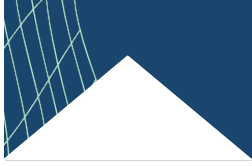


УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ
методичні рекомендації
до виконання індивідуальних завдань

Запоріжжя 2025



УДК 502/504(072)
У66

Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 6 від 28.02.2025 р.)

Укладач

Максимова Н.М., канд. техн. наук, доцент

У66 Управління відходами : методичні рекомендації до виконання індивідуальних завдань / уклад. Н. М. Максимова. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025. 50 с.

У методичних рекомендаціях наведено тематику індивідуальних завдань, критерії оцінювання, методичні пояснення щодо порядку виконання завдань та приклади їх виконання, питання для самоперевірки, список рекомендованих джерел тощо.

УДК 502/504(072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025

ЗМІСТ

Вступ	4
Індивідуальне завдання № 1. Визначення основних параметрів метантенку	6
1.1 Теоретичні відомості про метантенки	6
1.2 Приклад розрахунку метантенка	11
1.3 Завдання № 1	15
Питання для самоперевірки	16
Перелік рекомендованих джерел	16
Індивідуальне завдання № 2. Розрахунок параметрів накопичувача рідких відходів	17
2.1 Розрахунок параметрів накопичувача рідких відходів	17
2.2 Загальні положення	24
2.3 Розрахунок ємності хвостосховища	24
2.4 Розрахунок параметрів хвостосховища і терміну його експлуатації	25
2.5 Приклад розрахунку параметрів хвостосховища	29
2.6 Побудова графіків об'ємів хвостосховищ	40
2.7 Приклад побудови графіку об'ємів хвостосховища	40
2.8 Завдання № 1	43
Питання для самоперевірки	47
Перелік рекомендованих джерел	47
Додаток А. Приклад титульного аркушу комплексу практичних робіт, виконаних здобувачем	49
Додаток Б. Додаткові дані до виконання індивідуального завдання № 1 з визначення основних параметрів метантенку	50

ВСТУП

У методичних рекомендаціях наведено тематика індивідуальних завдань, методичні пояснення щодо порядку виконання, питання для самоперевірки тощо.

Рівень сформованості знань та навичок здобувача вищої освіти з освітнього компоненту за виконання практичних робіт оцінюють за бальною шкалою, яка наведена в силабусі та робочій програмі.

Зміст та вимоги до контрольних точок

Назва контрольної точки	Опис контрольної точки, порядок її проходження та отримання балів
Робота на практичних заняттях	<p>Індивідуальні завдання виконуються самостійно у зручний для студента час. Підготовлене есе у вигляді файлу *.docx, або *.pdf розміщується у відповідному розділі дисципліни в Moodle і перевіряється протягом тижня після завершення терміну подачі або раніше. Індивідуальні завдання передбачають їх публічний захист в рамках академічної групи (із підготуванням презентаційного матеріалу та доповіді). Оскарження оцінки може бути здійснене на останньому практичному занятті модуля.</p> <p>Мах 15 балів:</p> <ul style="list-style-type: none">– за умови захисту індивідуального завдання максимально можливо набрати 15 балів від передбаченої загальної кількості балів, а без захисту – лише до 8 балів;– студент виконав вірно завдання за власним варіантом, в якому: правильно визначив проблеми, комплекс факторів, які могли вплинути на їх виникнення, обґрунтував своє бачення теоретичними концепціями або моделями, виконав необхідні розрахунки в разі потреби, представив висновок або власне бачення виходу з проблеми і окреслив можливі перспективи і обмеженість такого рішення; завдання структуровано, викладено діловим, науковим або публіцистичним стилем української мови (6 балів);– здобувач демонструє низький рівень комунікативної культури, в роботі значна кількість помилок та недоліків, в тому числі значущих, не виконана обов'язкова графічна частина (за наявності вимоги), то оцінка за цим критерієм знижується (5 балів);– завдання містить комплексну, логічну і оригінальну пропозицію проблематики ситуаційного завдання аж до міждисциплінарного підходу; використання штучного інтелекту (ШІ) не забороняється, оскільки пропозиції відомих застосунків ШІ суттєво залежать від обміркованої постановки питання і уточнюючих питань; однак в разі, якщо відповідь, отримана з використанням ШІ, не є комплексною або не відповідає за стилем і викладеними позиціями іншим частинам есе або завдання, містить очевидно неправдиву інформацію, то оцінка за цим критерієм знижується (2 балів);– студент під час презентації / захисту завдання демонструє володіння термінологічним апаратом, відповідає на запитання, здатний швидко адаптувати позицію під зміни у вихідному ситуаційному завданні (5 балів); <p>- презентативність подання інформації під час захисту завдання (2 бали).</p>

Додаткові зауваження:

– студент може оскаржити отримані оцінки в порядку, передбаченому Положенням про організацію освітнього процесу ([Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](#)) та Положенням про політику та процедури врегулювання конфліктних ситуацій ([Академічні політики : Polytechnic \(metinvest.university\)](#));

– оцінки, отримані за роботу на практичних заняттях, не можуть бути відпрацьовані або покращені, окрім процедури оскарження, оцінки за інші види поточного контролю можуть бути покращені за індивідуальною домовленістю з викладачем.

Особливі підходи до визнання результатів навчання

– В разі, якщо дисципліна є обов'язковою для здобувача освіти, і він засвоїв повністю або частково відповідні програмні результати навчання під час отримання освіти на попередніх або такому ж рівні, то кредити та оцінка з дисципліни може бути перезарахована в порядку, передбаченому Положенням про організацію освітнього процесу ([Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](#)). Консультацію з даного питання можна отримати у викладача, куратора або гаранта освітньої програми, завідувача кафедри, за якою закріплено цю дисципліну;

– В разі, якщо здобувач освіти обрав цю дисципліну як дисципліну вільного вибору, не зважаючи на той факт, чи вивчалася вона раніше, оцінка та кредити з цієї дисципліни не перезараховуються;

– В разі, якщо здобувач освіти хотів би самостійно вивчити певні курси з вивчення технологій захисту атмосфери (наприклад, Coursera, UdeMy або інших платформ, в т.ч. платформ відкритих курсів вітчизняних та/або закордонних університетів), то: 1) доцільно звернутися до списку рекомендованих вебресурсів або проконсультуватися з викладачем на предмет релевантності самостійно знайденого освітнього ресурсу програмі дисципліни; 2) в разі успішності опанування такого курсу, яке підтверджується сертифікатом або іншим способом, такому здобувачу у порядку, визначеному Положенням про визнання результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті [Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](#), такі результати можуть бути зараховані замість оцінки з певного виду поточного контролю;

– В разі, якщо здобувач освіти реалізував певний вид наукової роботи (тези, стаття, результативна участь у студентській олімпіаді тощо), то у порядку, визначеному Положенням про визнання результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті [Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](#), такі результати можуть бути зараховані замість оцінки з певного виду поточного або навіть підсумкового контролю; консультацію з питань визнання результатів неформальної та інформальної освіти можна отримати в уповноваженої особи від кафедри, яка викладає дисципліну; перелік таких осіб можна знайти за посиланням [Студентам : Polytechnic \(metinvest.university\)](#).

Як приклад оформлення пояснювальної та розрахункової частини індивідуальних завдань слід орієнтуватись на відповідні приклади рішення, які наведені за змістом методичних рекомендацій. Титульний аркуш студентських робіт наведено наприкінці методичних вказівок в додатку А.

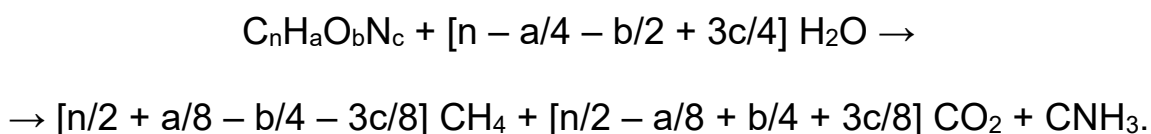
Індивідуальне завдання № 1
Визначення основних параметрів метантенку

1.1 Теоретичні відомості про метантенки

Для знешкодження осадів стічних вод використовують анаеробне зброджування, яке здійснюють у метантенках [1, 2]. Метантенк являє собою циліндричний залізобетонний або сталевий резервуар з конічним або плоским днищем і герметичним перекриттям, у верхній частині якого є ковпак для збору газу, звідки він відводиться для використання.

Метанове зброджування – це процес розкладання органічних речовин до кінцевих продуктів, здебільшого метану та вуглекислого газу в результаті життєдіяльності складного комплексу мікроорганізмів в анаеробних умовах. За оптимальних умов ці гази можуть утворюватися у кількості 90-95% органічної речовини, що біологічно розкладається. Решта 5-10% витрачається на відтворення бактеріальних клітин.

Хімічне рівняння повного перетворення органічної речовини осадів у кінцеві продукти було запропоновано Басвеллом [1]:



Маккарті запропонував хімічну формулу органічної речовини осаду первинних відстійників при очищенні побутових стічних вод і показав, що його повна деструкція здійснюється таким чином [1]:



Для активного мулу було запропоновано низку формул [1]:

- Поргесом – $C_5H_7O_2N$;
- Берхедом і Ведлом – від C_4H_9ON до $C_8H_{15}O_5N$ у залежності від тривалості перебування в аеротенку;
- Карюхиною Т.А. – $C_7H_{13}O_3N$.

Суміш метану й оксиду карбону (IV) називають біогазом; його теплота згоряння складає 18-24 МДж/м³, а чистого метану – 37,3 МДж/м³.

Згідно із сучасними уявленнями, анаеробне метанове зброджування включає чотири взаємозв'язані стадії [1]:

- ферментативного гідролізу нерозчинених складних органічних речовин з утворенням більш простих розчинених;
- кислотоутворення з виділенням летких жирних кислот (ЛЖК), амінокислот, спиртів, а також водню й вуглекислого газу – кислотогенна;
- ацетогенну – перетворення летких жирних кислот (ЛЖК),

амінокислот і спиртів на оцтову кислоту, яка дисоціює на аніон ацетату й катіон водню;

- метаногенну – утворення метану з оцтової кислоти, а також у результаті реакції відновлення воднем вуглекислого газу.

Метанові бактерії, які беруть участь у процесі, – *Methanococcus*, *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanotrix*, *Methanosarcina* [1].

При зброджуванні осадів міських стічних вод із метаногенів, які використовують ацетат, переважно розвиваються дві останні групи бактерій. Залежно від рН, тривалості зброджування й температури переважає одна з них. Так, в мезофільному режимі (32-38°C) сарцини ростуть швидше, та їх чисельність подвоюється за 20-30 год., а бактерії *Methanotrix* ростуть повільніше – 200-300 год., проте використовують більш низькі концентрації ацетату, в результаті чого вони більш стійко ростуть в асоціації та витісняють метаносарцини.

Для перемішування осаду в метантенку можливо використання насосів, які забирають осад із нижньої частини споруди та подають у верхню, гідроелеватори або спеціальні мішалки.

Основним чинником, який визначає швидкість процесу бродіння органічної речовини в метантенку, є температура. У метантенках використовують два температурних режими:

- мезофільний з оптимальною температурою в межах 32-35°C;
- термофільний з оптимальною температурою 52-55°C.

Температура впливає насамперед на швидкість біологічної конверсії органічної речовини мікроорганізмами. Швидкість розпаду жирів, вуглеводів і білків у термофільних умовах у 1,6-1,7 рази вища, ніж у мезофільних. Вміст жирів, вуглеводів і білків в органічній речовині осадів міських стічних вод складає 65-80%, решта – в основному, це лігніно-гумусовий комплекс, який у газоутворенні не бере участь.

Перевагами термофільного режиму є підвищення виходу газу, зменшення об'ємів метантенків, зниження санітарно-гігієнічної небезпеки осаду, але більші енерговитрати ніж при використанні мезофільного режиму.

Для підігріву осаду передбачають установку парових інжекторів і підігрів здійснюють гострою парою. Найбільша кількість газу 60-65% утворюється за рахунок розпаду жирів, решта 40-35% – приблизно порівну припадає на вуглеводи й білки. Всі три компоненти органічної речовини осадів зброджуються не повністю: межі їх зброджування складають 70% - для жирів, 62,5% – для вуглеводів і 48% – для білків.

Кількість газу, що виділяється з 1 кг органічної речовини осаду при розпаді, – вихід газу, можна розрахувати за рівнянням Маккарті: вона становить 1,2 м³, у тому числі 0,7 м³ CH₄ і 0,5 м³ CO₂ [1].

Вихід газу з органічної речовини осаду можна обчислити за показником ХСК: 1 г ХСК осаду, що розклався, згідно рівнянню за стандартних умов, утворює 0,35 дм³ CH₄. Проте, навіть при нескінченно довгому перебуванні осаду не відбувається повного розпаду всієї

органічної речовини осаду та перетворення її на біогаз. Частина органічної речовини синтезується в біомасу мікроорганізмів, що беруть участь у процесі, частина переходить у розчинений стан, створюючи лужність середовища, а частина зовсім не зброджується (лігнін).

Практично вихід газу при зброджуванні 1 кг сирих завантажених осадів міських стічних вод складає 0,49-0,52 м³, для надлишкового активного мулу – 0,42-0,43 м³. Вихід біогазу на 1 кг беззольної речовини, що розклалася, становить 0,95 і 1,07 м³ для осадів первинних відстійників, що в середньому на 10 % не узгоджується із значенням, одержаним за рівнянням Маккарті (1,2 м³/кг). Очевидно, це можна пояснити тим, що рівняння не враховує приріст біомаси та незброджену частину органічної речовини, яка залишилась.

Практична межа зброджування осаду змінюється від 40 до 70 % за зниженням беззольної речовини, від 40 до 60 % за ХСК і від 60 до 90 % за БСК сирих і зброджених осадів [1].

За конструкцією метантенки поділяють на:

- метантенки з нерухомим незатопленим перекриттям;
- метантенки з рухомим (плаваючим) перекриттям.

Схема метантенка наведена на рис. 1.1 [1-2], а метантенк з нерухомим незатопленим перекриттям наведено на рис. 1.2 [1].

