

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання розрахунково-графічної роботи
з навчальної дисципліни

«ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ОСАДІВ»

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання галузі знань G – Інженерія, виробництво та будівництво
зі спеціальності G19 – Будівництво та цивільна інженерія,
освітня програма «Цивільна інженерія»)*



**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025**

Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Процеси та обладнання для обробки осадів» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання галузі знань G – Інженерія, виробництво та будівництво зі спеціальності G19 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 48 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. Т. С. Айрапетян

Рецензент

Т. О. Шевченко, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 19.08.2024

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Структура й оформлення розрахунково-графічного завдання.....	5
2 Завдання до виконання розрахунково-графічного завдання.....	7
2.1 Теоретична частина.....	7
2.2 Розрахункова частина.....	8
3 Розрахунок кількості осадів стічних вод та визначення їхніх основних параметрів.....	9
4 Рекомендації до розрахунку основних споруд з обробки осадів стічних вод.....	12
4.1 Приклад розрахунку вертикальних мулоущільнювачів.....	12
4.2 Приклад розрахунку радіальних мулоущільнювачів.....	15
4.3 Розрахунок метантенків.....	17
4.4 Приклад розрахунку аеробної стабілізації.....	21
5 Механічне зневоднення осадів на центрифугах.....	24
5.1 Розрахунок технологічних параметрів осаду, який зневоднюється на центрифугах.....	24
5.2 Додаткові рекомендації до розрахунку центрифуг за схемами I–V.....	28
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	40
ДОДАТКИ.....	41

ВСТУП

Проблема охорони середовища і водних об'єктів від забруднення стічними водами міст і промислових підприємств вимагає комплексного вирішення питання, пов'язаного не лише з розробленням технології очищення води. Необхідне створення систем з обробки осадів, які утворюються під час очищення стічних вод.

Обробка і утилізація осадів, що виділяються в процесі очищення стічних вод, є дуже складним завданням. Осади міських стічних вод мають великі об'єми, дуже високу вологість, неоднорідний склад і властивості, а також містять органічні речовини, здатні швидко розкладатися і загнивати. Крім того, осади заражені бактерійною, зокрема патогенною мікрофлорою і яйцями гельмінтів.

Основне завдання обробки осадів, що виділяються в процесах очищення стічних вод, полягає в отриманні кінцевого продукту, властивості якого забезпечували б можливість його утилізації, або звели до мінімуму шкоду, що завдається довкіллю, і проводиться з метою зменшення об'єму осаду і його знезараження.

Обробка осадів, що виділяються в процесі очищення стічних вод, проводиться з метою отримання кінцевого продукту, який завдаватиме мінімальної шкоди навколишньому середовищу або придатного для утилізації у виробництві.

У методичних рекомендаціях наведені основні методики проєктування та приклади розрахунків споруд для обробки осадів.

1 Структура й оформлення розрахунково-графічного завдання

Метою виконання розрахунково-графічного завдання (РГЗ) є вивчення методів обробки осадів, що утворюються під час очищення стічних вод, вивчення конструктивних особливостей споруд та методик визначення основних розрахункових параметрів технологічних схем.

РГЗ складається із розрахунково-пояснювальної записки і графічної частини.

Розрахунково-пояснювальна записка містить теоретичну і розрахункову частини.

Завданням для виконання теоретичної частини є розкриття теоретичного питання за завданням викладача (2.1).

Завданням для виконання розрахункової частини є розрахунок технологічних схем та споруд для обробки осадів за індивідуальними вихідними даними (2.2).

Основні завдання під час виконання РГЗ:

1. Розрахунок кількості осадів, затриманих на спорудах механічного та біологічного очищення стічних вод.
2. Розрахунок споруд з обробки осадів.

Графічна частина розрахунково-графічного завдання виконується за завданням викладача.

Розділи розрахунково-пояснювальної записки повинні мати наскрізну нумерацію, всі розрахунки ілюструються ескізами та схемами споруд.

Структура РГЗ повинна бути такою:

- титульний аркуш виконують за відповідною формою (дод. Г);
- зміст;
- елементи основної частини РГЗ (склад, зміст і обсяг розділів основної частини РГЗ визначаються одержаним завданням на його виконання);
- список джерел (перелік джерел, на які зроблені посилання у відповідних місцях тексту, складають у тому порядку, в якому вони згадуються

в тексті; окрім літературних джерел, до списку додають перелік використаної нормативної документації (ДБН , ДСТУ, ТУ тощо);

– додатки (у додатках розміщують матеріал, що є необхідним, але не може бути розміщений в основній частині РГР через великий обсяг або з інших міркувань); додатки розташовують у порядку появи посилань у тексті основної частини РГЗ, кожен додаток починають з нової сторінки.

Оформлення РГЗ здійснюють відповідно до вимог оформлення розрахунково-пояснювальних записок:

– РГЗ виконують на аркушах формату А4 без рамки з полями: верхнє і нижнє – 20 мм, ліве – не менше 25 мм, праве – не менше 10 мм;

– текст РГЗ оформлюють шрифтом 14 пт, (Times New Roman, GOST type A, B) з полуторним міжрядковим інтервалом; абзаци в тексті дорівнюють 1–1,27 см;

– нумерацію сторінок РГЗ проставляють у правому верхньому кутку арабськими цифрами без крапки; нумерація сторінок – наскрізна, містить ілюстрації (рисунок) й таблиці, розташовані на окремих сторінках, а також додатки; структурні елементи РГЗ – ВСТУП, ВИСНОВКИ, СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ – не нумерують;

– усі розділи РГЗ починають з нової сторінки;

– заголовки структурних елементів і розділів РГЗ пишуть великими (заголовними) буквами без крапки в кінці, не підкреслюючи; заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів пишуть малими буквами, починаючи з заголовної, розташовуючи номер підрозділу (пункту, підпункту) з абзацного відступу, без крапки в кінці;

– формули та рівняння нумерують в межах розділу; номер формули складається з номера розділу і порядкового номера формули у цьому розділі, відокремлених крапкою; номер формули вказується на рівні формули у круглих дужках по правому краю.

2 Завдання до виконання розрахунково-графічного завдання

2.1 Теоретична частина

1. На яких спорудах станції очищення стічних вод утворюються осади? Склад і властивостей осадів.
2. Види зв'язку води з частинками твердої фази та їхній вплив на обробку осадів.
3. Переваги та недоліки відцентрового згущування осадів порівняно з гравітаційним і флотаційним ущільненням.
4. Які споруди застосовують для зброджування органічного осаду? Фази й продукти зброджування осадів під час анаеробної обробки.
5. Стабілізація осадів стічних вод та активного мулу в анаеробних умовах. Конструкції споруд.
6. Стабілізація осадів стічних вод та активного мулу в аеробних умовах. Конструкції споруд.
7. Анаеробно-аеробна стабілізація осадів. Переваги технології.
8. Використання флокулянтів для кондиціонування осадів.
9. Теплова обробка та заморожування осадів
9. Зневоднення осадів на барабанних вакуум-фільтрах.
10. Фільтр-пресування осадів. Зневоднення осадів на стрічкових фільтр-пресах та камерних фільтр-пресах. Опишіть механізм зневоднення осаду.
11. Центрифугування осадів. На які показники впливає вживання флокулянтів під час центрифугування?
12. Споруди для зневоднення осаду стічних вод у природних і штучних умовах. Порівняльні переваги та недоліки.
13. Які переваги мають фільтр-преси порівняно з вакуум-фільтрами або центрифугами?
14. Знезараження рідких осадів нагріванням. Камери дегельмінтизації зневоднених осадів.
15. Компостування осадів. Конструкції та технологічні параметри установок для компостування осадів.

16. Термічна сушка осадів стічних вод. Типи сушарок.
17. Спалювання осадів стічних вод.
18. Перспективи використання біогазу, що утворюється під час обробки осадів стічних вод.
19. Утилізація осадів стічних вод.

2.2 Розрахункова частина

1. Розрахунок кількості осадів, що утворюються під час очищення стічних вод на очисних спорудах водовідведення. Визначення основних параметрів осадів (вологість, зольність тощо) .

2. Розрахунок технологічної схеми обробки осадів стічних вод, що містить ущільнення та стабілізацію в анаеробних або аеробних умовах – за варіантами (I–V). Схеми обробки осадів та вихідні дані для розрахунків за варіантами наведено у таблиці Д.1 (дод. Д):

I – вертикальні мулоущільнювачі – анаеробне мезофільне зброджування;

II – вертикальні мулоущільнювачі – анаеробне термофільне зброджування;

III – радіальні мулоущільнювачі – анаеробне мезофільне зброджування;

IV – радіальні мулоущільнювачі – анаеробне термофільне зброджування;

V – аеробна стабілізація.

3. Розрахунок апаратів механічного зневоднення осадів. У розрахунково-графічній роботі запропоновано використання центрифуг за однією з наведених нижче схем за варіантами (табл. Д.1, дод. Д):

I – зневоднення анаеробно зброженої суміші сирого осаду та ущільненого активного мулу з поверненням фугату у голову споруд (рис. 5.1, 5.2);

II – зневоднення анаеробно зброженої суміші сирого осаду та ущільненого активного мулу зі скидом фугату на мулові майданчики;

III – зневоднення анаеробно зброженої суміші сирого осаду та ущільненого активного мулу зі скидом фугату у голову споруд з використанням флокулянту;

IV – зневоднення аеробно стабілізованого осаду з поверненням фугату у стабілізатор (рис. 5.3, 5.4);

V – зневоднення сирого осаду та обробка фугату разом із надлишковим активним мулом в аеробному стабілізаторі (рис. 5.5, 5.6).

Основні рекомендації щодо розрахунку за кожною зі схем наведено нижче у розділі 5.2.

Графічна частина

Під час виконання РГЗ необхідно побудувати на аркуші формату А2–А4 технологічну схему споруд, для якої було виконано розрахунки споруд та визначено параметри осадів.

На схемі потрібно зазначити розрахункові параметри, що були визначені під час виконання РГЗ (витрати осадів, вологість, зольність, концентрації забруднень, кількість споруд тощо). Приклад оформлення наведено у додатку Е.

Оформлення графічного матеріалу має відповідати вимогам (товщина ліній, позначення трубопроводів, умовні позначення, експлікація споруд можуть бути на окремих аркушах або на звороті).

3 Розрахунок кількості осадів стічних вод та визначення їхніх основних параметрів

Сирий осад первинних відстійників

1. Кількість осаду за сухою речовиною M_{mud} визначають за такою формулою:

$$M_{mud} = \frac{Q_{mid} \cdot (C_{en} - C_{cdr})}{10^6}, \text{ т/добу}, \quad (3.1)$$

де Q_{mid} – середньодобова витрата стічних вод, що надходять на очищення, м³/добу;

C_{en} – концентрація завислих речовин в стічній воді, що надходить до відстійника, г/м³;

C_{cdr} – концентрація завислих речовин в освітленій стічній воді, г/м³.

2. Об'єм осаду, який виділяється під час відстоювання, визначається за такою формулою [2]:

$$W_{mud} = \frac{Q_{mid} \cdot (C_{en} - C_{cdp})}{(100 - P_{mud}) \cdot \rho_{mud} \cdot 10^4}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (3.2)$$

де ρ_{mud} – густина осаду, вважається $1,05 \text{ г/см}^3$;

P_{mud} – вологість осаду, %, п. 10.2.4.12 [2]: у разі видалення осаду самопливом P_{mud} обирається $95\text{--}96\%$; у разі видалення насосами P_{mud} обирається $94\text{--}95\%$.

3. Витрата беззольної речовини $M_{mud}^{бз}$ визначається за такою формулою:

$$M_{mud}^{бз} = \frac{M_{mud}(100 - P_g)(100 - Z_{mud})}{10^4}, \text{ т/добу}. \quad (3.3)$$

Гігроскопічна вологість P_g , %, і зольність Z_{mud} , %, можуть бути обрані: $P_g = 5\text{--}6\%$, $Z_{mud} = 25\text{--}27\%$.

Надлишковий активний мул, затриманий у вторинних відстійниках

1. Кількість мулу за сухою речовиною $M_{mud.a}$, т/добу, визначають за такою формулою:

$$M_{mud.a} = \frac{P_i \cdot Q_{mid}}{10^6}, \text{ т/добу}, \quad (3.4)$$

де P_i – приріст активного мулу в аеротенках, г/м^3 , який надходить на обробку можна визначати за формулою В.20 [2, дод. В]:

$$P_i = 0,8 \cdot C_{cdp} + K_g \cdot L_{en}, \text{ мг/л}, \quad (3.5)$$

де C_{cdp} – концентрація завислих речовин у стічній воді, яка надходить до аеротенку, г/м^3 (не більше 150 мг/л , п. 10.2.4.6 [2]);

K_g – коефіцієнт приросту, для міських стічних вод і близьких до них за складом виробничих стічних вод дорівнює $0,3$;

L_{en} – значення БПК_{повн} у стічних водах, які надходять на біологічне очищення до аеротенку (з урахуванням зниження БПК_{повн} у разі первинного відстоювання), г/м^3 ;

2. Об'єм мулу визначають за такою формулою:

$$W_{mud.a} = \frac{100 \cdot M_{mud.a}}{(100 - P_{mud.a}) \cdot \rho_{mud.a}}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (3.6)$$

де $P_{mud.a}$ – вологість надлишкового активного мулу, %, обирається 99,5 %;

$\rho_{mud.a}$ – густина активного мулу – 1,03 т/м³.

3. Об'єм ущільненого надлишкового активного мулу визначають за такою формулою:

$$W_{ущ} = \frac{100 \cdot M_{mud.a}}{100 - P_{ex}}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (3.7)$$

де P_{ex} – вологість мулу після ущільнення, %.

Вологість мулу після ущільнення обирається за таблицею А.1 (дод. А).

5. Кількість беззольної речовини $M_{mud.a}^{бз}$, т/добу, визначають за такою формулою:

$$M_{mud.a}^{бз} = \frac{M_{mud.a} (100 - P_g) (100 - Z_{mud.a})}{10^4}. \quad (3.8)$$

Гігроскопічну вологість мулу P_g , %, і зольність, %, обирають відповідно:

$P_g = 5-6$ %; $Z_{mud.a} = 25-27$ %.

Визначення загальної кількості осадів

1. Кількість суміші сирого осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу за сухою речовиною $M_{сум}$, т/добу, визначають за такою формулою:

$$M_{сум} = M_{mud} + M_{mud.a}, \quad (3.9)$$

де M_{mud} – кількість сухої речовини осаду, т/добу;

$M_{mud.a}$ – кількість сухої речовини мулу, т/добу, якщо до суміші входить надлишковий мул.

2. Об'єм суміші $W_{сум}$, м³/добу, визначають за такою формулою:

$$W_{сум} = W_{mud} + W_{ущ}, \quad (3.10)$$

де W_{mud} – об'єм осаду, м³/добу;

$W_{ущ}$ – об'єм ущільненого мулу, м³/добу;

3. Вологість суміші P_{mix} , %, визначають за такою формулою:

$$P_{mix} = \left(1 - \frac{M_{сум}}{W_{сум}}\right) \cdot 100 \quad (3.11)$$

4. Витрата беззольної речовини суміші $M_{сум}^{\bar{0}3}$, т/добу, визначають за такою формулою:

$$M_{сум}^{\bar{0}3} = M_{mud}^{\bar{0}3} + M_{mud.a}^{\bar{0}3}, \quad (3.12)$$

де $M_{mud}^{\bar{0}3}$ – витрата беззольної речовини осаду, т/добу;

$M_{mud.a}^{\bar{0}3}$ – витрата беззольної речовини мулу, т/добу.

5. Зольність суміші $Z_{сум}$, %, необхідно визначати за такою формулою:

$$Z_{сум} = 100 \cdot \left(1 - \frac{M_{сум}^{\bar{0}3}}{\frac{M_{mud} \cdot (100 - P_g)}{100} + \frac{M_{mud.a} \cdot (100 - P'_g)}{100}}\right), \% \quad (3.13)$$

4 Рекомендації до розрахунку основних споруд з обробки осадів стічних вод

Нижче наведено деякі рекомендації та приклади розрахунків основних споруд технологічної схеми обробки осадів стічних вод, що містить ущільнення та стабілізацію осадів (анаеробне зброджування в метантенках або аеробну стабілізацію).

4.1 Приклад розрахунку вертикальних мулоущільнювачів

Вихідні дані для розрахунку:

1. Витрата стічних вод – 20 000 м³/добу.
2. Концентрація завислих речовин у стічній воді, що надходить до аеротенка з первинного відстійника – 127,25 мг/л.
3. БПК_{повн} стічних вод, що надходять до аеротенків – 229,5 мг/л.

Розрахунок мулоушільнювачів виконують на максимальний годинний приплив надлишкового активного мулу за такою формулою:

$$Q_{mud.a} = \frac{P_{max} \cdot q_{max}}{c \cdot 10^3}, \quad (4.1)$$

де q_{max} – максимальна годинна витрата стічних вод, м³/год;

P_{max} – максимальний годинний приріст надлишкового активного мулу, г/л.

$$P_{max} = K_M \cdot (P_i - v), \quad (4.2)$$

де $K_M = 1,15-1,2$ – коефіцієнт місячної нерівномірності приросту мулу;

c – концентрація надлишкового активного мулу, дорівнює дозі мулу в регенераторі: $c = a_r = 4-8$ г/л ;

v – винесення активного мулу відстійників у водойму, $v = C_{ex}$, обирають відповідно до розрахунку необхідного ступеня очищення, але не менше 10 мг/л.

P_i – збільшення активного мулу:

$$P_i = 0,8 \cdot C_{cdr} + K_g \cdot L_{en}, \text{ мг/л}, \quad (4.3)$$

де C_{cdr} – концентрація завислих речовин у стічній воді, яка надходить до аеротенка;

K_g – коефіцієнт приросту, для міських стічних вод дорівнює 0,3;

L_{en} – значення БПК_{повн} у стічних водах, які надходять на біологічне очищення до аеротенків, мг/л.

$$P_i = 0,8 \cdot 127,25 + 0,3 \cdot 229,5 = 170,65 \text{ мг/л}$$

$$P_{max} = 1,3 \cdot (170,65 - 15) = 202,34 \text{ г/м}^3.$$

Тоді
$$Q_{mud.a} = \frac{221,8 \cdot 20000}{24 \cdot 4000} = 46,21 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Висота проточної частини мулоушільнювача обчислюється за такою формулою:

$$h = 3,6 \cdot v \cdot t_{yuz}, \quad (4.4)$$

де v – швидкість руху рідини у відстійній зоні, мм/с, дорівнює 0,1 мм/с;

t_{yuz} – тривалість ущільнення, год.

$$h = 3,6 \cdot 0,1 \cdot 10 = 3,6 \text{ м}.$$

Максимальна витрата рідини, що відокремлюється в процесі ущільнення обчислюється за такою формулою:

$$Q_p = \frac{Q_{mid.a} \cdot (P_1 - P_2)}{100 - P_2}, \quad (4.5)$$

де P_1 – вологість мулу, що надходить, %;

P_2 – вологість ущільненого мулу, % (обирається за табл. А.1, дод. А).

$$Q_p = 46,21 \cdot \frac{99,6 - 98,0}{100 - 98,0} = 36,97, \text{ м}^3/\text{Год.}$$

Корисна площа поперечного перерізу мулоущільнювача, м^2 , обчислюється за такою формулою:

$$F_{кор} = \frac{Q_p}{3,6 \cdot v}, \text{ м}^2. \quad (4.6)$$

$$F_{кор} = \frac{36,97}{3,6 \cdot 0,1} = 102,69, \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перетину центральної труби обчислюється за такою формулою:

$$f_{mp} = \frac{Q_{mid.a}}{3600 \cdot v_{mp}}, \quad (4.7)$$

де v_{mp} – швидкість руху рідини в центральній трубі, дорівнює 0,1 м/с.

$$f_{mp} = \frac{46,21}{3600 \cdot 0,1} = 0,13 \text{ м}^2.$$

Загальна площа мулоущільнювача, м^2 обчислюється за такою формулою:

$$F_{заг} = 102,69 + 0,13 = 102,82 \text{ м}^2.$$

Діаметр одного мулоущільнювача обчислюється за такою формулою:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{заг}}{\pi \cdot n_i}}, \quad (4.8)$$

де n_i – кількість мулоущільнювачів.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 102,82}{3,14 \cdot 2}} = \sqrt{65,49} = 8,1 \text{ м.}$$

Обираємо два вертикальні мулоущільнювачі діаметром 9 м, розрахункова глибина проточної частини мулоущільнювача $h = 3,8$ м (табл. А2, дод. А).

Тривалість ущільнення надлишкового активного мулу, год, визначають за такою формулою:

$$T = \frac{h}{3,6 \cdot v}. \quad (4.9)$$

$$T = \frac{3,8}{3,6 \cdot 0,1} = 10,56 \text{ год.}$$

Тривалість ущільнення мулу в вертикальних відстійниках становить 10–15 год (табл. А.1, дод. А).

Тривалість зберігання ущільненого мулу у муловій частині мулоущільнювача, год, обчислюється за такою формулою:

$$T_{\text{мул}} = \frac{W_{\text{мул}} \cdot n}{q_{\text{ущ}}}, \quad (4.10)$$

де $W_{\text{мул}}$ – об'єм мулової (конічної) частини типового відстійника, м³; для відстійника $D = 9$ м $W_{\text{мул}} = 71,3$ м³ (табл. А.2, дод. А);

q_y – годинна витрата ущільненого мулу, м³/год.

$$q_y = 46,21 \cdot \frac{100 - 99,6}{100 - 98,0} = 9,24 \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$t_{\text{мул}} = \frac{71,3 \cdot 2}{9,24} = 15,43 \text{ год.}$$

Отримане значення $t_{\text{мул}}$ відповідає рекомендованому часу ущільнення.

Вода, відокремлена в процесі ущільнення, скеровується на біологічне очищення.

4.2 Приклад розрахунку радіальних мулоущільнювачів

Вихідні дані для розрахунку:

1. Витрата стічних вод – 83 000 м³/добу.

2. Концентрація завислих речовин в стічній воді, що надходить до аеротенка з первинного відстійника – 127,25 мг/л.

3. БПК_{повн} стічних вод, що надходять до аеротенків – 229,5 мг/л.

Визначаємо максимальний годинний приплив надлишкового активного мулу за формулами за (4.1) – (4.3):

$$P_i = 0,8 \cdot 127,25 + 0,3 \cdot 229,5 = 170,65 \text{ мг/л.}$$

$$P_{\max} = 1,3 \cdot (170,65 - 15) = 202,34 \text{ г/м}^3.$$

$$Q_{\text{mul.a}} = \frac{202,34 \cdot 83000}{24 \cdot 4000} = 175 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Необхідний об'єм мулоущільнювача, м³, обчислюється за такою формулою:

$$W = Q_{\text{mul.a}} \cdot T, \quad (4.11)$$

де T – тривалість ущільнення (обирається за табл. А.1, дод. А).

$$W = 175 \cdot 11 = 1925 \text{ м}^3.$$

Як ущільнювачі обираємо вторинні радіальні відстійники діаметром 18 м з об'ємом зони відстоювання одного відстійника $W_{\text{з.о.}} = 788 \text{ м}^3$ і об'ємом мулової зони $W_{\text{мул}} = 160 \text{ м}^3$ (табл. А.3, дод. А).

Кількість мулоущільнювачів обчислюється за такою формулою:

$$n = \frac{W}{W_{\text{з.о.}}}, \quad (4.12)$$

$$n = \frac{1925}{788} = 2,44.$$

Обираємо три мулоущільнювачі.

Навантаження на дзеркало мулоущільнювача, м³/м²·год, обчислюється за такою формулою:

$$q_0 = \frac{Q_{\text{mul.a}}}{n \cdot \pi \cdot R^2}, \quad (4.13)$$

де R – радіус відстійника, м.

$$q_0 = \frac{175}{3 \cdot 3,14 \cdot 9^2} = 0,23.$$

Навантаження знаходиться в межах припустимого для радіальних мулоущільнювачів ($q_o = 0,2-0,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$).

Розрахункова витрата ущільненого мулу за вологості 97,3 % обчислюється за такою формулою:

$$q_y = 175 \cdot \frac{100 - 99,6}{100 - 97,3} = 26 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Максимальну витрату рідини, що відокремлюється в процесі ущільнення визначаємо за (4.5) так:

$$Q_p = 175 \cdot \frac{99,6 - 97,3}{100 - 97,3} = 149 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Під час проєктування радіальних мулоущільнювачів обирають: висоту зони освітленої мулової води – 0,4–0,6 м; висоту нейтрального шару – 0,3–0,5 м; висоту зони ущільненого осаду і розміщення скребоків – 0,3 м (у разі використання мулососів її збільшують до 0,7 м).

4.3 Розрахунок метантенків

Місткість метантенків необхідно визначати за добовою дозою завантаження осаду в метантенк, D_{mt} , %. Добова доза осаду визначається за вологістю вихідного осаду (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Визначення добової дози завантаження в метантенк осаду D_{mt} залежно від середньої вологості суміші P_{mt} і режиму зброджування

Режим зброджування	Добова доза завантаження в метантенк осаду D_{mt} , %, за вологості завантаженого осаду, %, не більше				
	93	94	95	96	97
Мезофільний	7	8	8	9	10
Термофільний	14	16	17	18	19

Об'єм метантенків обчислюється за такою формулою:

$$W_{mt} = \frac{W_{сум} \cdot 100}{D_{mt}}, \text{ м}^3, \quad (4.14)$$

де D_{mt} – добова доза завантаження осаду в метантенк, % (табл. 4.1).

Максимально можливе зброджування беззольної речовини завантаженого осаду R_{lim} , %, визначають залежно від хімічного складу осаду.

Якщо бракує даних про хімічний склад осаду, величину R_{lim} допускається обирати:

- для осадів із первинних відстійників межа розпаду $a_o = 53$ %;
- для надлишкового активного мулу межа розпаду $a_{мул} = 44$ %;
- для суміші осаду з активним мулом – за середньоарифметичним співвідношенню змішуваних компонентів за беззольною речовиною:

$$R_{lim} = \frac{a_o \cdot M_{муд}^{бз} + a_{мул} \cdot M_{муд.а}^{бз}}{M_{сум}^{бз}}, \% \quad (4.15)$$

Розпад беззольної речовини R_r , %, завантаженого осаду залежно від дози завантаження визначається за такою формулою:

$$R_r = R_{lim} - K_r \cdot D_{mi}, \quad (4.16)$$

де K_r – коефіцієнт, який залежить від вологості осаду і режиму зброджування (табл. 4.2);

D_{mi} – доза завантаженого осаду, %.

Таблиця 4.2 – Значення коефіцієнта K_r

Режим зброджування	Значення коефіцієнта K_r за вологості завантаженого 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

Об'єм осаду в процесі зброджування практично не змінюється, тому об'єм збродженого осаду дорівнює об'єму осаду, що надходить в метантенки: $W_{SB} = W_{сум}$, м³/добу.

Кількість газу, y , отриману під час зброджування осаду, обираємо 1 м³ на 1 кг беззольної речовини, яка розпалася (густина газу вважається рівною 1 г/см³).

Сумарна витрата газу обчислюється за такою формулою:

$$\Gamma = \frac{R_r \cdot M_{\text{сум}}^{\text{бз}} \cdot 1000}{100}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (4.17)$$

де $M_{\text{сум}}^{\text{бз}}$ – загальна витрата сирого осаду і надлишкового активного мулу за беззольною речовиною.

Для вирівнювання тиску газу в газовій мережі передбачаємо вологі газгольдери, місткість яких розраховується на 2–4 години виходу газу:

$$W_r = \frac{\Gamma \cdot t}{24}, \text{ м}^3. \quad (4.18)$$

За таблицю Б.2 (дод. Б) підбирають типові газгольдери.

Перевіряють тривалість зберігання газу:

$$t = \frac{W \cdot 24}{\Gamma}, \text{ год.} \quad (4.19)$$

У процесі зброджування відбувається розпад беззольних речовин, який призводить до зменшення маси сухої речовини та збільшення вологості осаду. Сумарний об'єм суміші не змінюється.

Знаючи ступінь розпаду R_r , легко підрахувати масу беззольної речовини у збродженій суміші:

$$M_{\text{сум}}^{\text{бз}'}/ = M_{\text{сум}}^{\text{бз}} \cdot (100 - R_r) / 100, \text{ т/добу}. \quad (4.20)$$

Різниця $M_{\text{сум}} - M_{\text{сум}}^{\text{бз}}$ становить зольну частину, яка не зазнає змін у процесі зброджування. Тому маса сухої речовини у збродженій суміші обчислюється за такою формулою:

$$M_{\text{сум}}' = (M_{\text{сум}} - M_{\text{сум}}^{\text{бз}}) + M_{\text{сум}}^{\text{бз}'}/, \text{ т/добу}, \quad (4.21)$$

$$Z_{\text{сум}} = 100 - \frac{M_{\text{сум}}^{\text{бз}'}/ \cdot 10^4}{M_{\text{сум}}' \cdot (100 - P_g)}, \% \quad (4.22)$$

де P_g – гігроскопічна вологість осаду, дорівнює 6 %.

Вологість збродженої суміші осадів визначають за такою формулою:

$$P_{mt}^l = 100 - \frac{M'_{сум} \cdot 100}{W_{сум}}. \quad (4.23)$$

Приклад розрахунку метантенків для зброджування суміші сирого осаду з первинних відстійників і надлишкового активного мулу

Вихідні дані для розрахунку:

1. Кількість осаду, що подається на обробку: $W_{сум} = 525 \text{ м}^3/\text{добу}$.
2. Витрата сирого осаду за беззольною речовиною – $8,1 \text{ м}^3/\text{добу}$.
3. Витрата надлишкового активного мулу за беззольною речовиною – $9,8 \text{ м}^3/\text{добу}$.

Обираємо термофільний режим зброджування, за якого повністю знищуються яйця гельмінтів, що знаходяться в осаді. Температура зброджування $53 \text{ }^\circ\text{C}$. Добова доза завантаження осаду в метантенки за вологості осаду 95% обирається $D_{mt} = 17 \%$ (табл. 4.1).

Тоді об'єм метантенків за (1.50) дорівнюватиме

$$W_{mt} = \frac{525 \cdot 100}{17} = 3088,24 \text{ м}^3.$$

Для обробки осаду обираємо три метантенки; корисний об'єм одного резервуара $1 \text{ } 100 \text{ м}^3$ (табл. Б.1, дод. Б).

Сумарний об'єм метантенків при цьому буде трохи більшим за необхідний, з огляду на це фактична доза завантаження зменшиться до такого значення:

$$D_{mt} = \frac{525 \cdot 100}{3 \cdot 1100} = 15,91 \%$$

Максимально можливе зброджування беззольної речовини завантаженого осаду $R_{lim}, \%$ за (4.15) дорівнює:

$$R_{lim} = \frac{53 \cdot 8,1 + 44 \cdot 9,8}{8,1 + 9,8} = 48,1 \%$$

Тоді розпад беззольної речовини R_r , %, завантаженого осаду залежно від дози завантаження за (4.16) дорівнює:

$$R_r = 48,1 - 0,31 \cdot 15,91 = 43,17 \text{ \%}.$$

Значення $K_r = 0,31$ обрано за таблицею 4.2.

Кількість газу, отриманого під час зброджування, обираємо 1 г на 1 г беззольної речовини завантаженого осаду, що розпалася.

Для зберігання газу передбачаються мокрі газгольдери, місткість яких розраховується на 2–4-годинний вихід газу; тиск газу під ковпаком 1,5–2,5 кПа (150–250 мм вод. ст.).

Сумарний вихід газу за (4.17) дорівнює:

$$G = \frac{43,17 \cdot 17,9 \cdot 1000}{100} = 7727,43 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Місткість газгольдерів за (4.18) дорівнює:

$$W_r = \frac{7727,43 \cdot 3}{24} = 965,93 \text{ м}^3.$$

Обираємо три типові газгольдери об'ємом 300 м³ кожний (табл. Б.2, дод. Б) або один газгольдер об'ємом 1 000 м³.

4.4 Приклад розрахунку аеробної стабілізації

Як приклад, розглянемо випадок, коли у стабілізатор подається осад з первинних відстійників та **ущільнений надлишковий активний мул**.

Вихідні дані для розрахунку:

1. Витрата стічних вод – 67 200 м³/добу.
2. Концентрація завислих речовин у стічній воді, що надходить до аеротенка з первинного відстійника – 149 мг/л.
3. БПК_{повн} стічних вод, що надходять до аеротенків – 179 мг/л.
4. БПК₂₀ очищеної стічної рідини $L_{ex} = 15$ мг/л.
5. Витрата сирого осаду за сухою речовиною $M_{mud} = 11$ м³/добу.
6. Витрата активного мулу за сухою речовиною $M_{mud.a} = 13,95$ м³/добу.

7. Об'єм осаду, який виділяється під час відстоювання $W_{mud} = 184 \text{ м}^3/\text{добу}$.

8. Об'єм активного мулу $W_{mud.a} = 3500 \text{ м}^3/\text{добу}$.

9. Вологість активного мулу $P = 99,6$ у відсотках.

Знаходимо необхідний об'єм мулоущільнювача, м^3 , за такою формулою:

$$W = Q_{mud.a} \cdot T, \quad (4.24)$$

де T – тривалість ущільнення (обирається за табл. А.1, дод. А).

$$W = 158 \cdot 11 = 1740 \text{ м}^3.$$

Як ущільнювачі обираємо вторинні радіальні відстійники діаметром 18 м з об'ємом зони відстоювання одного відстійника $W_{з.о.} = 788 \text{ м}^3$ і об'ємом мулової зони $W_{мул} = 160 \text{ м}^3$ (табл. А.3, дод. А).

Оскільки рекомендована вологість ущільненого активного мулу, що подається в стабілізатор, становить 98 %, то як ущільнювачі можуть бути обрані вертикальні відстійники діаметром 9 м (6 шт.) або радіальні з діаметром 18 м (1 шт.).

Кількість мулоущільнювачів обчислюється за такою формулою:

$$n = \frac{W}{W_{з.о.}}, \quad (4.25)$$

$$n = \frac{1740}{788} = 2.$$

Обираємо два радіальні мулоущільнювачі з діаметром 18 м.

Добовий об'єм ущільненого активного мулу, що подається в стабілізатор, обчислюється за такою формулою:

$$W_{ущ} = \frac{(100 - P) \cdot M_{mud.a}}{100 - P_{ex}}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (4.26)$$

де P_{ex} – вологість мулу після ущільнення, %, обирається за таблицею А.1 (дод. А).

$$W_{ущ} = \frac{3500(100 - 99,6)}{100 - 98,0} = 700 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Витрата суміші сирого осаду та активного мулу за об'ємом, м³/добу, обчислюється за такою формулою:

$$W_{\text{сум}} = W_{\text{mud}} + W_{\text{ущ}}, \quad (4.27)$$

де W_{mud} – об'єм осаду, м³/добу;

$W_{\text{ущ}}$ – об'єм ущільненого мулу, м³/добу.

$$W_{\text{сум}} = 184 + 700 = 884 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Необхідний об'єм стабілізатора обчислюємо за такою формулою:

$$W = T \cdot W_{\text{сум}}, \quad (4.28)$$

$$W = 9,5 \cdot 884 = 8400 \text{ м}^3.$$

Як стабілізатори обираємо типові двохкоридорні аеротенки, дві секції.

Вологість суміші P_{mix} , %, що надходить у стабілізатор визначають за такою формулою:

$$P_{\text{mix}} = \left(1 - \frac{M_{\text{сум}}}{W_{\text{сум}}}\right) \cdot 100 \%, \quad (4.29)$$

$$P_{\text{mix}} = \left(1 - \frac{11 + 13,95}{184 + 700}\right) \cdot 100 = 97,2 \%,$$

Необхідний об'єм ущільнювачів стабілізованого осаду із тривалістю ущільнення 6–8 год буде дорівнювати:

$$W_{\text{ущ}} = \frac{884 \cdot 6}{24} = 221 \text{ м}^3.$$

Витрата ущільненого стабілізованого осаду обчислюємо за такою формулою:

$$W_{\text{ущ}} = \frac{884 \cdot (100 - 98,8)}{100 - 96,0} = 264, \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Витрата мулової води, що відводиться з мулоущільнювачів надлишкового мулу та мулоущільнювачів стабілізованого осаду обчислюємо за такою формулою:

$$Q = (3500 - 700) + (884 - 264) = 3420 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

5 Механічне зневоднення осадів на центрифугах

5.1 Розрахунок технологічних параметрів осаду, який зневоднюється на центрифугах

Безперервно працюючі горизонтальні осаджувальні центрифуги типу ОГШ зі шнековим пристроєм для вивантаження осаду рекомендують використовувати на очисних станціях потужністю до 140 тис. м³/добу. Перед поданням осаду на центрифугу з нього необхідно видалити пісок.

У результаті центрифугування отримують кек вологістю 60–85 % залежно від типу осаду, що обробляють, і фугат із високою концентрацією завислих речовин і БПК_{повн}.

Продуктивність центрифуг залежить від конкретних умов роботи (якості осадів, складу стічних вод, методів попередньої обробки осаду).

Продуктивність центрифуг, м³/год, визначають за такою формулою:

$$q_{cf} = (15 \div 20) \cdot l_r \cdot d_r, \quad (5.1)$$

де l_r та d_r – відповідно довжина та діаметр ротора центрифуги, м; у разі $l_r/d_r = 2,5\text{--}4$ можливе застосування флокулянтів.

Продуктивність центрифуги знаходиться тільки у разі застосування вітчизняних центрифуг; для зарубіжних центрифуг продуктивність обирається за паспортними даними.

Ефективність затримання сухої речовини й вологість кеку обирають за таблицею В.1 (дод. В).

У таблиці В.2 (дод. В) наведено технічні характеристики серійних центрифуг типу ОГШ.

Кількість центрифуг, шт., обчислюємо за такою формулою:

$$N_{cf} = \frac{Q_{cf}}{q_{cf} \cdot t_{cf}}, \quad (5.2)$$

де Q_{cf} – об'єм осаду, що надходить до центрифуги, м³/добу. У схемах I–III об'єм осаду Q_{cf} уточнюють після перерахунку, а в схемах IV і V розраховують за такою формулою:

$$Q_{cf} = \frac{10^4 \cdot A_a}{E_{cf} \cdot (100 - P_a)}, \quad (5.3)$$

де A_a – суха речовина стабілізованого або анаеробно зброженого осаду, т/добу;

E_{cf} – ефект затримання сухої речовини осаду в центрифугах, що працюють без флокулянту, %;

P_a – вологість стабілізованого осаду після ущільнення, дорівнює 96,5–97 %.

t_{cf} – тривалість роботи центрифуг, що обирається так: 8, 16, 20 годин.

$$A_{cf} = \frac{Q_{cf} \cdot (100 - P_{oc}) \cdot \gamma}{100}. \quad (5.4)$$

Об'єм кеку, м³/добу:

$$W_k = \frac{A_{cf} \cdot E_{cf}}{\gamma_k \cdot (100 - P_k)}, \quad (5.5)$$

де P_k – вологість кеку. Обирається 70–75 % для сирого осаду і 83–88 % для надлишкового активного мула у разі зневоднення з флокулянтами.

γ_k – щільність кеку обирається 1 т/м³.

A_{cf} – суха речовина осаду, що надходить на центрифугу, т/добу.

Кількість фугату, м³/добу:

$$Q_f = Q_{cf} - W_k, \quad (5.6)$$

Суха речовина фугату, м³/добу:

$$A_f = A_{cf} - \frac{A_{cf} \cdot E_{cf}}{100}, \quad (5.7)$$

Забруднення стічної рідини, що надходить на очисні споруди каналізації під час скиду фугату у голову споруд, мг/л, і обчислюється за такою формулою:

$$C_{en}^f = C_{en} + \frac{A_f \cdot 10^6}{Q + Q_f}, \quad (5.8)$$

$$L_{en}^f = L_{en} + \frac{A_f \cdot 10^6}{Q + Q_f}, \quad (5.9)$$

де C_{en} , L_{en} – відповідно концентрація завислих речовин і БПК_{повн} у стічній рідині до скиду фугату, мг/л;

C_{en}^f і L_{en}^f – відповідно концентрація завислих речовин і БПК_{повн} у стічній рідині, що надходить на очистку після скиду фугату, мг/л.

Q – продуктивність очисних споруд каналізації, м³/добу.

Площа майданчика для зберігання кеку, м²:

$$F_k = \frac{W_k \cdot t_k}{h_k}, \quad (5.10)$$

де t_k – тривалість зберігання кеку на відкритому майданчику; орієнтовно можна обрати 4–5 місяців за висоти шару осаду 1,5–2 м.

h_k – висота шару кеку, орієнтовно можна вважати 1,5–2 м.

Площа аварійних мулових майданчиків, м², обчислюється за такою формулою:

$$F_i = \frac{Q_{cf} \cdot t_{ai} \cdot k_z}{k \cdot h}, \quad (5.11)$$

де t_{ai} – період напуску осаду на аварійні мулові майданчики;

k – кліматичний коефіцієнт;

k_z – коефіцієнт, що враховує устрій огорожувальних валиків і доріг.

Обирається залежно від продуктивності очисних споруд в межах 1,2–1,4 (менше значення для крупних станцій, більше – для станцій невеликої продуктивності).

Витрата флокулянту визначається за такою формулою:

$$A_f = A_{cf} \cdot d_f, \quad (5.12)$$

d_f – доза катіонного флокулянту (обирається 2–7 кг/т сухої речовини осаду: більша доза у разі зневоднення активного мулу, менша – сирого осаду).

До установки можуть бути додані такі типи центрифуг (табл. 5.1).

Тривалість роботи цеху вважається 16–20 год.

Вибір того або іншого варіанту здійснюється з урахуванням конкретних умов роботи станції після визначення і порівняння для різних варіантів технічних та економічних параметрів роботи.

Таблиця 1.5 – Типи центрифуг

Центрифуга	Продуктивність (у разі 20-годинної роботи цеху)
ОГШ-631У-02 (м. Суми)	20 м ³ /год (400 м ³ /добу)
ОГШ-459У-02 (м. Харків, «Екомаш»)	12 м ³ /год (240 м ³ /добу)
ОГШ-45/601 Л-01 (м. Харків, «Екомаш»)	30 м ³ /год (600 м ³ /добу)

Кількість резервного устаткування обирається згідно з п. 10.7.10 [2]: за наявності резервних мулових майданчиків (на 20 % річної кількості осаду):

- один резервний фільтр-прес із кількістю робочих від трьох і менше;
- два резервні фільтр-преси у разі чотирьох і більше робочих агрегатів;
- одну резервну центрифугу у разі одного або двох робочих агрегатів;
- дві резервні центрифуги у разі трьох і більше робочих агрегатах.

5.2 Додаткові рекомендації до розрахунку центрифуг за схемами I–V

Розрахунок центрифуг за схемою I

Згідно зі схемою I (рис. 5.1), анаеробно зброджена суміш сирого осаду і ущільненого надлишкового активного мулу скеровується до центрифуги.

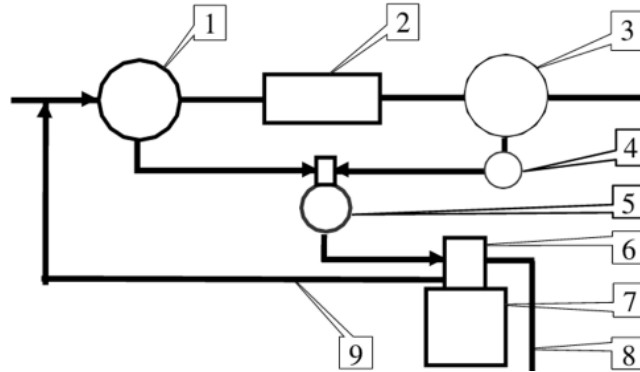


Рисунок 5.1 – Схема зневоднення анаеробно збродженої суміші сирого осаду і ущільненого надлишкового активного мулу зі скидом фугату в голову споруд:

- 1 – первинний відстійник; 2 – аеротенк; 3 – вторинний відстійник;
- 4 – мулоущільнювач; 5 – метантенк; 6 – будівля центрифуги; 7 – майданчик для кеку;
- 8 – напірний мулопровід подання осаду на аварійні майданчики;
- 9 – напірний трубопровід фугату

Після анаеробного зброджування частина органічних речовин переходить у розчинний стан, тому фугат має високі значення по БПК навіть за відносно низьких значень завислих речовин. Під час використання цієї схеми необхідно обов'язково виконувати перерахунок концентрації забруднень, що надходять до голови споруд з урахуванням фугату.

Вихідні дані:

- добова витрата стічної рідини $Q = 50\,000\text{ м}^3/\text{добу}$;
- концентрація завислих речовин в стічній рідині, що надходить на очистку $C_{en} = 200\text{ мг/л}$;
- БПК_{повн} в стічній рідині, що надходить на очистку $L_{en} = 200\text{ мг/л}$;
- суха речовина осаду, що подається в центрифугу, $A_{cf} = 6\text{ т/добу}$;
- об'єм осаду, що подається в центрифугу, $Q_{cf} = 200\text{ м}^3/\text{добу}$;
- вологість осаду, що подається в центрифугу, $P_{cf} = 97\%$.

Потрібна продуктивність центрифуги (цей параметр визначається, якщо обирається вітчизняна центрифуга) за (5.1) дорівнює:

$$q_{cf} = 20 \cdot 0,5 \cdot 0,9 = 9 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Необхідна кількість центрифуг визначається за такою формулою (5.2):

$$N_{cf} = \frac{200}{9 \cdot 20} = 1 \text{ шт.}$$

До монтажу обираються дві центрифуги (одна робоча і одна резервна) марки ОГШ-50К-4. Продуктивність за вихідним осадом 9–14 м³/год, потужність електродвигуна 28–32 кВт, частота обертання ротору 2 000–2 650 об/хв. Можна обирати центрифуги або декантери закордонних фірм («Гумбольдт», «Вестфалія сепаратор» або «Флоттвег»).

Об'єм кеку в перерахунку на вологість 70 % (центрифуга працює без введення флокулянту) за такою формулою (5.5):

$$W_k = \frac{6 \cdot 30}{1 \cdot (100 - 70)} = 6, \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Об'єм фугату, що повертається в голову споруд (у приймальну камеру або в розподільну чашу первинних відстійників) для повторного очищення визначаємо за такою формулою (5.6):

$$Q_f = 200 - 6 = 194, \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Кількість сухої речовини у фугаті, що повертається у голову споруд визначаємо за такою формулою (5.7):

$$A_f = 6 - \frac{6 \cdot 30}{100} = 4,2 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

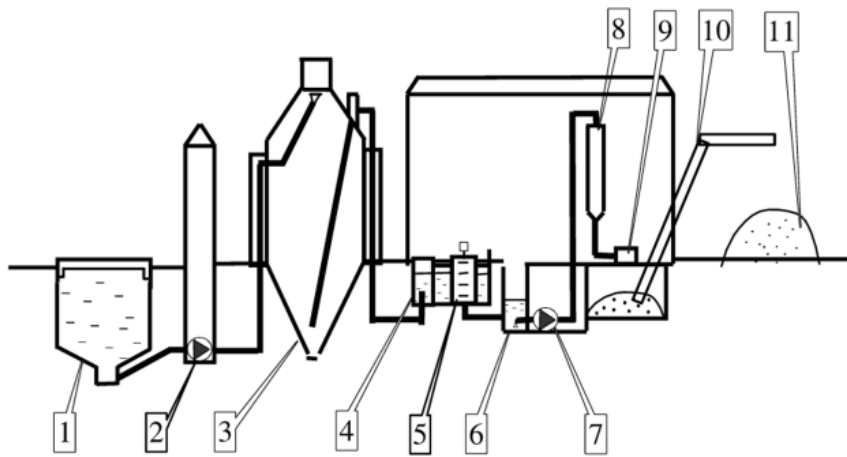


Рисунок 5.2 – Висотна схема руху осаду (схема I):

- 1 – первинний відстійник; 2 – насосна станція; 3 – метантенк;
 4 – розподільна чаша; 5 – решітка-дробарка; 6 – проміжний резервуар;
 7 – насос; 8 – резервуар-регулятор; 9 – центрифуга; 10 – транспортер;
 11 – майданчик для складання кеку

Фактичні забруднення стічної рідини, що надходить на очисні споруди каналізації, з урахуванням забруднень, що містяться у фугаті, мг/л знаходимо за такою формулою (5.8):

$$C_{en}^f = 200 + \frac{4,2 \cdot 10^6}{50000 + 194} = 284 \text{ мг/л.}$$

У разі збільшення забруднень на 40 мг/л і більше потрібно виконати повний перерахунок первинних відстійників і аеротенків.

Площа майданчика для зберігання кеку обчислюється за такою формулою (5.10):

$$F_k = \frac{6 \cdot 5 \cdot 30}{6} = 450, \text{ м}^2.$$

До будівництва подається асфальтований майданчик розмірами 21 м × 21 м із відводом дренажної води у господарсько-фекальну каналізацію майданчика очисних споруд каналізації. Із майданчиків зберігання кек вивозиться зазвичай у теплий період року.

Площа аварійних мулових майданчиків обчислюється за такою формулою (5.11):

$$F_i = \frac{200 \cdot 73 \cdot 1,3}{0,9 \cdot 1,2} = 17600 \text{ , м}^2.$$

До будівництва подаються мулові майданчики на природній основі без дренажу. Кількість карт – 4, ширина карти – 44 м, довжина – 100 м.

Розрахунок центрифуг за схемою II

Відмінність схем I і II полягає у тому, що в схемі I фугат скеровується у голову споруд, а в схемі II фугат і 20 % осаду подаються на мулові майданчики, з огляду на це розміри мулових майданчиків збільшуються. Тому під час розрахунку центрифуг за схемою II визначаються всі технологічні параметри схеми I, а далі – розміри мулових майданчиків для прийому осаду (протягом 73-ох діб) і фугату (протягом 292-х діб).

Загальна площа аварійних мулових майданчиків для осаду і фугату:

$$\sum F = F_i + F_f,$$

$$F_i = \frac{200 \cdot 73 \cdot 1,3}{0,9 \cdot 1,2 \cdot 2} = 8800 \text{ м}^2,$$

$$F_f = \frac{194 \cdot (365 - 73) \cdot 1,3}{0,9 \cdot 1,2 \cdot 2} = 34094 \text{ м}^2,$$

$$\sum F = 8800 + 34094 = 42894 \text{ м}^2.$$

До будівництва подаються мулові майданчики на природній основі без дренажу. Кількість карт – 8, ширина карти – 54 м, довжина – 106 м.

Витрата катіонного флокулянту обчислюється за такою формулою:

$$Q_\phi = 6 \cdot 5 = 30 \text{ кг/добу.}$$

Розрахунок центрифуг за схемою III

Відмінність схем I і III полягає у тому, що в схемі III в осад, перед поданням його в центрифугу, вводиться флокулянт, тому під час визначення кількості кеку необхідно обирати ефект затримання сухої речовини осаду 90–

95 %. Водночас фугат також подається у голову споруд. Перерахунок первинних відстійників і аеротенків не здійснюють, оскільки збільшення забруднень виходить незначне. Вологість кеку обирається так: у разі зневоднення активного мулу 83–88 %, сирого осаду 70–75 %. У разі використання флокулянтів рекомендується застосовувати центрифуги з відношенням довжини ротора до діаметра 2,5 : 4. Із залученням до складу споруд центрифуг зарубіжного виробництва ця рекомендація не береться до уваги.

Розрахунок центрифуг за схемою IV

Принципова відмінність схеми IV полягає у багаторазовому перекачуванні стабілізованого осаду за схемою «центрифуга – аеробний стабілізатор – центрифуга». Завдяки цьому можливе 100-відсоткове вилучення сухої речовини зі стабілізованого осаду.

Вихідні дані:

- суха речовина осаду $A_{cf} = 6$ т/добу;
- об'єм осаду $Q_{cf} = 200$ м³/добу;
- ефект видалення твердих частинок осаду у разі разового проходження осаду через центрифугу 30 %.

Фактичний об'єм осаду, що надходить на центрифуги, з урахуванням повернення фугату в аеробний стабілізатор обчислюється за такою формулою:

$$Q_{\text{факт}}^{cf} = \frac{Q_{cf} \cdot 100}{E_{cf}},$$
$$Q_{\text{факт}}^{cf} = \frac{200 \cdot 100}{30} = 670, \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Продуктивність центрифуги (цей параметр визначається тільки для вітчизняних центрифуг, для зарубіжних обирається за паспортною характеристикою):

$$q_{cf} = 20 \cdot 0,5 \cdot 0,9 = 9 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Необхідна кількість центрифуг обчислюється за такою формулою:

$$N_{cf} = \frac{670}{9 \cdot 20} = 3 \text{ шт.}$$

До монтажу подаються п'ять центрифуг (три робочі і дві резервні) марки ОГШ-50к-4. Продуктивність за вихідним осадом 9–14 м³/год, потужність електродвигуна 28–32 кВт, частота обертання ротору 2 000–2 650 об/хв. Можна обирати центрифуги або декантери зарубіжних фірм («Гумбольдт», «Вестфалія сепаратор» або «Флоттвег»).

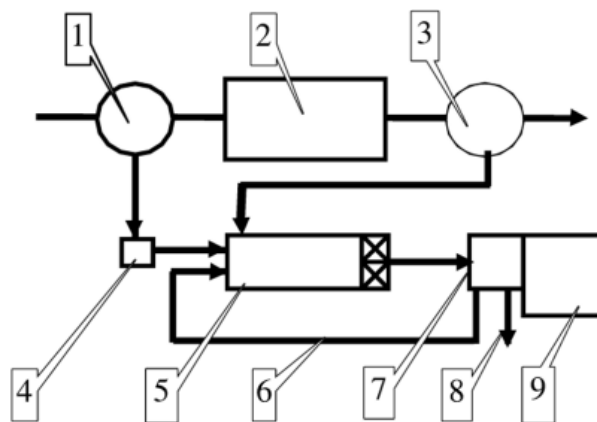


Рисунок 5.3 – Схема зневоднення аеробно стабілізованого осаду з поверненням фугату в стабілізатор (схема IV):

- 1 – первинний відстійник; 2 – аеротенк; 3 – вторинний відстійник;
- 4 – решітка-дробарка; 5 – аеробний стабілізатор із мулоущільнювачем;
- 6 – напірний трубопровід фугату; 7 – будівля центрифуг; 8 – напірний мулопровід подачі осаду на аварійні мулові майданчики;
- 9 – майданчик для кеку

Об'єм кеку в перерахунку на вологість 70 % (центрифуга працює без введення флокулянту) обчислюється за такою формулою:

$$W_k = \frac{6 \cdot 100}{1 \cdot (100 - 70)} = 20 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

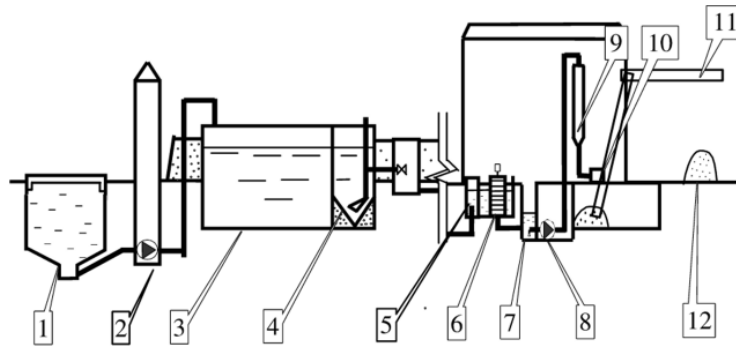


Рисунок 5.4 – Висотна схема руху осаду (схема IV):

- 1 – первинний відстійник; 2 – насосна станція; 3 – аеробний стабілізатор;
 4 – мулоуцільнювач; 5 – розподільна чаша; 6 – решітка-дробарка;
 7 – проміжний резервуар; 8 – насос; 9 – резервуар-регулятор;
 10 – центрифуга; 11 – транспортер; 12 – майданчик для кеку

Об'єм фугату, що повертається в голову споруд (у приймальну камеру або в розподільну чашу первинних відстійників) для повторного очищення,

$$Q_f = 200 - 6 = 194 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Площа майданчика для зберігання кеку обчислюється за такою формулою:

$$F_k = \frac{20 \cdot 50}{2} = 1200 \text{ м}^2.$$

До будівництва подається асфальтований майданчик розмірами 35 м × 35 м.

Об'єм фугату, що повертається в аеробний стабілізатор, обчислюється за такою формулою:

$$Q_f = 670 - 20 = 650, \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Площа аварійних мулових майданчиків обчислюється за такою формулою:

$$F_i = \frac{200 \cdot 73 \cdot 1,3}{0,9 \cdot 1,2 \cdot 2} = 8800, \text{ м}^2.$$

До будівництва подаються мулові майданчики на природній основі без дренажу; кількість карт – 4, довжина карти – 66 м, ширина – 34 м.

Витрата катіонного флокулянту обчислюється за такою формулою:

$$Q_\phi = 6 \cdot 5 = 30, \text{ кг/добу}.$$

Розрахунок центрифуг за схемою V

Згідно з цією схемою суміш сирого осаду і подрібнених відходів проходить через центрифугу, за допомогою якої затримується приблизно 50 % твердих частинок осаду, інші 50 % скеровуються в аеробний стабілізатор. Така схема дозволяє скоротити витрату флокулянта, оскільки для сирого осаду і подрібнених відходів потребується приблизно 2–3 кг/т, в то час як для суміші активного мулу з сирим осадом витрата збільшується до 5–6 %, а для ущільненого активного мулу, як показала практика експлуатації, потребується 7–8 % залежно від виду застосовуваного флокулянта. Разом із фугатом у стабілізатор завантажується неущільнений надлишковий активний мул. Ущільнений стабілізований осад пропускається через іншу групу центрифуг, кек вивозиться або розміщується на майданчику для його зберігання, а фугат повертається до початку стабілізатора і виконує, якщо порівнювати з роботою аеротенка, роль циркулюючого активного мулу.

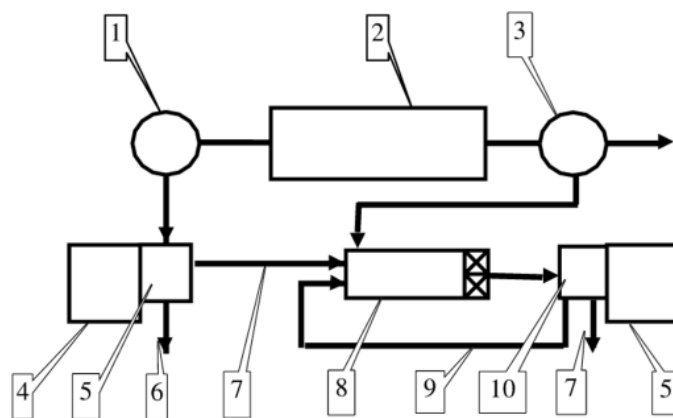


Рисунок 5.5 – Схема роздільного зневоднення сирого осаду з подальшою обробкою фугату в аеробних стабілізаторах (схема V):

- 1 – первинний відстійник; 2 – аеротенк; 3 – вторинний відстійник;
 4 – майданчик для складання кеку; 5 – будівля центрифуг;
 6 – напірний мулопровід подання осаду на мулові майданчики;
 7 – напірний трубопровід фугату, що утворюється під час зневоднення сирого осаду; 8 – аеробний стабілізатор з мулоущільнювачем;
 9 – повернення фугату, що утворюється під час зневоднення стабілізованого осаду; 10 – відокремлення центрифугування стабілізованого осаду

Вихідні дані:

- суха речовина подрібнених відходів $A_{do} = 0,5$ т/добу;
- об'єм подрібнених відходів $Q_{do} = 8$ м³/добу;
- вологість подрібнених відходів 93,5 %;
- суха речовина сирого осаду $A_{mud} = 3$ т/добу;
- об'єм сирого осаду $Q_{mud} = 46$ м³/добу;
- вологість сирого осаду $P_{mud} = 93,5$ %;
- суха речовина надлишкового активного мулу 3 т/добу;
- вологість неущільненого надлишкового активного мулу 99,2 %;
- об'єм неущільненого надлишкового активного мулу 375 м³/добу;
- суха речовина стабілізованого осаду $A_{as} = 3,42$ т/добу;
- об'єм стабілізованого осаду $Q_{as} = 114$ м³/добу;
- вологість стабілізованого осаду $P_{as} = 97$ %.

Продуктивність центрифуги обчислюється за такою формулою:

$$q_{cf} = 20 \times 0,5 \times 0,9 = 9 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Кількість центрифуг для зневоднення сирого осаду обчислюється за такою формулою:

$$N_{cf} = \frac{54}{9 \cdot 6} = 1 \text{ шт.}$$

Об'єм кеку під час зневоднення сирого осаду (у разі ефекту центрифугування 50 %):

$$W_k = \frac{3,5 \cdot 50}{1 \cdot (100 - 70)} = 6 \text{ , м}^3/\text{добу.}$$

Кількість сухої речовини в фугаті, що подається для обробки в аеробний стабілізатор обчислюється за такою формулою:

$$A_f = 3,5 - \frac{3,5 \cdot 50}{100} = 1,75 \text{ , т/добу.}$$

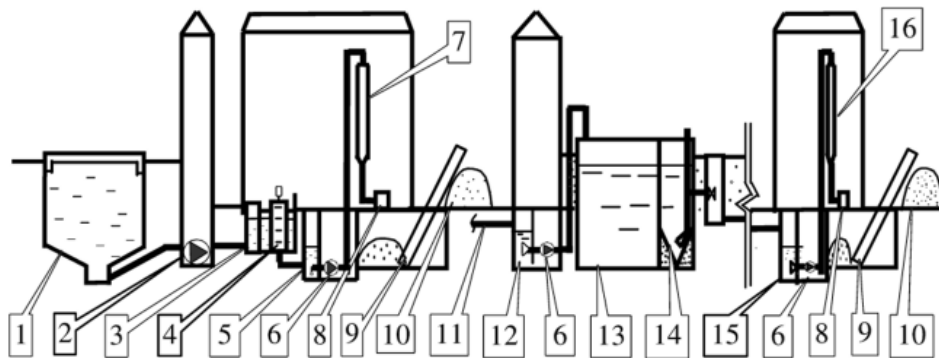


Рисунок 5.6 – Висотна схема руху осаду (схема V):

- 1 – первинний відстійник; 2 – насосна станція; 3 – розподільна чаша;
- 4 – решітка-дробарка; 5 – проміжний резервуар сирого осаду; 6 – насос;
- 7 – резервуар-регулятор сирого осаду; 8 – центрифуга; 9 – транспортер;
- 10 – майданчик для кеку; 11 – самопливний трубопровід фугату сирого осаду;
- 12 – збірний резервуар фугату; 13 – аеробний стабілізатор;
- 14 – ущільнювач стабілізованого осаду; 15 – приймальний резервуар ущільненого стабілізованого осаду;
- 16 – резервуар-регулятор стабілізованого осаду

Розрахунок аеробного стабілізатора необхідно здійснювати з урахуванням сухої речовини фугату сирого осаду та подрібнених відходів, а також надлишкового активного мулу.

Кількість стабілізованого осаду, що подається в центрифуги для досягнення 100-відсоткового вилучення сухої речовини осаду, обчислюється за такою формулою:

$$Q_{cf} = \frac{100 \cdot Q_{as}}{E_{cf}} = \frac{100 \cdot 114}{30} = 380 \text{ , м}^3/\text{добу.}$$

Кількість центрифуг для зневоднення стабілізованого осаду обчислюється за такою формулою:

$$N_{cf} = \frac{380}{9 \cdot 20} = 2,1 \text{ , шт.}$$

До монтажу подаються (з урахуванням центрифуг для зневоднення сирого осаду і подрібнених відходів) п'ять центрифуг (три робочі і дві резервні) марки ОГШ-50к-4. Продуктивність за вихідним осадом 9–14 м³/год, потужність електродвигуна 28–32 кВт, частота обертання ротору 2 000–2 650 об/хв. Можна обирати центрифуги або декантери зарубіжних фірм («Гумбольдт», «Вестфалія сепаратор» або «Флоттвег»).

Об'єм кеку у разі зневоднення стабілізованого осаду обчислюється за такою формулою:

$$W_k = \frac{3,42 \cdot 100}{1 \cdot (100 - 75)} = 13,7 \text{ , м}^3/\text{добу.}$$

Площа майданчика для зберігання кеку обчислюється за такою формулою:

$$F_k = \frac{(6 + 13,7) \cdot 120}{2} = 1182 \text{ м}^2.$$

До будівництва подається асфальтований майданчик розмірами 35,5 м × 35,5 м.

Площа аварійних мулових майданчиків обчислюється за такою формулою:

$$F_i = \frac{54 \cdot 73 \cdot 1,3}{0,9 \cdot 1,2} + \frac{114 \cdot 73 \cdot 1,3}{0,9 \cdot 1,2 \cdot 2} = 9754, \text{ м}^2.$$

До будівництва подаються 8 мулових карт на природній основі без дренажу розміром 25 м × 50 м.

Витрата катіонного флокулянту обчислюється за такою формулою:

$$Q_\phi = 3,42 \cdot 5 = 17,1, \text{ кг/добу.}$$

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Епоян С. М. Обробка осаду стічних вод : навч. посіб. / С. М. Епоян, Л. О. Фесік, Н. В. Сорокіна. – Одеса : ОДАБА, 2018. – 199 с.
2. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 01.01.2014. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 214 с.
3. Природоохоронні технології. У 3 ч. Ч. 3. Методи переробки осадів стічних вод : навч. посіб. / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, І. І. Безвозюк [та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 324 с.
4. Управління та поводження з відходами. У 4 ч. Ч. 2. Тверді побутові відходи : навч. посіб. / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С. М. Кватернюк [та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 100 с.
5. Управління та поводження з відходами. У 4 ч. Ч. 4. Технології переробки твердих побутових відходів : навч. посіб. / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, В. А. Іщенко [та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 234 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А. 1 – Параметри для розрахунку мулоущільнювачів

Характеристика надлишкового активного мулу	Вологість ущільненого мулу, P_2 , %		Тривалість ущільнення, t , год		Швидкість руху рідини у відстійній зоні вертикального мулоущільнювача, мм/с
	Мулоущільнювач				
	вертикальний	радіальний	вертикальний	радіальний	
Мулова суміш з аеротенків, працюючих на повне біологічне очищення з концентрацією 1,5–3 г/л	–	97,3	–	5–8	–
Активний мул із вторинних відстійників із концентрацією 4,5–6,5 г/л	98	97,3	10–12	9–11	Не більше ніж 0,1
Активний мул із зони відстоювання аеротенків-відстійників з концентрацією 4,5–6,5 г/л	98	97,0	16	12–15	Те саме
Мулова суміш з аеротенків, працюючих на неповне очищення з концентрацією 1,5–2,5 г/л	95	95,0	3	3	Не більше ніж 0,2

Таблиця А.2 – Основні параметри вертикальних первинних відстійників

Діаметр, м		Висота, м		Розрахована глибина проточної частини, м	Площа, м ²			Об'єм, м ³	
Відстійника	Центральної труби	Циліндричної частини	Конічної частини		Загальна	Центральної труби	Корисна	Циліндричної частини	Конічної частини
4,5	0,7	3,6	2,45	3,3	12,55	0,38	12,11	51,50	8,35
6	1,0	4,2	3,3	3,8	28,30	0,78	27,50	119,0	32,00
9	1,4	4,2	5,1	3,8	63,30	1,55	62,05	263,0	71,30

Таблиця А.3 – Основні параметри типових радіальних вторинних відстійників

Типовий проект	Діаметр відстійника D_{set} , м	Загальна глибина відстійника, H , м	Глибина проточної частини відстійника H_{set} , м	Висота мулової зони, м	Діаметр трубопроводу, мм		Об'єм зони, м ³		Пропускна здатність за часом відстоювання 1,5 год, м ³ /год
					підвідного	відвідного	мулової	проточної	
902-2-87/76	18	3,7	3,1	0,6	800	500	160	788	525
902-2-89/75	24	3,7	3,1	0,6	1 200	700	280	1 400	933
902-2-89/75	30	3,7	3,1	0,6	1 400	900	440	2 190	1 460
902-2-90/75	40	4,35	3,65	0,7	2 000	1 200	915	4 580	3 053
902-2-90/75	50	5,3	4,60	0,7	2 500	1 200	1 380	9 020	5 989

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Розміри метантенків залежно від корисного об'єму

Діаметр, м	Корисний об'єм одного резервуара, W_m , м ³	Висота, м		
		верхнього конуса	циліндричної частини	нижнього конуса
10	500	1,45	5,0	1,70
12,5	1 000	1,90	6,5	2,15
15	1 600	2,35	7,5	2,60
17,5	2 500	2,20	8,5	3,05
20	4 000	2,90	10,6	3,50

Таблиця Б. 2 – Основні дані й типові проекти газгольдерів

Номер типового проекту	Об'єм газгольдера, W_r , м ³	Внутрішній діаметр, мм		Висота, мм			Витрата металу, т
		резервуара	купола	газгольдера	резервуара	купола	
7-07-01/66	100	7 400	6 600	7 450	3 450	3 400	14,0
7-07-02/66	300	9 300	8 500	12 500	5 920	6 880	25,0
7-07-03/66	600	11 480	10 680	15 400	7 390	7 610	41,4
7-07-2-5	1 000	14 500	13 700	15 400	7 390	7 610	53,0
7-07-2-6	3 000	21 050	20 250	20 100	9 800	9 900	126,0
7-07-2-7	6 000	26 900	26 100	24 200	11 750	12 050	192,0

ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Ефективність затримання сухої речовини й вологість кеку у разі механічного зневоднення на центрифугах

Характеристика осаду, що Обробляють	Ефективність затримання сухої речовини, %	Вологість, %
Сирий або зброджений осад з первинних відстійників	45–65	65–75
Анаеробно зброджена суміш осаду з первинних відстійників і активного мулу	25–40	65–75
Аеробно стабілізована суміш осаду з первинних відстійників і активного мулу	25–35	70–80
Сирий активний мул у разі зольності, %:		
– 28–35;	10–15	75–85
– 38–42;	15–25	70–85
– 44–47	25–35	60–75

Таблиця В.2 – Технічні характеристики центрифуг типу ОГШ

Показники	Тип центрифуги				
	ОГШ-35К-6	ОГШ-50К-4	ОГШ-631К-2	ОГШ-501К-10 ОГШ-501К-11	ОГШ-1001К-01
Діаметр ротора, мм	350	500	630	500	1 000
Довжина ротора, мм	630	900	2 370	2 585	4 900
Частота обертання ротора, хв ⁻¹	2 800– 3 600	2 000– 2 650	2 000	2 650	1 000
				2 800	
Маса, т	1,2	1,8	12	3,02	19
				4,7	

ДОДАТОК Г

Зразок оформлення титульного аркуша розрахунково-графічного завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Кафедра водопостачання, водовідведення та очищення вод

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНЕ ЗАВДАННЯ

з дисципліни

«ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ОСАДІВ»

здобувача освіти ____ курсу,
групи _____
спеціальності _____

(ПВ)

Керівник доц. Айрапетян Т. С.

Національна шкала _____

Кількість балів: ____ Оцінка: ____ ECTS _____

Харків – 20____

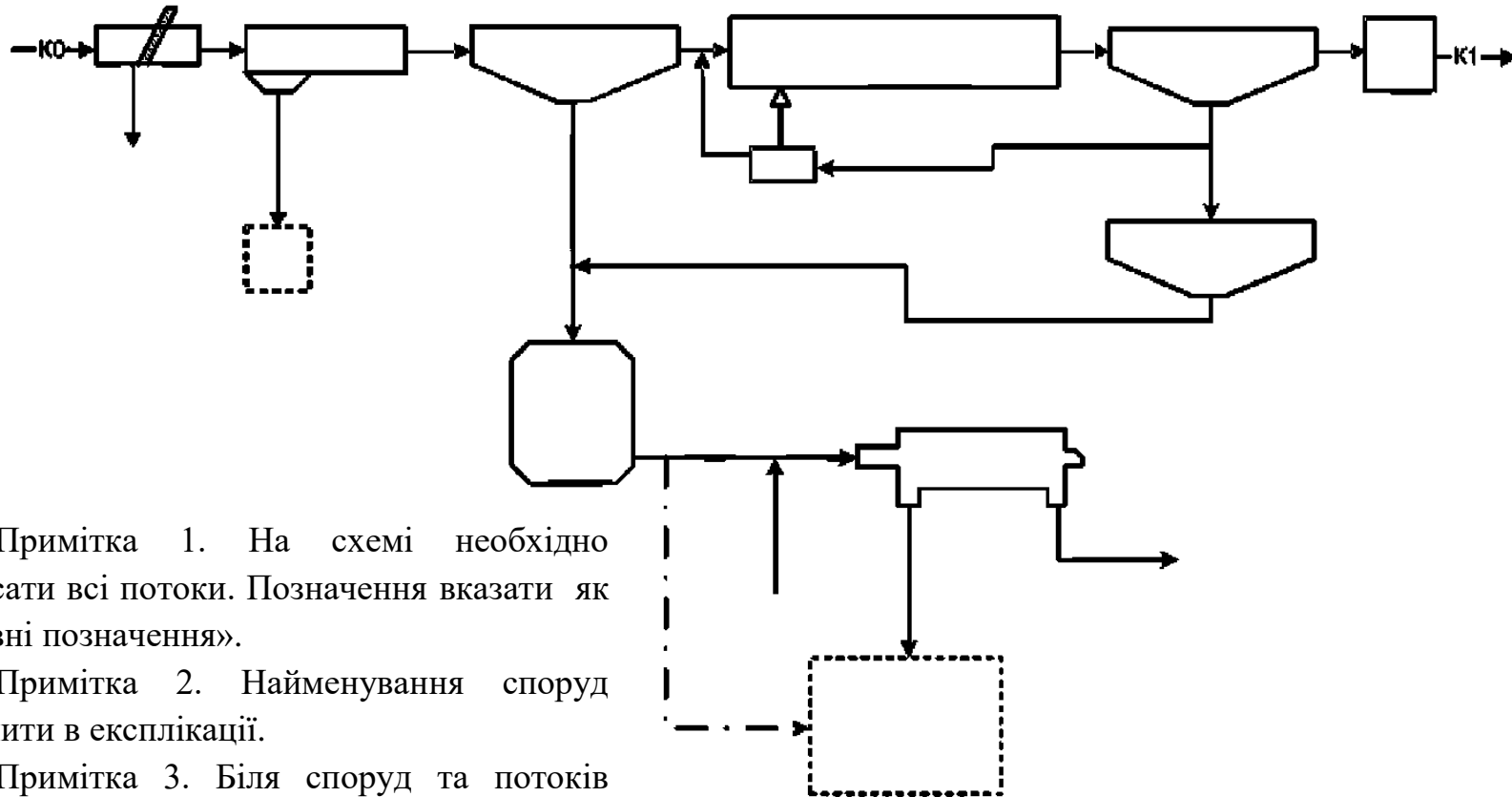
ДОДАТОК Д

Таблиця Д.1 – Вихідні дані для виконання розрахунково-графічного завдання

Параметр	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Питання з теоретичної частини	3	10	11	13	14	15	17	18	19	6
Витрата побутових стічних вод, тис. м ³ /добу	50	55	57	60	62	65	67	70	75	77
Норма водовідведення, л/добу на 1 мешк.	280	285	290	295	300	260	265	270	275	280
Витрата стічних вод від промислового підприємства, тис. м ³ /добу	9	10	11	12	13	14	15	16	10	12
Концентрація завислих речовин у виробничих стічних водах до відстоювання, мг/л	450	460	470	480	450	440	430	420	470	460
БПК _{повн} виробничих стічних вод, мгО ₂ /л	390	395	400	405	410	415	420	425	430	400
Тип пісковловлювачів	аеро- ваний	гориз.	гориз.	аеро- ваний	гориз.	гориз.	аеро- ваний	гориз.	гориз.	аеро- ваний
Ефект освітлення (затримання завислих речовин) у первинних відстійниках, %	45	50	55	45	50	55	45	50	55	45
Зниження БПК _{повн} стічних вод за первинного відстоювання, %	12	13	14	15	12	13	14	15	16	14
БПК _{повн} очищеної стічної рідини, мгО ₂ /л	12	14	15	12	14	15	12	14	15	12
Винесення активного мулу з вторинних відстійників, мг/л	14	15	16	15	14	13	14	16	12	14
Час обробки води в аеротенках, год.	5,3	5,6	5,5	5,4	5,3	5,5	5,6	5,3	5,6	5,4
Час роботи цеху зневоднення протягом доби, год	16	20	16	18	16	20	18	16	20	18
Схема обробки осадів	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
Схема зневоднення осадів із використанням центрифуг	III	II	I	I	IV	II	I	II	III	V

ДОДАТОК Е

Приклад технологічної схеми очищення стічних вод та обробки утворюваних осадів



Примітка 1. На схемі необхідно підписати всі потоки. Позначення вказати як «Умовні позначення».

Примітка 2. Найменування споруд зазначити в експлікації.

Примітка 3. Біля споруд та потоків необхідно вказати визначені під час розрахунків параметри (витрати, кількість, концентрацію, вологість, зольність тощо).

Електронне навчальне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання розрахунково-графічної роботи
з навчальної дисципліни

«ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ОСАДІВ»

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання галузі знань G – Інженерія, виробництво та будівництво
зі спеціальності G19 – Будівництво та цивільна інженерія,
освітня програма «Цивільна інженерія»)*

Укладач **АЙРАПЕТЯН** Тамара Степанівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

Редактор *Б. О. Хільська*

Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2025, поз. 107М

Підп. до друку 05.09.2025. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 2,8.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська (Маршала Бажанова), 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.