7,5$  м.

Отже:  $B_{62} = B_{н2} + 2 * C_5 - 2 * h_{зан.} * m_6 = 1552,32 + 2 * 7,5 - 2 * 0,5 * 3 = 1564,32$  м.

Таким чином:  $S_{62} = B_{62}^2 = 1564,32^2 = 2447097,23$  м<sup>2</sup>.

*Геометричний об'єм другого ярусу хвостосховища (3.6):*

$$W_2 = \frac{1}{3} * H_2 * (S_{н2} + S_{62} + \sqrt{S_{н2} * S_{62}}) = \frac{1}{3} * 2,5 * (2409697,55 + 2447097,23 + \sqrt{2409697,55 * 2447097,23}) = 6070933,47 \text{ м}^3.$$

*Об'єм вторинної дамби другого ярусу (3.10):*

$$V_2 = F_2 * L_{д2}, \text{ м}^3.$$

У даному випадку площа поперечного перерізу вторинної дамби:

$$F_2 = \frac{h_2 * (B_2 + C_6)}{2} = \frac{3 * (8 + 24,5)}{2} = 48,75 \text{ м}^2.$$

Для визначення довжини вторинної дамби другого ярусу по осі звернемося до рис. 3.6, на якому зображений схематичний вид зверху на хвостосховище.

Як бачимо, довжина однієї сторони дамби другого ярусу по її осі

$A_2 = A - 2 * a_2$ , тобто це довжина однієї сторони земельної ділянки, відведеної під хвостосховище  $A$ , зменшена на дві відстані від границі земельної ділянки до осі дамби другого ярусу  $a_2$ .

Відповідно:  $a_2 = h_1 * m_n + B_2 + h_{зан.} * m_6 + h_2 * m_n + B_2 / 2 = 10 * 2,5 + 8 + 0,5 * 3 + 2,5 * 3 + 8 / 2 = 46,0$  м.

Отже:  $A_2 = A - 2 * a_2 = 1673,32 - 2 * 46,0 = 1581,32$  м.

$L_{02} = 4 * A_2 = 4 * 1581,32 = 6325,28$  м.

Таким чином:  $V_2 = F_2 * L_{02} = 48,75 * 6325,28 = 308357,41$  м<sup>3</sup>.

У зв'язку з тим, що для зведення вторинних дамб використовують хвости з надводних пляжів хвостосховища, що призводить до збільшення його обсягу, сумарний об'єм другого ярусу визначається як сума геометричного об'єму хвостосховища другої черги і об'єму вторинної дамби цього ярусу (3.12):

$W_{c2} = W_2 + V_2 = 6070933,47 + 308357,41 = 6379290,88$  м<sup>3</sup>.

Термін експлуатації другого ярусу (3.13):

$t_2 = (W_{c2} * K_{зан} * \rho_{с.хв}) / G_{хв} = (6379290,88 * 1,85 * 0,8) / 5713043,48 = 1,65$  років.

### **Розрахунок третього ярусу хвостосховища**

Площа нижньої основи дамби третього ярусу (3.7):

$S_{н3} = B_{н3}^2$ , м<sup>2</sup>.

У даному випадку:  $B_{н3} = B_{62} - 2 * C_6$ , тобто розміри сторони нижньої основи третього ярусу – це довжина сторони верхньої основи другого ярусу  $B_{62}$ , зменшена на дві ширини нижньої основи вторинних дамб  $C_6$  (рис. 3.5).

Отже:  $B_{н3} = B_{62} - 2 * C_6 = 1564,32 - 2 * 24,5 = 1515,32$  м.

Таким чином:  $S_{н3} = B_{н3}^2 = 1515,32^2 = 2296194,86$  м<sup>2</sup>.

Площа верхньої основи дамби третього ярусу (3.8):

$S_{63} = B_{63}^2$ , м<sup>2</sup>.

У даному випадку:  $B_{63} = B_{н3} + 2 * C_5 - 2 * h_{зан.} * m_6$ , тобто ширина верхньої основи третього ярусу хвостосховища – це розмір сторони нижньої основи третього ярусу хвостосховища, збільшений на два закладання верхнього укосу вторинної дамби  $C_5$  за винятком двох проекцій перевищення гребеня дамби  $h_{зан.}$  на верхній укіс (рис. 3.5).

Отже:  $B_{63} = B_{н3} + 2 * C_5 - 2 * h_{зан.} * m_6 = 1515,32 + 2 * 7,5 - 2 * 0,5 * 3 = 1527,32$  м.

Таким чином:  $S_{63} = B_{63}^2 = 1527,32^2 = 2332706,54$  м<sup>2</sup>.

Геометричний об'єм хвостосховища третьої черги (3.6):

$W_3 = \frac{1}{3} * H_2 * (S_{н3} + S_{63} + \sqrt{S_{н3} * S_{63}}) = \frac{1}{3} * 2,5 * (2296194,86 + 2332706,54 + \sqrt{2296194,86 * 2332706,54}) = 5786066,76$  м<sup>3</sup>.

Об'єм вторинної дамби третього ярусу (3.10):

$V_3 = F_3 * L_{03}$ , м<sup>3</sup>

Для визначення довжини вторинної дамби третього ярусу по осі знову звернемося до рисунку 3.6.

Як бачимо, довжина однієї сторони дамби третього ярусу по її осі  $A_3 = A_2 - 2 * a_3$ , тобто це довжина однієї сторони дамби другого ярусу по її осі  $A_2$ , зменшена на дві відстані між осями дамби другого та третього ярусів  $a_3$ .

Відповідно:  $a_3 = B_2 / 2 + h_{зан.} * m_6 + h_2 * m_n + B_2 / 2 = 8 / 2 + 0,5 * 3 + 3 * 2,5 + 8 / 2 = 17,0$  м.

Отже:  $A_3 = A_2 - 2 * a_3 = 1581,32 - 2 * 46,0 = 1547,32$  м.

$L_{\partial 3} = 4 * A_3 = 4 * 1547,32 = 6189,28$  м.

Таким чином:  $V_3 = F_2 * L_{\partial 3} = 48,75 * 6189,28 = 301727,41$  м<sup>3</sup>.

Сумарний об'єм третього ярусу (3.12):

$W_{c3} = W_3 + V_3 = 5786066,76 + 301727,41 = 6087794,17$  м<sup>3</sup>.

Термін експлуатації третього ярусу (3.13):

$t_3 = (W_{c3} * K_{зан} * \rho_{с.хв}) / G_{хв} = (6087794,17 * 1,85 * 0,8) / 5713043,48 = 1,58$  років.

### Розрахунок четвертого ярусу хвостосховища

Площа нижньої основи дамби четвертого ярусу (3.7):

$S_{н4} = B_{н4}^2, \text{ м}^2.$

У даному випадку:  $B_{н4} = B_{63} - 2 * C_6 = 1527,32 - 2 * 24,5 = 1478,32$  м.

Таким чином:  $S_{н4} = B_{н4}^2 = 1478,32^2 = 2185430,18$  м<sup>2</sup>.

Площа верхньої основи дамби четвертого ярусу (3.8):

$S_{64} = B_{64}^2, \text{ м}^2.$

У даному випадку:  $B_{64} = B_{н4} + 2 * C_5 = 1478,32 + 2 * 7,5 = 1493,32$  м.

Таким чином:  $S_{64} = B_{64}^2 = 1493,32^2 = 2230004,78$  м<sup>2</sup>.

Геометричний об'єм четвертого ярусу хвостосховища (3.6):

$W_4 = \frac{1}{3} * H_4 * (S_{н4} + S_{64} + \sqrt{S_{н4} * S_{64}}) = \frac{1}{3} * 2,5 * (2185430,18 + 2230004,78 +$

$+\sqrt{2185430,18 * 2230004,78}) = 5519199,95$  м<sup>3</sup>.

Об'єм вторинної дамби четвертого ярусу (3.10):

$V_4 = F_2 * L_{\partial 4}, \text{ м}^3$

Відповідно:  $A_4 = A_3 - 2 * a_3 = 1547,32 - 2 * 17,0 = 1513,32$  м.

$L_{\partial 4} = 4 * A_4 = 4 * 1513,32 = 6053,28$  м.

Таким чином:  $V_4 = F_2 * L_{\partial 4} = 48,75 * 6053,28 = 295097,41$  м<sup>3</sup>.

Сумарний об'єм четвертого ярусу (3.12):

$W_{c4} = W_4 + V_4 = 5519199,95 + 295097,41 = 5814297,36$  м<sup>3</sup>.

Термін експлуатації четвертого ярусу (3.13):

$t_4 = (W_{c4} * K_{зан} * \rho_{с.хв}) / G_{хв} = (5814297,36 * 1,85 * 0,8) / 5713043,48 = 1,51$  роки.

### Розрахунок загальних параметрів хвостосховища

Загальний об'єм хвостосховища (3.14):

$W_3 = W_1 + W_{c2} + W_{c3} + W_{c4} = 23547902,98 + 6379290,88 + 6087794,17 + 5814297,36 = 41829285,39$  м<sup>3</sup>.

Загальний об'єм вторинних дамб (3.15):

$V_3 = V_2 + V_3 + V_4 = 308357,41 + 301727,41 + 295097,41 = 905182,23$  м<sup>3</sup>.

Порівнюємо одержані значення загального об'єму хвостосховища  $W_3$  з необхідним (3.18):

$W_3 \geq W$  – умова виконується, оскільки  $41829285,39 > 38601645,12 \text{ м}^3$ , тобто у хвостосховищі може бути за складована більша кількість відходів, ніж передбачається проектом.

### Розрахунок терміну експлуатації хвостосховища

Повний термін експлуатації хвостосховища (3.16):

$$t_n = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 6,10 + 1,65 + 1,58 + 1,51 = 10,84 \text{ років.}$$

Порівнюємо одержані значення повного терміну експлуатації  $t_n$  з потрібним (3.19):

$t \geq t_c$  – умова виконується, оскільки  $10,84 > 10$  років, отже хвостосховище буде заповнюватися довше передбачених десяти років.

Заносимо результати розрахунків до підсумкової табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків

Показник	Номер ярусу, значення				Загальне значення
	1	2	3	4	
Висота ярусу хвостосховища $H_i$ , м	9,5	2,5	2,5	2,5	–
Довжина однієї сторони нижньої основи ярусу $B_{ни}$ , м	1547,32	1552,32	1515,32	1478,32	–
Довжина однієї сторони верхньої основи ярусу $B_{ei}$ , м	1601,32	1564,32	1527,32	1493,32	–
Об'єм ярусу хвостосховища $W_i$ , млн $\text{м}^3$	23,547	6,070	5,786	5,519	<b>40,922</b>
Площа перерізу вторинної дамби $F$ , м	–	48,75	48,75	48,75	–
Довжина однієї сторони вторинної дамби $A_i$ , м	–	1581,32	1547,32	1513,32	–
Довжина вторинної дамби одного ярусу $L_i$ , м	–	6325,28	6189,28	6053,28	–
Об'єм вторинної дамби одного ярусу $V_i$ , млн. $\text{м}^3$	–	0,308	0,302	0,295	<b>0,905</b>
Сумарний об'єм одного ярусу хвостосховища $W_{ci}$ , млн. $\text{м}^3$	23,547	6,379	6,087	5,814	<b>41,829</b>
Термін експлуатації одного ярусу $t_i$ , років	6,10	1,65	1,58	1,51	<b>10,84</b>

**Висновок.** Таким чином, хвостосховище, що розташоване на ділянці площею 280 га, при висоті огорожувальної дамби 17,5 м буде експлуатуватися 10,84 років.

### 3.2.1. Практичне завдання

1. Ознайомитись з класифікацією хвостосховищ та основними принципами гідравлічного складування відходів.

2. Ознайомитись з методикою розрахунку ємності хвостосховища та висоти огорожувальної дамби, об'ємів вторинних дамб, об'ємів хвостосховища по ярусах і термінів їх експлуатації.

3. Самостійно:

- визначити річний вихід хвостів на гірничо-збагачувальному комбінаті;
- розрахувати необхідний об'єм хвостосховища на заданий термін його експлуатації;
- побудувати поперечний переріз огорожувальної дамби з урахуванням заданих розмірів для подальших розрахунків;
- розрахувати об'єми хвостосховища першої черги і наступних ярусів, а також терміни їх експлуатації;
- визначити об'єми вторинних дамб кожного ярусу;
- порівняти отримані дані загального об'єму хвостосховища з необхідним і повного терміну експлуатації з потрібним та зробити висновки.

Вихідні дані для розрахунку представлені в табл. 3.3.

#### *Питання для самоконтролю*

1. Що являє собою пульпа?
2. Для транспортування яких видів відходів використовують гідравлічний спосіб?
3. На які види поділяються хвостосховища залежно від рельєфу місцевості?
4. На які види поділяються хвостосховища залежно від способу спорудження?
5. Яким чином розраховується консистенція пульпи?
6. Який укіс дамби називають верховим, а який – низовим?
7. З яких матеріалів зазвичай споруджують первинні дамби хвостосховищ?
8. З яких матеріалів зазвичай споруджують вторинні дамби хвостосховищ?
9. Для чого споруджується перевищення гребеня дамби над рівнем заповнення хвостосховища?

Таблиця 3.3 – Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Значення					
	1	2	3	4	5	6
Хвостосховище намивне (поступового заповнення) рівнинного типу, в плані має форму квадрата						
Площа земельної ділянки, що відведена під хвостосховище $S$ , га	210	323	258	320	87	91
Термін експлуатації $t_e$ , роки	20	16	17	15	17	18
Витрата пульпи $Q_n$ , м <sup>3</sup> /год	5000	6000	7000	3000	2500	3500
Консистенція пульпи Т:Р	1:19	1:12	1:18	1:9	1:29	1:30

Параметр	Значення					
	1	2	3	4	5	6
Щільність частинок хвостів $\rho_{ч.хв}$ , т/м <sup>3</sup>	2,8	2,6	3,3	2,8	2,5	3,5
Щільність води $\rho_{в}$ , т/м <sup>3</sup>	1					
<i>Первинна дамба</i>	природні суглинки					
висота $h1$ , м	9,1	8,4	8,8	5,2	6,2	9,8
закладання низового укосу $m_n$	1:2,5					
закладання верхового укосу $m_v$	1:3					
ширина по гребеню $b1$ , м	7	6	5	4	3	8
<i>Вторинні дамби</i>	поярусно хвости					
висота $h2$ , м	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	3
закладання низового укосу $m_n$	1:2,5					
закладання верхового укосу $m_v$	1:3					
ширина по гребеню $b1$ , м	7	6	5	4	3	8
Перевищення гребеня дамб над рівнем заповнення хвостосховища $h_{зан}$ , м	0,6	0,6	0,63	0,66	0,56	0,5
Загальна висота огорожувальної дамби $H$ , м	16	15	15	11	12	17,3
Середня щільність укладання сухих хвостів, які наміті в хвостосховище і відсіпані у вторинні дамби $\rho_{с.х}$ , т/м <sup>3</sup>	2,15	1,95	2,13	1,78	1,88	1,85
Коефіцієнт заповнення $K_{зан}$	0,75	0,83	0,81	0,77	0,79	0,82

Продовж. табл. 3.3

Параметр	Значення					
	7	8	9	10	11	12
Хвостосховище наливне (поступового заповнення) рівнинного типу, в плані має форму квадрата						
Площа земельної ділянки, що відведена під хвостосховище $S$ , га	256	182	588	422	581	447
Термін експлуатації $t_e$ , роки	15	15	15	17	17	20
Витрата пульпи $Q_n$ , м <sup>3</sup> /год	4500	350 0	7000	550 0	4500	490 0
Консистенція пульпи Т:Р	1:12	1:14	1:8	1:17	1:7	1:11
Щільність частинок хвостів $\rho_{ч.хв}$ , т/м <sup>3</sup>	2,5	2,7	3,5	3,1	2,5	3,4
Щільність води $\rho_{в}$ , т/м <sup>3</sup>	1					
<i>Первинна дамба</i>	природні суглинки					
висота $h1$ , м	9,2	8,7	6,8	5	6	7
закладання низового укосу $m_n$	1:2,5					
закладання верхового укосу $m_v$	1:3					
ширина по гребеню $b1$ , м	7	6	5	4	3	4
<i>Вторинні дамби</i>	поярусно хвости					
висота $h2$ , м	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,6
закладання низового укосу $m_n$	1:2,5					
закладання верхового укосу $m_v$	1:3					
ширина по гребеню $b1$ , м	7	6	5	4	3	4

Параметр	Значення					
	7	8	9	10	11	12
Перевищення гребеня дамб над рівнем заповнення хвостосховища $h_{зан}$ , м	0,57	0,57	0,63	0,93	0,66	0,7
Загальна висота огорожувальної дамби $H$ , м	16,2	15,4	13	10	11,5	12,7
Середня щільність укладання сухих хвостів, які намиті в хвостосховище і відсіпані у вторинні дамби $\rho_{с.х.}$ , т/м <sup>3</sup>	1,69	1,8	2,06	1,71	1,85	1,86
Коефіцієнт заповнення $K_{зан}$	0,8	0,76	0,79	0,77	0,82	0,82

### Додаток 1

Таблиця 1 – Перелік промислових відходів IV класу небезпеки, які приймаються на полігони ТПВ без обмеження та використовуються як ізолюючий матеріал

Код групи і виду відходів	Вид відходу
1.36.02.1	Азбестоцементний лом
1.39.01	Відходи бентоніту
1.39.02	Гіпсовмісткі відходи виробництва вітаміну В6
1.39.03	Тверді відходи крейди, хімічно осаджені
1.39.06	Оксид кремнію (при виробництві ПВХ і $AlCl_3$ )
1.39.08	Сплав солей сульфату натрію
1.23.02	Шлам з фільтр-пресів виробництва селікогелю (містить глину і кремнезем)
1.23.03	Відходи дистиляції у виді $CaSO_3$ содово-кремнистого виробництва
1.23.05	Шлами хімводоочистки і пом'якшення води
1.39.10	Хлорне вапно нестандартне
1.39.1	Шлаки ТЭЦ, котелень, що працюють на вугіллі, торфі, сланцях чи ТПВ
1.23.01	Алюмосилікатний шлам Сб-г-43-б
1.36.02.2	Азбест крихта
1.31.01	Графіт відпрацьований виробництва карбїду кальцію
1.39.03	Гашене вапно, вапняк, шлами після гасіння
1.39.05	Оксид алюмінію у вигляді відпрацьованих брикетів (при виробництві $AlCl_3$ )
1.39.07	Відходи параніту
1.39.09	Селікогель (із адсорберів висушення нетоксичних газів)
1.23.03	Шлам соди гранульований
1.29.00	Формівні стержневі суміші, що не містять важких металів
1.27.01	Хлорид-натрієві осади стічних вод виробництва лакових епоксидних смол
1.36.02.3	Тверді відходи виробництва шиферу
1.39.12	Шліфувальні матеріали

Таблиця 2 – Перелік промислових відходів III та IV класів небезпеки, які приймаються на полігони ТПВ з обмеженням і складаються разом (нормативи на 1000 м<sup>3</sup> твердих побутових відходів)

Код групи та виду відходів	Вид відходу	Гранична кількість промислових відходів, т/1000 м <sup>3</sup> ТПВ
1.24.06	Кубові залишки виробництва оцтового ангідриду	3
1.39.13	Резиту відходи (формальдегідна смола, що затверділа)	3
1.39.13	Тверді відходи виробництва полістирольних пластиків, які спінуються	10
<i>Відходи при виробництві електроізоляційних матеріалів</i>		
1.39.15	Гетинакс електротехнічний листовий Ш-8,0	10
1.39.16	Липка стрічка ЛСНПЛ-0,17	3
1.39.17	Поліетиленова трубка ПНП	10
1.39.18	Склолакотканина ЛСЕ-0,15	3
1.39.19	Склотканина Е2-62	3
1.39.20	Текстоліт електротехнічний листовий Б-16,0	10
1.39.21	Фенопласт 03-010-02	10
<i>Тверді відходи суспензійного, емульсійного виробництва</i>		
1.39.22	Сополімерів стиролу з акрилонітрилом чи метилметакрилатом	3
1.39.23	Полістирольних пластиків	3
1.39.24	Акрилонітрилбутадієнстирольних пластиків	10
1.39.25	Полістиролів	3



Таблиця 3 – Перелік промислових відходів III та IV класів небезпеки, які приймаються на полігони ТПВ з обмеженням і складаються разом (нормативи на 1000 м<sup>3</sup> твердих побутових відходів) з додержанням особливих умов

Код групи та виду відходів	Вид відходу	Гранична кількість промислових відходів, т/1000 м <sup>3</sup> ТПВ	Особливі умови складування на полігоні ТПВ чи підготовки на промислового підприємстві
1	2	3	4
1.39.26	Активоване вугілля виробництва вітаміну В-6	3	Укладка шаром не більше 0,2 м
1.39.27	Відходи ацетобутилат целюлози	3	Пресування в блоки розміром не більше 0,3 x 0,3 x 0,3 м в мокрому стані
1.39.28	Дерев'яні та тирсовостружкові відходи	10	Не повинні містити тирсу, яка йде на посипання підлоги в промислових приміщеннях
1.21.06	Обрізки хромових шкір	3	Укладка шаром не більше 0,2 м
1.39.29	Незворотна дерев'яна та паперова тара	10	Не повинна включати промаслений папір
1.39.30	Обрізки шкірозамінників	3	Укладка шаром не більше 0,2 м
1.39.31	Відбілюючий ґрунт	3	Укладка шаром не більше 0,2 м
1.39.32	Фаолітів пил	3	В мішки в мокрому стані
Граничне сумарне навантаження за таблицями №№ 2 і 3		100	

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСанПіН 2.2.7.029-99. Державні санітарні правила та норми. 2. Комунальна гігієна. 2.7. Ґрунт, очистка населених місць, побутові та промислові відходи, санітарна охорона ґрунту. «Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0029588-99>. Загол. з екрана.
2. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов. URL : <https://meganorm.ru/Data2/1/4293852/4293852448.htm#i307574>. Загол. з екрана.
3. Экология города: Учебник. – К.: Либра, 2000. – 464 с.
4. «Методика исследования свойств твердых отбросов», М., Стройиздат, 1970 г.
5. Методические указания к практической работе по курсу «Промышленная экология» на тему «Утилизация твердых бытовых отходов пиролизным методом» для студентов всех специальностей / Коровин И. О., Медведев А. В., Багабиев Р. Р. и др. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2002. – 21 с.
6. Поташников Ю. М. Утилизация отходов производства и потребления / Учебное пособие. – Тверь: Издательство ТГТУ, 2004. – 107 с.
7. Современные проблемы и решения в системе управления опасными отходами / Касимов А. М., Семенов В. Т., Щербань Н. Г., Мясоедов В. В. – Харьков: ХНАГХ, 2008. – 510 с.
8. Ветошкин А. Г. Защита литосферы от отходов. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 189 с.
9. Метеопост. Клімат України. URL : // <https://meteopost.com/weather/climate-normals/> Загол. з екрана.
10. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи «Розрахунок параметрів хвостосховища» з дисципліни «Утилізація промислових відходів» (для студентів 3 курсу денної форми навчання напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: К. Д. Бригінець, К.О. Абашина. – Х.: ХНАМГ, 2012 – 18 с.
11. Методические указания к практическим по курсу «Основы утилизации отходов» (для студентов 4 курса дневной и 5 курса заочной форм обучения бакалавров специальности 8.070800 – «Экология и охрана окружающей среды»). Составитель: Бригинец Е. Д. – Харьков: ХНАГХ, 2007. – 44 с.
12. Утилізація та рекуперація відходів. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» / О.О. Борисовська, О.В. Деменко, А.В. Павличенко. – Дніпро: Національний гірничий університет, 2017. – 56 с.

## ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	3
ПРАКТИЧНА РОБОТА №1. РОЗРАХУНОК ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРУ ВІД ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ І ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ.....	4
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2. ПЕРЕРОБКА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ І ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ МЕТОДОМ ПІРОЛІЗУ.....	17
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ХВОСТОСХОВИЩА.....	30
Додаток 1 .....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	50

**БОРИСОВСЬКА Олена Олександрівна  
ГРУНТОВА Валентина Юріївна**

**ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ТА РЕЦИКЛІНГ**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ  
ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ**

для студентів спеціальностей  
101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Друкується в редакційній обробці авторів

Підписано до друку 20.02.2019 р. Формат 30 x 42/4.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 2,8.  
Обл.-вид. арк. 2,8. Тираж 30 прим. Зам. №

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»  
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.