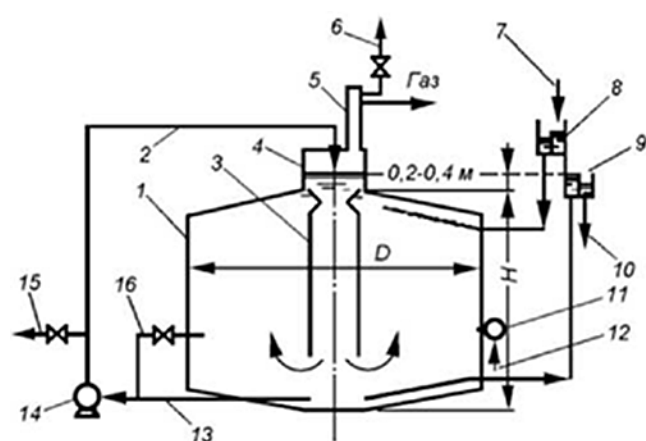


Рисунок 1.1 – Розрахункова схема метантенка [1-2]: 1 – резервуар метантенка; 2 – напірний трубопровід для подачі осаду на перемішування; 3 – центральна труба; 4 – горловина метантенка; 5 – газовий ковпак; 6 – газова свічка для випуску газу в атмосферу; 7 – зброджуваний осад; 8 – завантажувальна камера; 9 – вивантажувальна камера; 10 – зброджений осад; 11 – інжектор для підігрівання осаду в метантенку; 12 – пара; 13 – всмоктувальний трубопровід спорожнення метантенка; 14 – насос для перемішування вмісту метантенка та його спорожнення; 15 – напірний трубопровід спорожнення метантенка; 16 – всмоктувальний трубопровід осаду, який подається на перемішування



Рисунок 1.2 – Метантенк [1]: 1 – м'яка покрівля; 2 – цегла; 3 – шлак; 4 – оглядовий люк; 5 – труба для випуску газу в атмосферу; 6 – газопровід, $d = 200$ мм, від газового ковпака; 7 – газові ковпаки; 8 – пропелерна мішалка; 9 – переливна труба; 10 – трубопровід, $d = 250$ мм, для завантаження сирого осаду та активного мулу; 11 – трубопроводи, $d = 220$ мм, для видалення мулової води та вивантаження збродженого осаду з різних горизонтів; 12 – інжектор, $d = 300$ мм, для підігріву метантенків; 13 – трубопровід, $d = 250$ мм, для вивантаження збродженого осаду з конусної частини метантенка; 14 – термометр опору; 15 – трубопровід, $d = 250$ мм, для спорожнення метантенка (в футлярі)

У верхній частині перекриття метантенка розташовано горловину. Поверхня маси, яка бродить, завжди знаходиться вище основи горловини, внаслідок чого площа вільного дзеркала в метантенку значно зменшується. При цьому збільшується інтенсивність газовиділення на одиницю площі, що сприяє розбиванню кірки, яка може утворюватися на поверхні осаду.

У метантенку потрібно забезпечити газо- та теплоізоляцію перекриття. Для зменшення втрат тепла метантенки старих конструкцій обволочувалися землею. У нових конструкціях метантенків теплоізоляція виконується з мінераловатних плит покритих тонколистовою оцинкованою сталлю. За кордоном для теплоізоляції часто влаштовують спеціальну стінку з пустотілої цегли чи блоків, яка знаходиться на відстані 20 см від стіни метантенка.

Перемішування осаду у нових конструкціях метантенків перемішування здійснюють насосами 14 (рис. 1.1), які забирають осад із низу конусного дна і подають у верхню частину (горловину) споруди [1]. Ці ж насоси використовуються для подачі збродженого осаду на мулові майданчики чи у цех зневоднення осаду. Перемішування осаду в

метантенках здійснюють на протязі 2-5 годин на добу. В метантенках відбувається також і природне перемішування осаду, зумовлене виділенням та підйомом бульбашок газів. Поєднання цього явища з частим або тривалим завантаженням метантенка, замість завантаження його великими порціями, дозволяє зменшити витрати на перемішування осаду.

В останні роки знаходить застосування спосіб перемішування вмісту метантенків біогазом. Перемішування біогазом супроводжується також збільшенням концентрації в осаді розчиненої вуглекислоти – акцептора водню, яка знижує його парціальний тиск і завдяки цьому поліпшує умови життєдіяльності метанових бактерій та збільшує вихід біогазу.

Підігрівання осаду в метантенках здійснюють з метою підтримання у ньому температур, оптимальних для мезофільного чи термофільного режимів зброджування. Більша частина теплової енергії використовується на підігрівання осаду, менша – припадає на компенсацію втрат тепла через огорожуючі конструкції.

Пристрої для підігрівання осаду можна поділити на дві групи: пристрої для підігрівання осаду перед його надходженням у метантенки і пристрої, які подають тепло безпосередньо в метантенки.

При пониженні рівня осаду в метантенку в момент випуску збродженого осаду тиск у газовому просторі може впасти настільки, що утворюється вакуум. Це викликає надходження в газовий простір повітря, яке в суміші з газом у певних співвідношеннях утворює вибухову суміш. Тому, необхідно регулювати тиск газу в межах 0,1-0,2 м вод. ст., що досягається влаштуванням на лінії газопроводу газгольдера.

Біогаз, що одержують в метантенках у результаті процесу зброджування осаду, містить 65-70 % метану і 25-30 % оксиду вуглецю (IV) за об'ємом; у невеликих кількостях містяться й інші складові: 2-4 % CO, до 1 % азоту, водень, а також до 1,5 % різних вуглеводнів (крім метану) і невелика кількість сірководню [1].

Надлишковий тиск біогазу на виході з метантенків становить 2000-4000 Па (200-400 мм вод. ст.), температура біогазу залежить від режиму зброджування. Густина біогазу залежить від його складу і зазвичай дорівнює 1,0-1,2 кг/м³. Оскільки метан є основним компонентом біогазу, тому його можна використовувати як паливо. Використання 1 м³ біогазу при ККД = 100 % еквівалентне економії 0,714 кг умовного палива. Корисна теплота згоряння біогазу, як правило, не нижче 20 МДж/м³.

Через нерівномірність виходу біогазу на газопроводі метантенків звичайно влаштовують акумулятор – мокрий газгольдер.

1.2 Приклад розрахунку метантенка

Завдання (приклад)

Розрахувати метантенк продуктивністю $Q_{\text{сум. доб.}} = 50\,000 \text{ м}^3/\text{добу}$, витрати осаду та активного мулу. Концентрація завислих речовин у стічній воді перед первинними відстійниками $C_{\text{ЗР}}^{\text{СУМ}} = 325 \text{ мг/дм}^3$, ефект очищення від завислих речовин $E = 58\%$. Приріст активного мулу в аеротенках $\Pi = 208 \text{ мг/дм}^3$, винесення активного мулу з вторинних відстійників $b = 15 \text{ мг/дм}^3$. Вологість осаду з первинних відстійників $W_{\text{ос}} = 95\%$, вологість ущільненого активного мулу $W_{\text{м}} = 97\%$. Концентрація ПАР у стічних водах на вході на очищення $C_{\text{ПАР}} = 10 \text{ мг/дм}^3$. Точність розрахунку три знаки після коми.

Для розрахунку метантенка або аеробного стабілізатора потрібно визначити витрату сухої речовини осаду [1]:

$$Q_{\text{сух}} = \frac{C_{\text{ЗР}}^{\text{СУМ}} \cdot E \cdot k \cdot Q_{\text{сум. доб.}}}{10^6} = \frac{325 \cdot 0,58 \cdot 1,1 \cdot 50\,000}{10^6} = 10,368 \text{ т/добу} \quad (1.1)$$

- де $C_{\text{ЗР}}^{\text{СУМ}}$ – концентрація завислих речовин в суміші побутових і виробничих стічних вод міста, мг/дм^3 ;
 E – ефект затримання завислих речовин у первинних відстійниках у частках 1;
 k – коефіцієнт, що враховує крупні частинки, які не уловлюються при відборі проб (рекомендується приймати рівним 1,1-1,2);
 $Q_{\text{сум. доб.}}$ – розрахункова витрата стічних вод, $\text{м}^3/\text{добу}$.

Визначається витрата надлишкового активного мулу:

$$M_{\text{сух}} = \frac{Q_{\text{сум. доб.}} \cdot (\Pi - b)}{10^6} = \frac{50\,000 \cdot (208 - 15)}{10^6} = 9,65 \text{ т/добу} \quad (1.2)$$

- де Π – приріст активного мулу, мг/дм^3 ;
– концентрація активного мулу в стічній воді на виході з вторинних відстійників, 15 мг/дм^3 (див. вихідні дані)

Витрату беззольної речовини осаду ($Q_{\text{без}}$) та надлишкового активного мулу ($M_{\text{без}}$) визначають за формулами:

$$Q_{\text{без}} = \frac{Q_{\text{сух}} \cdot (100 - B_{\text{ос}}) \cdot (100 - Z_{\text{ос}})}{10^4} = \quad (1.3)$$

$$= \frac{10,37 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 30)}{10^4} = 6,894 \text{ т/добу}$$

$$M_{\text{без}} = \frac{M_{\text{сух.}} \cdot (100 - B_M) \cdot (100 - Z_M)}{10^4} = \quad (1.4)$$

$$= \frac{9,65 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 30)}{10^4} = 6,417 \text{ т/добу}$$

- де $B_{\text{ос}}$ і B_M – гігроскопічна вологість осаду та активного мулу, яка приймається 5-6 %;
 $Z_{\text{ос}}$ і Z_M – зольності, відповідно, осаду та активного мулу, які для побутових стічних вод приймають рівними 30%.

Витрати осаду та активного мулу фактичної вологості за умови, що їх густина ρ дорівнює 1 т/м^3 , визначають за формулами [1]:

$$V_{\text{ос}} = \frac{100 \cdot M_{\text{сух.}}}{(100 - W_{\text{ос}}) \cdot \rho} = \frac{100 \cdot 9,65}{(100 - 95) \cdot 1} = 193,000 \text{ м}^3/\text{доб.} \quad (1.5)$$

$$V_M = \frac{100 \cdot M_{\text{сух.}}}{(100 - W_M) \cdot \rho} = \frac{100 \cdot 9,65}{(100 - 97) \cdot 1} = 321,667 \text{ м}^3/\text{доб.} \quad (1.6)$$

- де $W_{\text{ос}}$ – вологість осаду, % (за вихідними даними);
 W_M – вологість ущільненого мулу, % (за вихідними даними)

Вміст сухої речовини в осаді:

$$S_{\text{сух}} = Q_{\text{сух}} + M_{\text{сух.}} = 10,368 + 9,65 = 20,018 \text{ т/доб.} \quad (1.7)$$

Вміст беззольної речовини в осаді:

$$S_{\text{без}} = Q_{\text{без}} + M_{\text{без}} = 6,9 + 6,42 = 13,312 \text{ т/доб.} \quad (1.8)$$

Загальна витрата осаду та активного мулу буде складати:

$$V_{\text{зар}} = V_{\text{ос}} + V_M = 193 + 321,7 = 514,667 \text{ м}^3/\text{доб.} \quad (1.9)$$

Середня вологість суміші осаду та активного мулу буде дорівнювати:

$$W_{\text{сер}} = 100 \cdot \left(1 - \frac{S_{\text{сух}}}{V_{\text{зар}}}\right) = 100 \cdot \left(1 - \frac{20,02}{529,1}\right) = 96,111 \%. \quad (1.10)$$

Середня зольність суміші осаду та активного мулу буде дорівнювати:

$$Z_{\text{сер}} = \left[1 - \frac{S_{\text{без}}}{Q_{\text{сух}} \cdot \left(\frac{100 - B_{\text{ос}}}{100} \right) + M_{\text{сух}} \cdot \left(\frac{100 - B_{\text{м}}}{100} \right)} \right] \cdot 100 = \quad (1.11)$$

$$= \left[1 - \frac{13,32}{10,37 \cdot \left(\frac{100 - 5}{100} \right) + 9,65 \cdot \left(\frac{100 - 5}{100} \right)} \right] \cdot 100 = 30 \%$$

Робочий об'єм метантенка визначається за формулою:

$$V_{\text{мет}} = \frac{100 \cdot V_{\text{зар}}}{D} = \frac{100 \cdot 514,667}{9,11} = 5649 \text{ м}^3, \quad (1.12)$$

де D – добова доза завантаження осаду в метантенк, %, яка приймається в залежності від режиму зброджування та середньої вологості завантажуваного осаду. При $W_{\text{сер}} = 96,11\%$, $D = 9,11\%$ (дод. Б, табл. Б.1.1 шляхом інтерполяції) для режиму зброджування – мезофільний [1]

При наявності в стічних водах поверхнево-активних речовин прийняту дозу завантаження необхідно перевірити за формулою [1]:

$$D^{\text{ПАР}} = \frac{10 \cdot D_{\text{гр}}^{\text{ПАР}}}{C_{\text{ПАР}} \cdot (100 - W_{\text{сер}})}, \quad (1.13)$$

де $D^{\text{ПАР}}$ – гранично-допустиме завантаження робочого об'єму метантенків ПАР, яке для побутових стічних вод приймається рівним $65 \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{добу})$;

$C_{\text{ПАР}}$ – концентрація поверхнево-активних речовин в осаді, мг/г.

Концентрація поверхнево-активних речовин в суміші осаду та активного мулу визначається за виразом:

$$C_{\text{ПАР}} = \frac{a_o \cdot O_{\text{сух}} + a_m \cdot M_{\text{сух}}}{S_{\text{сух}}} = \frac{a_o \cdot O_{\text{сух}} + a_m \cdot M_{\text{сух}}}{O_{\text{сух}} + M_{\text{сух}}} = \frac{9 \cdot 10,37 + 5 \cdot 9,65}{10,37 + 9,65} = 7,072 \text{ мг/г}, \quad (1.14)$$

де a_o і a_m – концентрація ПАР в осаді та в активному мулі, мг/г, яка приймається в залежності від концентрації ПАР у стічній воді (дод. Б, табл. Б.1.2). При концентрації ПАР у стічних водах $C_{\text{ПАР}} = 10 \text{ мг/дм}^3$, $a_o = 9 \text{ мг/г}$, $a_m = 5 \text{ мг/г}$.

Тоді за формулою (1.13):

$$D^{\text{ПАР}} = \frac{10 \cdot D_{\text{гр}}^{\text{ПАР}}}{C_{\text{ПАР}} \cdot (100 - W_{\text{сер}})} = \frac{10 \cdot 65}{7,072 \cdot (100 - 96,111)} = 23,632 \%$$

Оскільки $D < D^{\text{ПАР}}$, то об'єм метантенків визначаємо за величиною D .

Якщо при перевірочному розрахунку виявиться, що $D > D^{\text{ПАР}}$, то об'єм метантенків визначають за величиною $D^{\text{ПАР}}$. Кількість метантенків приймається не менше двох, обидва робочі. Розміри типових метантенків наведено в дод. Б, табл. Б.1.3 [1].

Приймаються 4 метантенки за ТП 902-2-228 об'ємом $V_{\text{Мем}} = 1600 \text{ м}^3$, діаметром 15 м, висотою верхнього конуса 2,35 м, циліндричної частини 7,5 м, нижнього конуса 2,6 м. Загальний об'єм метантенків $V_{\text{Мем}} = 4 \cdot 1600 = 6400 \text{ м}^3$.

Максимально можливий розпад беззольної речовини суміші осаду та активного мулу визначається за формулою:

$$R_{\text{гр}} = \frac{R_o \cdot Q_{\text{без}} + R_m \cdot M_{\text{без}}}{S_{\text{без}}} = \frac{53 \cdot 6,894 + 44 \cdot 6,417}{13,312} = 48,661 \% \quad (1.15)$$

де R_o і R_m – максимально можливий розпад беззольної речовини осаду та активного мулу, який складає, відповідно, 53 та 44 %.

Фактичний розпад беззольної речовини буде складати:

$$R = R_{\text{гр}} - D^{\Phi} \cdot K_p = 48,661 - 8,042 \cdot 0,552 = 44,22 \% \quad (1.16)$$

де K_p – коефіцієнт, який залежить від вологості $W_{\text{сер}} = 96,111 \%$ та режиму зброджування – мезофільний (дод. Б табл. Б.1.4); $K_p = 0,552$;

D^{Φ} – фактична доза завантаження метантенка, %.

$$D^{\Phi} = \frac{100 \cdot V_{\text{заг}}}{V_{\text{мет}}} = \frac{100 \cdot 529,1}{6400} = 8,042 \% \quad (1.17)$$

Кількість беззольної та сухої речовини в зброженій суміші буде складати:

$$S_{\text{без}}^{\text{зб}} = \frac{S_{\text{без}} \cdot (100 - R)}{100} = \frac{(6,9 + 6,42) \cdot (100 - 44,3)}{100} = 7,425 \text{ т/доб.}, \quad (1.18)$$

$$S_{\text{сух}}^{\text{зб}} = (S_{\text{сух}} - S_{\text{без}}) + S_{\text{без}}^{\text{зб}} = \quad (1.19)$$

$$= (20,018 - 13,312) + 7,425 = 14,131 \text{ т/доб.}$$

Зольність та вологість збродженої суміші визначаються за формулами:

$$Z_{\text{без}}^{\text{зб}} = 100 \cdot \left[1 - \frac{100 \cdot S_{\text{без}}^{\text{зб}}}{S_{\text{сух}}^{\text{зб}} \cdot (100 - B_r)} \right] = 100 \cdot \left[1 - \frac{100 \cdot 7,425}{14,131 \cdot (100 - 5)} \right] = 44,689 \% \quad (1.20)$$

$$SW_{\text{заг}}^{\text{зб}} = 100 \cdot \left(1 - \frac{S_{\text{сух}}^{\text{зб}}}{V_{\text{заг}}} \right) = 100 \cdot \left(1 - \frac{14,131}{514,667} \right) = 97,254 \% \quad (1.21)$$

де B_r – гігроскопічна вологість збродженої суміші, яка приймається 5-6 %.

При метановому зброджуванні осаду утворюється біогаз із розрахунку 1 г газу на 1 г розкладеної беззольної речовини. Об'ємна вага газу (ρ_r) складає 1 кг/м³. Тоді витрата утвореного біогазу буде складати:

$$Q_r = \frac{1000 \cdot q_r \cdot S_{\text{без}}^{\text{зб}}}{\rho_r} = \frac{1000 \cdot 1 \cdot 7,42}{1} = 97,254 \% \quad (1.22)$$

де q_r – питомий вихід газу, який становить 1 м³ на 1 кг беззольної речовини осаду, що розклався в процесі зброджування

Для регулювання тиску та зберігання газу у складі очисних споруд передбачаються газгольдери «мокрого типу», об'єм яких розраховується на 2-4 години перебування газу (τ_r). Розрахуємо на 4 години:

$$V_r = \frac{Q_r \cdot \tau_r}{24} = \frac{7420 \cdot 4}{24} = 1237,542 \text{ м}^3 \quad (1.23)$$

Розміри типових газгольдерів наведено в додатку Б, таблиця Б. 1.5. Кількість газгольдерів приймається не менше двох.

Приймаємо 2 газгольдери «мокрого типу» об'ємом 600 м³, діаметром 11,48 м, висотою 15,4 м.

1.3 Завдання № 1

Визначте основні параметри метантенку з урахуванням прикладу, наведеного в п. 1.2. В табл. 1.3 наведено вихідні дані для виконання індивідуального завдання.

Таблиця 1.3 – Варіанти завдань

№ варіанту	$Q_{\text{сум.доб.}}$, м ³ /добу	$C_{\text{ЗР}}^{\text{сум}}$, мг/дм ³	Е, %	П, мг/дм ³	b, мг/дм ³	W _{ос} , %	W _м , %	С _{ПАР}
1	46000	320	58	210	15	93	98	5
2	47000	321	57,5	208	15,2	94	97,5	10
3	48000	322	57	206	15,4	95	97	15
4	49000	323	56,5	204	15,6	96	96,5	20
5	50000	324	56	202	15,8	97	96	25
6	51000	325	55,5	200	16	96	95,5	30
7	52000	326	55	202	16,2	95	98	5
8	53000	327	58	204	16,4	94	97,5	10
9	54000	328	57,5	206	16,6	93	97	15
10	55000	329	57	208	16,8	94	96,5	20
11	56000	330	56,5	210	17	95	96	25
12	57000	329	56	212	16,8	96	95,5	30
13	58000	328	55,5	214	16,6	97	98	5
14	59000	327	55	216	16,4	96	97,5	10
15	60000	326	58	218	16,2	95	97	15
16	59000	325	57,5	220	16	94	96,5	20
17	58000	324	57	222	15,8	93	96	25
18	57000	323	56,5	224	15,6	94	95,5	30
19	56000	322	56	226	15,4	95	98	5
20	55000	321	55,5	228	15,2	96	97,5	10

Питання для самоперевірки

1. В чому полягає зміст метанового збродження як процесу?
2. Як впливає температура на перебіг бродиння органічної речовини в метантенку?
3. Який в середньому вихід газу при зброджуванні 1 кг сирих завантажених осадів міських стічних вод?

Перелік рекомендованих джерел

1. Екологічні аспекти металургійних технологій : навчально-методичні рекомендації / упоряд.: С. Є. Суліменко, О. О. Єрьомін, А. Г. Мешкова. Дніпро : УДУНТ, 2024. 47 с. URL: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/5119c850-e2c2-47a1-acd8-bd0c8ba67a8a/content> (дата звернення: 14.08.2024).
2. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посібник. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/15447/> (дата звернення: 14.08.2024).
3. Природоохоронні та ресурсозберігаючі технології : методичні рекомендації до виконання курсової роботи / уклад.:Д. В. Кулікова, А. В. Павличенко. Дніпро : Національний гірничий університет, 2018. 84 с. URL: https://ecology.nmu.org.ua/ua/Studies/183_MASTER/ (дата звернення: 14.08.2024).

Індивідуальне завдання № 2 Розрахунок параметрів накопичувача рідких відходів

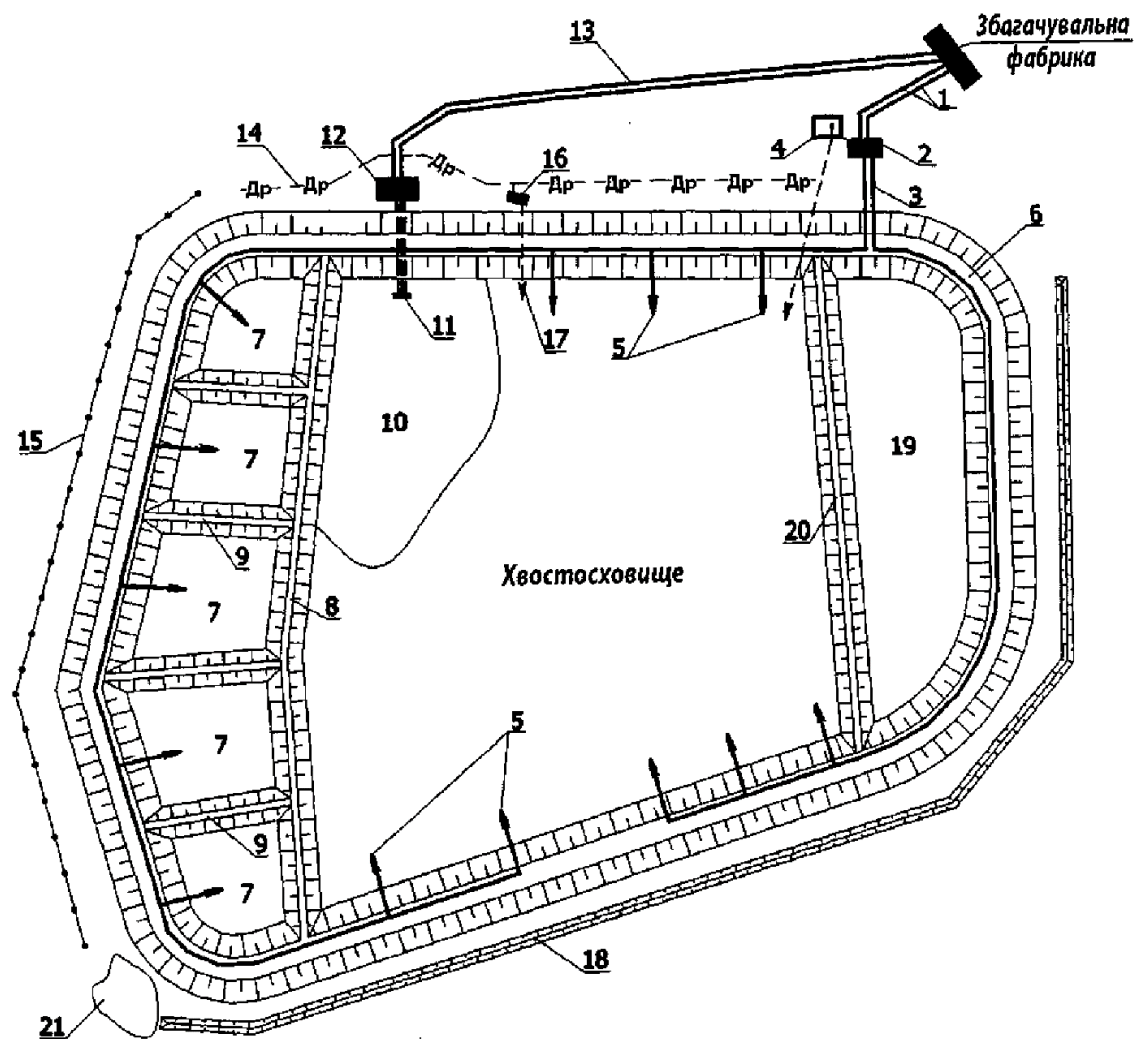
2.1 Загальні вимоги, типи хвостосховищ і шламонакопичувачів

В прикладі розглядається визначення можливих зон затоплення при гідродинамічної аварії на хвостосховищі.

Наведемо нижче певні положення з ДБН В.2.4-5:2012 «Хвостосховища і шламонакопичувачі. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво». Ці будівельні норми поширюються на хвостосховища і шламонакопичувачі збагачувальних фабрик і гідрометалургійних заводів чорної та кольорової металургії, вугільної, урановидобувної та переробної промисловості, а також шламонакопичувачі металургійних підприємств і підприємств хімічної промисловості (для твердих мінеральних відходів IV-III класу небезпеки згідно з ДСанПіН 2.2.7.029, які можуть транспортуватися у вигляді пульпи і для яких розроблені технології складування у шламонакопичувачі) (рис. 2.1) [1].

Розташування нового хвостосховища або шламонакопичувача потрібно виконувати на основі матеріалів вибору і техніко-економічного порівняння майданчиків для його розміщення і організації санітарно-захисної зони (СЗЗ) з урахуванням кількості та властивостей відходів, що складуватимуться, рельєфу місцевості, відстані майданчиків від підприємства, ґрунтів основи майданчиків з визначенням схем транспортування (в ув'язці з перспективним планом розвитку підприємства і району розташування та інженерно-технічними заходами цивільного захисту (цивільної оборони) згідно з ДБН В.1.2-4, а також з урахуванням можливості організації промислового використання заскладованих хвостів або шламів іншими підприємствами). Улаштування хвостосховищ і шламонакопичувачів згідно з ДБН 360 у межах промислових зон не допускається.

При виборі майданчиків під хвостосховища і шламонакопичувачі рекомендується використовувати деградовані і малопродуктивні сільськогосподарські угіддя, сухі долини, балки, яри, відпрацьовані кар'єри. Слід надавати перевагу тим майданчикам, де немає надходження поверхневих вод водотоків у хвостосховище, що має проектуватися, а також майданчикам, в основі яких залягають слабоводопроникні ґрунти. Майданчик хвостосховища або шламонакопичувача рекомендується розміщувати з підвітряної сторони і нижче за рельєфом від населених пунктів та охоронних зон джерел водопостачання, поза зоною наведеної сейсмічності від вибухових робіт, майданчик не повинен затоплюватися повеневими водами. При виборі майданчиків слід дотримуватися санітарних норм, а також норм і правил безпеки. Відведення майданчиків слід робити з урахуванням черговості їх освоєння.



- | | |
|---|---|
| 1 – самопливна подача пульпи | 12 – насосна станція оборотної води |
| 2 – пульпонасосна станція | 13 – трубопроводи оборотної води |
| 3 – магістральні пульпопроводи | 14 – дренаж |
| 4 – аварійна ємкість | 15 – протифільтраційна завіса |
| 5 – розподільні пульпопроводи з випусками | 16 – дренажна насосна станція |
| 6 – дамба обвалування | 17 – напірна подача дренажної води |
| 7 – карта намивання | 18 – нагрітна канава |
| 8 – внутрішня дамба | 19 – відсік повторного використання хвостів |
| 9 – розділююча дамба | 20 – відсічна дамба |
| 10 – відстійний ставок | 21 – акумулююча ємкість поверхневих і дренажних вод |
| 11 – водозабірня споруда | |

Рисунок 2.1 – Схема хвостового господарства гірничо-збагачувального комбінату у відповідності до довідкового дод. А ДБН В.2.4-5:2012 [1]

При розміщенні хвостосховищ нових підприємств розробляється ТЕО, у якому слід визначити основні проектні рішення щодо складування хвостів на весь період розробки затверджених запасів родовища, на які підприємство-замовник проекту має дозвільні документи, із визначенням проектних рішень і необхідних капіталовкладень для першої черги будівництва та з орієнтовними даними по інших чергах будівництва. Розрахункові строки експлуатації однієї черги будівництва визначаються

замовником. Стадію "Проект" рекомендується розробляти для однієї з черг будівництва у відповідності з техніко-економічне обґрунтуванням (ТЕО).

Для шламонакопичувачів період обґрунтованого строку служби, на який розробляється ТЕО, визначається замовником (з урахуванням можливості повторного перероблення та використання заскладованих шламів).

Розроблення стадії "Проект" слід базувати на балансовій схемі видалення відходів, розробленій на стадії "ТЕО" (або схеми), яка коригується весь термін експлуатації підприємства з урахуванням змін технології, потужності, майнової належності, землекористування, урахування інших підключених до система гідротранспортування твердих відходів (СГТВ) об'єктів тощо, а також вимог щодо охорони навколишнього середовища. При розробці балансової схеми слід виконувати розрахунки енергозаощадливого водного та сольового балансів (по роках заповнення).

На стадії "Проект" визначаються: склад і конструкція споруд із зазначенням прийнятої фізико-механічної характеристики ґрунтів, хвостів чи шламів, розрахункові криві ковзання, криві депресії, коефіцієнти запасу стійкості укосів по чергах будівництва чи ярусах заповнення накопичувача, проектні криві залежності площ та об'ємів від відміток гребеня дамб, графік заповнення ємкості по роках експлуатації, рівні води у відстійних ставках, технологія і графік намивання огорожувальних споруд у літній і зимовий періоди, допустима інтенсивність намивання та строки відпочинку пляжу між намиванням окремих шарів, спосіб випускання пульпи по ярусах із зазначенням мінімально допустимого перевищення гребеня огорожувальних споруд над рівнем води у відстійному ставку, з урахуванням акумулювання поверхневого стоку і вітрового нахату та нагону хвиль на всіх етапах експлуатації накопичувача, об'єму повеневого стоку розрахункової вірогідності перевищення. Обов'язковим є розгляд питань стосовно контрольних спостережень та встановлення контрольновиміральної апаратури (КВА), організації служби експлуатації, визначення необхідних машин і механізмів тощо.

При складуванні радіоактивних хвостів повинні виконуватися прогностичні розрахунки території можливого розповсюдження забруднюючих речовин, які містяться у хвостах. Проект хвостосховища радіоактивних відходів (РАВ) також повинен містити дві оцінки безпеки (під час експлуатації та після консервації хвостосховища, з аналізом сценаріїв розвитку можливих надзвичайних ситуацій, їх наслідків та вжитих заходів для попередження аварій).

Після затвердження стадії "Проект" за завданням замовника додатково слід розробити "Проект технічної експлуатації хвостового (шламового) господарства і оборотного водопостачання". У проекті експлуатації потрібно навести відомості щодо призначення та існуючого стану споруд, щодо організації спостережень та контролю, настанови та

вимоги з технічної експлуатації споруд, організації структури керування, охорони навколишнього середовища, техніки безпеки тощо.

При проектуванні хвостосховищ і шламонакопичувачів потрібно:

- забезпечувати економічність та надійність роботи споруд, контролювання технічного стану споруд і виконання заходів з охорони навколишнього середовища при будівництві, експлуатації та консервації споруд;

- передбачати найбільш раціональне використання відведеної території шляхом зведення хвостосховища або шламонакопичувача максимально допустимої висоти;

- застосовувати для зведення хвостосховищ і шламонакопичувачів (огороджувальних споруд, водозабірних споруд, дренажів тощо) матеріали, які забезпечуватимуть їх стійкість до корозії з урахуванням впливу агресивних ґрунтових вод, пульпи, оборотної води на весь період експлуатації та консервації.

Для підвищення надійності і удосконалення процесів складування хвостів та шламів хвостосховища та шламонакопичувачі слід розділяти на секції (відсіки), кількість яких визначається в залежності від типу хвостосховища або шламонакопичувача, його площі, довжини огороджувальних дамб, кількості, гранулометричного та хімічного складу хвостів та шламів, черговості та темпів будівництва.

Проектування накопичувачів на торф'яниках з шаром торфу понад 1,5 м та слабких за несучою здатністю ґрунтах потребує виконання додаткових інженерних заходів, які встановлюються на основі техніко-економічного порівняння варіантів. Проектування накопичувачів на відвалах потрібно виконувати на основі досліджень.

Хвостосховища і шламонакопичувачі поділяються на наступні типи:

- за рельєфом місцевості: на рівнинні, заплавні, ярові, косогірні, котлованні;

- за типом основи: на споруджені на корінних ґрунтах, на відвалах, комбіновані;

- за типом конструкції: з огороджувальними спорудами, без огороджувальних споруд, дренавані, недренавані, комбіновані, а також з пляжем або без пляжу, односекційні, двосекційні та багатосекційні;

- за способом спорудження: на насипні, наливні, комбіновані, а також побудовані на повну висоту чи почергово;

- за способом заповнення: на відвальні (насипні), наливні, наливні від дамби до ставка, наливні від корінного берега до ставка, з кільцевим наливом, з картковим наливом, з комбінованим способом заповнення.

Хвостосховища (шламонакопичувачі) проектуються з оборотним водопостачанням або без нього.

Категорії складності об'єктів будівництва визначаються згідно з ДБН А.2.2-3.

Клас наслідків (відповідальності) накопичувача за техніко-економічного обґрунтування може бути знижено або підвищено.

Клас наслідків (відповідальності) огороджувальних споруд не повинен бути нижче за клас хвостосховища або шламонакопичувача.

Огороджувальні споруди повинні мати оптимальний профіль, який би при мінімальних капіталовкладеннях на спорудження був здатний забезпечити безаварійну експлуатацію хвостосховищ (шламонакопичувачів) та їх стійкість у період консервації і рекультивації.

Мінімальна ширина гребеня повинна визначатися з урахуванням розміщення пульпопроводів, доріг і техніки, яка використовується при зведенні споруд, а також можливості виконання робіт із подальшого нарощування цих огороджувальних споруд.

Рекомендується використовувати відвали розкривних порід кар'єру підприємства як елементи огороджувальних споруд накопичувачів. Будівництво хвостосховищ на внутрішніх відвалах і відпрацьованих територіях кар'єрів потребує техніко-економічного обґрунтування і, за необхідності, наукових рекомендацій щодо засобів із захисту підземних водоносних горизонтів та щодо підготовки основи дамб та основи хвостосховища, що зводяться на внутрішніх відвалах, для забезпечення надійності та стійкості споруд. Необхідно параметри кожного конструктивного елемента огороджувальних споруд приймати з урахуванням об'ємів, характеристики і строків розробки гірських порід при розкриванні кар'єрів підприємства, а також властивостей порід, що використовуються (з прогнозуванням зміни цих властивостей у процесі будівництва і експлуатації, особливо за наявності порід неводостійких, які вміщують водорозчинні включення, несуфозостійких, здатних розм'якати тощо). Відсипання ґрунту рекомендується робити пошарово на всю ширину дамби, забезпечуючи відсутність розшарування ґрунту за крупністю, або на повну висоту. Рекомендується найбільш водостійкі породи відсипати з боку верхнього б'єфу.

При використанні відвалів розкривних порід необхідно виконувати випереджаюче нарощування відвалу над рівнем відстійного ставка оборотного водопостачання. Відвал у межах можливої дії води повинен мати екран. При конструюванні екрана слід враховувати можливість його нерівномірного осідання. Ширина гребеня гребель і дамб, що відсипаються методом відвалоутворення, визначається залежно від технології відсипання.

Дамби, що розділяють хвостосховища і шламонакопичувачі, як правило, потрібно екранувати з однієї сторони, при цьому екран надійно з'єднують з протифільтраційними конструктивними елементами суміжних з ними хвостосховищ і шламонакопичувачів.

Можливість використання хвостів (шламів), які складаються у накопичувачі, для зведення огороджувальних споруд визначається в залежності від крупності хвостів або шламів та їх хімічного складу.

Конструкція наливної дамби повинна забезпечувати відсутність суфозії, фільтраційного випирання намитих відходів і забезпечувати безвідмовну роботу дренажу.

При проектуванні первинних огорожувальних дамб допускається застосовувати як сипкі ґрунти (піщані, гравійні, щебеневі, жорств'яні, галечникові, скельні і напівскельні), так і зв'язані ґрунти (супіски, суглинки, глини). Рекомендується в дамби також відсипати відходи підприємств (розкривні породи кар'єрів і копалень, порожню породу, горілі породи тощо).

При проектуванні вторинних огорожувальних дамб, які відсипаються, рекомендується застосовувати відходи підприємств і розкривні скельні породи. При відсипанні негорілих порід (відходів вуглезбагачення) для попередження самозагорання застосовують зволоження, пошарове розрівнювання і ущільнення, відсипання прошарків і захист укосів інертним матеріалом.

Намивні споруди накопичувачів слід проектувати з протифільтраційними екранами, ядрами і понурами.

Способи намивання огорожувальних дамб поділяють на намивання з вільним розтіканням потоку пульпи і з обмеженням її розтікання. При намиванні з вільним розтіканням пульпи огорожувальну споруду нарощують поступово, з намиванням упорної призми. Для створення обтиснутого профілю огорожувальних споруд потік пульпи потрібно обмежити, створюючи зону упорної призми невисокими дамбами обвалування (спосіб картового намиву).

Карту намивання проектують обмеженою з усіх боків дамбами, які поділяються на три типи: обвалування (огорожувальні), що створюють низовий укіс хвостосховища, внутрішні, які формують її верховий укіс, і розділяючі – між картами намивання. Огорожувальні дамби є основною частиною хвостосховища, тому їх матеріал повинен бути стійким до дії оборотної води (з урахуванням її хімічного складу, який прогнозується на цьому підприємстві) і зміни температур, а коефіцієнт фільтрації – більше коефіцієнта фільтрації намитих у карту відходів. Внутрішні дамби необхідно зводити із ґрунтів з великим коефіцієнтом фільтрації. Матеріал розділяючих дамб повинен забезпечувати їх стійкість під час намивання.

Огорожувальні дамби слід проектувати насипним способом із будь-якого ґрунту, що має необхідний коефіцієнт фільтрації (зокрема з самих відходів). Якщо коефіцієнт фільтрації намивного ґрунту в карті вищий за коефіцієнт фільтрації огорожувальних дамб, слід влаштовувати дренажну систему. Зведення внутрішніх і розділяючих дамб із маловодопроникного ґрунту погіршує умови консолідації намивних відходів. Коефіцієнти закладання низового укосу слід визначати на основі виконаних розрахунків.

Висоту ярусу намивання визначають відповідно до кривої заповнення ємкості накопичувача і з урахуванням способу виконання земляних робіт. Оптимальна висота ярусу дамб від 2,5 м до 5 м. При їх зведенні слід враховувати, що чим нижче ярус, тим менше сумарний об'єм насипного ґрунту огорожувальних дамб.

Ширину гребеня дамб на кожному ярусі нарощування призначають з урахуванням розміщення на них пульпопроводів, експлуатаційної дороги,

мереж освітлення, валиків для безпечного проїзду. За необхідності на них влаштовують майданчики для розвороту та відстою транспортних засобів.

У поперечному перерізі профіль огорожувальної дамби має вигляд трапеції, бокові сторони якої називають укосами. Укіс з боку хвостосховища називають верхнім, із зовнішнього боку – низовим (рис. 2.2). Нахили укосів (відношення висоти до закладання укосу) залежать від висоти і матеріалів дамби, а також від її основи.

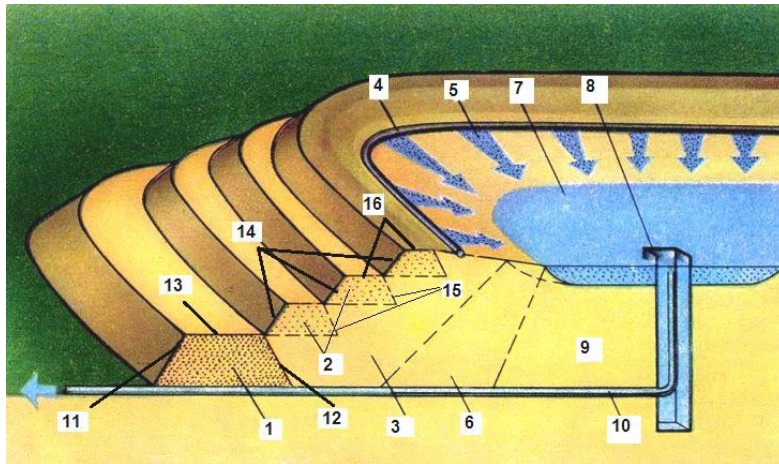


Рисунок 2.2 – Схема хвостосховища [3]: 1– первинна дамба; 2 – вторинні дамби (зводяться поярусно); 3 – призма упору, що складається з найбільш крупнозернистих фракцій ґрунту; 4 – намивний пульповід; 5 – пляж (ділиться на карти); 6 – проміжна зона; 7 – ставок-відстійник, що забезпечує освітлення води 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

2.2 Загальні положення

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

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 ρ_n , тобто відношення маси пульпи до її об'єму, визначають за формулою [2, 5]:

$$\rho_n = (T + P) / (T/\rho_{ч.хв} + P/\rho_в), \text{ т/м}^3, \quad (2.1)$$

де T – маса твердих відходів, т;

- P – маса рідини, т;
 $\rho_{ч.хв}$ – щільність частинок хвостів, т/м³;
 $\rho_в$ – щільність води ($\rho_в=1$ т/м³).

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.

Перевищення гребеня дамби над рівнем заповнення хвостосховища приймають $h_{зап}$ з урахуванням вітрового хвилеутворення, але не менше 0,5 м (рис. 2.3).

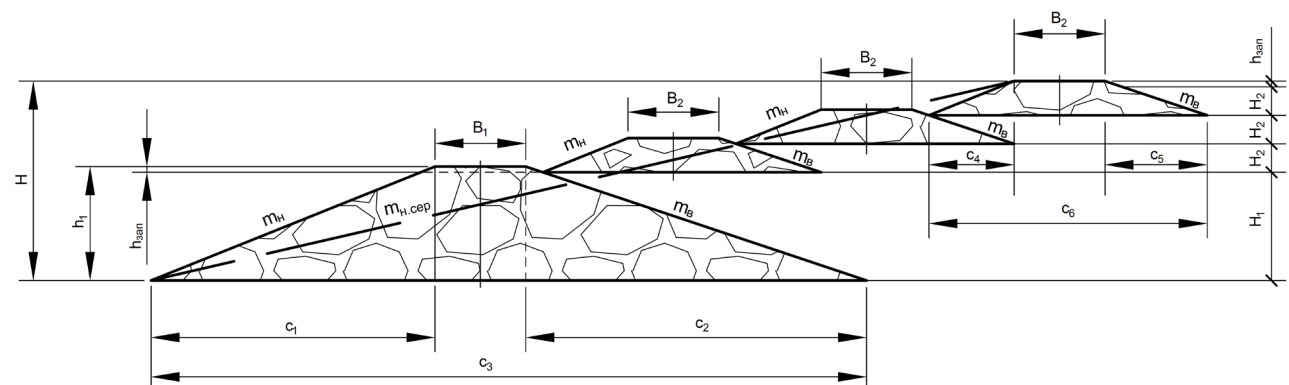


Рисунок 2.3 – Поперечний переріз огорожувальної дамби: B_1 – ширина по гребеню первинної дамби; h_1 – висота первинної дамби; c_1 – закладання низового укосу первинної дамби; c_2 – закладання верхового укосу первинної дамби; c_3 – ширина нижньої основи первинної дамби; B_2 – ширина по гребеню вторинних 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; $h_{зап}$ – перевищення гребеня дамби над рівнем заповнення

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.

2.3 Розрахунок ємності хвостосховища

Ємність хвостосховища складається з об'єму заскладованих хвостів і об'єму освітлюючого ставка-відстійника [2, 5].

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

$$V = (G_{хв} \cdot t_e) / (\rho_{с.хв} \cdot K_{зап.}), \text{ м}^3, \quad (2.2)$$

де $G_{хв}$ – вихід хвостів за рік, т;
 t_e – число років експлуатації хвостосховища;
 $\rho_{с.хв}$ – середня щільність сухих хвостів у хвостосховищі, т/м³;
 $K_{зап.}$ – коефіцієнт заповнення хвостосховища, який характеризує практичну можливість заповнення його геометричного об'єму.

Вихід хвостів буде складати:

$$G_{хв} = Q_{л \text{ за масою}} / (T + P), \text{ т}, \quad (2.3)$$

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

У свою чергу,

$$Q_{л \text{ за масою}} = Q_{л} \cdot \rho_{л}, \text{ т/год}, \quad (2.4)$$

де $Q_{л}$ – витрата пульпи, м³/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. 2.4 [2, 5].

2.4 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 [2, 5].

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

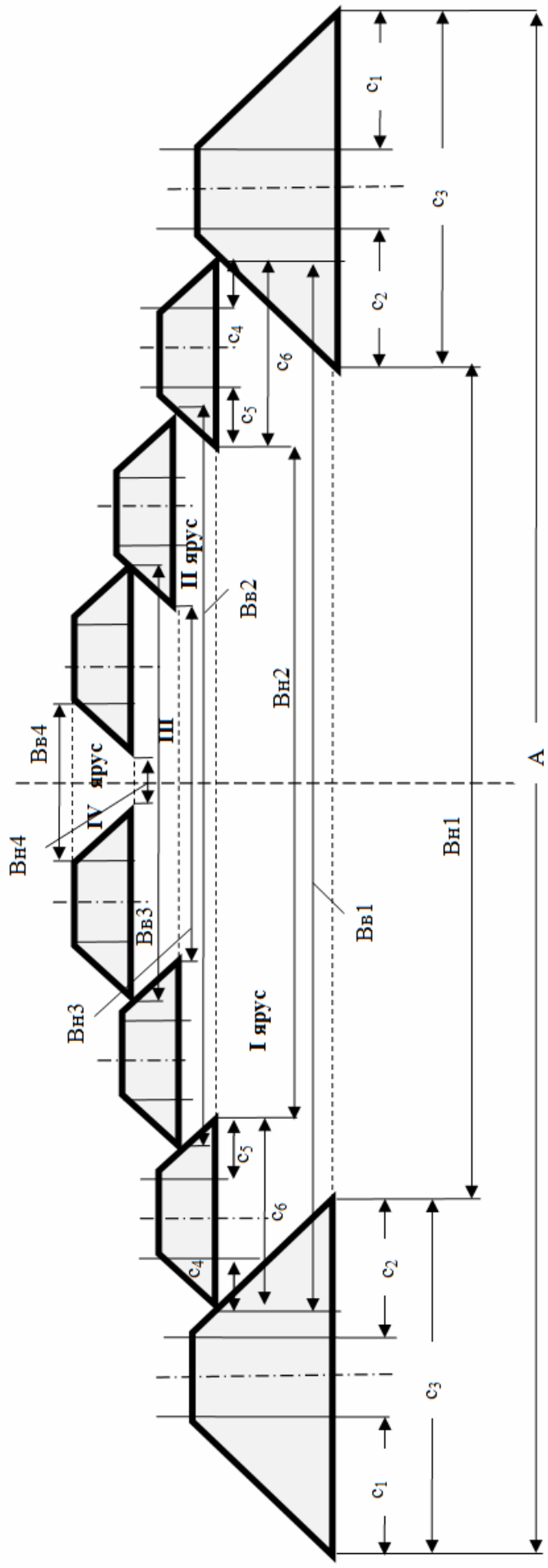


Рисунок 2.4 – Схематичний розріз хвостосховища [2, 5]

$$A = \sqrt{S}, \text{ м}, \quad (2.5)$$

де S – площа земельної ділянки, 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:

$$V_i = \frac{1}{3} \cdot H_i \cdot (S_{\text{ни}} + S_{\text{ві}} + \sqrt{S_{\text{ни}} \cdot S_{\text{ві}}}), \text{ м}^3, \quad (2.6)$$

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

$$S_{\text{ни}} = B_{\text{ни}}^2, \text{ м}^2, \quad (2.7)$$

$$S_{\text{ві}} = B_{\text{ві}}^2, \text{ м}^2, \quad (2.8)$$

де $B_{\text{ни}}$ і $B_{\text{ві}}$ – розміри сторін нижньої і верхньої основи кожного ярусу хвостосховища відповідно, м.

Необхідну кількість вторинних ярусів розраховують за формулою:

$$n = \frac{H - H_1 - h_{\text{зап}}}{H_2}, \text{ шт.}, \quad (2.9)$$

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:

$$V'_i = F \cdot L_{\text{ді}}, \text{ м}^3, \quad (2.10)$$

де F – площа поперечного перерізу вторинної дамби, м^2 ;
 $L_{\text{ді}}$ – довжина вторинної дамби кожного ярусу по осі, м .

Визначають довжину вторинної дамби кожного ярусу по осі $L_{\text{ді}}$ за наступною формулою:

$$L_{\text{ді}} = 4 \cdot A_i, \text{ м}, \quad (2.11)$$

де A_i – довжина однієї сторони дамби по її осі (рис. 2.5) [2, 5].

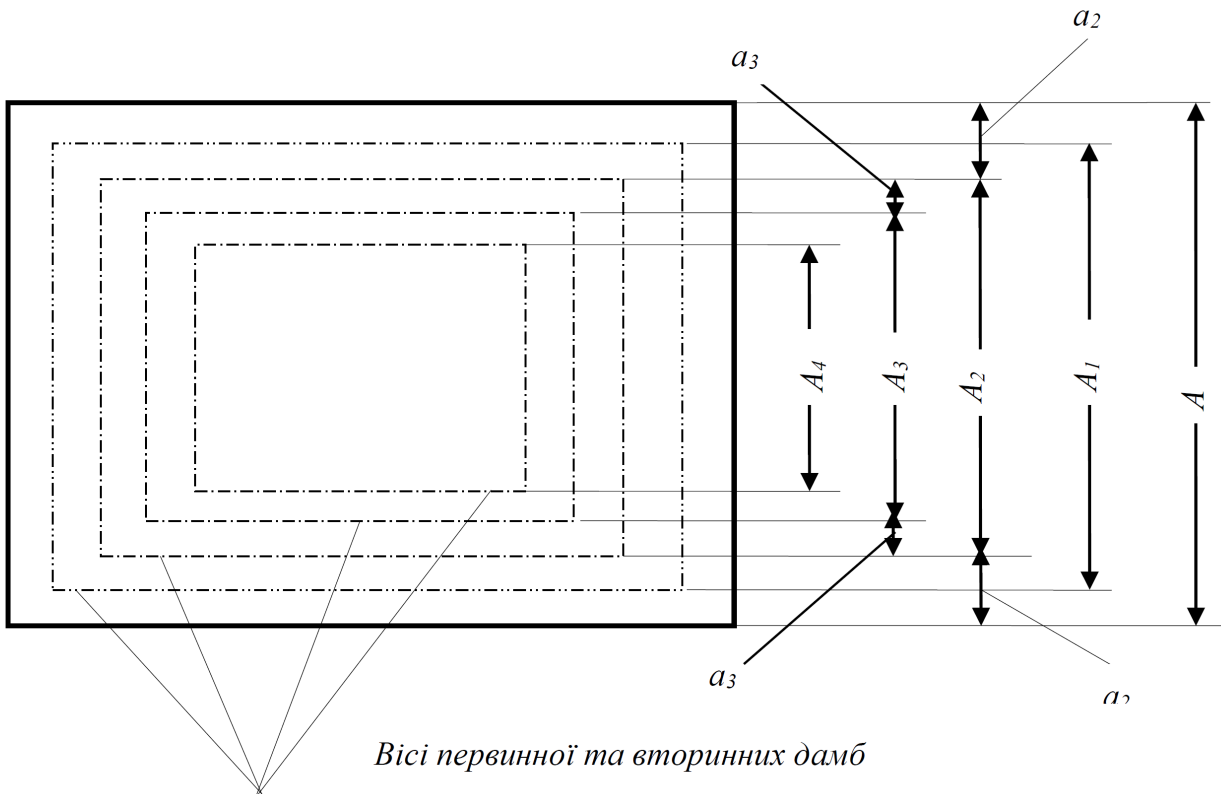


Рисунок 2.5 – Схематичний план хвостосховища [2, 5]

Отже сумарний об'єм кожного ярусу буде складати:

$$V_{ci} = V_i + V'_i, \text{ м}^3, \quad (2.12)$$

Термін експлуатації кожного ярусу хвостосховища становить:

$$t_i = (V_{ci} \cdot K_{\text{зап}} \cdot \rho_{\text{с.хв}}) / G_{\text{хв}}, \text{ років}, \quad (2.13)$$

Загальний об'єм хвостосховища V_3 , загальний об'єм вторинних дамб V'_3 , повний термін експлуатації хвостосховища t_n і висоту огорожувальної дамби H визначають за наступними залежностями:

$$V_3 = \sum_{i=1}^n V_{ci}, \text{ м}^3, \quad (2.14)$$

$$V'_3 = \sum_{i=1}^n V'_i, \text{ м}^3, \quad (2.15)$$

$$t_n = \sum_{i=1}^n t_i, \text{ років}, \quad (2.16)$$

$$H = \sum_{i=1}^n H_i + h_{\text{зап}}, \text{ м}, \quad (2.17)$$

де n – кількість ярусів хвостосховища.

Одержані значення загального об'єму хвостосховища $V_{\text{заг}}$ порівнюють з необхідним об'ємом V , а значення повного терміну експлуатації t_n – з потрібним терміном експлуатації t_c , беручи до уваги наступні умови:

$$V_{\text{заг}} \geq V, \quad (2.18)$$

$$t_n \geq t_c. \quad (2.19)$$

2.5 Приклад розрахунку параметрів хвостосховища

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. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення
Тип хвостосховища	Хвостосховище наливне (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_p , м ³ /год	10 000
Консистенція пульпи $T:P$	1:15
Щільність частинок хвостів $\rho_{\text{ч.хв}}$, т/м ³	3
Щільність води $\rho_{\text{в}}$, т/м ³	1
Первинна дамба	природні суглинки
висота h_1 , м	10
закладання низового укосу m_n	1:2,5
закладання верхового укосу $m_{\text{в}}$	1:3
ширина по гребеню B_1 , м	8
Вторинні дамби	поярусно хвости
висота h_2 , м	3
закладання низового укосу m_n	1:2,5

Показник	Значення
закладання верхового укосу m_e	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 наміті в хвостосховище і відсипані у вторинні дамби $\rho_{с.хв}$, т/м ³	1,85
Коефіцієнт заповнення хвостосховища $K_{зап}$	0,8

Розрахунок річного виходу хвостів і загальних характеристик хвостосховища

Щільність хвостової пульпи визначається за формулою (2.1):

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

Витрати пульпи за масою визначається за формулою (2.4):

$$Q_{п \text{ за масою}} = Q_p \cdot \rho_p = 10\,000 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 1,043 \text{ т/м}^3 = 10434,78 \text{ т/год},$$

Вихід хвостів визначають за формулою (2.3):

$$G_{хв} = Q_{п \text{ за масою}} / (T + P) = 10\,434,78 \text{ т/год} / (1 + 15) = 652,17 \text{ т/год}.$$

Річний вихід хвостів за умови, що гірничо-збагачувальний комбінат працює цілодобово 365 днів на рік, становить:

$$G_{хв}^{річн} = G_{хв} \cdot 24 \cdot 365 = 652,17 \text{ т/год} \cdot 24 \cdot 365 = 5\,713\,009,20 \text{ т/рік}.$$

Об'єм хвостосховища, необхідний для прийому хвостів протягом десяти років визначається за формулою (2.2):

$$V = (G_{хв}^{річн} \cdot t_e) / (\rho_{с.хв} \cdot K_{зап.}) =$$

$$= (5\,713\,009,20 \text{ т/рік} \cdot 10 \text{ років}) / (1,85 \text{ т/м}^3 \cdot 0,8) = 38\,601\,413,51 \text{ м}^3$$

Будуємо поперечний переріз огорожувальної дамби і наносимо на креслення вихідні дані згідно завдання (рис. 2.6).

Розмір сторони ділянки, яку займає хвостосховище визначаються за формулою (2.5):

$$A = \sqrt{S} = \sqrt{2800\,000 \text{ м}^2} = 1673,32 \text{ м}$$

Відповідно визначаються висоти ярусів первинної і вторинних дамб:
- висота першого ярусу становить:

$$H_1 = h_1 - h_{зап.} = 10,0 - 0,5 = 9,5 \text{ м},$$

- висота ярусу вторинної дамби становить:

$$H_2 = h_2 - h_{\text{зап.}} = 3 - 0,5 = 2,5 \text{ м,}$$

тобто висота ярусу H_i – це висота відповідної дамби, зменшена на перевищення дамби на рівнем заповнення на випадок вітрового хвилеутворення $h_{\text{зап.}}$ (рис. 2.4, 2.6).

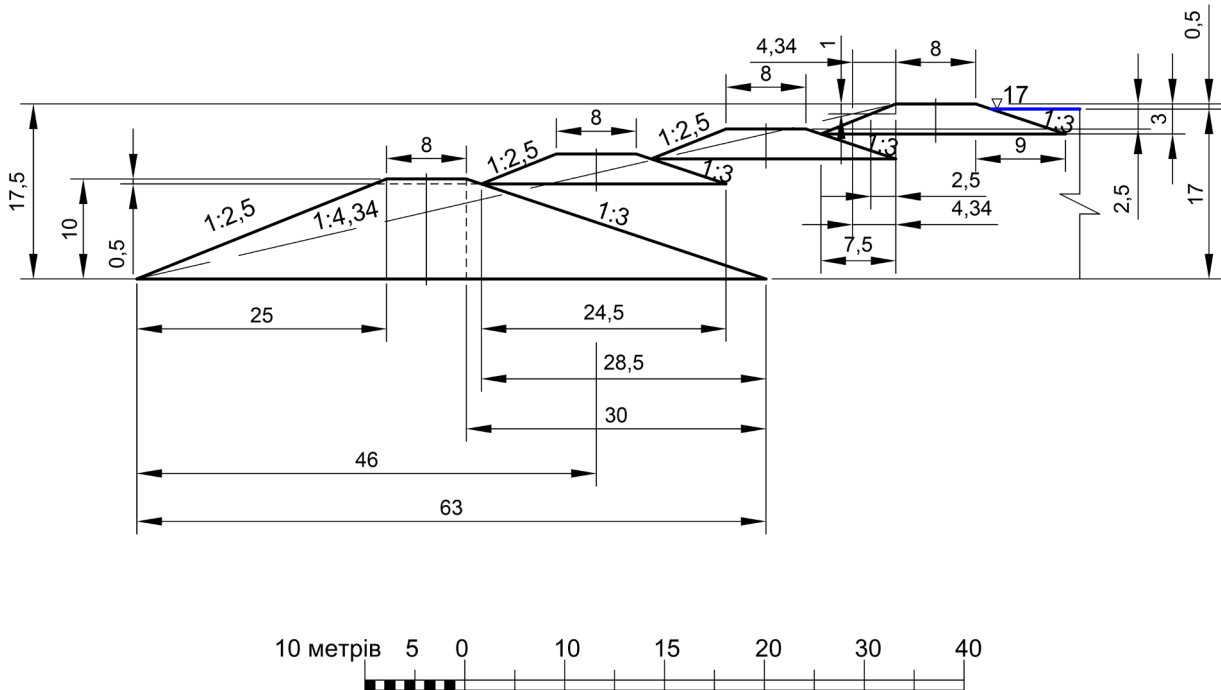


Рисунок 2.6 – Поперечний переріз огорожувальної дамби хвостосховища. Масштаб М 1:1000

Визначаємо необхідну кількість вторинних дамб за формулою (2.9):

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

Розрахунок параметрів хвостосховища першої черги (першого ярусу)

Площа нижньої основи дамби першого ярусу визначається за формулою (2.7):

$$S_{H1} = B_{H1}^2, \text{ м}^2,$$

У даному випадку 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 :

$$B_{H1} = A - 2 \cdot C_3,$$

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

де m_n і m_e – закладання низового та верхового укосу дамби відповідно, м (рис. 2.6).

Отже

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

Таким чином площа нижньої основи дамби першого ярусу за формулою (2.7) становить:

$$S_{H1} = B_{H1}^2 = (1547,32 \text{ м})^2 = 2\,394\,199,18 \text{ м}^2.$$

Площа верхньої основи дамби першого ярусу визначається за формулою (2.8):

$$S_{e1} = B_{e1}^2, \text{ м}^2.$$

У даному випадку 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 $h_{зап.}$ на верховий укіс (рис. 2.4):

$$B_{e1} = B_{H1} + 2 \cdot C_2 - 2 \cdot h_{зап.} \cdot m_e,$$

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

Отже

$$B_{e1} = B_{H1} + 2 \cdot C_2 - 2 \cdot h_{зап.} \cdot m_e = 1\,547,32 \text{ м} + 2 \cdot 28,5 \text{ м} = 1\,604,32 \text{ м}.$$

Таким чином площа верхньої основи дамби першого ярусу за формулою (2.7) становить:

$$S_{B1} = B_{B1}^2 = (1\,604,32 \text{ м})^2 = 2\,573\,842,66 \text{ м}^2.$$

Геометричний об'єм хвостосховища першої черги визначається за формулою (2.6):

$$V_1 = \frac{1}{3} \cdot H_1 \cdot (S_{H1} + S_{B1} + \sqrt{S_{H1} \cdot S_{B1}}) =$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 9,5 \text{ м} \cdot \left(2\,394\,199,18 \text{ м}^2 + 2\,573\,842,66 \text{ м}^2 + \sqrt{2\,394\,199,18 \text{ м}^2 \cdot 2\,573\,842,66 \text{ м}^2} \right) =$$

$$= 23\,593\,054,49 \text{ м}^3.$$

Термін експлуатації хвостосховища першої черги визначається за формулою (2.13):

$$t_i = (V_{ci} \cdot K_{зап} \cdot \rho_{с.хв}) / G_{хв} =$$

$$= (23\,593\,054,49 \text{ м}^3 \cdot 1,85 \cdot 0,8) / 5\,713\,009,20 \text{ т/рік} = 6,11 \text{ років}.$$

Розрахунок другого ярусу хвостосховища

Площа нижньої основи дамби другого ярусу визначається за формулою (2.7):

$$S_{H2} = B_{H2}^2, \text{ м}^2.$$

У даному випадку довжина сторони нижньої основи другого ярусу хвостосховища – це розмір сторони верхньої основи першого ярусу $B_{\epsilon1}$, зменшена на дві ширини нижньої основи вторинних дамб C_6 (рис. 2.4):

$$B_{H2} = B_{\epsilon1} - 2 \cdot C_6,$$

$$C_6 = h_2 \cdot m_n + B_2 + h_2 \cdot m_e = 3 \text{ м} \cdot 2,5 + 8 \text{ м} + 3 \text{ м} \cdot 3 = 24,5 \text{ м},$$

Отже

$$B_{H2} = B_{\epsilon1} - 2 \cdot C_6 = 1604,32 \text{ м} - 2 \cdot 24,5 \text{ м} = 1\,555,32 \text{ м}.$$

Таким чином площа нижньої основи дамби другого ярусу за формулою (2.7) становить:

$$S_{H2} = B_{H2}^2 = (1555,32 \text{ м})^2 = 2\,419\,020,30 \text{ м}^2.$$

Площа верхньої основи дамби другого ярусу визначається за формулою (2.8):

$$S_{B2} = B_{B2}^2, \text{ м}^2.$$

У даному випадку ширина верхньої основи другого ярусу хвостосховища – це розмір сторони нижньої основи другого ярусу хвостосховища B_{H2} , збільшений на два закладання верхового укосу вторинної дамби C_5 за виключенням двох проєкцій перевищення гребеня дамби $h_{зап}$ на верховий укіс (див. рис. 2.4):

$$B_{\epsilon 2} = B_{H2} + 2 \cdot C_5 - 2 \cdot h_{\text{зап}} \cdot m_{\epsilon} ,$$

$$C_5 = H_2 \cdot m_{\epsilon} = 3 \text{ м} \cdot 2,5 = 7,5 \text{ м} ,$$

Отже

$$\begin{aligned} B_{\epsilon 2} &= B_{H2} + 2 \cdot C_5 - 2 \cdot h_{\text{зап}} \cdot m_{\epsilon} = \\ &= 1555,32 \text{ м} + 2 \cdot 7,5 \text{ м} - 2 \cdot 0,5 \text{ м} \cdot 3 = 1\,567,32 \text{ м} . \end{aligned}$$

Таким чином площа верхньої основи дамби другого ярусу становить:

$$S_{B2} = B_{B2}^2 = (1567,32 \text{ м})^2 = 2\,456\,491,98 \text{ м}^2 .$$

Геометричний об'єм хвостосховища першої черги визначається за формулою (2.6):

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{1}{3} \cdot H_2 \cdot (S_{H2} + S_{B2} + \sqrt{S_{H2} \cdot S_{B2}}) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot 2,5 \text{ м} \cdot (2\,419\,020,30 \text{ м}^2 + 2\,456\,491,98 \text{ м}^2 + \sqrt{2\,419\,020,30 \text{ м}^2 \cdot 2\,456\,491,98 \text{ м}^2}) = \\ &= 6\,094\,330,35 \text{ м}^3 . \end{aligned}$$

Об'єм вторинної дамби другого ярусу визначається за формулою (2.10):

$$V'_2 = F_2 \cdot L_{д2} , \text{ м}^3 ,$$

У даному випадку площа поперечного перерізу вторинної дамби F_2 , м^2 , становить:

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

Для визначення довжини вторинної дамби другого ярусу по осі звернемося до рис. 2.5, на якому зображений схематичний вид зверху на хвостосховище. Як бачимо, довжина однієї сторони дамби другого ярусу по її осі $A_2 = A - 2 \cdot a_2$, 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:

$$a_2 = h_1 \cdot m_H + B_2 + h_{\text{зап}} \cdot m_{\epsilon} + h_2 \cdot m_H + B_2 / 2 =$$

$$= 10 \text{ м} \cdot 2,5 + 8 \text{ м} + 0,5 \cdot 3 \text{ м} + 2,5 \cdot 3 \text{ м} + 8 \text{ м} / 2 = 46,0 \text{ м}.$$

Отже

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

Довжина вторинної дамби другого ярусу по осі становить:

$$L_{\partial 2} = 4 \cdot A_2 = 4 \cdot 1581,32 \text{ м} = 6\,325,28 \text{ м}.$$

Таким чином

$$V'_2 = F_2 \cdot L_{\partial 2} = 48,75 \text{ м}^2 \cdot 6\,325,28 \text{ м} = 308\,357,40 \text{ м}^3.$$

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 (2.12):

$$V_{c2} = V_2 + V'_2 = 6\,094\,330,35 \text{ м}^3 + 308\,357,40 \text{ м}^3 = 6\,402\,687,75 \text{ м}^3.$$

Термін експлуатації другого ярусу визначається за формулою (2.13):

$$t_2 = (V_{c2} \cdot K_{\text{зап}} \cdot \rho_{\text{с.хв}}) / G_{\text{хв}} =$$

$$= (6\,402\,687,75 \text{ м}^3 \cdot 1,85 \cdot 0,8) / 5\,713\,009,20 \text{ т/рік} = 1,66 \text{ років}.$$

Розрахунок третього ярусу хвостосховища

Площа нижньої основи дамби третього ярусу визначається за формулою (2.7):

$$S_{\text{н3}} = B_{\text{н3}}^2, \text{ м}^2.$$

У даному випадку розміри сторони нижньої основи третього ярусу – це довжина сторони верхньої основи другого ярусу B_{e2} , зменшена на дві ширини нижньої основи вторинних дамб C_6 (рис. 2.2):

$$B_{\text{н3}} = B_{e2} - 2 \cdot C_6 = 1\,567,32 \text{ м} - 2 \cdot 24,5 \text{ м} = 1\,518,32 \text{ м}.$$

Таким чином площа нижньої основи дамби третього ярусу за формулою (2.7) становить:

$$S_{\text{н3}} = B_{\text{н3}}^2 = (1\,518,32 \text{ м})^2 = 2\,305\,295,62 \text{ м}^2.$$

Площа верхньої основи дамби третього ярусу визначається за формулою (2.8):

$$S_{B3} = B_{B3}^2, \text{ м}^2.$$

У даному випадку ширина верхньої основи третього ярусу хвостосховища – це розмір сторони нижньої основи третього ярусу хвостосховища, збільшений на два закладання верхового укусу вторинної дамби C_5 за виключенням двох проєкцій перевищення гребеня дамби $h_{зап.}$ на верхній укіс (див. рис. 2.4):

$$\begin{aligned} B_{B3} &= B_{H3} + 2 \cdot C_5 - 2 \cdot h_{зап.} \cdot m_e = \\ &= 1\,518,32 \text{ м} + 2 \cdot 7,5 \text{ м} - 2 \cdot 0,5 \text{ м} \cdot 3 = 1\,530,32 \text{ м}. \end{aligned}$$

Таким чином площа верхньої основи дамби третього ярусу становить:

$$S_{B3} = B_{B3}^2 = (1530,32 \text{ м})^2 = 2\,341\,879,30 \text{ м}^2.$$

Геометричний об'єм хвостосховища першої черги визначається за формулою (2.6):

$$\begin{aligned} V_3 &= \frac{1}{3} \cdot H_2 \cdot (S_{H3} + S_{B3} + \sqrt{S_{H3} \cdot S_{B3}}) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot 2,5 \text{ м} \cdot (2\,305\,295,62 \text{ м}^2 + 2\,341\,879,30 \text{ м}^2 + \sqrt{2\,305\,295,62 \text{ м}^2 \cdot 2\,341\,879,30 \text{ м}^2}) = \\ &= 5\,808\,908,65 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Об'єм вторинної дамби третього ярусу визначається за формулою (2.10):

$$V'_3 = F_2 \cdot L_{д3}, \text{ м}^3,$$

У даному випадку площа поперечного перерізу вторинної дамби F_2 , м^2 , становить:

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

Довжина однієї сторони дамби третього ярусу по її осі $A_3 = A_2 - 2 \cdot a_3$, 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 (рис. 2.5).

Відповідно:

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

Отже

$$A_3 = A_2 - 2 \cdot a_3 = 1\,581,32 \text{ м} - 2 \cdot 17,0 \text{ м} = 1\,547,32 \text{ м}.$$

Довжина вторинної дамби третього ярусу по осі становить:

$$L_{\partial 3} = 4 \cdot A_3 = 4 \cdot 1\,547,32 \text{ м} = 6\,189,28 \text{ м}.$$

Таким чином

$$V'_3 = F_2 \cdot L_{\partial 3} = 48,75 \text{ м}^2 \cdot 6\,189,28 \text{ м} = 301\,727,40 \text{ м}^3.$$

Сумарний об'єм третього ярусу визначається за формулою (5.12):

$$V_{с3} = V_3 + V'_3 = 5\,808\,908,65 \text{ м}^3 + 301\,727,40 \text{ м}^3 = 6\,110\,636,05 \text{ м}^3.$$

Термін експлуатації третього ярусу визначається за формулою (2.13):

$$t_3 = (V_{с3} \cdot K_{зап} \cdot \rho_{с.хв}) / G_{хв} = \\ = (6\,110\,636,05 \text{ м}^3 \cdot 1,85 \cdot 0,8) / 5\,713\,009,20 \text{ т/рік} = 1,58 \text{ років}.$$

Розрахунок четвертого ярусу хвостосховища

Площа нижньої основи дамби четвертого ярусу визначається за формулою (2.7):

$$S_{H4} = B_{H4}^2, \text{ м}^2.$$

У даному випадку розміри сторони нижньої основи третього ярусу – це довжина сторони верхньої основи другого ярусу $B_{в2}$, зменшена на дві ширини нижньої основи вторинних дамб C_6 (рис. 2.4):

$$B_{H4} = B_{в3} - 2 \cdot C_6 = 1\,530,32 \text{ м} - 2 \cdot 24,5 \text{ м} = 1\,481,32 \text{ м}.$$

Таким чином площа нижньої основи дамби четвертого ярусу за формулою (2.7) становить:

$$S_{H4} = B_{H4}^2 = (1\,481,32 \text{ м})^2 = 2\,194\,308,94 \text{ м}^2.$$

Площа верхньої основи дамби четвертого ярусу визначається за формулою (2.8):

$$S_{B4} = B_{B4}^2, \text{ м}^2.$$

У даному випадку ширина верхньої основи четвертого ярусу хвостосховища становить (див. рис. 2.4):

$$B_{B4} = B_{H4} + 2 \cdot C_5 = 1\,481,32 \text{ м} + 2 \cdot 7,5 \text{ м} = 1\,496,32 \text{ м}.$$

Таким чином площа верхньої основи дамби четвертого ярусу становить:

$$S_{B4} = B_{B4}^2 = (1\,496,32 \text{ м})^2 = 2\,238\,973,54 \text{ м}^2.$$

Геометричний об'єм хвостосховища четвертого ярусу хвостосховища визначається за формулою (2.6):

$$\begin{aligned} V_4 &= \frac{1}{3} \cdot H_4 \cdot (S_{H4} + S_{B4} + \sqrt{S_{H4} \cdot S_{B4}}) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot 2,5 \text{ м} \cdot (2\,194\,308,94 \text{ м}^2 + 2\,238\,973,54 \text{ м}^2 + \sqrt{2\,194\,308,94 \text{ м}^2 \cdot 2\,238\,973,54 \text{ м}^2}) = \\ &= 5\,541\,509,35 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Об'єм вторинної дамби четвертого ярусу визначається за формулою (2.10):

$$V'_4 = F_2 \cdot L_{D4}, \text{ м}^3,$$

Довжина однієї сторони дамби четвертого ярусу по її осі становить:

$$A_4 = A_3 - 2 \cdot a_3 = 1\,547,32 \text{ м} - 2 \cdot 17,0 \text{ м} = 1\,513,32 \text{ м}.$$

Довжина вторинної дамби четвертого ярусу по осі становить:

$$L_{D4} = 4 \cdot A_4 = 4 \cdot 1\,513,32 \text{ м} = 6\,053,28 \text{ м}.$$

Таким чином

$$V'_4 = F_2 \cdot L_{D4} = 48,75 \text{ м}^2 \cdot 6\,053,28 \text{ м} = 295\,097,40 \text{ м}^3.$$

Сумарний об'єм четвертого ярусу визначається за формулою (2.12):

$$V_{c4} = V_4 + V'_4 = 5\,541\,509,35 \text{ м}^3 + 295\,097,40 \text{ м}^3 = 5\,836\,606,75 \text{ м}^3.$$

Термін експлуатації четвертого ярусу визначається за формулою (2.13):

$$\begin{aligned} t_4 &= (V_{c4} \cdot K_{зап} \cdot \rho_{с.хв}) / G_{хв} = \\ &= (5\,836\,606,75 \text{ м}^3 \cdot 1,85 \cdot 0,8) / 5\,713\,009,20 \text{ т/рік} = 1,51 \text{ рік.} \end{aligned}$$

Розрахунок загальних параметрів хвостосховища

Загальний об'єм хвостосховища визначається за формулою (2.14):

$$\begin{aligned} V_3 &= V_1 + V_{c2} + V_{c3} + V_{c4} = \\ &= 23\,593\,054,49 \text{ м}^3 + 6\,402\,687,75 \text{ м}^3 + 611\,636,05 \text{ м}^3 + 586\,606,75 \text{ м}^3 = \\ &= 41\,942\,985,04 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Загальний об'єм вторинних дамб визначається за формулою (2.15):

$$\begin{aligned} V'_{заг} &= V'_2 + V'_3 + V'_4 = 308\,357,40 \text{ м}^3 + 301\,727,40 \text{ м}^3 + 295\,097,40 \text{ м}^3 = \\ &= 905\,182,20 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Порівнюємо одержані значення загального об'єму хвостосховища $V_{заг}$ з необхідним за рівнянням (2.18): $V_{заг} \geq V$ – умова виконується, оскільки $41\,942\,985,04 \text{ м}^3 > 38\,601\,413,51 \text{ м}^3$, тобто у хвостосховищі може бути за складована більша кількість відходів, ніж передбачається проектом.

Розрахунок терміну експлуатації хвостосховища

Повний термін експлуатації хвостосховища визначається за формулою (2.16):

$$\begin{aligned} t_n &= t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = \\ &= 6,11 \text{ років} + 1,66 \text{ років} + 1,58 \text{ років} + 1,51 \text{ років} = 10,86 \text{ років.} \end{aligned}$$

Порівнюємо одержані значення повного терміну експлуатації t_n з потрібним за рівнянням (2.19): $t \geq t_c$ – умова виконується, оскільки $10,86 \text{ років} > 10 \text{ років}$, отже хвостосховище буде заповнюватися довше передбачених десяти років.

Заносимо результати розрахунків до підсумкової табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків загальних параметрів хвостосховища

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	1518,32	1481,32	–
Довжина однієї сторони верхньої основи ярусу $B_{ви}$, м	1604,32	1567,32	1530,32	1496,32	–
Об'єм ярусу хвостосховища V_i , млн м ³	23,593	6,094	5,809	5,542	41,038
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. м ³	–	0,308	0,302	0,295	0,905
Сумарний об'єм одного ярусу хвостосховища V_{ci} , млн. м ³	23,593	6,403	6,111	5,837	41,943
Термін експлуатації одного ярусу t_i , років	6,11	1,66	1,58	1,51	10,86

Таким чином, хвостосховище, що розташоване на ділянці площею 280 га, при висоті огорожувальної дамби 17,5 м буде експлуатуватися 10,86 років.

2.6 Побудова графіків об'ємів хвостосховищ

За результатами попередніх розрахунків (див. п. 2.5) будується графік зміни об'ємів в залежності від рівня наповнення $V = f(H)$ хвостосховища [5]. Для побудови графіку необхідно визначити проміжкові геометричні об'єми (не менше одного) наповнення першого ярусу хвостосховища і відповідні їм площі за аналогічними розрахунками, виконаними раніше в п. 2.5.

Обов'язково необхідно навести графік зміни об'ємів в залежності від рівня наповнення $V = f(H)$ хвостосховища, побудований за власним варіантом.

2.7 Приклад побудови графіку об'ємів хвостосховища

Площа нижньої основи дамби першого ярусу визначається за формулою (2.7):

$$S_{H1} = B_{H1}^2, \text{ м}^2,$$

У даному випадку 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 :

$$B_{H1} = A - 2 \cdot C_3,$$

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

де m_H та m_E – закладання низового та верхового укосу дамби відповідно, м (рис. 2.1).

Отже

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

Таким чином площа нижньої основи дамби першого ярусу за формулою (2.7) становить:

$$S_{H1} = B_{H1}^2 = (1547,32 \text{ м})^2 = 2\,394\,199,18 \text{ м}^2.$$

Площа верхньої основи дамби першого ярусу при рівні наповнення 3 м визначається за формулою (2.8):

$$S_{E1 \text{ при } 3\text{м}} = B_{E1 \text{ при } 3\text{м}}^2, \text{ м}^2.$$

У даному випадку розмір сторони верхньої основи першого ярусу хвостосховища при рівні наповнення 3 м (рис. 2.4):

$$B_{E1 \text{ при } 3\text{м}} = B_{H1} + 2 \cdot C_{2 \text{ при } 3\text{м}} - 2 \cdot h_{\text{зап.}} \cdot m_E,$$

$$C_{2 \text{ при } 3\text{м}} = H_{1 \text{ при } 3\text{м}} \cdot m_E = 3,0 \text{ м} \cdot 3 = 9,0 \text{ м}.$$

Отже

$$B_{E1 \text{ при } 3\text{м}} = B_{H1} + 2 \cdot C_{2 \text{ при } 3\text{м}} = 1\,547,32 \text{ м} + 2 \cdot 9,0 \text{ м} = 1\,565,32 \text{ м}.$$

Таким чином площа верхньої основи дамби першого ярусу при рівні наповнення 3 м за формулою (2.7) становить:

$$S_{E1 \text{ при } 3\text{м}} = B_{E1 \text{ при } 3\text{м}}^2 = (1\,565,32 \text{ м})^2 = 2\,450\,226,70 \text{ м}^2.$$

Геометричний об'єм хвостосховища першої черги при рівні наповнення 3,0 м визначається за формулою (2.6):

$$V_{1 \text{ при } 3\text{м}} = \frac{1}{3} \cdot H_{1 \text{ при } 3\text{м}} \cdot \left(S_{\text{н1 при } 3\text{м}} + S_{\text{в1 при } 3\text{м}} + \sqrt{S_{\text{н1 при } 3\text{м}} \cdot S_{\text{в1 при } 3\text{м}}} \right) =$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 3,0 \text{ м} \cdot \left(2\,394\,199,18 \text{ м}^2 + 2\,450\,226,70 \text{ м}^2 + \sqrt{2\,394\,199,18 \text{ м}^2 \cdot 2\,450\,226,70 \text{ м}^2} \right) =$$

$$= 7\,266\,476,82 \text{ м}^3.$$

Дані для побудови графіку залежності об'ємів хвостосховища від його наповнення $V = f(H)$ зведено в табл. 2.3 (див. п. 2.5, рис. 2.7).

Таблиця 2.3 – Розрахункові параметри хвостосховища для побудови графіку залежності об'ємів хвостосховища від його наповнення $V = f(H)$

Рівень заповнення хвостосховища, м	Геометричний об'єм наповнення чаши, м ³	Площа, м ²
0	0	0
3	$V_{1 \text{ при } 3\text{м}} = 7\,266\,476,82$	$S_{\text{в1 при } 3\text{м}} = 2\,450\,226,70$
9,5	$V_1 = 23\,593\,054,49$	$S_{\text{в1}} = 2\,573\,842,66$
$9,5 + 2,5 = 12,0$	$V_1 + V_2 = 23\,593\,054,49 + 6\,094\,330,35 = 29\,687\,384,84$	$S_{\text{в2}} = 2\,456\,491,98$
$12,0 + 2,5 = 14,5$	$V_1 + V_2 + V_3 = 29\,687\,384,84 + 5\,808\,908,65 = 35\,496\,293,49$	$S_{\text{в3}} = 2\,341\,879,30$
$14,5 + 2,5 = 17,0$	$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 35\,496\,293,49 + 5\,541\,509,35 = 41\,037\,802,84$	$S_{\text{в4}} = 2\,238\,973,54$

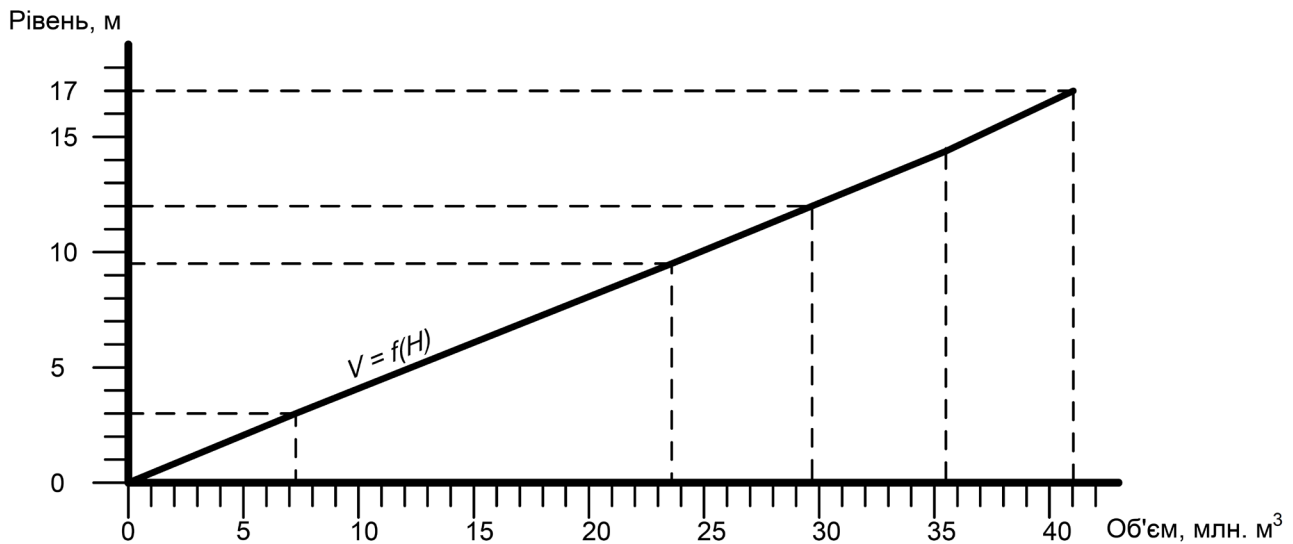


Рисунок 2.7 – Графік залежності $V = f(H)$ хвостосховища

Слід відзначити, що як правило вигляд кривих об'ємів і площ хвостосховища має вигляд (рис. 2.8) [4].

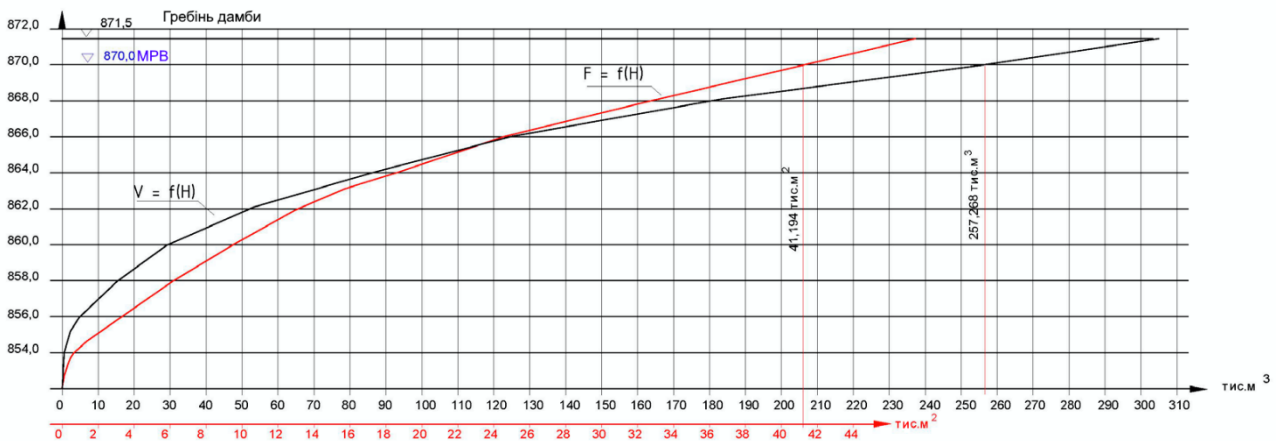


Рисунок 2.8 – Топографічна характеристика хвостосховища на прикладі 1-ої секції хвостосховища гірничо-збагачувального комбінату [4]

2.8 Завдання

Гірничо-збагачувальний комбінат (ГЗК) видаляє хвости збагачення в хвостосховище гідравлічним способом. Необхідно розрахувати параметри хвостосховища і термін його експлуатації. Побудуйте поперечний переріз огорожувальної дамби хвостосховища у масштаб М 1:1000 або крупніше (див. рис. 2.6). З побудовою графіку об'ємів хвостосховища $V = f(H)$ (див. рис. 2.7) слід ознайомитись, але будувати не потрібно (*побудова графіку передбачається лише за бажанням здобувача*). По тексті роботи графічний матеріал розташовувати як рисунки. Вихідні дані для розрахунку представлені нижче (табл. 2.4). Графічну частину пропонується виконати в будь-який зручний спосіб для здобувача. За умови виконання графічної частини за допомогою програми AutoCAD, то слід прикріплювати додатково до оформленої роботи робочий файл Прізвище Ім'я.dwg.

Таблиця 2.4 – Вихідні дані для виконання розрахункової частини за варіантами

Параметр	Номер варіанту					
	1	2	3	4	5	6
Тип	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 ³ /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 ³	2,8	2,6	3,3	2,8	2,5	3,5

Параметр	Номер варіанту					
	1	2	3	4	5	6
Щільність води ρ_v , т/м ³	1	1	1	1	1	1
<i>Первинна дамба</i>	природні суглинки					
висота h_1 , м	10	9	10	10,5	9,5	11
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	5	5	8
<i>Вторинні дамби</i>	поярусно хвости					
висота h_2 , м	3	4	3	3	2,5	5
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_2 , м	7	6	5	5	5	8
Перевищення гребеня дамб над рівнем заповнення хвостосховища $h_{зап}$, м	1,6	2,0	1,8	1,7	1,5	2,5
Загальна висота огорожувальної дамби H , м*	18,6	20	17,8	18,7	16,5	19,5
Середня щільність укладання сухих хвостів, які намиті в хвостосховище і відсипані у вторинні дамби $\rho_{с.х}$, т/м ³	2,15	1,95	2,13	1,78	1,88	1,85
Коефіцієнт заповнення $K_{зап}$	0,75	0,83	0,81	0,77	0,79	0,82
Середньозважений розмір часток ґрунту d , мм	16,5	17,5	17,0	18,0	18,5	17,5
Рельєф місцевості	плоский рельєф місцевості з похилом $i < 0,01$					

Примітка. «*» На підставі розрахунків дозволяється уточнювати загальну висоту огорожувальної дамби H , м, на величину не більше ніж $\pm h_{зап}$, м.

Продовження табл. 2.4

Параметр	Номер варіанту					
	7	8	9	10	11	12
Тип	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 ³ /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 ³	2,5	2,7	3,5	3,1	2,5	3,4
Щільність води ρ_v , т/м ³	1	1	1	1	1	1
<i>Первинна дамба</i>	природні суглинки					
висота h_1 , м	10	10	8	7	7	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	1:3,5	1:3,5	1:3,5	1:3,5	1:3,5	1:3,5
Ширина по гребеню B_1 , м	7	6	5	5	5	5

Параметр	Номер варіанту					
	7	8	9	10	11	12
Вторинні дамби	поярусно хвости					
висота h_2 , м	4	4	3	3	3	3
закладання низового укосу m_H	1:2,5	1:2,5	1:2,5	1:2,5	1:2,5	1:2,5
закладання верхового укосу m_B	1:3,5	1:3,5	1:3,5	1:3,5	1:3,5	1:3,5
ширина по гребеню B_2 , м	7	6	5	5	5	5
Перевищення гребеня дамб над рівнем заповнення хвостосховища $h_{зап}$, м	1,9	2,0	1,8	1,8	1,6	1,7
Загальна висота огорожувальної дамби H , м*	18,3	18	15,8	14,8	15,6	16,2
Середня щільність укладання сухих хвостів, які намиті в хвостосховище і відсипані у вторинні дамби $\rho_{с.х}$, т/м ³	1,69	1,85	2,10	1,75	1,85	1,88
Коефіцієнт заповнення $K_{зап}$	0,81	0,82	0,81	0,79	0,85	0,84
Середньозважений розмір часток ґрунту d , мм	19,5	19,0	19,3	17,5	18,0	18,5
Рельєф місцевості	плоский рельєф місцевості з похилом $i < 0,01$					

Примітка. «*» На підставі розрахунків дозволяється уточнювати загальну висоту огорожувальної дамби H , м, на величину не більше ніж $\pm h_{зап}$, м.

Продовження табл. 2.4

Параметр	Номер варіанту					
	13	14	15	16	17	18
Тип	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_n , м ³ /год	4500	5500	4500	3500	2800	3100
Консистенція пульпи Т:Р	1:13	1:15	1:16	1:19	1:22	1:25
Щільність частинок хвостів $\rho_{ч.хв}$, т/м ³	2,8	2,6	3,3	2,8	2,5	3,5
Щільність води ρ_B , т/м ³	1	1	1	1	1	1
Первинна дамба	природні суглинки					
висота h_1 , м	10	9	10	10,5	9,5	11
закладання низового укосу m_H	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3
закладання верхового укосу m_B	1:3,5	1:3,5	1:3,5	1:3,5	1:3,5	1:3,5
Ширина по гребеню B_1 , м	8	7	6	6	6	5
Вторинні дамби	поярусно хвости					
висота h_2 , м	3	4	3	3	2,5	5
закладання низового укосу m_H	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3
закладання верхового укосу m_B	1:3,5	1:3,5	1:3,5	1:3,5	1:3,5	1:3,5
ширина по гребеню B_2 , м	8	7	6	6	6	5

Параметр	Номер варіанту					
	13	14	15	16	17	18
Перевищення гребеня дамб над рівнем заповнення хвостосховища $h_{зап}$, м	1,6	2,0	1,8	1,7	1,5	2,5
Загальна висота огорожувальної дамби H , м*	18,6	20	17,8	18,7	16,5	19,5
Середня щільність укладання сухих хвостів, які намиті в хвостосховище і відсипані у вторинні дамби $\rho_{с.х.}$, т/м ³	2,15	1,95	2,13	1,78	1,88	1,85
Коефіцієнт заповнення $K_{зап}$	0,83	0,84	0,85	0,75	0,83	0,81
Середньозважений розмір часток ґрунту d , мм	17,5	18,0	18,5	15,5	16,5	17,0
Рельєф місцевості	плоский рельєф місцевості з похилом $i < 0,01$					

Примітка. «*» На підставі розрахунків дозволяється уточнювати загальну висоту огорожувальної дамби H , м, на величину не більше ніж $\pm h_{зап}$, м.

Продовження табл. 2.4

Параметр	Номер варіанту					
	19	20	21	22	23	24
Тип	Хвостосховище наливне (поступового заповнення) рівнинного типу, в плані має форму квадрата					
Площа земельної ділянки, що відведена під хвостосховище S , га	275	185	550	410	550	450
Термін експлуатації t_e , роки	16	17	18	15	15	22
Витрата пульпи Q_p , м ³ /год	5500	4500	6500	6000	5500	5000
Консистенція пульпи Т:Р	1:19	1:21	1:22	1:23	1:20	1:18
Щільність частинок хвостів $\rho_{ч.хв.}$, т/м ³	2,5	2,7	3,5	3,1	2,5	3,4
Щільність води ρ_v , т/м ³	1	1	1	1	1	1
Первинна дамба	природні суглинки					
висота h_1 , м	10	10	8	7	7	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	6	7	6	7	7	6
Вторинні дамби	поярусно хвости					
висота h_2 , м	4	4	3	3	3	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_2 , м	6	7	6	7	7	6
Перевищення гребеня дамб над рівнем заповнення хвостосховища $h_{зап}$, м	1,9	2,0	1,8	1,8	1,6	1,7
Загальна висота огорожувальної дамби H , м*	18,3	18	15,8	14,8	15,6	16,2
Середня щільність укладання сухих хвостів, які намиті в	1,75	1,80	2,20	1,95	1,88	1,81

Параметр	Номер варіанту					
	19	20	21	22	23	24
хвостосховище і відсипані у вторинні дамби $\rho_{с.х}$, т/м ³						
Коефіцієнт заповнення $K_{зап}$	0,81	0,79	0,85	0,81	0,78	0,76
Середньозважений розмір часток ґрунту d , мм	16,5	15,5	17,0	17,5	18,0	18,5
Рельєф місцевості	плоский рельєф місцевості з похилом $i < 0,01$					

Примітка. «*» На підставі розрахунків дозволяється уточнювати загальну висоту огорожувальної дамби H , м, на величину не більше ніж $\pm h_{зап}$, м.

Питання для самоперевірки

1. Що являє собою пульпа?
2. На які типи поділяються хвостосховища та шламонакопичувачі?
3. Який укіс дамби називають верховим, а який – низовим?
4. З яких матеріалів зазвичай споруджують первинні та вторинні дамби хвостосховищ?
5. Для чого слід підтримувати перевищення гребеня дамби над рівнем заповнення хвостосховища?

Перелік рекомендованих джерел

- 1 ДБН В.2.4-5:2012. Хвостосховища і шламонакопичувачі. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. [Чинний від 2012-09-01]. Вид. офіц. Київ, 2012. 130 с. (Інформація та документація).
- 2 Утилізація промислових відходів : методичні вказівки до практичних занять / уклад.: К. Д. Бригінець, К. О. Абашина. Харків : ХНАМГ, 2012. 30 с. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/11331835.pdf> (дата звернення: 14.08.2024).
- 3 Не Бразилія: як в Україні будують хвостосховища та стежать за їхньою безпекою. Стаття від 14.02.2019 р. Uaprom.info : веб-сайт. URL: <https://uaprom.info/article/8154-braziliya-ukraine-stroyat-hvostohranilishha-sledyat-bezopasnostyu.html> (дата звернення: 14.08.2024).
- 4 Проект експлуатації простору надр (1-ша секція хвостосховища гірничо-збагачувального комбінату ТОВ «ГОК Манка» в Курчумському районі Східно-Казахстанської області). Книга 1. Пояснювальна записка. Усть-Каменогорськ : ТОВ «Казнедропроєкт», 2022. 122 с.
- 5 Технології утилізації відходів та рециклінг : методичні рекомендації до виконання практичних робіт / уклад.: О. О. Борисовська, В. Ю. Ґрунтова. Дніпро : НТУ «ДП», 2019. 52 с.
- 6 Ніколаєва І., Линько Г., Лободзінський О. Хвостосховища Донбасу : Резюме дослідження поточного стану хвостосховищ Донбасу

щодо їхнього можливого аварійного впливу на водні об'єкти в умовах військових дій. Київ, 2019. 52 с. URL: <https://www.osce.org/files/f/documents/b/b/456847.pdf> (дата звернення: 14.08.2024).

7 Гапіч Г. В., Пікареня Д. С., Рудаков Л. М., Максимова Н. М., Макарова Т. К. Оцінка ризику аварії та розрахунок процесу руйнування ґрунтової греблі хвостосховища. *Комунальне господарство міст*. 2020. Т. 3, № 156. С. 99-104. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-3-156-99-104>.

8 Global Industry Standard on Tailings Management. Global Tailings Review : website. URL: <https://globaltailingsreview.org/global-industry-standard/> (дата звернення: 14.08.2024).

9 SME Society for Mining, Metallurgical & Exploration. Inspiring Mining Professionals Worldwide : website. URL: <https://www.smenet.org/smetailingsportal> (дата звернення: 14.08.2024).

Приклад титульного аркушу комплекту практичних робіт, виконаних здобувачем

**ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Кафедра безпеки праці та охорони довкілля**

УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ:

Індивідуальне завдання № __ за варіантом № __

Виконав:
здобувач вищої освіти
групи _____
Прізвище І.П.

Перевірила:
доц. Максимова Н.М.

Додаткові дані до виконання індивідуального завдання № 1 з визначення основних параметрів метантенку [1]

Таблиця Б.1.1 – Добова доза завантаження в метантенк [1]

Режим зброджування	Доза завантаження, %, при вологості осаду, %, не більше				
	93	94	95	96	97
Мезофільний	7	8	8	9	10
Термофільний	14	16	17	18	19

Таблиця Б.1.2 – Вміст поверхнево-активних речовин в осаді та активному мулі [1]

Вихідна концентрація ПАР в стічних водах, мг/дм ³	Вміст ПАР, мг/г сухої речовини	
	в осаді з первинних відстійників (a _o)	в надлишковому активному мулі (a _m)
5	5	5
10	9	5
15	13	7
20	17	7
25	20	12
30	24	12

Таблиця Б.1.3 – Розміри типових метантенків [1]

Корисний об'єм, м ³	Діаметр, м	Висота, м		
		верхнього конуса	циліндричної частини	нижнього конуса
1000	12,5	1,9	6,5	2,15
1600	15	2,35	7,5	2,6
2500	17,5	2,5	8,5	3,05
4000	20	2,9	10,6	3,5
6000	18	3,15	18	3,5
8000	22,6	4,45	16,3	3,7

Таблиця Б.1.4 – Значення коефіцієнта K_p [1]

Режим зброджування	Значення K _p при вологості осаду, %				
	93	94	95	96	97
Мезофільний	1,05	0,89	0,72	0,56	0,40
Термофільний	0,455	0,385	0,31	0,24	0,17

Таблиця Б.1.5 – Розміри типових газгольдерів [1, 3]

Типовий проект	Об'єм газгольдера, м ³	Діаметр резервуара, мм	Висота газгольдера, мм
ТП 7-07-01/66	100	7400	7450
ТП 7-07-02/66	300	9300	12500
ТП 7-07-03/66	600	11480	15400
ТП 707-2-5	1000	14500	15400
ТП 707-2-6	3000	21050	20100
ТП 707-2-7	6000	26900	24200



Навчально-методичне видання

Наталія Миколаївна Максимова

УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

методичні вказівки до виконання індивідуальних завдань

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції