


ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

**Енерго- та ресурсозберігальні  
технології у чорній металургії:  
методичні рекомендації до виконання  
практичних робіт**

Запоріжжя 2024



УДК 669(072)  
Е61

Рекомендовано Науково-методичною радою  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
(протокол № 3 від «22» листопада 2024 р.)

**Укладачі:**

Орлінська О.В., д.г.н., проф.  
Пікареня Д.С., д.г.н., проф.  
Семірягін С.В., к.т.н., доц.

Е61      Енерго- та ресурсозберігальні технології у чорній металургії:  
методичні рекомендації до виконання практичних робіт / уклад.:  
О. В. Орлінська, Д. С. Пікареня, С. В. Семірягін. Запоріжжя :  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ  
ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 46 с.

У методичних вказівках наведено поради і методичні підходи до виконання практичних робіт, які виконуються в процесі вивчення дисципліни. Матеріал містить короткі теоретичні викладки за тематикою роботи, завдання для її виконання.

УДК 669(072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024



## ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. Практична робота № 1 Розрахунок доцільності впровадження проекту модернізації об'єкта з паралельним зниженням енергоспоживання.....	5
2. Практична робота № 2 Визначення зменшення кількості парникових газів за рахунок економії мазуту на металургійному підприємстві.....	10
3. Практична робота № 3 Розрахунок ефективності впровадження енергоефективного проекту з урахуванням впливу погодних умов для фонду будівель гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК).....	12
4. Практична робота № 4. Аналіз ефективності переробки відходів.....	14
5. Практична робота №5 Розрахунок об'єму та маси відходів при відкритій розробці залізистих кварцитів.....	24
6. Практична робота № 6. Розрахунок параметрів хвостосховища.....	26
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45



## ВСТУП

Енерго та ресурсозберігальні технології в промисловості є обов'язковою дисципліною для підготовки бакалаврів гірничо-металургійного профілю. Енергозберігаюча політика має особливо важливе значення для галузей промислового виробництва, заснованих на технологіях з великою енергоємністю і з низьким рівнем корисного використання палива, до яких відноситься гірничо-металургійна промисловість. Ресурсозбереження сприяє не тільки підвищенню ефективності виробництва, але і запобіганню забрудненню навколишнього середовища.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт умовно поділені на дві частини. Перша частина присвячена різним методам оцінки ефективності проєктів з енергозбереження, друга розглядає принципи застосування на практиці розрахунків з накопичення та збереження відходів гірничо-металургійної галузі.

### **Вимоги до практичних робіт**

Практичні роботи виконуються безпосередньо на занятті, що є бажаним, однак не обов'язковим; матеріали для виконання практичної роботи доступні в записі, які зберігаються в Microsoft Teams, та викладені в повному обсязі в Moodle. Оцінка за практичну роботу виставляється за фактом виконання та враховуючи правильність розрахунків. Якщо студент виконав роботу з помилками, то він має можливість допрацювати свої розрахунки та підвищити оцінки.

### **Правила виконання практичних робіт**

1. Практичні роботи виконуються згідно із затвердженим семестровим графіком, який викладається в Moodle.
2. Звіт про виконання роботи в обов'язковому порядку завантажується в систему Moodle в розділі відповідного курсу.
3. Оцінка за практичну роботу виставляється за фактом виконання та враховуючи правильність розрахунків та висновків. Якщо студент виконав роботу з помилками, то він має можливість допрацювати свою роботу та підвищити оцінку.



## Практична робота № 1

### Розрахунок доцільності впровадження проекту модернізації об'єкта з паралельним зниженням енергоспоживання

Реалізація проектів передбачає, що протягом тривалого періоду часу будуть здійснюватись певні грошові витрати та надходитимуть певні доходи. Тому для об'єктивної оцінки ефективності проекту слід враховувати зміну цінності грошей в часі.

Розмір ставки дисконтування залежить як від об'єктивних, так і суб'єктивних факторів, зокрема: загального стану економіки, в тому числі грошово-кредитного ринку, короткострокових і довгострокових очікувань його динаміки, виду угоди, її валюти, терміну кредиту, особливостей позичальника і кредитора.

Фінансові розрахунки, що використовуються при боргових операціях, відображають зміну вартості грошей в часі. В такому випадку величина  $P$  відображає сьогоднішню (теперішню) вартість грошей, а величина  $B$  – майбутню. Вживаючи терміни „сьогоднішня" та „майбутня" не здійснюють прив'язки до конкретних дат, а лише відображають їх послідовність у часі.

Процес, в якому відомою є очікувана в майбутньому вартість (кінцева сума боргу) та ставка, називається дисконтуванням, а шукана величина – дисконтована (приведена) вартість. В цьому випадку відбувається перехід від майбутньої вартості грошей до теперішньої.

Одним з основних завдань проектного аналізу є визначення цінності проекту. Цінність проекту визначається як різниця його позитивних результатів, або вигід, та негативних результатів, або витрат, тобто:


$$\text{Цінність проекту} = \text{Вигоди} - \text{Витрати}$$

Для визначення цінності проекту необхідно оцінити всі вигоди, одержані від проекту, і з'ясувати, чи вони перевищують витрати на нього протягом усього циклу життя. Оскільки багато активів проекту розраховано на тривалий строк служби, в проектному аналізі порівнюються майбутні вигоди з необхідними теперішніми витратами за проектом.

Важливим методологічним принципом у розрахунках ефективності проектів є врахування безповоротних витрат та неявних вигід.

Безповоротні витрати – це вже зроблені витрати, які неможливо відшкодувати прийняттям чи неприйняттям даного проекту.

Якщо проводиться оцінка доцільності здійснення інвестиційного проекту, то всі витрати, вже зроблені до прийняття рішення про реалізацію проекту, не повинні враховуватися, бо їх не можна відшкодувати і вони жодним чином не впливають на його ефективність. Такі витрати треба виключити з вартості проекту при вирішенні питання про те, чи продовжувати роботу за проектом. На цьому етапі мають вагу лише ті витрати, які треба буде зробити (а іноді, можливо, й уникнути



їх). Цінність проекту, який має завершити інший, розпочатий раніше і незакінчений проект, залежить не від зроблених до того витрат, а лише від вартості завершення проекту. Подібно до цього, вигодами нового проекту є лише ті вигоди, які з'являться після і понад ті вигоди, які, можливо, надходять від проектної незавершеної діяльності.

Оцінюючи проект, слід брати до уваги всі витрати і вигоди проекту, але не можна їх враховувати двічі.

Тобто, потрібно оцінити всі результати проекту і встановити, чи перевищують вигоди витрати.

Дослідження ефективності проекту базується на порівнянні вигід і витрат. Дана концепція реалізується використанням у фінансовому аналізі грошового потоку, а не прибутку.

За напрямком руху коштів виділяють позитивний грошовий потік, що характеризує сукупність надходжень коштів до підприємства у процесі здійснення усіх видів його господарських операцій (як аналог цього поняття використовується термін „приплив коштів”); та негативний грошовий потік, що характеризує сукупність виплат коштів підприємством (або "відплив коштів").

Валовий грошовий потік характеризує всю сукупність витрат чи надходжень коштів у певному періоді часу в розрізі окремих його інтервалів; а чистий грошовий потік характеризує різницю між позитивним і негативним грошовими потоками (між надходженням і витратою коштів) у визначеному періоді часу в розрізі окремих його інтервалів. Чистий грошовий потік є найважливішим результатом фінансової діяльності. Сума чистого грошового потоку може характеризуватися як позитивною, так і негативною величинами, що визначають кінцевий результат відповідної господарської діяльності підприємства.

В проектному аналізі використовують грошовий потік (ГП), який створюється чистим прибутком від проекту та неявними надходженнями. Адаже до вигід проекту відносять не лише чистий прибуток, а й ті надходження, які не завжди є очевидними (явними). Класичним прикладом неявних надходжень є амортизаційні відрахування. Їх найбільший вплив на величину грошового потоку, а механізм впливу залежить від методу нарахування амортизації, обумовлений тим, що:

- амортизація є найбільшою статтею витрат;
- амортизація знижує податкове зобов'язання;
- амортизація – це негрошові витрати, оскільки готівкові гроші не залишають підприємств.

Найвживанішим показником ефективності проектів є чиста теперішня вартість – ЧТВ (NPV – *Net Present Value*). Її ще часто називають чиста сьогодення вартість або приведена вартість.

**Чиста теперішня вартість** – сумарна сьогодення вартість чистих грошових потоків, або різниця між сумарною вартістю дисконтованих

(приведених) доходів та сумарною вартістю дисконтованих (приведених) витрат.

Якщо реалізація проекту забезпечує у році  $t$  доход в сумі  $B_t$  (грн.) та вимагає витрат в сумі  $C_t$  (грн.), то ЧТВ (грн.) дорівнює:

$$ЧТВ = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}, \quad \text{або} \quad ЧТВ = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}, \quad (1.1)$$

де  $i$  – % ставка дисконтування;  $T$  – життєвий цикл проекту, років.

Або для проектів з ординарними грошовими потоками:

$$ЧТВ = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} - KB, \quad (1.2)$$

де  $KB$  – капітальні витрати, грн.

Логіка використання даного показника наступна:

– якщо  $ЧТВ > 0$ , то проект вважається ефективним і його реалізація призведе до зростання добробуту його власників,

– якщо  $ЧТВ = 0$  – надходження проекту покривають витрати та не забезпечують зростання вартості підприємства, але водночас реалізація проекту є привабливою з точки зору збільшення обсягів виробництва, розширення ринку тощо,

– якщо  $ЧТВ < 0$  – проект збитковий і у випадку його реалізації підприємство зазнає втрат.

Ставка дисконту, при якій  $ЧТВ=0$  називається внутрішньою нормою рентабельності проекту ВНР, ( $IRR$  – *Internal Rate of Return*). ВНР – ще один з найпоширеніших показників ефективності проекту. Економічний зміст ВНР наступний: вона відображає максимальний процент за позиками, які можна платити за використання необхідних ресурсів, залишаючись при цьому на беззбитковому рівні. Значення ВНР може трактуватись і як нижній гарантований рівень прибутковості проекту.

Логіка використання ВНР досить проста: проект рекомендується приймати, якщо внутрішня норма рентабельності більша за вартість джерела фінансування. Інакше, коли вартість капіталу, що використовується для проекту, більша за ВНР, то проект є збитковим і від нього слід відмовитись. Якщо проект здійснюють тільки за рахунок залучених коштів і кредит отриманий за ставкою  $i$ , то різниця  $(ВНР - i)$  показує ефект інвестицій у проект. При  $i=ВНР$  сумарні дисконтовані вигоди дорівнюють сумарним дисконтованим витратам, доходи тільки повертають інвестиції, а при  $ВНР < i$  проект є збитковим

Важливою перевагою показника ЧТВ є його адитивність у просторі та часі, тобто ЧТВ різних проектів можна безпосередньо сумувати з

метою визначення привабливості інвестиційного портфеля. При порівнянні проектів, як правило, обирають той, який має більше значення чистої теперішньої вартості.

З формули розрахунку чистої теперішньої вартості видно, що ефективність проекту залежить від параметрів двох видів. Перший залежить безпосередньо від проекту, об'єктивно характеризує інвестиційний та виробничі процеси. Це витрати та доходи проекту. Другий визначається ринком і не коригується проектом. Це відсоткова ставка. Тому доцільним є аналіз залежності ЧТВ від ставки дисконтування

### Завдання

Визначити доцільність впровадження проекту модернізації об'єкта з паралельним зниженням енергоспоживання. Термін експлуатації об'єкта – 5 років. Вихідні дані наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для розрахунку доцільність впровадження проекту модернізації об'єкта з паралельним зниженням енергоспоживання

Варіант	Капітальні витрати, (тис. грн.)	Знос устаткування, %	Поточні витрати наростаючим підсумком по роках, %					Коефіцієнт рентабельності інвестиційного капіталу, %	Ставка податку на прибуток, %	Виторг від реалізації продукції за роками, (тис. грн.)				
			1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
1	120	21	31	32	33	34	35	22	31	67	74	83	81	61
2	200	20	30	31	32	33	34	20	30	65	84	81	71	61
3	150	19	29	30	31	32	33	23	32	63	78	83	79	60
4	180	22	33	34	35	36	37	21	33	69	77	85	80	59
5	210	18	34	35	36	37	38	19	29	66	79	82	80	58
6	170	20	31	32	33	34	35	22	31	67	74	83	81	61
7	220	21	30	31	32	33	34	20	30	65	84	81	71	61
8	110	22	29	30	31	32	33	23	32	63	78	83	79	60
9	140	19	33	34	35	36	37	21	33	69	77	85	80	59
10	160	18	34	35	36	37	38	19	29	66	79	82	80	58

### Приклад виконання завдання

Визначити доцільність впровадження проекту модернізації об'єкта з паралельним зниженням енергоспоживання за наступними даними: капітальні витрати – 100 тис.грн.; термін експлуатації – 5 років; знос устаткування – 20% річних; поточні витрати наростаючим підсумком 1% за рік, починаючи з 34% від суми інвестицій; коефіцієнт рентабельності інвестиційного капіталу – 20%; ставка податку на прибуток – 30%; виторг від реалізації продукції за роками 68, 74, 82, 80, 60 тис.грн

Таблиця 1.2 – Вихідні дані для розрахунку прикладу

Показники, тис.грн.	Роки				
	1	2	3	4	5
Капітальні витрати		100	0	00	0
Виторг від реалізації	68	74	82	80	60
Експлуатаційні витрати	34	35	36	37	38
Знос (амортизація)	20	20	20	20	20
Балансовий прибуток	14	19	26	23	2
Податок на прибуток	4,2	5,7	7,8	6,9	0,6
Чистий прибуток	9,8	13,3	18,2	16,1	1,4
Чисті грошові потоки	29,8	33,3	38,2	36,1	21,4

Розрахунок Чистих дискontованих грошових потоків (ЧПП) виконуємо для ставки дисконтну 10% та 20%

Таблиця 1.3 – Розрахунок чистих дискontованих грошових потоків

Роки	Чисті грошові потоки	Чисті дискontовані грошові потоки	
		$\alpha = 10\%$	$\alpha = 20\%$
1	29,8	27,09	24,83
2	33,3	27,52	23,13
3	38,2	28,70	22,11
4	36,1	24,66	17,41
5	21,4	13,29	8,60
Всього		121,26	96,07

ЧПП ( $\alpha = 10\%$ ) = 121,26 – 100 = 21,26 тис.грн.

ЧПП ( $\alpha = 20\%$ ) = 96,07 – 100 = -3,93 тис.грн. – неприйнятний

Індекс доходності ІД = 96,07/100 = 0,96 < 1 – неприйнятний

Внутрішня норма прибутку

$$BHP = 10 + \frac{21,26 \cdot (20 - 10)}{21,26 - (-3,93)} = 18,44\%$$

Розрахунки показують, що даний проект може бути прийнятним лише при ставці дисконтну, що не перевищує 18,44%.



## Практична робота № 2

### Визначення зменшення кількості парникових газів за рахунок економії мазуту на металургійному підприємстві

Компанія Hofors Energy AB у Швеції постачає загалом 130 ГВт-год енергії для компанії Ovako Hofors і для населення м. Хофорс. Третину цієї енергії постачають у вигляді пари, а решту – у вигляді гарячої води. Використання вторинного тепла забезпечує додаткову економію мазуту в  $N \text{ м}^3$  на рік. На скільки знижуються викиди парникових газів і сажі на рік для компанії Ovako Hofor?

Показники емісії забруднюючих речовин:

$$k_{\text{NO}_x} = 64,311 \text{ г/ГДж};$$

$$k_{\text{CO}} = 318,4 \text{ г/ГДж};$$

$$k_{\text{CO}_2} = 76662,63 \text{ г/ГДж};$$

$$k_{\text{N}_2\text{O}} = 0,6 \text{ г/ГДж};$$

$$k_{\text{CH}_4} = 3,0 \text{ г/ГДж};$$

$$k_{\text{HМЛОС}} = 10,0 \text{ г/ГДж};$$

$$k_{\text{сажі}} = 405,81 \text{ г/ГДж};$$

$$k_{\text{SO}_2} = 500,26 \text{ г/ГДж}.$$

Нижча робоча теплота згорання палива –  $Q_r$ .

Витрата палива на рік –  $B$  (т)

Таблиця 2.1 – Вихідні дані


Варіант	Витрата мазуту, $\text{м}^3$	Густина мазуту, $\text{г/см}^3$	Теплота згорання палива, $\text{МДж/кг}$
1	6000	0,91	39,4
2	10000	0,89	40,7
3	4000	0,94	40,2
4	12000	0,93	39,8
5	9000	1,00	40,0
6	7000	0,97	40,1
7	11000	0,96	40,3
8	8500	0,95	40,6
9	7800	0,98	40,5
10	11500	1,10	40,0

#### **Приклад виконання завдання.**

Витрата мазуту за рік при роботі печей складає:  $B = 14,2$  т.

1. Валовий викид оксидів азоту:

$$E_{\text{NO}_x} = 10^{-6} \times k_{\text{NO}_x} \times Q_r \times B = 10^{-6} \times 64,311 \times 38,78 \times 14,2 = 0,035 \text{ т}.$$



2. Валовий викид діоксиду сірки:

$$E_{SO_2} = 10^{-6} \times k_{SO_2} \times Q_r \times B = 10^{-6} \times 500,26 \times 38,78 \times 14,2 = 0,275 \text{ т.}$$

3. Валовий викид оксиду вуглецю:

$$E_{CO} = 10^{-6} \times k_{CO} \times Q_r \times B = 10^{-6} \times 318,4 \times 38,78 \times 14,2 = 0,175 \text{ т.}$$

4. Валовий викид оксиду азоту:

$$E_{N_2O} = 10^{-6} \times k_{N_2O} \times Q_r \times B = 10^{-6} \times 0,6 \times 38,78 \times 14,2 = 0,0003 \text{ т.}$$

5. Валовий викид метану:

$$E_{CH_4} = 10^{-6} \times k_{CH_4} \times Q_r \times B = 10^{-6} \times 3,0 \times 38,78 \times 14,2 = 0,0016 \text{ т.}$$

6. Валовий викид діоксиду вуглецю:

$$E_{CO_2} = 10^{-6} \times k_{CO_2} \times Q_r \times B = 10^{-6} \times 76662,63 \times 38,78 \times 14,2 = 42,216 \text{ т.}$$

7. Валовий викид речовин у вигляді суспендованих твердих частинок (сажа):

$$E_{сажі} = 10^{-6} \times k_{сажі} \times Q_r \times B = 10^{-6} \times 405,81 \times 38,78 \times 14,2 = 0,223 \text{ т.}$$

8. Валовий викид неметанових летких органічних сполук (НМЛОС):

$$E_{НМЛОС} = 10^{-6} \times k_{НМЛОС} \times Q_r \times B = 10^{-6} \times 10,0 \times 38,78 \times 14,2 = 0,006 \text{ т.}$$



**Практична робота № 3**  
**Розрахунок ефективності впровадження енергоефективного**  
**проєкту з урахуванням впливу погодних умов для фонду**  
**будівель гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК)**

**Завдання.**

Порівняти енергоспоживання за два роки з приведенням енергоспоживання до нормативних умов.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для виконання роботи

Варіант	Середня температура		Кількість теплоти витрачено на опалення групи будівель ГЗК, Гкал			
	2018	2019	2018		2019	
			Лабораторія	Адм. буд.	Лабораторія	Адм. буд.
1	+2	-6	11000	15000	12000	17000
2	0	-4	9000	14000	13000	15000
3	-2	-8	13000	17000	15000	18000
4	+1	-5	9500	12000	14000	16000
5	+4	-2	8600	10000	10000	11500
6	0	-3	12000	10500	11600	13500
7	-1	-5	13500	14500	13800	17500
8	-3	-7	14500	16000	15800	18500

**Приклад виконання завдання.**

В лютому 2018 р. на опалення групи будівель (ГЗК) витрачено 24000Гкал теплоти.

З них по групах споживачів:

- лабораторія ( $t_{вн} = 20^{\circ}\text{C}$ ) – 10000 Гкал,
- адміністративні будинки ( $t_{вн}=18^{\circ}\text{C}$ ) – 14000 Гкал.

В лютому 2019 р. після реалізації проєкту було витрачено 26000 Гкал, тобто на 8% більше.

З них:

- лабораторія ( $t_{вн} = 20^{\circ}\text{C}$ ) – 11000 Гкал,
- адміністративні будинки ( $t_{вн} = 18^{\circ}\text{C}$ ) – 15000 Гкал.


Середня температура зовнішнього повітря:

- в лютому 2018 р.  $+3^{\circ}\text{C}$ ,
- в лютому 2019 р.  $-5^{\circ}\text{C}$ .

Градусо-доби визначаються за формулою:

$$ГД_{норм} = (t_{вн} - t_3) \times K_{діб. \text{міс}}$$

1. Кількість градусо-діб „нормативного року” визначається для різних груп споживачів, що відрізняються між собою розрахунковою температурою внутрішнього повітря  $t_{вн}$ :



при  $t_{\text{вн}} = 20^{\circ}\text{C}$ :  $\text{ГД}_{\text{норм}} = (20 - (-3,6)) \times 28 = 661$  гр-днів;  
при  $t_{\text{вн}} = 18^{\circ}\text{C}$ :  $\text{ГД}_{\text{норм}} = (18 - (-3,6)) \times 28 = 605$  гр-днів.

2. Кількість градусо-днів в лютому 2018 року:

при  $t_{\text{вн}} = 20^{\circ}\text{C}$ :  $\text{ГД}_{2018} = (20 - 3) \times 28 = 476$  гр-днів;

при  $t_{\text{вн}} = 18^{\circ}\text{C}$ :  $\text{ГД}_{2018} = (18 - 3) \times 28 = 420$  гр-днів.

3. Кількість градусо-днів в лютому 2019 року:

при  $t_{\text{вн}} = 20^{\circ}\text{C}$ :  $\text{ГД}_{2019} = (20 - (-5,0)) \times 28 = 700$  гр-дн;

при  $t_{\text{вн}} = 18^{\circ}\text{C}$ :  $\text{ГД}_{2019} = (18 - (-5,0)) \times 28 = 644$  гр-дн.

4. Приведене теплоспоживання в лютому 2018 року:

а) при  $t_{\text{вн}} = 20^{\circ}\text{C}$  (лабораторія):

$Q_{\text{норм прив}} = Q_{\text{факт}} \times \text{ГД}_{\text{норм}} / \text{ГД}_{\text{факт}} = 10000 \times 661 / 476 = 13887$  Гкал,

б) при  $t_{\text{вн}} = 18^{\circ}\text{C}$  (адміністративні будинки):

$Q_{\text{норм прив}} = Q_{\text{факт}} \times \text{ГД}_{\text{норм}} / \text{ГД}_{\text{факт}} = 14000 \times 605 / 420 = 20167$  Гкал.

5). Приведене теплоспоживання в лютому 2019 року:

а) при  $t_{\text{вн}} = 20^{\circ}\text{C}$  (лабораторія):

$Q_{\text{норм прив}} = Q_{\text{факт}} \times \text{ГД}_{\text{норм}} / \text{ГД}_{\text{факт}} = 11000 \times 661 / 700 = 10387$  Гкал,

б) при  $t_{\text{вн}} = 18^{\circ}\text{C}$  (адміністративні будинки):

$Q_{\text{норм прив}} = Q_{\text{факт}} \times \text{ГД}_{\text{норм}} / \text{ГД}_{\text{факт}} = 15000 \times 605 / 644 = 14092$  Гкал.

6) Ефективність по методу приведенного теплоспоживання:

Для лабораторії:  $13887 - 10387 = 3500$  Гкал,

або  $13887 - 10387 / 13887 = 25\%$

Для адміністративних будинків:  $20167 - 14092 = 6075$  Гкал,

або  $20167 \times 14092 / 20167 = 30\%$ .

**Відповідь:** економія від реалізації проекту складає:

- для лабораторії – 25%;

- для адміністративних будівель – 30%.



## Практична робота № 4. Аналіз ефективності переробки відходів

Відходи виробництва (промислові відходи) — це всеохоплюючий термін позначає відходи, що утворюються в результаті промислової діяльності – матеріали, які вважаються такими, що більше не використовуються після завершення виробничого процесу. Особливістю структури утворення відходів в Україні, у зв'язку з сировинною орієнтацією економіки, є висока частка у їх складі відходів добувної промисловості (розкритих порід та продуктів збагачення корисних копалин – шлаків, хвостів тощо) – понад 85%.

Особливістю структури утворення відходів в Україні, у зв'язку з сировинною орієнтацією економіки, є висока частка у їх складі відходів добувної промисловості (розкритих порід та продуктів збагачення корисних копалин – шлаків, хвостів тощо) – понад 85%.

До відходів видобутку корисних копалин відносяться породи, що попутно добуваються – розкриті, шахтні, вміщуючі. Основна маса порід утворюється при видобутку руд чорних і кольорових металів.

Різні відходи утворюються при переробці сировинного концентрату в продукцію на кожній технологічній операції в результаті фізико-хімічних процесів, що протікають при звичайних чи високих температурах. На деяких підприємствах утворюється більш 200 найменувань відходів основного і допоміжного виробництва, наприклад, доменні, феросплавні і сталеплавильні шлаки, зола, паливні шлаки, фуси, кисла смолка, кислі гудрони та ін.

Переробка (перероблення) відходів (також вторинна переробка, ресайклінг (*англ.* – recycling), рециркулювання й утилізація відходів) — будь-які технологічні операції, пов'язані зі зміною фізичних, хімічних або біологічних властивостей відходів, з метою підготовки їх до екологічно безпечного зберігання, перевезення та переробки чи утилізації.

Існують різні технології утилізації необробленої біомаси, з яких найпоширенішою і наразі найбільш комерціалізованою та економічно доцільною є пряме спалювання первинної біомаси в котлах для виробництва теплової та електричної енергії.

Піроліз, або теплова деградація (від «піро» – вогонь, і «лізис» – розчинення), означає «розчинення вогнем» (так само «гідроліз», «електроліз») – хімічна реакція, під час якої органічні сполуки розпадаються.

У вузькому сенсі, піроліз – розкладання органічних природних сполук (деревини, нафтопродуктів тощо) за нестачі кисню. Піроліз може визначатися як високотемпературний (750–800°C) термоліз вуглеводнів, що проводиться за низького тиску і малої тривалості.

У широкому сенсі під піролізом розуміють високотемпературний термоліз органічних сполук.

В найширшому розумінні – розкладання будь-яких сполук на складові легш молекули або хімічні елементи під дією підвищеної температури. Так, наприклад, телуроводень розкладається на водень і телур вже при температурі близько 0°C.

Характерні реакції при піролізі – розщеплення вуглець-вуглецевих зв'язків. Розщеплення складних органічних сполук відбувається при високій температурі під час відсутності кисню або киснево-дефіцитній атмосфері, щоб уникнути окиснення і горіння (операції не виробляють полум'я). Піролізу передуює дегідрогенізація — зневоднення органічної сировини. Коли тепло використовується в описаних вище умовах для розриву складних органічних ланцюгів молекули і це відбувається у воді, то це називають «тепловою деполімеризацією», а не піролізом.

Піроліз не варто плутати із піросинтезом – утворення нових сполук під дією тепла. Піроліз не слід плутати з «згорянням» (або спалюванням) – процеси окиснення-відновлення досягнуті в присутності кисню; та «газифікацією», яка являє собою процес, який перетворює вуглецеві матеріали або органічні в синтез-газ, що складаються в основному з окису вуглецю (CO) і водню (H<sub>2</sub>)

### Завдання.

Розрахувати ефективність утилізації різних видів відходів (осад від очистки стічних вод, опіл деревний і тверді побутові відходи) за допомогою піролізної установки. Заповнити звітну таблицю 4.1. Оцінити енергоефективність піролізної установки та зробити висновок.

Вихідні дані для розрахунку представлені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані до практичної роботи

Найменування відходів	$M_p$ , г	$M_m$ , г	$M_{пф}$ , г	$M_{кф}$ , г	$M_{пс}$ , г	$M_{кс}$ , г*	$V_p$ , дм <sup>3</sup>	$V_k$ , дм <sup>3</sup>	$W_p$ , кВт-год	$W_k$ , кВт-год
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
Тверді побутові відходи	200	20,8	2,1	9,2	401,1	462,0	911,1	1059	454,9	455,7

Примітка. В завданні величина  $M_{кс}$  розраховується як сума величини  $M_{кс}$ , з табл. 4.1 та поправки за варіантом з табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Величина поправки до параметру  $M_{кс}$

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Поправка для $M_{кс}$	+10	+13	+7	+12	+9	+13	+8	+12	+16	+20	+5	+6	+9	+11	+14

Співвідношення газів у газовій суміші при піролізі:

– опілу деревного: C<sub>H2</sub> – 46%, C<sub>CO</sub> – 46%, C<sub>CH4</sub> – 3%, C<sub>CO2</sub> – 5%

- осаду від очистки стічних вод:  $C_{H_2} - 63\%$ ,  $C_{CO} - 30\%$ ,  $C_{CH_4} - 4\%$ ,  $C_{CO_2} - 3\%$
- твердих побутових відходів:  $C_{H_2} - 48\%$ ,  $C_{CO} - 40\%$ ,  $C_{CH_4} - 6\%$ ,  $C_{CO_2} - 6\%$

**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:

$$M_n = M, \text{ г}, \quad (4.1)$$

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:

$$M = \sum_{i=1}^n M_i, \text{ г}. \quad (4.2)$$

Відхилення ( $\sum_{i=1}^n M_i, \%$ ) 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:

$$\sum_{i=1}^n M_i = M_m + M_p + M_e, \text{ г}, \quad (4.3)$$

де  $M_m$  – кінцева маса твердої фази, г;

$M_p$  – маса рідкої фази, г;

$M_e$  – маса газу, що утворився, г.

**Маса рідкої фази** визначається зі співвідношення:

$$M_p = M_{kc} - M_{nc} + M_{kf} - M_{pf}, \text{ г}, \quad (4.4)$$

де  $M_{kc}$  – кінцева маса сепаратора (колби), г;

$M_{nc}$  – початкова маса сепаратора (колби), г;

$M_{kf}$  – кінцева маса фільтра, г;

$M_{pf}$  – початкова маса фільтра, г (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Характеристики продуктів піролізу

Найменування відходів	$M_{п,}$ Г	$M_{т,}$ Г	$M_{пф,}$ Г,	$M_{кф,}$ Г	$M_{пс,}$ Г	$M_{кс,}$ Г	$V_{п,}$ дм <sup>3</sup>	$V_{к,}$ дм <sup>3</sup>	$W_{п,}$ кВт- год	$W_{к,}$ кВт- год
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
Тверді побутові відходи	200	20,8	2,1	9,2	401,1	462,0	911,1	1059	454,9	455,7

**Маса газу** визначається за формулою:

$$M_g = V_g \cdot \rho_g, \text{ Г} \quad (4.5)$$

де  $V_g$  – обсяг газу, що утворився, дм<sup>3</sup>;  
 $\rho_g$  – щільність газу, що утворився, г/дм<sup>3</sup>.

Обсяг газу, що утворився, буде дорівнювати:

$$V_g = V_k - V_{п,} \text{ дм}^3, \quad (4.6)$$

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

Щільність газу визначається сумарною щільністю всіх його компонентів:

$$\rho_g = \rho_{H_2} \cdot \frac{C_{H_2}}{100} + \rho_{CO} \cdot \frac{C_{CO}}{100} + \rho_{CH_4} \cdot \frac{C_{CH_4}}{100} + \rho_{CO_2} \cdot \frac{C_{CO_2}}{100}, \text{ г/дм}^3, \quad (4.7)$$

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. 4.4);

$C_{H_2}$ ,  $C_{CO}$ ,  $C_{CH_4}$ ,  $C_{CO_2}$  – об'ємна концентрація водню, оксиду вуглецю, метану і діоксиду вуглецю відповідно, %, (значення наведені у табл. 4.5).

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

Таблиця 4.4 – 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 4.5 – 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

**Питомий вихід газу** може бути розрахований за формулою:

$$\omega_g = \frac{M_g}{M_{п}} \cdot 100, \% \quad (4.8)$$

де  $M_g$  – маса газу, що утворився, г;  
 $M_{п}$  – початкова маса перероблюваного матеріалу (маса навіски), г.

Розрахунок **питомого виходу рідкої фази** здійснюється наступним чином:

$$\omega_p = \frac{M_p}{M_{п}} \cdot 100, \% \quad (4.9)$$

де  $M_p$  – маса рідкої фази, г.

Питомий **вихід твердої речовини** розраховується за формулою:

$$\omega_m = \frac{M_m}{M_{п}} \cdot 100, \% \quad (4.10)$$

де  $M_m$  – маса твердої фази, г.

Ступінь переробки відходів оцінюється наступним чином:

$$S = 100 - \omega_m, \% \quad (4.11)$$

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

$$Q = \left[ 25,7 \cdot \frac{C_{H_2}}{100} + 30,2 \cdot \frac{C_{CO}}{100} + 85,55 \cdot \frac{C_{CH_4}}{100} \right] \cdot 1000, \text{ ккал/м}^3 \quad (4.12)$$

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

$$E = \frac{Q \cdot V_e \cdot K_{\Pi}}{W_k - W_{\Pi}}, \quad (4.13)$$

де  $K_{\Pi}$  – коефіцієнт переведення ( $K_{\Pi}=0,001163$ , Вт·год/ккал);  
 $W_{\Pi}$  – початкове значення лічильника, кВт·год;  
 $W_k$  – кінцеве значення електrolічильника, кВт·год.

### Приклади виконання завдань

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.

#### Приклад виконання завдання 1.

##### Опіл деревний

Маса рідкої фази (4.4):

$$M_p = M_{кс} - M_{пс} + M_{кф} - M_{пф} = 708,2 - 650,1 + 7,2 - 1,1 = 64,2 \text{ г.}$$

Обсяг газу, що утворився (4.6):

$$V_e = V_k - V_{\Pi} = 1066 - 932 = 134 \text{ дм}^3.$$

Щільність газу визначаємо за сумарною щільністю компонентів (4.7):

$$\begin{aligned} \rho_r &= \rho_{\text{H}_2} \cdot \frac{C_{\text{H}_2}}{100} + \rho_{\text{CO}} \cdot \frac{C_{\text{CO}}}{100} + \rho_{\text{CH}_4} \cdot \frac{C_{\text{CH}_4}}{100} + \rho_{\text{CO}_2} \cdot \frac{C_{\text{CO}_2}}{100} = \\ &= 0,0893 \cdot \frac{44}{100} + 1,25 \cdot \frac{48}{100} + 0,7143 \cdot \frac{4}{100} + 1,9643 \cdot \frac{4}{100} = 0,746 \text{ г/дм}^3, \end{aligned}$$

де  $C_{\text{H}_2}$ ,  $C_{\text{CO}}$ ,  $C_{\text{CH}_4}$ ,  $C_{\text{CO}_2}$  – відсоток газу у суміші

Маса газу (4.5):

$$M_e = V_e \cdot \rho_e = 134 \cdot 0,746 = 100,1 \text{ г.}$$

Далі проводимо розрахунок кількості продуктів піролізу (4.3), що утворилися (питомий вихід газової, рідкої фази, ступінь переробки відходів). Відхилення розрахункової величини сумарної маси від маси, завантаженої в установку, не повинно перевищувати 10 %:

$\sum_{i=1}^n M_i = M_m + M_p + M_e = 40,6 + 64,2 + 100,1 = 204,9 \text{ г}$  (умова виконується).

Питомий вихід газу (4.8):

$$\omega_r = \frac{M_r}{M_{\Pi}} \cdot 100 = \frac{100,1}{205} \cdot 100 = 48,82 \text{ \%}.$$

*Питомий вихід рідкої фази (4.9):*

$$\omega_p = \frac{M_p}{M_{\Pi}} \cdot 100 = \frac{64,2}{205} \cdot 100 = 31,31 \%$$

*Питомий вихід твердої речовини (4.10):*

$$\omega_T = \frac{M_T}{M_{\Pi}} \cdot 100 = \frac{40,6}{205} \cdot 100 = 19,8 \%$$

*Ступінь переробки відходів (4.11):*

$$S = 100 - \omega_T = 100 - 19,8 = 80,2\%$$

*Теплотворна здатність одержуваного газу (4.12):*

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

Енергоефективність роботи піролізної установки при спалюванні опілу деревного (13):

$$E = \frac{Q \cdot V_e \cdot K_{\Pi}}{W_k - W_{\Pi}} = \frac{29226 \cdot 0,134 \cdot 0,001163}{350,9 - 350,1} = 5,69 \text{ рази.}$$

**Приклад виконання завдання 2.**

***Осад від очищення стічних вод***

*Маса рідкої фази (4.4):*

$$M_p = M_{\text{кс}} - M_{\text{пс}} + M_{\text{кф}} - M_{\text{пф}} = 456,6 - 420,7 + 4,0 - 1,3 = 39,3 \text{ г.}$$

*Обсяг газу, що утворився (4.6):*

$$V_r = V_k - V_{\Pi} = 607,1 - 473 = 134,1 \text{ дм}^3.$$

*Щільність газу визначаємо за сумарною щільністю компонентів (4.7):*

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

*Маса газу (4.5):*

$$M_r = V_r \cdot \rho_r = 134,1 \cdot 0,55 = 73,75 \text{ г.}$$

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

$$\sum_{i=1}^n M_i = M_T + M_p + M_r = 290,0 + 39,3 + 73,75 = 403,05 \text{ г (умова виконується).}$$

*Питомий вихід газу (4.8):*

$$\omega_r = \frac{M_r}{M_{\Pi}} \cdot 100 = \frac{73,75}{405} \cdot 100 = 18,21 \%$$

*Питомий вихід рідкої фази (4.9):*

$$\omega_p = \frac{M_p}{M_{\Pi}} \cdot 100 = \frac{39,3}{405} \cdot 100 = 9,7 \%$$

*Питомий вихід твердої речовини (4.10):*

$$\omega_T = \frac{M_T}{M_{\Pi}} \cdot 100 = \frac{290,0}{405} \cdot 100 = 71,6 \%$$

*Ступінь переробки відходів (4.11):*

$$S = 100 - \omega_T = 100 - 71,6 = 28,4\%$$

*Теплотворна здатність одержуваного газу (4.12):*

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

*Енергоефективність роботи піролізної установки при спалюванні осаду від очищення стічних вод (4.13):*

$$E = \frac{Q \cdot V_e \cdot K_{\Pi}}{W_k - W_{\Pi}} = \frac{27907,5 \cdot 0,1341 \cdot 0,001163}{400,1 - 399,2} = 4,83 \text{ рази.}$$

### **Приклад виконання завдання 3**

#### ***Тверді побутові відходи***

*Маса рідкої фази (4.4):*

$$M_p = M_{kc} - M_{пс} + M_{кф} - M_{пф} = 462,0 - 401,1 + 9,2 - 2,1 = 68,0 \text{ г.}$$

*Обсяг газу, що утворився (4.6):*

$$V_e = V_k - V_{\Pi} = 1059 - 911,1 = 147,9 \text{ дм}^3.$$

*Щільність газу визначаємо за сумарною щільністю компонентів (4.7):*

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

*Маса газу (4.5):*

$$M_e = V_e \cdot \rho_e = 147,9 \cdot 0,75 = 110,93 \text{ г.}$$

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

$$\sum_{i=1}^n M_i = M_m + M_p + M_e = 20,8 + 68,0 + 110,93 = 199,73 \text{ г (умова виконується).}$$

Питомий вихід газу (4.8):

$$\omega_g = \frac{M_g}{M_{\text{п}}} \cdot 100 = \frac{110,93}{200} \cdot 100 = 55,46 \%$$

Питомий вихід рідкої фази (4.9):

$$\omega_p = \frac{M_p}{M_{\text{п}}} \cdot 100 = \frac{68,0}{200} \cdot 100 = 34,00 \%$$

Питомий вихід твердої речовини (4.10):

$$\omega_m = \frac{M_m}{M_{\text{п}}} \cdot 100 = \frac{20,8}{200} \cdot 100 = 10,4 \%$$

Ступінь переробки відходів (4.11):

$$S = 100 - \omega_m = 100 - 10,4 = 89,6 \%$$

Теплотворна здатність одержуваного газу (4.12):

$$Q = [25,7 \cdot \frac{C_{\text{H}_2}}{100} + 30,2 \cdot \frac{C_{\text{CO}}}{100} + 85,55 \cdot \frac{C_{\text{CH}_4}}{100}] \cdot 1000 = \\ = [25,7 \cdot \frac{45}{100} + 30,2 \cdot \frac{43}{100} + 85,5 \cdot \frac{5}{100}] \cdot 1000 = 28828,5 \text{ м}^3.$$

Енергоефективність роботи піролізної установки при спалюванні твердих побутових відходів (4.13):

$$E = \frac{Q \cdot V_g \cdot K_{\text{п}}}{W_k - W_{\text{п}}} = \frac{28828,5 \cdot 0,1479 \cdot 0,001163}{455,7 - 454,9} = 6,198 \text{ рази.}$$

Заносимо результати розрахунків до підсумкової табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Результати розрахунків

Найменування відходів	Питомий вихід газу $\omega_g$ , %	Питомий вихід рідкої фази $\omega_p$ , %	Питомий вихід твердої фази $\omega_m$ , %	Ступінь переробки відходів S, %	Енергоефективність, рази
Опіл деревний	48,82	31,31	19,8	80,2	5,68
Осад від очищення стічних вод	18,21	9,7	71,6	28,4	4,83
Тверді побутові відходи	55,46	34,0	10,4	89,6	6,198

**Висновок:** Піролізна установка найбільш ефективно утилізує тверді побутові відходи, оскільки при їх розкладанні твердий залишок складає лише 10,4 % від початкової кількості завантаженого матеріалу,

у порівнянні з опілом деревним й осадом стічних вод (19,8% та 71,6% відповідно).

**Ступінь** переробки ТПВ методом піролізу становить 89,6%. 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 4,83 до 6,198 разів.

Результати розрахунків заносяться у звітну таблицю 4.7

Таблиця 4.7 – Результати розрахунків

Найменування відходів	Питомий вихід газу $\omega_g, \%$	Питомий вихід рідкої фази $\omega_p, \%$	Питомий вихід твердої фази $\omega_t, \%$	Ступінь переробки і відходів $S, \%$	Енергоефективність, рази
Опіл деревний					
Осад від очищення стічних вод					
Тверді побутові відходи					

Після звітної таблиці треба зробити висновки.

## Практична робота №5

### Розрахунок об'єму та маси відходів при відкритій розробці залізистих кварцитів

#### Завдання

Встановити об'єм та масу відходів, якщо кар'єр з видобутку залізистих кварцитів має форму оберненого зрізаного конусу з початковим радіусом  $R$ , глибиною  $H$  та кутом нахилу уступів  $\alpha$ . Кількість корисного компонента в родовищі складає  $P$  відсотків, щільність відходів –  $3,0 \text{ г/см}^3$ . Вихідні дані наведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для виконання роботи

№ Вар.	Початковий радіус кар'єру $R$ , м	Глибина кар'єру $H$ , м	Кут нахилу уступів кар'єру $\alpha$ , град.	Кількість корисної копалини $P$ , %
1	400	400	70	32
2	380	240	62	36
3	420	290	79	33
4	360	250	63	35
5	440	270	76	32
6	480	280	71	35
7	390	260	72	33
8	370	240	61	37
7	450	250	75	31
8	390	280	70	30
9	410	275	60	35
10	490	290	64	31
11	455	265	73	33
12	550	275	71	34

#### Порядок виконання роботи

1. Побудувати поперечний переріз кар'єру у масштабі 1:1000
2. За формулою 5.1 розрахувати  $r$

$$r = R - h/\text{tg}\alpha \quad (5.1)$$

3. За формулою 5.2 встановити об'єм корисної копалини і відходів

$$V = 0,33 \cdot \pi \cdot h \cdot (r^2 + r \times R + R^2) \quad (5.2)$$

4. За формулою (5.3) розрахувати об'єм корисної копалини



$$V_p = V \cdot P, \quad (5.3)$$

де  $V_p$  – об'єм корисної копалини

$$V_v = V - V_p \quad (5.4)$$

де  $V_v$  – об'єм відходів

$$M = V_v \cdot d, \quad (5.5)$$

де  $d$  – щільність відходів,  $M$  – маса відходів

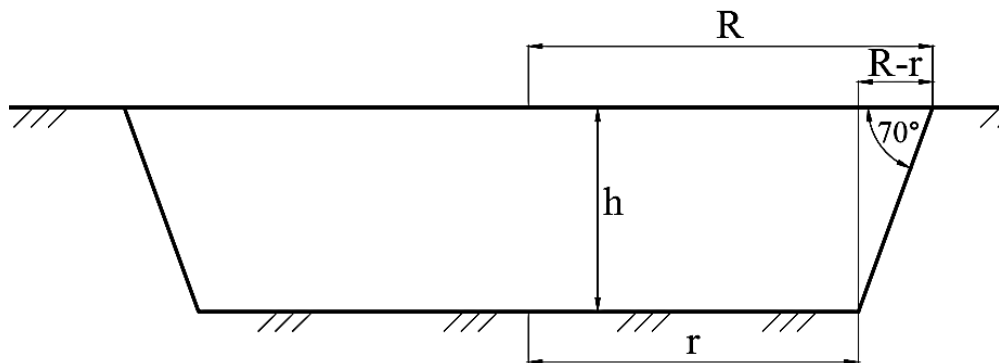


Рисунок 5.1 – Поперечний переріз кар'єру

4. Використовуючи щільність відходів та їх об'єм, розрахувати масу відходів.

#### Приклад виконання завдання

Встановити об'єм та масу відходів, якщо кар'єр з видобутку залізистих кварцитів має форму оберненого зрізаного конусу з початковим радіусом 500 м, глибиною 100 м та кутом нахилу уступів  $70^\circ$ . Кількість корисного компоненту в родовищі складає 40 відсотків, щільність відходів –  $3,0 \text{ г/см}^3$ .

$$r = R - h \cdot \text{tg}\alpha = 500 \text{ м} - 100 \text{ м}/2,75 = 463,6 \text{ м}.$$

$$V = 0,33 \cdot \pi \cdot h \cdot (r^2 + r \cdot R + R^2) = 0,33 \cdot 3,14 \cdot 100 \text{ м} \times \\ \times (214925 \text{ м}^2 + 231800 \text{ м}^2 + 250000 \text{ м}^2) = 72194644 \text{ м}^3.$$

$$V_p = V \cdot P = 72194644 \text{ м}^3 \cdot 0,4 = 28877857 \text{ м}^3.$$

$$V_v = V - V_p = 72194644 \text{ м}^3 - 28877857 \text{ м}^3 = 43316787 \text{ м}^3.$$

$$M = V_v \cdot d = 43316787 \text{ м}^3 \cdot 3,0 \text{ т/м}^3 = 12995035 \text{ т}.$$

#### Висновки

За час роботи кар'єру накопичилось 12995035 т відходів.



## Практична робота № 6. Розрахунок параметрів хвостосховища

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 огорожувальними 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 огорожувальних 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) [1,7].

### **Класифікація хвостосховищ.**

Залежно від рельєфу місцевості розрізняють типи хвостосховищ (рис. 6.1):

а) *балочні* – розміщують в балках або в ярах, що перегорожені дамбами;

б) *рівнинні* – 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;

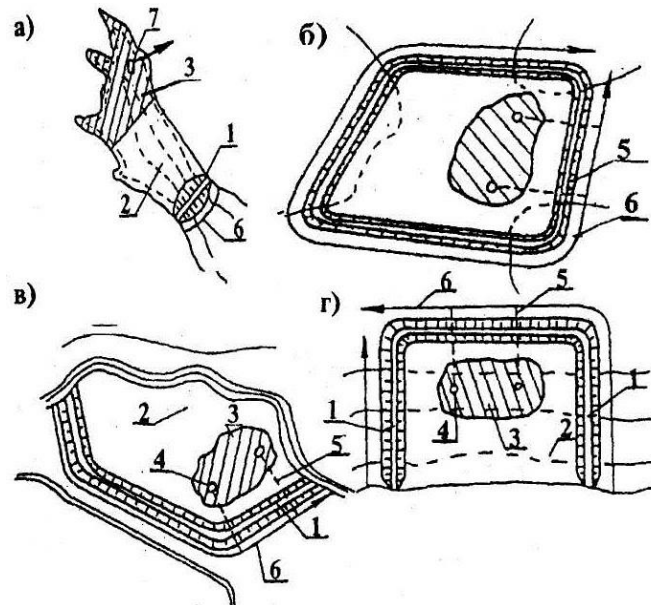
г) *косогірні*, які розміщують на ділянках, огорожених з трьох сторін дамбами, а з четвертої – самим косогором;

д) *котлованні*, які розміщують в котлованах старих кар'єрів, куди відходи складають без спорудження дамб [1,7].

Хвостосховища залежно від способу спорудження розділяють на:

а) *наливні*, в яких огорожувальну 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 [1,7].



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

Рисунок 6.1. – Типи хвостосховищ: а) балочне; б) рівнинне; в) заплавне; г) косогірне [1,7].

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

### **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.

Пульпа – це суміш твердих відходів з водою, основними характеристиками якої є консистенція, щільність частинок і гранулометричний склад хвостів [1,7].

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

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

$$\rho_p = (T + P) / (T/\rho_{ч.хв} + P/\rho_e), \text{т/м}^3, \quad (6.1)$$

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

Консистенція пульпи (Т:Р) 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.

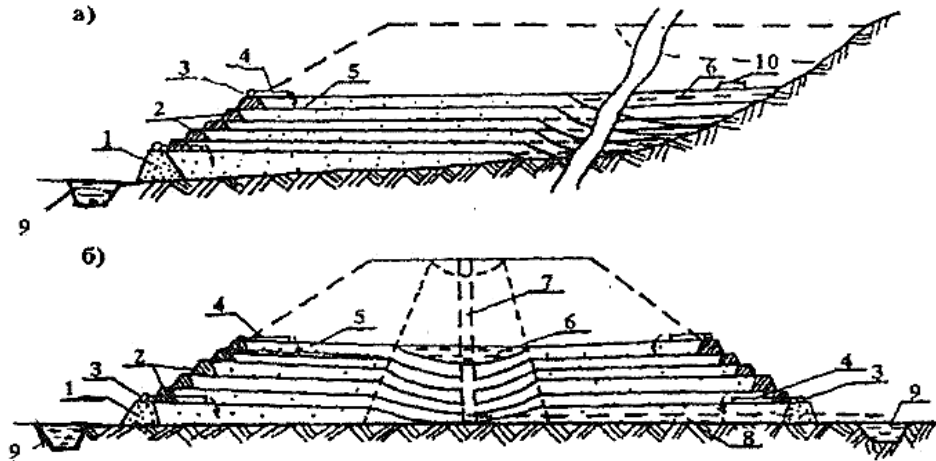
Надводним пляжем називають ділянку між огороджувальною дамбою та ставком-відстійником. На надводному пляжі відбувається фракціонування частинок хвостів за розміром і щільністю. На початку випуску відкладаються великі й важкі частинки відходів (які в подальшому використовують для спорудження вторинних 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. 6.2). При односторонньому заповненні скидання пульпи здійснюють від дамби до берегів (балочне хвостосховище), при кільцевому – по периметру дамби (рівнинне хвостосховище) [1,7].

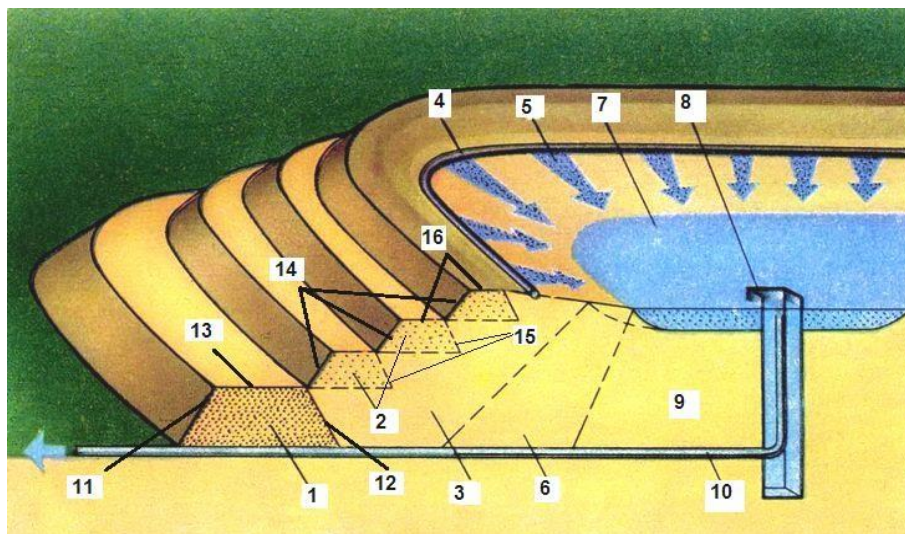
### **Огороджувальна дамба.**

У поперечному перерізі профіль дамби має вигляд трапеції, бокові сторони якої називають укосами. Укіс з боку хвостосховища називають верховим, із зовнішнього боку – низовим (рис. 6.3). Нахили укосів (відношення висоти до закладання укосу) залежать від висоти і матеріалів дамби, а також від її основи [1,7].



- 1 – первинна дамба; 2 – вторинна дамба;  
 3 – розподільчий пульповід; 4 – випуск;  
 5 – надводний пляж; 6 – ставок-відстійник;  
 7 – водоскидний колодязь; 8 – водоспускний колектор;  
 9 – збірна канава; 10 – плавуча насосна станція

Рисунок 6.2. – Схеми заповнення хвостосховища:  
 а) одностороннє заповнення балочного хвостосховища; б) кільцеве заповнення рівнинного 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

Рисунок 6.3. – Схема хвостосховища [1,7].

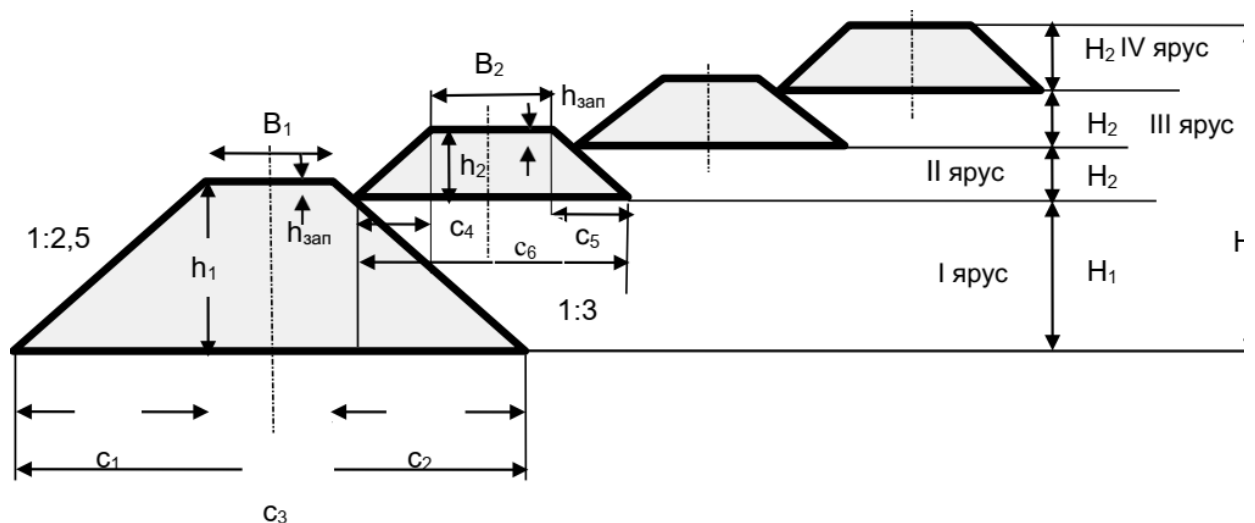
Закладання укосу – це проекція довжини укосу на горизонтальну площину. Верховий укіс як правило споруджують більш пологим, тому що він насичений водою майже на повну висоту.

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 [1,7].

Первинна дамба – це насип з природного матеріалу або з розкривної 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  $h_{зап}$  з урахуванням вітрового хвилеутворення, але не менше 0,5 м (рис. 6.4) [1,7].



$B_1$  – 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;  $h_{зап}$  – перевищення гребеня дамби над рівнем заповнення

Рисунок 6.4. – Поперечний переріз огорожувальної дамби [1,7].

### 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:

$$W = (G_{хв} \cdot t_e) / (\rho_{с.хв} \cdot K_{зап.}), м^3 \quad (6.2)$$

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>;  
 $K_{зап.}$  – коефіцієнт заповнення хвостосховища, який характеризує практичну можливість заповнення його геометричного об'єму [1,7].

Вихід хвостів буде складати:

$$G_{хв} = Q_{пза \text{ масою}} / (T + P), т, \quad (6.3)$$

де  $Q_{пза \text{ масою}}$  – витрата пульпи за масою, т/год.

У свою чергу,

$$Q_{пза \text{ масою}} = Q_{п} \cdot \rho_{п}, т/год, \quad (6.4)$$

де  $Q_{п}$  – 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. 6.5. [1,7].

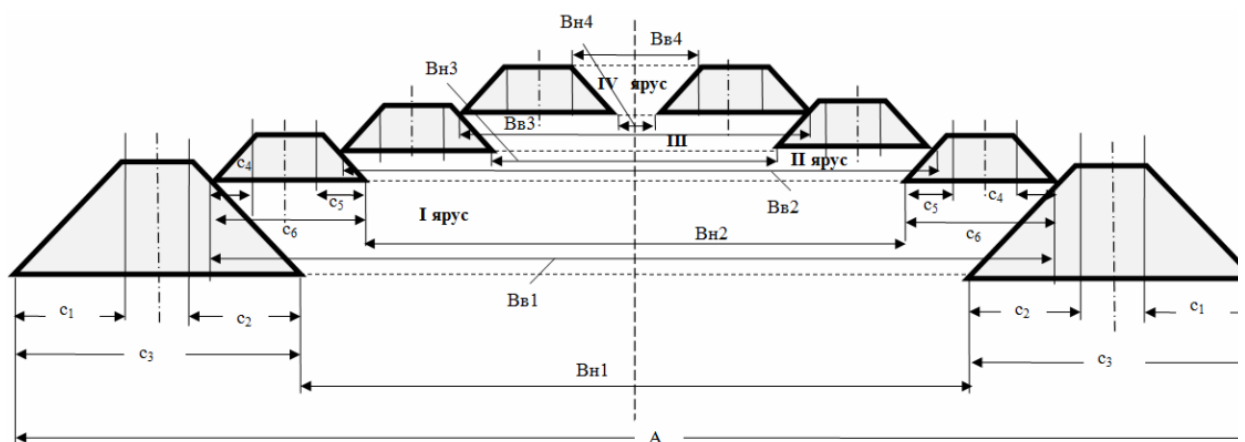


Рисунок 6.5. – Схематичний розріз хвостосховища [1,7].

## 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:

$$A = \sqrt{S}, \text{ м} \quad (6.5)$$

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 [1,7]. У такому випадку об'єм кожного ярусу хвостосховища визначають за формулою:

$$W = \frac{1}{3} \cdot H_i \cdot (S_{Hi} + S_{Bi} + \sqrt{S_{Hi} \times S_{Bi}}), \text{ м}^3 \quad (6.6)$$

де  $H_i$  – висота кожного ярусу, м;

$S_{Hi}$  і  $S_{Bi}$  – площі нижньої і верхньої основи кожного ярусу відповідно, які визначають за залежностями:

$$S_{Hi} = B_{Hi}^2, \text{ м}^2 \quad (6.7)$$

$$S_{Bi} = B_{Bi}^2, \text{ м}^2 \quad (6.8)$$

де  $B_{Hi}$  і  $B_{Bi}$  – розміри сторін нижньої і верхньої основи кожного ярусхвостосховища відповідно, м.

Необхідну кількість вторинних ярусів розраховують за формулою:

$$n = \frac{H - H_1 - h_{\text{зап}}}{H_2}, \text{ шт} \quad (6.9)$$

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 [1,7].

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

$$V_i = F_i \cdot L_{di}, \text{ м}^3 \quad (6.10)$$

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

$$L_{di} = 4 \cdot A_i, \text{ м} \quad (6.11)$$

де  $A_i$  – довжина однієї сторони дамби по її осі (рис. 6.6).

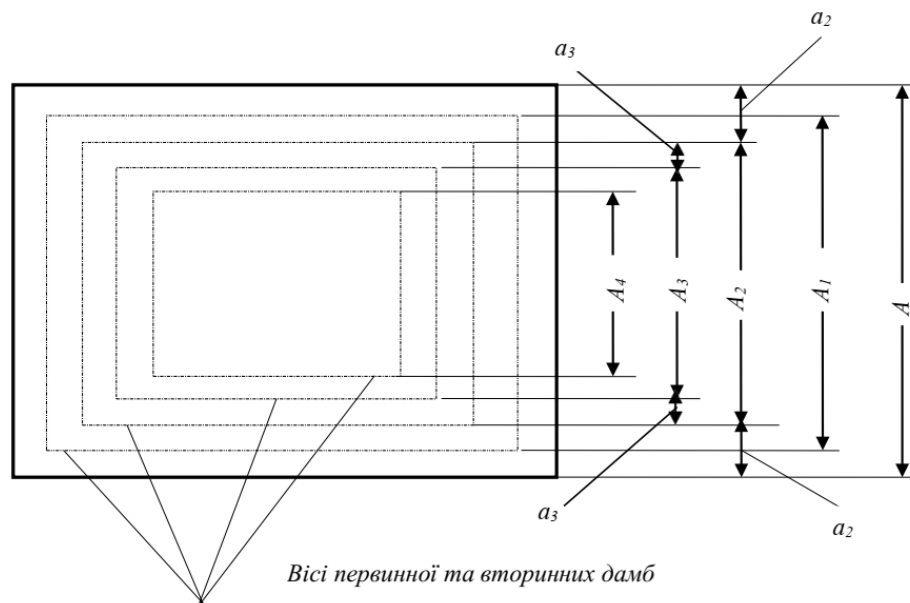


Рисунок 6.6. – Схематичний план хвостосховища

Отже сумарний об'єм кожного ярусу буде складати:

$$W_{ci} = W_i + V_i, \text{ м}^3 \quad (6.12)$$

Термін експлуатації кожного ярусу хвостосховища становить:

$$t_i = \frac{W_{ci} \cdot K_{\text{зап}} \cdot \rho_{\text{с.хв}}}{G_{\text{хв}}}, \text{ років} \quad (6.13)$$

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:

$$W_3 = \sum_{i=1}^n W_{ci}, \text{ м}^3 \quad (6.14)$$

$$V = \sum_{i=2}^n V_i, \text{ м}^3 \quad (6.15)$$

$$t_n = \sum_{i=1}^n t_i, \text{ років} \quad (6.16)$$

$$H = \sum_{i=1}^n H_i + h_{\text{зап}}, \text{ м} \quad (6.17)$$

де  $n$  – кількість ярусів 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:

$$W_3 \geq W; \quad (6.18)$$

$$t \geq t_c. \quad (6.19)$$

### 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. 6.1.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Значення за варіантом					
	1	2	3	4	5	6
Хвостосховище наливне (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 $Q_p$ , 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
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 $\rho_v$ , т/м <sup>3</sup>	1					
<b>Первинна дамба</b>						
природні суглинки						
висота $h_1$ , м	9,1	8,4	8,8	5,2	6,2	9,8
закладання низового укосу $m_n$	1:2,5	1:2,5	1:2,5	1:2,5	1:2,5	1:2,5
закладання верхового укосу $m_v$	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3
ширина по гребеню $b_1$ , м	7	6	5	4	3	8
<b>Вторинні дамби</b>						
по ярусно хвости						
висота $h_2$ , м	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	3
закладання низового укосу $m_n$	1:2,5	1:2,5	1:2,5	1:2,5	1:2,5	1:2,5
закладання верхового укосу $m_v$	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3
ширина по гребеню $b_1$ , м	7	6	5	4	3	8
Перевищення гребеня дамб над рівнем заповнення хвостосховища $h_{згл}$ , 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 намиті в хвостосховищі відсипані 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 $K_{згл}$	0,75	0,83	0,81	0,77	0,79	0,82

Продовження табл. 5.1.

Параметр	Значення за варіантом					
	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 $Q_p$ , м <sup>3</sup> /год	4500	3500	7000	5500	4500	4900
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 $\rho_v$ , т/м <sup>3</sup>	1					
<b>Первинна дамба</b>						
природні суглинки						
висота $h_1$ , м	9,2	8,7	6,8	5	6	7
закладання низового укосу $m_n$	1:2,5	1:2,5	1:2,5	1:2,5	1:2,5	1:2,5
закладання верхового укосу $m_v$	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3



ширина по гребеню $b_1$ , м	7	6	5	4	3	4
Вторинні дамби	по ярусно хвости					
висота $h_2$ , м	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,6
закладання низового укосу $m_n$	1:2,5	1:2,5	1:2,5	1:2,5	1:2,5	1:2,5
закладання верхового укосу $m_v$	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3
ширина по гребеню $b_1$ , м	7	6	5	4	3	4
Перевищення гребеня дамб над рівнем заповнення хвостосховища $h_{зап}$ , 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 хвостосховищі відсипані 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 $K_{зап}$	0,8	0,76	0,79	0,77	0,82	0,82

### Приклад виконання завдання

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. 6.2.

Таблиця 6.2 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення
Хвостосховище намивне (поступового заповнення) рівнинного типу, в плані має форму квадрата	
Площа земельної ділянки, що відведена під хвостосховище $S_{за}$	280
Термін експлуатації хвостосховища $t_e$ , роки	10
Висота огорожувальної дамби $H$ , м	17,5
Витрата пульпи $Q_p$ , 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 $\rho_v$ , т/м <sup>3</sup>	1
Первинна дамба	природні суєлини
висота $h_1$ , м	10
закладання низового укосу $m_n$	1:2,5
закладання верхового укосу $m_v$	1:3
ширина по гребеню $B_1$ , м	8
Вторинні дамби	по ярусно хвости
висота $h_2$ , м	3
закладання низового укосу $m_n$	1:2,5
закладання верхового укосу $m_v$	1:3
ширина по гребеню $B_2$ , м	8
Перевищення гребеня дамб над рівнем заповнення хвостосховища $h_{зап}$ , 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 $K_{зап}$	0,8

### Розв'язання прикладу:



$H_2 = h_2 - h_{\text{зап.}} = 3 - 0,5 = 2,5$  м, тобто висота ярусу  $H$  – це висота відповідної дамби, зменшена на перевищення дамби на рівнем заповнення на випадок вітрового хвилеутворення  $h_{\text{зап.}}$  (рис. 6.7).

## 2. Розрахунок хвостосховища першої черги (першого ярусу)

### 2.1. Визначення площі нижньої основи дамби першого ярусу):

$$S_{H1} = B_{H1}^2 = 1547,32^2 = 2394199,35 \text{ м}^2$$

$$B_{H1} = A - 2 \cdot C_3 = 1673,32 - 2 \cdot 63 = 1547,32 \text{ м},$$

тобто довжина сторони нижньої основи першого ярусу хвостосховища – це розмір сторони ділянки, яку займає хвостосховище  $A$ , зменшений на дві ширини нижньої основи первинної дамби  $C_3$ .

$$C_3 = h_1 \cdot m_H + B_1 + h_1 \cdot m_e = 10 \cdot 2,5 + 8 + 10 \cdot 3 = 63,0 \text{ м},$$

де  $m_H$  та  $m_e$  – закладання низового та верхового укосу дамби відповідно, м.

### 2.2. Визначення площі верхньої основи дамби першого ярусу(6.8):

$$S_{B1} = B_{B1}^2 = 1601,32^2 = 2564225,91 \text{ м}^2$$

$$B_{B1} = B_{H1} + 2 \cdot C_2 - 2 \cdot h_{\text{зап.}} \cdot m_e = 1547,32 + 2 \cdot 28,5 - 2 \cdot 0,5 \cdot 3 = 1601,32 \text{ м}.$$

тобто розмір сторони верхньої основи першого ярусу хвостосховища – це розмір сторони нижньої основи першого ярусу хвостосховища  $B_{H1}$ , збільшений на два закладання верхового укосу первинної дамби  $C_2$  за виключенням двох проєкцій перевищення гребеня дамби  $h_{\text{зап.}}$  на верховий укіс (рис. 6.5).

$$C_2 = H_1 \cdot m_e = 9,5 \cdot 3 = 28,5 \text{ м}.$$

### 2.3. Визначення геометричного об'єму хвостосховища першої черги (6.6):

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{1}{3} \cdot H_1 \cdot (S_{H1} + S_{B1} + \sqrt{S_{H1} \cdot S_{B1}}) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot 9,5 \cdot (2394199,35 + 2564225,91 + \sqrt{2394199,35 \cdot 2564225,91}) = \\ &= 23547902,98 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

### 2.4. Визначення терміну експлуатації хвостосховища першої черги (6.13):

$$t_1 = \frac{W_{c1} \cdot K_{зап} \cdot \rho_{с.хв}}{G_{хв}} = \frac{23547902,98 \cdot 1,85 \cdot 0,8}{5713043,48} = 6,10 \text{ років}$$

### 3. Розрахунок другого ярусу хвостосховища

#### 3.1. Визначення площі нижньої основи дамби другого ярусу (6.7):

$$S_{H2} = B_{H2}^2 = 11552,32^2 = 2409697,55 \text{ м}^2$$

$$B_{H2} = B_{e1} - 2 \cdot C_6 = 1601,32 - 2 \cdot 24,5 = 1552,32 \text{ м},$$

тобто розміри сторони нижньої основи другого ярусу – це довжина сторони верхньої основи першого ярусу  $B_{e1}$ , зменшена на дві ширини нижньої основи вторинних дамб  $C_6$  (рис. 6.5).

#### 3.2. Визначення площі верхньої основи дамби другого ярусу (6.8):

$$S_{B2} = B_{B2}^2 = 1564,32^2 = 2447097,23 \text{ м}^2$$

$$B_{e2} = B_{H2} + 2 \cdot C_5 - 2 \cdot h_{зап.} \cdot m_e = 1552,32 + 2 \cdot 7,5 - 2 \cdot 0,5 \cdot 3 = 1564,32 \text{ м},$$

тобто ширина верхньої основи другого ярусу хвостосховища – це розмір сторони нижньої основи другого ярусу хвостосховища  $B_{H2}$ , збільшений на два закладання верхнього укосу вторинної дамби  $C_5$  за виключенням двох проєкцій перевищення гребеня дамби  $h_{зап.}$  на верховий укіс (див. рис. 6.5).

$$C_5 = H_2 \cdot m_e = 2,5 \cdot 3 = 7,5 \text{ м}.$$

#### 3.3. Визначення геометричного об'єму хвостосховища другої черги (6.6):

$$W_2 = \frac{1}{3} \cdot H_2 \cdot (S_{H2} + S_{B2} + \sqrt{S_{H2} \cdot S_{B2}}) =$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 2,5 \cdot (2409697,55 + 2447097,23 + \sqrt{2409697,55 \cdot 2447097,23}) =$$

$$= 6070933,47 \text{ м}^3$$

#### 3.4. Визначення об'єму вторинної дамби другого ярусу (6.10):

$$V_2 = F_2 \cdot L_{d2} = 48,75 \cdot 6325,28 = 308357,41 \text{ , м}^3$$

Площа поперечного перерізу вторинної дамби:

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

Для визначення довжини вторинної дамби другого ярусу по осі звернемося до рис. 6.6, на якому зображений схематичний вид зверху на хвостосховище. Як бачимо, довжина однієї сторони дамби другого ярусу по її осі

$$A_2 = A - 2 \cdot a_2 = 1673,32 - 2 \cdot 46,0 = 1581,32 \text{ м}$$

тобто це довжина однієї сторони земельної ділянки, відведеної під хвостосховище А, зменшена на дві відстані від границі земельної ділянки до осі дамби другого ярусу  $a_2$ .

Відповідно:

$$a_2 = h \cdot 1m_H + B_2 + h_{\text{зап}} \cdot m_e + h_2 \cdot m_H + B_2 / 2 = \\ = 10 \cdot 2,5 + 8 + 0,5 \cdot 3 + 2,5 \cdot 3 + 8 / 2 = 46,0 \text{ м.}$$

$$L_{\partial 2} = 4 \cdot A_2 = 4 \cdot 1581,32 = 6325,28 \text{ м.}$$

3.5. 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 (6.12):

$$W_{c2} = W_2 + V_2 = 6070933,47 + 308357,41 = 6379290,88 \text{ м}^3$$

3.6. Визначення терміну експлуатації другого ярусу (6.13):

$$t_2 = \frac{W_{c2} \cdot K_{\text{зап}} \cdot \rho_{\text{с.хв}}}{G_{\text{хв}}} = \frac{6379290,88 \cdot 1,85 \cdot 0,8}{5713043,48} = 1,65 \text{ років}$$

4. Розрахунок третього ярусу хвостосховища

4.1. Визначення площі нижньої основи дамби третього ярусу (6.7):

$$S_{H3} = B_{H3}^2 = 1515,3^2 = 2296194,86 \text{ м}^2$$

$$B_{H3} = B_{B2} - 2 \cdot C_6 = 1564,32 - 2 \cdot 24,5 = 1515,32 \text{ м,}$$

тобто розміри сторони нижньої основи другого ярусу – це довжина сторони верхньої основи першого ярусу  $B_{B2}$ , зменшена на дві ширини нижньої основи вторинних дамб  $C_6$  (рис. 6.5).

4.2. Визначення площі верхньої основи дамби третього ярусу (6.8):

$$S_{B3} = B_{B3}^2 = 1527,32^2 = 2332706,54 \text{ м}^2$$

$$B_{B3} = B_{H3} + 2 \cdot C_5 - 2 \cdot h_{\text{зап}} \cdot m_e = 1515,32 + 2 \cdot 7,5 - 2 \cdot 0,5 \cdot 3 = 1527,32 \text{ м.},$$

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 проєкцій перевищення гребеня дамби  $h_{\text{зап}}$  на верховий укіс (рис. 6.5).

4.3. *Визначення геометричного об'єму хвостосховища третьої черги:*

$$W_3 = \frac{1}{3} \cdot H_3 \cdot (S_{H3} + S_{B3} + \sqrt{S_{H3} \cdot S_{B3}}) = \\ = \frac{1}{3} \cdot 2,5 \cdot (2296194,86 + 2332706,54 + \sqrt{2296194,86 \cdot 2332706,54}) = \\ = 5786066,76 \text{ м}^3$$

4.4. *Визначення об'єму вторинної дамби третього ярусу (6.10):*

$$V_3 = F_2 \cdot L_{d3} = 48,75 \cdot 6189,28 = 301727,4 \text{ м}^3$$

*Для визначення довжини вторинної дамби третього ярусу по осі знову звернемося до рис. 6.6.*

*Як бачимо, довжина однієї сторони дамби третього ярусу по її осі*

$$A_3 = A_2 - 2 \cdot a_3 = 1581,32 - 2 \cdot 46,0 = 1547,32 \text{ м.}$$

*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:*

$$a_3 = B_2 / 2 + h_{зап} \cdot n \cdot m_в + h_2 \cdot m_н + B_2 / 2 = 8 / 2 + 0,5 \cdot 3 + 3 \cdot 2,5 + 8 / 2 = 17,0 \text{ м.}$$

$$L_{d3} = 4 \cdot A_3 = 4 \cdot 1547,32 = 6189,28 \text{ м.}$$

4.5. *Визначення сумарного об'єму третього ярусу (6.12):*

$$W_{c3} = W_3 + V_3 = 5786066,76 + 301727,41 = 6087794,17 \text{ м}^3$$

4.6. *Визначення терміну експлуатації третього ярусу (6.13):*

$$t_3 = \frac{W_{c3} \cdot K_{зап} \cdot \rho_{с.хв}}{G_{хв}} = \frac{6087794,17 \cdot 1,85 \cdot 0,8}{5713043,48} = 1,58 \text{ років}$$

5. *Розрахунок четвертого ярусу хвостосховища*

5.1. *Визначення площі нижньої основи дамби четвертого ярусу (6.7):*

$$S_{H4} = B_{H4}^2 = 1478,32^2 = 2185430,18 \text{ м}^2$$

$$B_{H4} = B_{B3} - 2 \cdot C_6 = 1527,32 - 2 \cdot 24,5 = 1478,32 \text{ м,}$$

*тобто розміри сторін нижньої основи другого ярусу – це довжина сторони верхньої основи першого ярусу  $B_{B3}$ , зменшена на дві ширини нижньої основи вторинних дамб  $C_6$  (рис.6.5).*

5.2. *Визначення площі верхньої основи дамби четвертого ярусу (6.8):*

$$S_{B4} = B_{B4}^2 = 1493,32^2 = 2230004,78 \text{ м}^2$$

$$B_{B4} = B_{H4} + 2C_5 - 2 \cdot h_{\text{зап.}} \cdot m_6 = 1493,32 \text{ м.},$$

*тобто ширина верхньої основи третього ярусу хвостосховища – це розмір сторони нижньої основи третього ярусу хвостосховища, збільшений на два закладання верхового укосу вторинної дамби  $C_5$  за винятком двох проєкцій перевищення гребеня дамби  $h_{\text{зап.}}$  на верховий укіс (рис. 6.5).*

5.3. *Визначення геометричного об'єму хвостосховища четвертої черги (6.6):*

$$\begin{aligned} W_4 &= \frac{1}{3} \cdot H_4 \cdot (S_{H4} + S_{B4} + \sqrt{S_{H4} \cdot S_{B4}}) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot 2,5 \cdot (2185430,18 + 2230004,78 + \sqrt{2185430,18 \cdot 2230004,78}) = \\ &= 5519199,95 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

5.4. *Визначення об'єму вторинної дамби четвертого ярусу (6.10):*

$$V_4 = F_2 \cdot L_{d4} = 48,75 \cdot 6053,28 = 295097,41 \text{ м}^3$$

$$A_4 = A_3 - 2 \cdot a_3 = 1547,32 - 2 \cdot 17,0 = 1513,32 \text{ м.}$$

$$L_{d4} = 4 \cdot A_4 = 4 \cdot 1513,32 = 6053,28 \text{ м.}$$

5.5. *Визначення сумарного об'єму четвертого ярусу (6.12):*

$$W_{c4} = W_4 + V_4 = 5519199,95 + 295097,41 = 5814297,36 \text{ м}^3$$

5.6. *Визначення терміну експлуатації четвертого ярусу (6.13):*

$$t_4 = \frac{W_{c4} \cdot K_{\text{зап.}} \cdot \rho_{\text{с.хв}}}{G_{\text{хв}}} = \frac{5814297,36 \cdot 1,85 \cdot 0,8}{5713043,48} = 1,51 \text{ роки}$$

6. *Розрахунок загальних параметрів хвостосховища*

6.1. *Визначення загального об'єму хвостосховища (6.14):*

$$\begin{aligned} W_3 &= \sum_{i=1}^n W_{ci} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = \\ &= 23547902,98 + 6379290,88 + 6087794,17 + 5814297,36 = 41829285,39 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

6.2. *Визначення загального об'єму вторинних дамб (6.15):*

$$V = \sum_{i=2}^n V_i = V_2 + V_3 + V_4 = 308357,41 + 301727,41 + 295097,41 = 905182,23 \text{ м}^3$$

6.3. Перевірка одержаного значення загального об'єму хвостосховища  $W_3$  з необхідним (6.18):

$$W_3 \geq W \\ 41829285,39 \text{ м}^3 > 38601645,12 \text{ м}^3$$

Умова виконується, тобто у хвостосховищі може бути закладована більша кількість відходів, ніж передбачається проектом.

6.4. Визначення загальної висоти дамб хвостосховища (6.17):

$$H = \sum_{i=1}^n H_i + h_{\text{зап}} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + h_{\text{зап}} = 9,5 + 2,5 + 2,5 + 2,5 + 0,5 = 17,5 \text{ м}$$

7. Розрахунок терміну експлуатації хвостосховища

7.1. Визначення повного терміну експлуатації хвостосховища (6.16):

$$t_n = \sum_{i=1}^n t_i = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 6,10 + 1,65 + 1,58 + 1,51 = 10,84 \text{ років}$$

7.2. Перевірка одержаного значення повного терміну експлуатації хвостосховища з потрібним (6.19):

$$t \geq t_c \\ 10,84 \text{ років} > 10 \text{ років}$$

Умова виконується, оскільки, отже хвостосховище буде заповнюватися довше передбачених десяти років.

8. Результати розрахунків заносяться до підсумкової табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Результати розрахунків

Показник	Позначення	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	$B_{Hi}$ , м	1547,32	1552,32	1515,32	1478,32	-

Довжина однієї сторони верхньої основи ярусу	$B_{Vi}$ , м	1601,32	1564,32	1527,32	1493,32	-
Об'єм ярусу хвостосховища	$W_i$ , млн м <sup>3</sup>	23,547	6,070	5,786	5,519	<b>40,922</b>
Площа перерізу вторинної дамби	$F$ , м <sup>2</sup>	-	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. м <sup>3</sup>	-	0,308	0,302	0,295	<b>0,905</b>
Сумарний об'єм одного ярусу хвостосховища	$W_{ci}$ , млн. м <sup>3</sup>	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.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сігарьов Є. М., Чубіна О. А. Технології ресурсозбереження в металургії. Частина 2 : навчальний посібник. Кам'янське : ДДТУ, 2022. 294 с.
2. Краснянський М. Ю. Енергозбереження : навчальний посібник. Київ : Кондор, 2023. 136 с.
3. Джеджула В. В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління. Вінниця: ВНТУ, 2014. 346 с.
4. Best Available Techniques (BAT). Reference Document for the Ferrous Metals Processing Industry. 2021. 803 p.
5. Технології захисту навколишнього середовища. Ч. 3. Сталий менеджмент та ресурсна ефективність / В. Г. Петрук та ін. Херсон : Олді+, 2019. 298 с.
6. Гічов Ю. О. Вторинні енергоресурси промислових підприємств. Частина II : конспект лекцій. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2012. 54 с.
7. Технології утилізації відходів та рециклінг : методичні рекомендації до виконання курсової роботи для студентів освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти / уклад. О. О. Борисовська. Дніпро : НТУ «ДП», 2023. 31 с.
8. Європейський зелений курс: можливості та загрози для України» : Аналітичний документ. Ресурсно-аналітичний центр «Суспільство і довкілля», 2020. 74 с.
9. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071.
10. Україна та Угода про асоціацію: новий сезон. *Моніторинговий звіт про просування України у виконанні Угоди про асоціацію з ЄС у сферах енергетики та довкілля за 9 місяців 2019 року.* URL: [http://dixigroup.org/storage/files/2019-12-08/dixi\\_association\\_2020\\_ukr\\_web.pdf](http://dixigroup.org/storage/files/2019-12-08/dixi_association_2020_ukr_web.pdf)
11. National energy and climate plans (NECPs). URL: [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/national-energy-climate-plans\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/national-energy-climate-plans_en)
12. Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action, amending Regulations (EC) No 663/2009 and (EC) No 715/2009 of the European Parliament and of the Council, Directives 94/22/EC, 98/70/EC, 2009/31/EC, 2009/73/EC, 2010/31/EU, 2012/27/EU and 2013/30/EU of the European Parliament and of the Council, Council Directives 2009/119/EC and (EU) 2015/652 and repealing Regulation (EU) No 525/2013 of the European Parliament and of the Council. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018R1999&from=EN>



*Навчально-методичне видання*

**Орлінська О.В.,  
Пікареня Д.С.,  
Семірягін С.В.**

**Енерго- та ресурсозберігальні технології в промисловості:  
методичні рекомендації до виконання практичних робіт**

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції