

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до проведення практичних занять, самостійного вивчення та
виконання курсової роботи
з навчальної дисципліни
«ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ОСАДІВ»

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання
зі спеціальності
192 – Будівництво та цивільна інженерія
освітня програма «Водопостачання та водовідведення»)*



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2022

Методичні рекомендації до проведення практичних занять, самостійного вивчення та виконання курсової роботи з навчальної дисципліни «Процеси та обладнання для обробки осадів» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія освітня програма «Водопостачання та водовідведення») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 73 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 29.08.2022

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ.....	5
1.1 Визначення параметрів осадів міських стічних вод.....	6
1.1.1 Сирий осад первинних відстійників.....	6
1.1.2 Сирий надлишковий активний мул аеротенків.....	6
1.1.3 Суміш сирого осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу аеротенків.....	7
1.2 Ущільнення та згущення осадів.....	12
1.2.1 Розрахунок вертикальних мулоущільнювачів.....	12
1.2.2 Розрахунок радіальних мулоущільнювачів.....	16
1.3 Анаеробне зброджування осадів.....	19
1.3.1 Розрахунок двохярусних відстійників.....	19
1.3.2 Розрахунок освітлювачів-перегнивачів.....	21
1.3.3 Розрахунок метантенків. Утилізації біогазу.....	23
1.3.4 Розрахунок аеробних стабілізаторів.....	27
1.4 Кондиціонування осадів.....	34
1.4.1 Підготовка осаду до механічного зневоднення.....	34
1.4.2 Розрахунок споруд промивки та ущільнення осадів.....	34
1.5 Зневоднення осадів на вакуум-фільтрах і фільтр-пресах.....	36
1.6 Розрахунок технологічних параметрів осаду, який зневоднюється на центрифугах.....	44
1.7 Підсушування осадів на мулових майданчиках. Розрахунок мулових майданчиків.....	50
1.8 Сушка осадів. Розрахунок сушарок.....	51
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	56
2.1 Структура й оформлення курсової роботи.....	56
2.2 Завдання до виконання курсової роботи.....	58
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
ДОДАТКИ.....	61

ВСТУП

Проблема охорони середовища і водних об'єктів від забруднення стічними водами міст і промислових підприємств вимагає комплексного рішення питання, пов'язаного не лише з розробкою технології очищення води. Необхідне створення систем по обробці осадів, які утворюються при очищенні 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, містять органічні речовини, здатні швидко розкладатися і загнивати. Крім того, осади заражені бактерійною, у тому числі 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 наноситься 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 наноситиме мінімальну шкоду навколишньому середовищу або придатного для утилізації у виробництві.

У методичних рекомендаціях наведено методику проектування та приклади розрахунків споруд, що застосовують для обробки осадів стічних вод.

1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

1.1 Визначення параметрів осадів міських стічних вод

1.1.1 Сирий осад первинних відстійників

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

$$M_{mud} = \frac{Q_{mid} \cdot (C_{en} - C_{cdp})}{10^6}, \text{ т/добу}, \quad (1.1)$$

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

C_{en} – концентрація завислих речовин в стічній воді, що поступає у відстійник, г/м³;

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

2. Об'єм осаду, який виділяється при відстоюванні, визначається за формулою [2, п.10.2.4.9]:

$$W_{mud} = \frac{Q_{mid} \cdot (C_{en} - C_{cdp})}{(100 - P_{mud}) \cdot \rho_{mud} \cdot 10^4}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (1.2)$$

де ρ_{mud} – густина осаду, приймається 1,05 г/см³;

P_{mud} – вологість осаду, %, п.10.2.4.12 [2]: при видаленні осаду самопливом P_{mud} приймається 95–96 %; при видаленні насосами P_{mud} приймається – 94–95%.

3. Гігроскопічна вологість P_g , %, і зольність Z_{mud} , %, можуть бути прийняті: $P_g = 5–6$ %, $Z_{mud} = 25–27$ %.

4. Витрата беззольної речовини $M_{mud}^{\bar{0}z}$ визначається за формулою:

$$M_{mud}^{\bar{0}z} = \frac{M_{mud} (100 - P_g)(100 - Z_{mud})}{10^4}, \text{ т/добу}, \quad (1.3)$$

5. Питомий опір осаду r_0 , см/г, може бути прийнятий залежно від вологості осаду:

$r_0 = (200–1000) \cdot 10^{10}$ при вологості 92–96 %;

$r_0 = (50–300) \cdot 10^{10}$ при вологості 90–93 %.

1.1.2 Сирий надлишковий активний мул аеротенків

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

$$M_{mud.a} = \frac{P_i \cdot Q_{mid}}{10^6}, \text{ т/добу}, \quad (1.4)$$

де P_i – приріст активного мулу в аеротенках, г/м³, який поступає на обробку можна визначати за формулою В.20 [2, дод. В]:

$$P_i = 0,8 \cdot C_{cdp} + K_g \cdot L_{en}, \text{ мг/л}, \quad (1.5)$$

де C_{cdp} – концентрація завислих речовин у стічній воді, яка надходить до аеротенку, г/м³ (не більше 150 мг/л, п. 10.2.4.6 [2]);

K_g – коефіцієнт приросту, для міських стічних вод і близьких до них по складу 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} при первинному відстоюванні), г/м³;

2. Об'єм мулу визначають за формулою:

$$W_{mud.a} = \frac{100 \cdot M_{mud.a}}{(100 - P_{mud.a}) \cdot \rho_{mud.a}}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (1.6)$$

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

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

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

$$W_{ущ} = \frac{100 \cdot M_{mud.a}}{100 - P_{ex}}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (1.7)$$

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

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

4. Гігроскопічну вологість мулу P_g , %, і зольність, %, приймають відповідно: $P_g = 5-6$ %; $Z_{mud.a} = 25-27$ %.

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

$$M_{mud.a}^{\bar{0}3} = \frac{M_{mud.a} (100 - P_g) (100 - Z_{mud.a})}{10^4}. \quad (1.8)$$

6. Питомий опір мулу r_a , см/г, приймається:

$$r_a = (1\ 000 - 3\ 000) \cdot 10^{10}, \text{ см/г.}$$

1.1.3 Суміш сирого осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу аеротенків

1. Кількість суміші за сухою речовиною $M_{\text{сум}}$, т/добу, визначають за формулою:

$$M_{\text{сум}} = M_{\text{mud}} + M_{\text{mud.a}}, \quad (1.9)$$

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

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

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

$$W_{\text{сум}} = W_{\text{mud}} + W_{\text{ущ}}, \quad (1.10)$$

де W_{mud} – об'єм осаду, м³/добу;

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

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

$$P_{\text{mix}} = \left(1 - \frac{M_{\text{сум}}}{W_{\text{сум}}}\right) \cdot 100, \quad (1.11)$$

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

$$M_{\text{сум}}^{\bar{0}3} = M_{\text{mud}}^{\bar{0}3} + M_{\text{mud.a}}^{\bar{0}3}, \quad (1.12)$$

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

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

5. Зольність суміші $Z_{\text{сум}}$, %, слід визначати за формулою:

$$Z_{\text{сум}} = 100 \cdot \left(1 - \frac{M_{\text{tot}}^S}{\frac{M_{\text{mud}} \cdot (100 - P_g)}{100} + \frac{M_{\text{mud.a}} \cdot (100 - P_g')}{100}}\right), \% \quad (1.13)$$

Приклад розрахунку кількості осадів, що утворюються на очисних спорудах каналізації

Вихідні дані для розрахунку:

1. Витрата побутових стічних вод $Q_{mid}^{nob} = 72\ 000\ \text{м}^3/\text{добу}$.
 2. Норма водовідведення побутових стічних вод $n = 300\ \text{л/добу} \cdot \text{люд}$.
 3. Витрата виробничих стічних вод $Q_{mid}^{III} = 11\ 000\ \text{м}^3/\text{добу}$.
 4. Концентрація завислих речовин у виробничих стічних водах до відстоювання $C_{en}^{III} = 500\ \text{мг/л}$.
 5. БПК_{повн} виробничих стічних вод $L_{en}^{III} = 400\ \text{мг/л}$.
 6. Ефект освітлення (затримання завислих речовин) у первинних відстійниках 50 %.
 7. Зниження БПК_{повн} стічних вод при первинному відстоюванні 15 %.
 8. БПК_{повн} очищеної стічної рідини $L_{ex} = 15\ \text{мг/л}$.
 9. Винос активного мулу з вторинних відстійників $b = 15\ \text{мг/л}$.
- Концентрація забруднень у господарсько-побутових стічних водах:

$$C_i^{nob} = \frac{a_i \cdot 100}{n}, \text{ мг/дм}^3, \quad (1.14)$$

де a_i – кількість забруднюючих речовин на одного мешканця, г/добу; згідно табл. 16 [2] дорівнює за завислими речовинами 65 г/добу, за БПК_{повн} – 75 г/добу;

n – питома середньодобове водовідведення побутових стічних вод, л/добу на одну людину.

Тоді концентрації забруднень побутових стічних вод за завислими речовинами C^{nob} , мг/л, й органічними забрудненнями, які виражаються їх еквівалентом БПК_{повн} L^{nob} , мг/л, будуть такими:

$$C^{nob} = \frac{65 \cdot 100}{300} = 217\ \text{мг/дм}^3.$$

$$L^{nob} = \frac{75 \cdot 100}{300} = 250\ \text{мг/дм}^3.$$

На очисні споруди надходить суміш побутових і виробничих стічних вод. Загальна витрата стічних вод буде визначатися так:

$$Q_{mid} = Q_{mid}^{nob} + Q_{mid}^{nn}$$

$$Q_{mid} = 72\,000 + 11\,000 = 83\,000 \text{ м}^3/\text{добу} = 3\,458,3 \text{ м}^3/\text{год} = 960,65 \text{ л/с.}$$

Середні концентрації забруднень суміші виробничих і побутових стічних вод, мг/л, що надходять на очисні споруди, визначаються за такими формулами:

– за завислими речовинами:

$$C_{en} = \frac{C^{nob} \cdot Q_{mid}^{nob} + C^{nn} \cdot Q_{mid}^{nn}}{Q_{mid}^{nob} + Q_{mid}^{nn}}; \quad (1.15)$$

– за БПК_{повн}:

$$L'_{en} = \frac{L^{nob} \cdot Q_{mid}^{nob} + L^{nn} \cdot Q_{mid}^{nn}}{Q_{mid}^{nob} + Q_{mid}^{nn}}, \quad (1.16)$$

де C^{nn} і L^{nn} – відповідно концентрація завислих речовин і значення БПК_{повн} виробничих стічних вод, мг/л;

Q_{mid}^{nob} і Q_{mid}^{nn} – середньодобові витрати побутових і виробничих стічних вод, м³/добу.

$$C_{en} = \frac{(217 \cdot 72\,000 + 500 \cdot 11\,000)}{83\,000} = 254,5 \text{ мг/дм}^3;$$

$$L_{en} = \frac{(250 \cdot 72\,000 + 400 \cdot 11\,000)}{83\,000} = 270 \text{ мг/дм}^3.$$

За вихідними даними ефект освітлення в первинних відстійниках (E) становить 50 %, зниження БПК_{повн} суміші стічних вод – 15 %. Тоді після первинного відстоювання концентрація забруднень суміші стічних вод дорівнюватиме:

– за завислими речовинами:

$$C_{cdp} = \frac{254,5 \cdot (100 - 50)}{100} = 127,25 \text{ мг/л,}$$

– за БПК_{повн}:

$$L_{en} = \frac{270 \cdot (100 - 15)}{100} = 229,5 \text{ мг/л.}$$

Визначаємо витрату осадів в первинних відстійниках M_{mud} за сухою речовиною за (1.1):

$$M_{mud} = \frac{254,5 \cdot 0,5 \cdot 1,1}{10^6} \cdot 83000 = 11,62 \text{ т/добу,}$$

де 1,1 – коефіцієнт, що враховує збільшення об'єму осаду за рахунок крупних фракцій.

Витрата сирого осаду за беззольною речовиною M_{mud}^S за (1.3):

$$M_{mud}^{\bar{0}z} = \frac{11,62 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 27)}{100 \cdot 100} = 8,1 \text{ т/добу.}$$

Витрата надлишкового активного мулу за сухою речовиною за (1.4):

$$M_{mud.a} = \left[\frac{0,8 \cdot 127,25 + 0,3 \cdot 229,5}{10^6} \right] \cdot 83000 = 13,8 \text{ т/добу.}$$

Кількість беззольної речовини надлишкового активного мулу $M_{mud.a}^S$ за (1.8) :

$$M_{mud.a}^{\bar{0}z} = \frac{13,8 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 25)}{100 \cdot 100} = 9,8, \text{ т/добу.}$$

Об'єм сирого осаду й надлишкового активного мулу, м³/добу:

$$W_{mud} = \frac{100 \cdot M_{mud}}{(100 - P_{mud}) \cdot \rho_{oc}}, \quad (1.17)$$

$$W_{mud.a} = \frac{100 \cdot M_{mud.a}}{(100 - P_2) \cdot \rho_{mul}}, \quad (1.18)$$

де P_{mud} – вологість сирого осаду, $P_{mud} = 93-95$ %;

P_2 – вологість ущільненого активного мулу, $P_2 = 97-98$ %;

ρ_{oc} і ρ_{mul} – густина осаду й активного мулу, дорівнює 1 г/см³.

$$W_{mud} = \frac{100 \cdot 11,62}{(100 - 95) \cdot 1} = 232,4 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Об'єм ущільненого надлишкового активного мулу за (1.7):

$$W_{уц} = \frac{100 \cdot 13,8}{100 - 97,3} = 511,1, \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Загальна витрата сирого осаду і надлишкового активного мулу на станції дорівнюватиме

– за сухою речовиною за (1.9):

$$M_{\text{сум}} = 11,62 + 13,8 = 25,42 \text{ т/добу};$$

– за об'ємом суміші за (1.10):

$$W_{\text{сум}} = 232,4 + 511,1 = 743,5 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Витрата беззольної речовини суміші M_{tot}^S , т/добу за (1.12):

$$M_{\text{сум}}^{\text{бз}} = 8,1 + 9,8 = 17,9 \text{ т/добу}.$$

Середня вологість суміші:

$$P_{\text{сер}} = 100 \cdot \left(1 - \frac{25,42}{743,5} \right) = 96,5 \text{ \%}.$$

Зольність суміші $Z_{\text{сум}}$, % за (1.13):

$$Z_{\text{сум}} = 100 \cdot \left(1 - \frac{17,9}{\frac{11,62 \cdot (100 - 5)}{100} + \frac{13,8 \cdot (100 - 5)}{100}} \right) = 29,6, \text{ \%}.$$

Питання для самоперевірки

1. На яких спорудах станції очищення стічних вод утворюються осади?
2. Як підрозділяються осади в залежності від виду обробки?
3. Які основні стадії технологічних процесів обробки осадів на станціях очистки стічних вод?
4. Які існують методи обробки осадів стічних вод?
5. Чому дорівнює вологість осаду стічних вод?

1.2 Ущільнення та згущення осадів

1.2.1 Розрахунок вертикальних мулоущільнювачів

Конструкція і розрахункова схема вертикального мулоущільнювача представлено на рисунку 1.1. Технологія роботи вертикального мулоущільнювача аналогічна роботі вертикального відстійника.

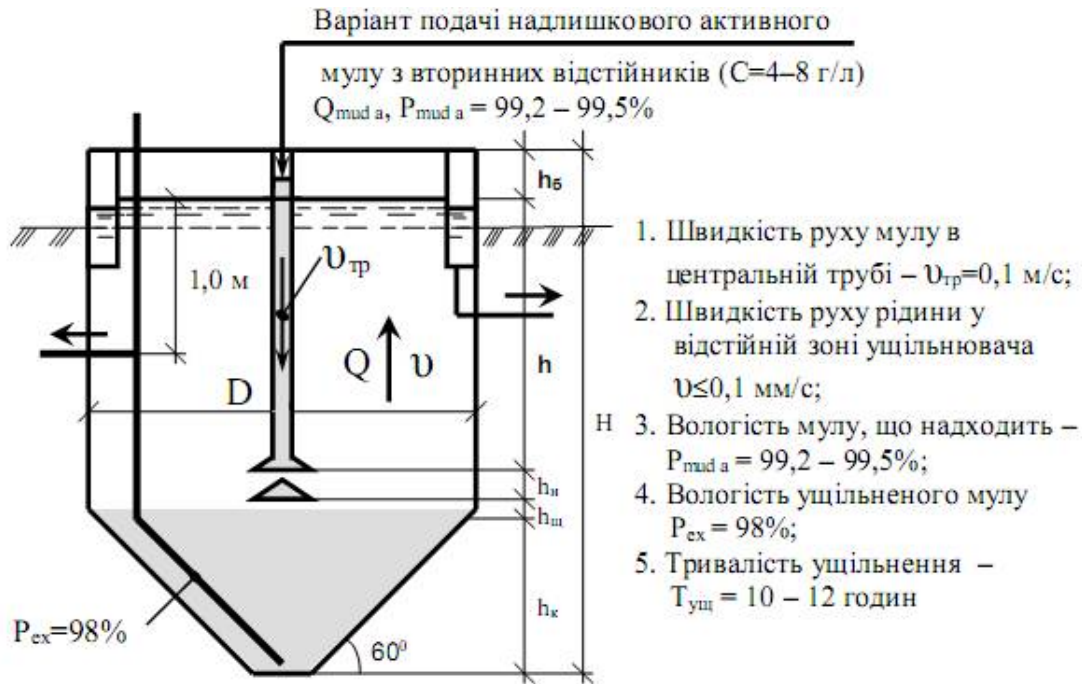


Рисунок 1.1 – Розрахункова схема вертикального мулоущільнювача

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

$$Q_{\text{муд а}} = \frac{P_{\text{max}} \cdot q_{\text{max}}}{c \cdot 10^3}, \quad (1.19)$$

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

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

$$P_{\text{max}} = K_M \cdot (P_i - v) \quad (1.20)$$

тут $K_M = 1,15-1,2$ – 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, $v = C_{\text{ex}}$, приймають відповідно до розрахунку необхідного ступеня очищення, але не менше 10 мг/л.

P_i – прирост активного мулу:

$$P_i = 0,8 \cdot C_{cdp} + K_g \cdot L_{en}, \text{ мг/л} \quad (1.21)$$

де C_{cdp} – концентрація завислих речовин у стічній воді, яка надходить в аеротенк;

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

L_{en} – значення БПК_{повн} у стічних водах, які надходять на біологічне очищення в аеротенки, мг/л;

Висоту проточної частини мулоущільнювача визначають за формулою:

$$h = 3,6 \cdot v \cdot t_{ущ}, \quad (1.22)$$

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

$t_{ущ}$ – тривалість ущільнення, год.

Для вертикальних мулоущільнювачів $t_{ущ} = 10-12$ год, $C = 4$ г/л (табл. А.1, дод. А).

Максимальна витрата рідини, що відокремлюється в процесі ущільнення:

$$Q_p = \frac{Q_{mid.a} \cdot (P_1 - P_2)}{100 - P_2}, \quad (1.23)$$

де P_1 – вологість мулу, що надходить, %;

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

Корисна площа поперечного перерізу мулоущільнювача, м²:

$$F_{кор} = \frac{Q_p}{3,6 \cdot v}, \text{ м}^2. \quad (1.24)$$

Площа поперечного перетину центральних труб складає:

$$f_{тр} = \frac{Q_{mid.a}}{3600 \cdot v_{тр}}, \quad (1.25)$$

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

Загальна площа мулоущільнювачів, м²

$$F_{заг} = F_{кор} + f_{тр}, \quad (1.26)$$

Діаметр одного мулоущільнювача, м

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{заг}}{\pi \cdot n_i}}, \quad (1.27)$$

де n_i – кількість мулоуцільнювачів.

Загальна висота уцільнювача, м,

$$H_i = h + h_k + h_n + h_{щ} + h_b, \text{ м}, \quad (1.28)$$

де h – висота проточної частини, м;

h_k – висота конічної частини відстійника, м;

h_n – висота нейтральної частини, дорівнює 0,3–0,5 м;

$h_{щ}$ – відстань між центральною трубою та відбивним щитом, $h_{щ} = 0,5$ м;

h_b – відстань від рівня води у мулоуцільнювачі до борта споруд, $h_b = 0,3$ м.

Місткість мулової частини мулоуцільнювача визначають за формулою:

$$V = Q_{mid.a} \frac{100 - P_1}{100 - P_2} \cdot \frac{t_{мул}}{n}, \text{ м}^3, \quad (1.29)$$

де $t_{мул}$ – тривалість перебування мулу в муловій частині при вивантаженні його один раз за зміну, год.

Приклад розрахунку вертикальних мулоуцільнювачів

Вертикальні мулоуцільнювачі, що влаштовуються на базі звичайних первинних вертикальних відстійників з центральною трубою, застосовуються на станціях невеликої продуктивності.

Вихідні дані для розрахунку:

1. Витрата стічних вод $Q_{mid} = 20\,000$ м³/добу.

2. Концентрація завислих речовин в стічній воді, що надходить в аеротенк з первинного відстійника $C_{сдр} = 127,25$ мг/л.

3. БПК_{повн} стічних вод, що надходять в аеротенки $L_{ен} = 229,5$ мг/л.

Максимальний годинний приплив надлишкового активного мулу за (1.19):

$$Q_{mud.a} = \frac{P_{max} \cdot Q_{mid}}{C \cdot 24}, \text{ м}^3/\text{ГОД},$$

де P_{max} – максимальний годинний прирост надлишкового активного мулу, г/л, що визначається за (1.20):

$$P_{max} = K_M \cdot (P_i - e)$$

C – концентрація надлишкового активного мулу; при його вологості $P_{en} = 99,6\% C = 4000 \text{ г/м}^3$.

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

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

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

Висота проточної частини мулоущільнювача за (1.22):

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

Максимальна витрата рідини, що відокремлюється в процесі ущільнення

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

Корисна площа поперечного перерізу мулоущільнювача, м^2 :

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

Площа поперечного перетину центральної труби:

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

Загальна площа мулоущільнювача, м^2 :

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

Діаметр одного мулоущільнювача:

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

Приймаємо два вертикальних мулоущільнювача діаметром 9 м, розрахункова глибина проточної частини мулоущільнювача $h = 3,8 \text{ м}$ (табл. А2, дод. А).

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

$$T = \frac{h}{3,6 \cdot v}. \quad (1.30)$$

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

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

Тривалість зберігання ущільненого мулу у муловій частині мулоущільнювача, год

$$T_{\text{мул}} = \frac{W_{\text{мул}} \cdot n}{q_{\text{ущ}}}, \quad (1.31)$$

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, направляється на біологічне очищення.

1.2.2 Розрахунок радіальних мулоущільнювачів

Конструкція і розрахункова схема радіального мулоущільнювача представлена на рисунку 1.2. Технологія роботи радіальних мулоущільнювачів аналогічна роботі первинних радіальних відстійників.

Корисна площа поперечного перерізу мулоущільнювача:

$$F_{\text{кор}} = \frac{Q_{\text{муд.а}}}{q_o}, \quad (1.32)$$

де q_o – розрахункове навантаження на площу дзеркала ущільнювача, м³/(м²·год), приймають залежно від концентрації мулу, який надійшов на ущільнення:

– при $c = 2-3$ г/л – $q_o = 0,5$ м³/(м²·год);

– при $c = 5-8$ г/л – $q_0 = 0,3$ м³/(м²·год).

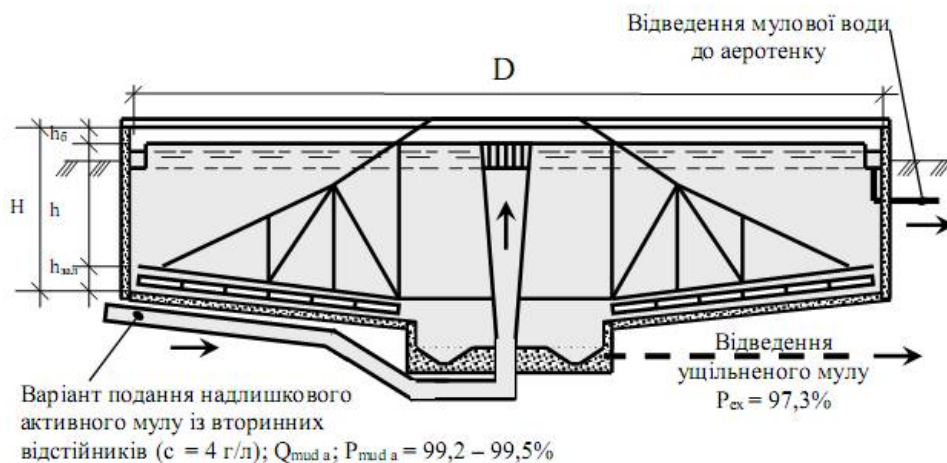


Рисунок 1.2 – Розрахункова схема радіального мулоущільнювача

Число мулоущільнювачів n_i приймають не меншим за 2.

Діаметр одного мулоущільнювача визначається за формулою:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{кор}}{\pi \cdot n_i}}, \text{ м.} \quad (1.33)$$

Висоту робочої зони мулоущільнювача можна визначити за формулою:

$$h = q_0 \cdot t_{ущ}, \quad (1.34)$$

де $t_{ущ}$ – тривалість ущільнення, годин. Для радіальних мулоущільнювачів $t_{ущ} = 9-11$ год, $C = 4$ г/л (табл. А.1).

Загальна висота мулоущільнювача:

$$H = h + h_{зал} + h_б, \text{ м,} \quad (1.35)$$

де h – висота робочої зони, м;

$h_{зал}$ – висота зони залягання мулу, м (при обладнанні мулошкребом $h = 0,3$ м, при обладнанні мулососом $h = 0,7$ м);

$h_б$ – відстань від рівняння рідини до верху споруди, м ($h_б = 0,3-0,5$ м).

Максимальна витрата рідини, що відокремлюється в процесі ущільнення, визначається аналогічно за формулою (1.23).

Місткість мулової частини мулоущільнювача визначається аналогічно за формулою (1.29).

Приклад розрахунку радіальних мулоущільнювачів

Вихідні дані для розрахунку:

1. Витрата стічних вод $Q_{mid} = 83\,000 \text{ м}^3/\text{добу}$.

2. Концентрація завислих речовин в стічній воді, що надходить в аеротенк з первинного відстійника $C_{сдр} = 127,25 \text{ мг/л}$.

3. БПК_{повн} стічних вод, що надходять в аеротенки $L_{ен} = 229,5 \text{ мг/л}$.

Визначаємо максимальний годинний приплив надлишкового активного мулу за формулами за (1.19) – (1.21):

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

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

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

Необхідний об'єм мулоущільнювача, м^3

$$W = Q_{mud.a} \cdot T, \quad (1.36)$$

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

$$W = 191,8 \cdot 11 = 2109,8 \text{ м}^3.$$

Як ущільнювачі приймаємо 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).

Кількість мулоущільнювачів

$$n = \frac{W}{W_{з.о.}}, \quad (1.37)$$

$$n = \frac{2109,8}{788} = 2,7.$$

Приймаємо три мулоущільнювачі.

Навантаження на дзеркало мулоущільнювача, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$

$$q_0 = \frac{Q_{mud.a}}{n \cdot \pi \cdot R^2}, \quad (1.38)$$

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 ($q_0 = 0,2-0,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$).

Розрахункова витрата ущільненого мулу при вологості 97,3 %

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

Максимальну витрату рідини, що відокремлюється в процесі ущільнення визначаємо за (1.23):

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

При проектуванні радіальних мулоущільнювачів приймають: висоту зони освітленої мулової води – 0,4–0,6 м; висоту нейтрального шару – 0,3–0,5 м; висоту зони ущільненого осаду і розміщення скребків – 0,3 м (при використанні мулососів її збільшують до 0,7 м).

Питання для самоперевірки

- 2 З якою метою здійснюють ущільнення осадів?
 2. Які осади подають на ущільнення?
 3. Які споруди застосовують для ущільнення осадів стічних вод?

1.3 Знешкодження органічних субстратів. Анаеробне зброджування осадів

1.3.1 Розрахунок двохярусних відстійників

Для малих і середніх очисних станцій широко розповсюджені двоярусні відстійники. Їх застосовують для відстоювання стічних вод, зброджування і ущільнення осаду, що випав на малих і середніх очисних станціях продуктивністю до 10 тис. м³/добу.

Двоярусні відстійники влаштовують одинарними або спареними. Вони є циліндрами з конічним дном. У верхній частині розташовані осадові жолоби,

працюючі за принципом горизонтального відстійника ($E_c = 40\text{--}50\%$). У нижній частині відбувається процес септичного бродіння осаду, який випав.

Об'єм усіх жолобів визначається за формулою:

$$W_{\text{жс}} = q_{\text{max}} \cdot t, \quad (1.39)$$

де q_{max} – максимальна годинна витрата стічних вод, $\text{м}^3/\text{год}$;

t – тривалість перебування води в жолобі, $t = 1,5$ год.

Площа живого перетину одного жолоба (м^2) складе:

$$\omega = \frac{W_{\text{жс}}}{L \cdot n \cdot n_{\text{жс}}}, \quad (1.40)$$

$$\omega = b \cdot h_1 + \frac{b \cdot h_2}{2}, \text{ м}^2, \quad (1.41)$$

де L – довжина жолобу, м ;

n – кількість двоярусних відстійників;

$n_{\text{жс}}$ – кількість жолобів у відстійнику;

b – ширина жолобу, м ;

h_1, h_2 – висота, відповідно, прямокутної та трикутної частини жолобу, м ;

Основні розміри та розрахункові об'єми двоярусних відстійників із збірного залізобетону можна приймати за таблицею А.4 (дод. А).

Загальний об'єм мулової камери визначається за формулою:

$$W_{\text{заг}} = \frac{W_{\text{мул}} \cdot N_C^{\text{np}}}{1000}, \text{ м}^3, \quad (1.42)$$

де $W_{\text{мул}}$ – об'єм септичної камери, $\text{л}/(\text{мешк} \cdot \text{рік})$;

N_C^{np} – приведене число мешканців.

Загальна будівельна висота двоярусного відстійника

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_{\text{кон}} + h_{\text{цил}} + h_{\text{Б}}, \text{ м}, \quad (1.43)$$

$$h_{\text{кон}} = 0,29D - 0,2 \text{tg} 30^\circ \approx 0,29D - 0,12, \text{ м}, \quad (1.44)$$

$$h_{\text{цил}} = \frac{4(W_{\text{заг}} - W_{\text{кон}})}{\pi \cdot D^2}, \text{ м}, \quad (1.45)$$

де h_3 – нейтральний шар між муловою камерою і щілиною жолобу, $h_3 = 0,5$ м ;

$h_{\text{Б}}$ – висота борту, $h_{\text{Б}} = 0,5$ м .

1.3.2 Розрахунок освітлювачів-перегнивачів

Для орієнтовних розрахунків можна прийняти:

- ефективність затримання завислих речовин в освітлювачі – $E_c = 70 \%$;
- ефективність зниження БПК_{повн} – $E_L = 15 \%$;
- робочу глибину зони освітлення приймають 4,5 м;
- довжину центральної труби 2–3 м;
- діаметр відбивного щита на 1 м більше діаметру труби;
- швидкість руху води в зоні освітлення 0,8–1,5 м/с.

Схема освітлювача-перегнивача представлена на рисунку 1.3.

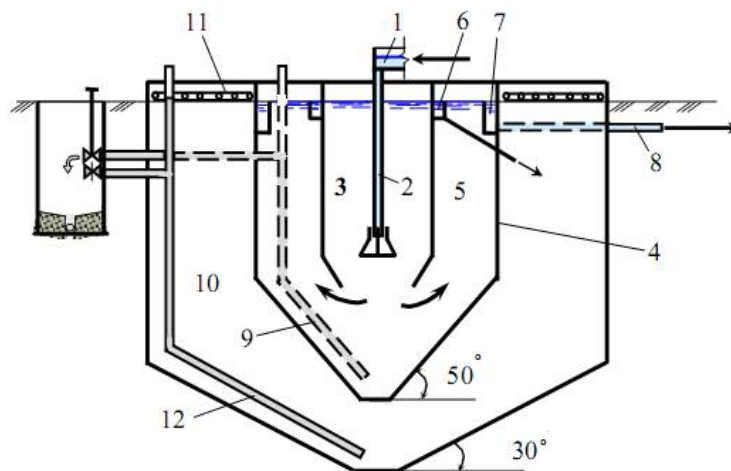


Рисунок 1.3 – Схема освітлювача-перегнивача:

- 1 – лоток подачі стічних вод; 2 – центральна труба; 3 – камера флокуляції;
4 – освітлювач з природною аерацією; 5 – завислий шар осаду; 6 – лоток для видалення корки; 7 – лоток освітленої води; 8 – відведення освітленої води;
9 – відведення осаду з освітлювача; 10 – камера зброджування осаду (перегнивач); 11 – труба для змішування і завантаження осаду;
12 – труба для видалення зброженого осаду

Об'єм перегнивачів визначається за формулою:

$$W_n = \frac{100W_{tot}}{d \cdot m}, \text{ м}^3 \quad (1.46)$$

де $W_{сум}$ – добовий об'єм осаду, що надходить до всіх перегнивачів, $\text{м}^3/\text{добу}$;
дорівнює сумі об'ємів осадів, які надходять із освітлювачів W_{mud} і

надлишкового активного мулу $W_{mud\ a}$ або біоплівки з вторинних відстійників $W_{mud\ b}$:

$$W_{сум} = W_{mud} + W_{mud.b} \cdot m, \quad (1.47)$$

m – кількість перегнивачів, приймається такою, що дорівнює кількості освітлювачів, тобто $m = n$;

d – добова доза загрузки осаду у перегнивачі, %, яка визначається за формулою:

$$d = d_1 \frac{5}{100 - P_{mix}}, \% \quad (1.48)$$

де d_1 – добова доза завантаження осаду у перегнивачі, %, приймається за таблицю 1.1 в залежності від середньої температури осаду;

P_{mix} – вологість суміші осаду, що надходить до перегнивачів, %.

Таблиця 1.1 – Добова доза завантаження осаду

Середня температура стічних вод або осаду, °С	6	7	8,5	10	12	15	20
Добова доза завантаження осаду, %	0,72	0,85	1,02	1,28	1,70	2,57	5,0

Для очисних станцій з біофільтрами вологість суміші осаду складе:

$$P_{mix} = \frac{P_{mud} \cdot W_{mud} + P_{mud.b} \cdot W_{mud.b}}{W_{mud} + W_{mud.b}}, \% \quad (1.49)$$

де P_{mud} , $P_{mud.b}$ – вологість, відповідно, осаду освітлювача і біоплівки з вторинного відстійника, %.

Для очисних станцій з аеротенками P_{mix} визначається аналогічно.

1.3.3 Розрахунок метантенків. Утилізації біогазу

Режими зброджування в метантенках:

1. Мезофільний – $t = 30 - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Термофільний – $t = 50 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

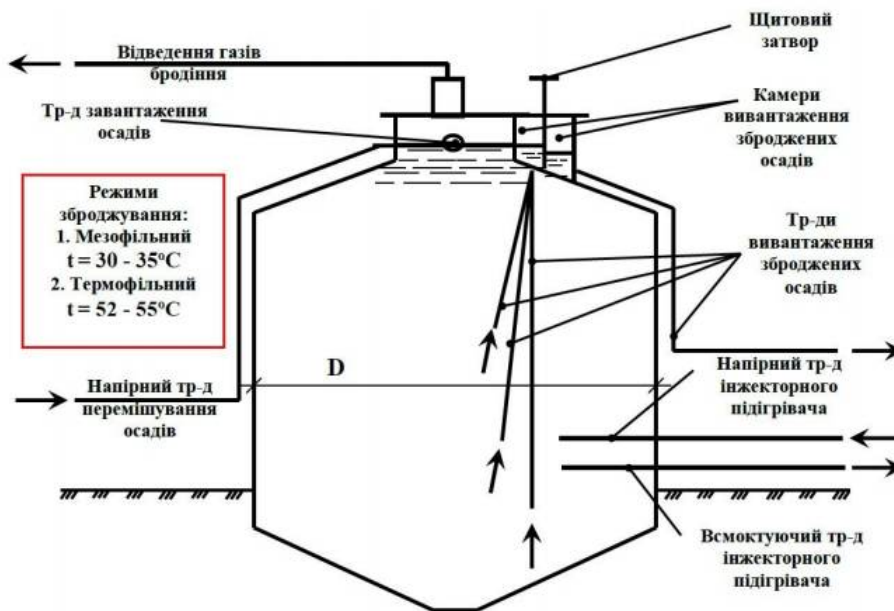


Рисунок 1.4 – Схема метантенка

Місткість метантенків слід визначати по добовій дозі завантаження осаду в метантенк, D_{mt} , %. Добова доза осаду визначається за вологістю вихідного осаду (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – 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} , %, при 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:

$$W_{mt} = \frac{W_{\text{сум}} \cdot 100}{D_{mt}}, \text{ м}^3. \quad (1.50)$$

де D_{mt} – добова доза завантаження осаду в метантенк, % (табл. 3.1).

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

За відсутності даних про хімічний склад осаду величину R_{lim} допускається приймати:

- 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 – по середньоарифметичному співвідношенню змішуваних компонентів за беззольною речовиною:

$$R_{lim} = \frac{a_o \cdot M_{mud}^{бз} + a_{мул} \cdot M_{mud.a}^{бз}}{M_{сум}^{бз}}, \% \quad (1.51)$$

Розпад беззольної речовини R_r , %, завантаженого осаду в залежності від дози завантаження визначається за формулою:

$$R_r = R_{lim} - K_r \cdot D_{mt}, \quad (1.52)$$

де K_r – коефіцієнт, який залежить від вологості осаду і режиму зброджування (табл. 1.3);

D_{mt} – доза завантаженого осаду, %.

Таблиця 1.3 – Значення коефіцієнта K_r

Режим зброджування	Значення коефіцієнта K_r при 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:
 $W_{SB} = W_{сум}, \text{ м}^3/\text{добу}.$

Кількість газу, y , отриману при зброджуванні осаду, приймаємо 1 м^3 на 1 кг беззольної речовини, яка розпалася (густина газу прийнята рівною $1 \text{ г}/\text{см}^3$).

Сумарна витрата газу:

$$\Gamma = \frac{R_r \cdot M_{\text{сум}}^{\text{бз}} \cdot 1000}{100}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (1.53)$$

де M_{tot}^s – загальна витрата сирого осаду і надлишкового активного мулу за беззольною речовиною.

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

$$W_r = \frac{\Gamma \cdot t}{24}, \text{ м}^3. \quad (1.54)$$

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

Перевіряють тривалість зберігання газу:

$$t = \frac{W \cdot 24}{\Gamma}, \text{ год.} \quad (1.55)$$

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:

$$M_{\text{сум}}^{\text{бз}'} = M_{\text{сум}}^{\text{бз}} \cdot (100 - y'), \text{ т/добу} \quad (1.56)$$

Різниця $M_{\text{tot}} - M_{\text{tot}}^s$ становить собою зольну частину, яка не зазнає змін у процесі зброджування. Тому маса сухої речовини у збродженій суміші:

$$M_{\text{сум}}' = (M_{\text{сум}} - M_{\text{сум}}^{\text{бз}}) + M_{\text{сум}}^{\text{бз}'}, \text{ т/добу}, \quad (1.57)$$

$$Z_{\text{сум}} = 100 - \frac{M_{\text{сум}}^{\text{бз}'}}{M_{\text{сум}}' \cdot (100 - P_g)} \cdot 10^4 \quad (1.58)$$

де P_g – гігроскопічна вологість осаду, дорівнює 6 %

Вологість збродженої суміші осадів визначають за формулою:

$$P_{\text{mt}}^{\text{l}} = 100 - \frac{M_{\text{сум}}' \cdot 100}{W_{\text{сум}}}, \% \quad (1.59)$$

Приклад розрахунку

Розрахувати метантенки для зброджування суміші сирого осаду з первинних відстійників і надлишкового активного мулу.

Вихідні дані для розрахунку:

1. Кількість осаду, що подається на обробку – 525 м³/добу.
2. Витрата сирого осаду за беззольною речовиною – 8,1 м³/добу.
3. Витрата надлишкового активного мулу за беззольною речовиною – 9,8 м³/добу.

Розв'язання

Приймаємо термофільний режим зброджування, за якого повністю знищуються яйця гельмінтів, що знаходяться в осаді. Температура зброджування 53 °С. Добова доза завантаження осаду в метантенки при вологості осаду 95 % приймається $D_{mt} = 17$ % (табл. 1.2).

Тоді об'єм метантенків за (1.50) дорівнюватиме

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

Для обробки осаду приймаємо три метантенка; корисний об'єм одного резервуара 1100 м³ (табл. Б.1, дод. Б).

Сумарний об'єм метантенків при цьому буде трохи більше потрібного, у зв'язку із цим фактична доза завантаження знизиться до значення

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

Максимально можливе зброджування беззольної речовини завантаженого осаду R_{lim} , % за (1.51)

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

Тоді розпад беззольної речовини R_r , %, завантаженого осаду залежно від дози завантаження за (1.52)

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

Значення $K_r = 0,31$ прийнято за таблицею 1.3.

Кількість газу, отриманого при зброджуванні приймаємо 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 (1.53)

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

Місткість газгольдерів за (1.54)

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

Приймаємо три типових газгольдера об'ємом 300 м³ кожний (табл. Б.2, дод. Б).

Питання для самоперевірки

1. Для чого застосовують метантенки?
2. Назвіть режими зброджування осадів стічних вод в метантенках.
3. Що потрібно передбачати для підтримання необхідного режиму зброджування?
4. Залежно від чого визначають місткість метантенків?
5. Для чого призначені газгольдери?
6. На який час виходу газу розраховується об'єм газгольдерів?

1.3.4 Розрахунок аеробних стабілізаторів

Метод аеробної стабілізації полягає у тривалому аеруванні неущільненого або ущільненого надлишкового активного мулу, а також суміші його з сирим осадом.

Основними розрахунковими параметрами процесу є тривалість стабілізації (t, діб) та питома витрата кисню (q, кг·O₂/кг органічних речовин мулу), які залежать від температури та віку мулу. Розрахункова температура в аеротенку і стабілізаторі приймається в межах 10–35 °С.

Вік мулу, або період його обміну - це середня тривалість перебування його в системі аераційних споруд.

Доза активного мулу приймається при розрахунку аеротенків-витискувачів $a = 3-5$ г/л без регенерації, при регенерації $a = 2-4,5$ г/л; в аеротенках-змішувачах без регенерації 3г/л, з регенерацією $a = 2-4$ г/л.

Період стабілізації неущільненого активного мулу в стабілізаторі t , діб. розраховується за формулою:

$$t_{\text{мул}} = \frac{(8 - 10) + 0,02 \cdot (20 - T_a) \cdot (\tau + 5)}{1,08^{20 - T_c}} \quad (1.60)$$

де T_a – розрахункова температура в аеротенку, °С;

T_c – розрахункова температура в аеробному стабілізаторі, °С; $T_c = T_a - 2$;

τ – вік мулу, діб.

Вік мулу τ , год розраховується за формулою:

$$\tau = \frac{t_a \cdot a_a \cdot 1000}{C_{\text{cdp}} \cdot 24} \quad (1.61)$$

де t_a – час обробки води в аеротенках, год;

a_a – доза мулу в аеротенку, г/л;

C_{cdp} – концентрація завислих речовин у стічній воді, яка надходить в аеротенк (100–150 мг/л).

Питома витрата кисню для аерації $q_{\text{мул}}$, кг·О₂/кг органічних речовин визначається за формулою:

$$q_{\text{мул}} = \frac{0,96 + 0,016 \cdot \tau}{1 + 0,108 \cdot \tau} \text{ кг О}_2\text{/кг.} \quad (1.62)$$

Тривалість аеробної стабілізації суміші мула та осаду $t_{\text{сум}}$, діб. розраховується за формулою:

$$t_{\text{сум}} = t_{\text{мул}} + 2 \cdot B, \quad (1.63)$$

де $t_{\text{мул}}$ – період стабілізації активного мулу, діб;

B – відношення беззольної речовини осаду до беззольної речовини суміші, визначається за формулою:

$$B = \frac{M_{mud}^{\delta_3}}{M_{сум}^{\delta_3}}. \quad (1.64)$$

Питома витрата кисню $q_{сум}$, кг·О₂/кг беззольної речовини для стабілізації суміші осаду та мулу розраховується за формулою:

$$q_{сум} = q_{mul} \cdot (1 + 0,4 \cdot B \cdot \sqrt{\tau}). \quad (1.65)$$

Потрібний об'єм аеробного стабілізатора, м³:

$$V_c = W_{tot} \cdot t_{сум}. \quad (1.66)$$

Як аеробні стабілізатори приймаються типові аеротенки-витискувачі. Аерація осадів в стабілізаторі здійснюється за допомогою фільтросних елементів або дірчастих труб, кількість і розташування яких повинне забезпечувати необхідну інтенсивність аерації і перемішування.

При проведенні аеробної стабілізації висококонцентрованої суміші осадів необхідно передбачати механічну та пневмомеханічну аерацію.

Кількість повітря на аеробну стабілізацію, м³/год визначається за попередніми розрахунками за формулою:

$$q_{сум}^{заг} = q_{пит} \cdot V_c, \quad (1.67)$$

де V_c – об'єм прийнятих стабілізаторів, м³;

$q_{пит}$ – питома витрата повітря, м³/год на 1 м³ стабілізатора, приймається 1–2 м³/год [2].

Для уточнених розрахунків при визначенні необхідної кількості повітря використовують формулу для розрахунку питомої кількості повітря в аеротенках, модифіковану для застосування до аеробної стабілізації.

Питома кількість повітря м³/м³ мулової суміші:

$$q_a = \frac{q_{сум} \cdot S_o \cdot 1000}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_T \cdot K_3 \cdot (C_a - C_o)}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (1.68)$$

де S_o – концентрація беззольної речовини у неущільненому активному мулі, що надходить на стабілізацію, кг/м³:

$$S_o = \frac{M_{mud}^S \cdot 1000}{W_{неущ}} \quad (1.69)$$

K_1 – коефіцієнт, що враховує тип аератора, залежить від відношення площ зони аерації і стабілізатора;

K_2 – коефіцієнт який залежить від глибини занурення аераторів;

K_3 – коефіцієнт якості води, для міських стічних вод дорівнює 0,85;

K_T – коефіцієнт, який враховує температуру стічних вод:

$$K_T = 1 + 0,02 \cdot (T_w - 20), \quad (1.70)$$

де T_w – літня температура стічних вод, приймаємо 21 °С;

C_a – концентрація кисню в стабілізаторі, мг/л;

C_o – розчинність кисню повітря у воді, мг/л; залежить від температури, атмосферного тиску і глибини занурення аератора;

$$C_o = \left(1 + \frac{h_a}{20,6} \right) \cdot C_T, \quad (1.71)$$

де C_T – розчинність кисню в чистій воді в залежності від температури і атмосферного тиску.

Приклад розрахунку споруд аеробної стабілізації

Для аеробної стабілізації слід передбачати споруди типу коридорних аеротенків.

Необхідно розрахувати такі варіанти:

1) аеробна стабілізація неущільненого активного мулу;

2) аеробна стабілізація суміші сирого осаду і неущільненого активного мулу.

Вихідні дані для розрахунку:

1. Витрата сирого осаду за сухою речовиною $M_{mud} = 11,62$ т/добу.

2. Витрата надлишкового активного мулу за сухою речовиною $M_{mud.a} = 13,8$ т/добу.

3. Витрата сирого осаду за беззольною речовиною $M_{mud}^{\delta_3} = 8,1$ т/добу.

4. Витрата надлишкового активного мулу за беззольною речовиною $M_{mud.a}^{\delta_3} = 9,8$ т/добу.

5. Об'єм сирого осаду $W_{mud} = 162,0$ м³/добу.

Розв'язання

За добу на станції утворюється така кількість осадів і мулу:

– за сухою речовиною

$$M_{\text{сум}} = M_{\text{mud}} + M_{\text{mud.a}} = 11,62 + 13,8 = 25,42 \text{ т/добу};$$

– за беззольною речовиною

$$M_{\text{сум}}^{\text{бз}} = M_{\text{mud}}^{\text{бз}} + M_{\text{mud.a}}^{\text{бз}} = 8,1 + 9,8 = 17,9 \text{ т/добу};$$

– за об'ємом фактичної вологості

$$W_{\text{mud}} = 162,0 \text{ м}^3/\text{добу};$$

$$W_{\text{неуц}} = \frac{13,8 \cdot 100}{(100 - 99,5) \cdot 1} = 2760 \text{ м}^3/\text{добу};$$

$$W_{\text{сум}} = W_{\text{mud}} + W_{\text{неуц}} = 162 + 2760 = 2922 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Температуру стічних вод в аеротенку і активного мулу в стабілізаторі приймаємо такою, що дорівнює відповідно $T_a = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ і $T_c = 18 - 3 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для умов даного прикладу прийнято, що час обробки води в аеротенках становить $t_a = 5,4$ год при дозі мулу $a_a = 2$ г/л.

Концентрація завислих речовин у стічній воді, яка надходить в аеротенк $C_{\text{сдп}} = 127,25$ мг/л.

Вік мулу в цьому випадку за формулою (1.61) буде становити

$$\tau = \frac{5,4 \cdot 2 \cdot 1000}{127,25 \cdot 24} = 3,5 \text{ діб}.$$

Варіант 1 Аеробна стабілізація неущільненого активного мулу

Час стабілізації неущільненого активного мулу в стабілізаторі визначаємо за формулою (1.60):

$$t_{\text{мул}} = \frac{[(8 + 0,02 \cdot (20 - 18)) \cdot (3,5 + 5)]}{1,08^{20-15}} = 5,67 \text{ діб}.$$

Питома витрата кисню, кг O_2 /кг органічних речовин за (1.62):

$$q_{\text{мул}} = \frac{0,96 + 0,016 \cdot 3,5}{1 + 0,108 \cdot 3,5} = 0,74 \text{ кг } \text{O}_2/\text{кг органічних речовин}.$$

Потрібний об'єм аеробного стабілізатора

$$V_c = W_{\text{неуц}} \cdot t_{\text{сум}} = 2760 \cdot 5,67 = 15649,5 \text{ м}^3.$$

Як стабілізатори, приймаємо трикоридорні аеротенки, 3 секції.

Для визначення кількості повітря за (1.68) необхідно знати концентрацію беззольної речовини S_o у неущільненому активному мулі, що надходить на стабілізацію. При вмісті беззольної речовини $M_{mud.a}^S = 9,8$ т/добу та загальній кількості мулу $V_{неуц} = 2760$ м³/добу значення S_o неущільненого активного мулу за формулою (1.69) становитиме:

$$S_o = \frac{9,8 \cdot 1000}{2760} = 3,55 \text{ кг/м}^3.$$

Тоді потрібна кількість повітря

$$q_a = \frac{0,74 \cdot 3,55 \cdot 1000}{1,47 \cdot 2,92 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot 9,4} = 69,63 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Варіант 2 Аеробна стабілізація суміші сирого осаду і неущільненого активного мулу

При розрахунку тривалості аеробної стабілізації суміші сирого осаду і неущільненого активного мулу необхідно визначити відношення беззольної речовини осаду до беззольної речовини суміші за формулою (1.64)

$$B = \frac{8,1}{17,9} = 0,45,$$

тоді тривалість аеробної стабілізації суміші сирого осаду і неущільненого активного мулу за формулою (1.63)

$$t_{сум} = 5,67 + 2 \cdot 0,45 = 6,57 \text{ год.}$$

Питома витрата кисню $q_{сум}$, кг·О₂/кг беззольної речовини для стабілізації суміші осаду та мулу за (1.65)

$$q_{сум} = q_{мул} \cdot (1 + 0,4 \cdot B \cdot \sqrt{\tau}),$$

$$q_c = 0,74 \cdot (1 + 0,4 \cdot 0,45 \cdot \sqrt{3,5}) = 1,1 \text{ кг О}_2/\text{кг беззольної речовини}$$

Потрібний об'єм аеробного стабілізатора, м³ за (1.66)

$$V_c = 2922 \cdot 6,57 = 19197,54 \text{ м}^3.$$

Як стабілізатори приймаємо типові аеротенки-змішувачі трикоридорні, 3 секції.

Концентрація беззольної речовини сирого осаду і надлишкового неущільненого активного мулу

$$S_0 = \frac{M_{\text{сум}}^{\text{бз}} \cdot 1000}{W_{\text{сум}}} = \frac{17,9 \cdot 1000}{2922} = 6,12 \text{ кг/м}^3.$$

Тоді потрібна питома кількість повітря :

$$q_a = \frac{1,1 \cdot 6,12 \cdot 1000}{1,47 \cdot 2,92 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot 9,4} = 178,44 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Значення коефіцієнтів прийняті відповідно до типу аерації, що використовується в аеробному стабілізаторі.

Питання для самоперевірки

1. При якій продуктивності очисних споруд проєктують аеробні стабілізатори?
2. Які види осадів допускається направляти на аеробну стабілізацію?
3. Яка тривалість аерації приймається в аеробних стабілізаторах для неущільненого активного мулу?
4. Яка тривалість аерації приймається в аеробних стабілізаторах для суміші осаду первинних відстійників і неущільненого активного мулу?
5. Яка тривалість аерації приймається в аеробних стабілізаторах для суміші осаду первинних відстійників та ущільненого активного мулу?
6. Як пливає на тривалість аерації в аеробних стабілізаторах температура осаду?
7. Яка приймається витрата повітря на аеробну стабілізацію?
8. Де передбачається ущільнення аеробно стабілізованого осаду?
9. Куди направляють мулову воду з ущільнювачів аеробно стабілізованого осаду?

1.4 Кондиціонування осадів

1.4.1 Підготовка осаду до механічного зневоднення

Осади, що утворюються на очисних спорудах населених міст, характеризуються дуже низькими показниками водовіддачі, що ускладнює застосування інтенсивних процесів для їх зневоднення.

Процеси підготовки осадів до зневоднення називають *кондиціонуванням*.

Першою стадією підготовки осаду до зневоднення є його промивка (рис. 1.5). Вона застосовується тільки для зброджених осадів. Промивка здійснюється очищеною стічною водою.

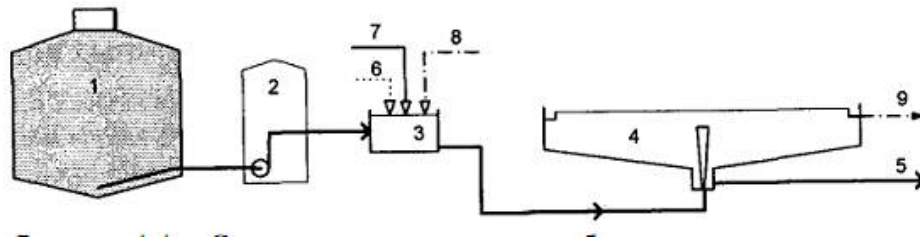


Рисунок 1.5 – Схема кондиціонування збродженого осаду з промивкою та ущільненням:

1 – метантенк; 2 – насосна станція; 3 – промивна камера; 4 – ущільнювач; 5 – ущільнений осад на механічне зневоднення; 6 – подача стислого повітря; 7 – подача промивної води; 8 – подача фільтрату; 9 – випуск мулової води

1.4.2 Розрахунок споруд промивання та ущільнення зброджених осадів

Добовий об'єм суміші осаду і промивної води, м³/добу

$$W_{\text{сум}} = V_{\text{заг}} \cdot (1 + n), \quad (1.72)$$

де n – питома витрата промивної води, м³/м³, приймається залежно від умов збродження (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Питома витрата промивної води

Параметри	Питома витрата промивної води, м ³ /м ³
Зброджений сирий осад	1,0–1,5
Зброджена у мезофільних умовах суміш сирого осаду і надлишкового активного мулу	2–3
Зброджена у термофільних умовах суміш сирого осаду і надлишкового активного мулу	3–4

Промивання (перемішування осаду з водою) здійснюють за допомогою продування повітрям. Тривалість промивання 15–20 хв. Кількість резервуарів для промивання – не менше двох. У резервуарах потрібно передбачати пристрої для виведення спливаючих речовин, перемішування і періодичного очищення.

Об'єм промивних резервуарів, м³

$$W_{np} = \frac{W_{сум} \cdot T_{np}}{24 \cdot 60}, \quad (1.73)$$

де T_{np} – тривалість промивки, хв, $T_{np} = 15–20$ хв.

При перемішуванні стислим повітрям кількість його визначається з розрахунку 0,5 м³/м³ суміші осаду, що промивається і води [2].

Витрата повітря на перемішування в промивних резервуарах, м³/год

$$Q_{пов} = \frac{W_{сум} \cdot q_{пов}}{24}, \quad (1.74)$$

де $q_{пов}$ – питома витрата повітря, м³/м³.

Для ущільнення суміші промитого осаду і води передбачаються мулоущільнювачі, які розраховуються на 12–18 год знаходження в них суміші при мезофільному режимі зброджування і на 20–24 год – при термофільному.

Робочий об'єм ущільнювачів, м³

$$W_{ущ}^{роб} = \frac{W_{сум} \cdot t_{ущ}}{24}, \quad (1.75)$$

де $t_{ущ}$ – тривалість ущільнення, год.

Об'єм мулової частини ущільнювачів визначається з урахуванням зберігання осаду вологістю 94–96 % протягом двох діб:

$$W_{ущ}^{мул} = \frac{V_{заг} \cdot (100 - P_1)}{100 - P_2} \cdot T, \quad (1.76)$$

де $V_{заг}$ – добовий об'єм осаду, що подається на зневоднення, м³/добу, який дорівнює об'єму осаду, що подається на зброджування;

P_1 – вологість зброженого осаду, %;

P_2 – вологість ущільненого осаду, %, становить 94–96 %;

T – тривалість зберігання, діб, $T = 2$ доби.

Загальний об'єм ущільнювачів, м³

$$W_{ущ}^{заг} = W_{ущ}^{роб} + W_{ущ}^{мул}, \quad (1.77)$$

Приймаються вертикальні або радіальні ущільнювачі, число ущільнювачів – не менше 2.

Об'єм промитого і ущільненого осаду, м³/добу:

$$W_{ос} = V_{заг} \cdot \frac{100 - P_1}{100 - P_2}, \quad (1.78)$$

Осад видаляється плунжерними насосами.

Витрата мулової води, що відводиться з мулоущільнювачів, м³/добу

$$W_{зливн} = W_{сум} - W_{ос}, \quad (1.79)$$

Зливна вода (мулова) подається у приймальну камеру очисних споруд. Кількість забруднюючих речовин у муловій воді з ущільнювачів становить: за завислими речовинами – 1 000–1 500 мг/дм³, по БПК₅ – 300–600 мг/дм³.

1.5 Зневоднення осадів на вакуум-фільтрах і фільтр-пресах

Розрахунок барабанних вакуум-фільтрів

Для зневоднення більшості видів осаду стічних вод застосовують вакуум-фільтри безперервної дії. Їх робочий цикл включає: фільтрування, зневоднення (просушування), виведення зневодненого осаду, регенерацію фільтрувальної тканини.

Робоча поверхня вакуум-фільтрів, м^2 , визначається за формулою:

$$F_{\text{в.ф.}} = \frac{W_{\text{ос}} \cdot (100 - P_{\text{ос}}) \cdot 1000}{100 \cdot q \cdot T}, \text{ м}^2 \quad (1.80)$$

де $W_{\text{ос}}$ – кількість осаду, що подається на зневоднення, $\text{м}^3/\text{добу}$;

$P_{\text{ос}}$ – вологість осаду, що подається на зневоднення, %;

q – продуктивність, кг сухої речовини осаду на 1 м^2 поверхні фільтра за / 1 год, приймається за таблицею В.1 (дод. В);

T – час роботи вакуум-фільтрів за добу, приймається 6–24 год.

Продуктивність вакуум фільтрів і вологість кека $P_{\text{к}}$ можна приймати згідно з таблицею В.1 (дод. В).

До установки можна прийняти вакуум-фільтри, наприклад, БОУ 20–2,6 з площею фільтрування $f = 20 \text{ м}^2$, $d = 2,6 \text{ м}$ (табл. В.2, дод. В).

Необхідна кількість фільтрів

$$n_f = \frac{F_f}{f}, \text{ шт.} \quad (1.81)$$

Об'єм зневодненого осаду (кеку) визначається за формулою:

$$W_{\text{к}} = \frac{W_{\text{ос}} \cdot (100 - P_{\text{ущ}})}{100 - P_{\text{к}}}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (1.82)$$

де $W_{\text{ос}}$ – об'єм осаду після ущільнення, $\text{м}^3/\text{добу}$ (при вологості ущільненого осаду $P_{\text{ущ}} = 94\text{--}96\%$).

$P_{\text{к}}$ – вологість кека після вакуум-фільтрів, % (приймається за табл. В.1, дод. В).

Об'єм фільтрату, що відводиться від вакуум-фільтрів:

$$W_{\text{ф}} = W_{\text{ос}} - W_{\text{к}}, \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (1.83)$$

Промивання фільтруючої тканини здійснюється 8–10 %-вим розчином інгібованої соляної кислоти. Об'єм резервуарів для зберігання кислоти визначають виходячи з річної потреби кислоти 20 %-вої концентрації на 1 м^2 поверхні, що фільтрує: 20 л – для вакуум-фільтрів (БСХОУ) і 50 л – для вакуум-фільтрів (БОУ).

Річна потреба у кислоті для вакуум-фільтрів марки БОУ

$$G_H = \frac{50 \cdot n_f \cdot f}{1000}, \text{ м}^3/\text{рік}. \quad (1.84)$$

Вакуум-насоси підбирають з умов витрати повітря у кількості $0,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$ при вакуумі 300–500 мм рт. ст. (вакуум 50–60 %).

Продуктивність вакуум-насосів визначається за формулою:

$$Q_{B.H.} = 0,5 \cdot n_f \cdot f, \text{ м}^3/\text{хв}. \quad (1.85)$$

Повітродувки підбирають по необхідній подачі стислого повітря $0,1 \text{ м}^3/\text{хв}$ на 1 м^2 фільтруючої тканини при тиску 0,05 МПа.

Необхідна продуктивність повітродувок визначається за формулою:

$$Q_{П.} = 0,1 \cdot n_f \cdot f, \text{ м}^3/\text{хв}. \quad (1.86)$$

Якщо на очисних спорудах повітродувна станція, то подача повітря передбачається від неї. В противному випадку підбирається один вакуум-насос на три вакуум-фільтра.

Кількість сухої речовини у суміші осадів після реагентної обробки визначається за формулою:

$$G_f = M_{tot} \cdot K_r, \text{ т/добу}, \quad (1.87)$$

де M_{tot} – кількість суміші за сухою речовиною;

K_r – коефіцієнт, що враховує суху речовину реагентів, визначається за формулою:

$$K_r = 1 + \frac{D_{FeCl_3} + D_{CaO}}{100}, \quad (1.88)$$

де D_{FeCl_3} і D_{CaO} – дози реагентів для суміші сирого осаду первинних відстійників і ущільненого надлишкового активного мулу: $FeCl_3$ і CaO , % від ваги сухої речовини осаду, приймається за таблицею В1 (дод. В).

Необхідна поверхня фільтрації при числі змін (n) і тривалості зміни (m)

$$F_f = 1,2 \cdot \frac{G_f \cdot 1000}{n \cdot m \cdot P_f}, \text{ м}^2, \quad (1.89)$$

де 1,2 – коефіцієнт запасу;

P_f – продуктивність вакуум-фільтрів, кг сухої речовини осаду на 1 м² поверхні фільтра в годину (кг/(м²·год)).

Потрібна кількість хлорного заліза

$$G'_{FeCl_3} = \frac{W_{oc} \cdot (100 - P_{уц})}{100} \cdot \frac{a_{FeCl_3}}{100}, \text{ т/добу}, \quad (1.90)$$

де a_{FeCl_3} – доза FeCl₃ за активною частиною у відсотках від маси сухої речовини (табл. В1, дод. В).

Кількість товарного хлорного заліза

$$G_{FeCl_3} = \frac{100 \cdot G'_{FeCl_3}}{70}, \text{ т/добу}, \quad (1.91)$$

де 70 – концентрація FeCl₃ у товарному продукті, %.

Кількість вапна (за активною частиною)

$$G'_{CaO} = \frac{W_{oc} \cdot (100 - P_{уц})}{100} \cdot \frac{a_{CaO}}{100}, \text{ т/добу}, \quad (1.92)$$

де a_{CaO} – доза CaO за активною частиною у відсотках від маси сухої речовини (табл. В1, дод. В).

Кількість товарного вапна

$$G_{CaO} = \frac{100 \cdot G'_{CaO}}{30}, \text{ т/добу}, \quad (1.93)$$

де 30 – активність товарного вапна, %.

Для складування зневодненого осаду передбачаються відкриті майданчики, розраховані на 3–4-місячне зберігання кека при висоті його шару 1,5–3 м [2].

Площа майданчика для зберігання кека, м²:

$$F_K = \frac{W_K \cdot t_k}{h_k}, \quad (1.94)$$

де t_k – тривалість зберігання кека на відкритому майданчику, м;

h_k – висота шару кека, що дорівнює 1,5–3 м.

Як резерв до корпусу зневоднення осадів на вакуум-фільтрах передбачаються аварійні мулові майданчики на природній основі без дренажу.

Розраховуються аварійні мулові майданчики на 20 % річної кількості осадів [2].

Розрахунок технологічних параметрів осаду, який зневоднюється на фільтр-пресах з використанням флокулянтів

У випадку подачі на стрічкові фільтр-преса осаду вологістю 99,5-98 % доцільно попередньо провести згущення осаду на стрічкових або барабанних згущувачах, чи застосувати комбінацію із фільтр-преса з надбудованим зверху згущувачем. Вологість кека після згущувача зменшується до 94 %. Такий згущувач дозволяє зекономити місце та збільшити продуктивність фільтр-преса.

Перед подачею на згущувач чи стрічковий фільтр-прес осад повинен бути оброблений флокулянтом для поліпшення його водовіддаючих властивостей. В залежності від якості осаду можна застосовувати катіонні флокулянти «Zitag-57», «Zitag-83», «Zitag-95», «Праестол» та ін.

Потрібна кількість фільтр-пресів

$$N = \frac{W_{oc}}{q_f \cdot t_f}, \text{ шт.}, \quad (1.95)$$

де W_{oc} – об'єм осаду, що надходить на фільтр-преси, м³/добу;

q_f – продуктивність фільтр-преса за об'ємом, приймається згідно паспортної характеристики;

t_f – тривалість роботи фільтр-преса за добу, приймають 8, 12, 16, або 20 год.

Об'єм зневодненого осаду (кека) визначається за формулою:

$$W_K = \frac{W_{oc} \cdot (100 - P_1)}{100 - P_2}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (1.96)$$

де P_1 – вологість осаду, який надходить на зневоднення, %;

P_2 – вологість кека після фільтр-пресів, % (приймається за табл. В.1, дод. В).

Кількість фільтрату, що повертається у голову очисних споруд для повторної очистки м³/добу:

$$Q_\phi = W_{oc} - W_K, \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (1.97)$$

Маса твердих частинок, що повертаються з фільтратом на повторну очистку у голову споруд, т/добу:

$$A_{\phi}^C = \frac{Q_{\phi} \cdot C_{\phi}}{10^6}, \quad (1.98)$$

де C_{ϕ} – концентрація завислих речовин у фільтраті, мг/л

Маса розчинених органічних забруднень, що повертаються з фільтратом на повторну очистку у голову споруд, т/добу:

$$A_{\phi}^L = \frac{Q_{\phi} \cdot L_{\phi}}{10^6}, \quad (1.99)$$

де L_{ϕ} – значення БПК_{повн} фільтрату, мг/л.

Фактична концентрація завислих і розчинених органічних речовин у рідині, що надходить на очисні споруди каналізації з урахуванням скиду фільтрату, мг/л:

$$C_{en}^f = C_{en} + \frac{A_{\phi}^C \cdot 10^6}{Q + Q_f}, \quad (1.100)$$

$$L_{en}^f = L_{en} + \frac{A_{\phi}^L \cdot 10^6}{Q + Q_f}, \quad (1.101)$$

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

Q – продуктивність очисних споруд каналізації, м³/добу.

Площа майданчика для зберігання кека, м²:

$$F_k = \frac{W_k \cdot t_k}{h_k}, \quad (1.102)$$

де t_k – тривалість зберігання кеку на відкритому майданчику; орієнтовно можна прийняти 4–5 міс.

h_k – висота шару кеку на майданчику, приймають 1,5–2 м.

Площа аварійних мулових майданчиків, м²:

$$F_i = \frac{W_{oc} \cdot t_{ai} \cdot k_z}{k \cdot h}, \quad (1.103)$$

де t_{ai} – період, протягом якого осад може надходити на аварійні мулові майданчики;

k – коефіцієнт, що враховує кліматичні умови району проєктування.

Площа мулових карт для зневоднення фугату, m^2 :

$$F_f = \frac{365 \cdot Q_\phi \cdot k_z}{k \cdot h_i \cdot k_3}, \quad (1.104)$$

де h_i – питома навантаження на мулові майданчики, приймається залежно від прийнятої конструкції, $m^3/(m^2 \cdot год)$;

k_z – коефіцієнт, що враховує устрій огорожувальних валиків і доріг. Приймається залежно від продуктивності очисних споруд в межах 1,2–1,4 (менше значення для крупних станцій, більше – для станцій невеликої продуктивності).

k_3 – коефіцієнт збільшення питомого навантаження при зневодненні фугата. Приймається 2 для мулових майданчиків на штучній основі з дренажем.

Витрата флокулянту

$$A_f = A_f \cdot d_f, \quad (1.105)$$

d_f – доза катіонного флокулянту (приймається 2–7 кг/т сухої речовини осаду: більша доза при зневодненні активного мулу, менша – сирого осаду).

Приклад розрахунку вузла зневоднення осадів на фільтр-пресах з використанням флокулянтів

Вихідні дані для розрахунку:

– витрата збродженої суміші сирого осаду, активного мулу за об'ємом $W_{oc} = 250 \text{ м}^3/\text{добу}$;

– витрата за сухою речовиною: $A = 10 \text{ т/добу}$;

– вологість усього осаду, що надходить на зневоднення, $P = 96\%$;

– добова витрата стічних вод, що надходять на очистку - $50\,000 \text{ м}^3/\text{добу}$;

– C_{env} – концентрація завислих речовин у стічній воді, що надходить на очистку, $C_{env} = 200 \text{ мг/л}$;

– L_{en} – БПК_{повн} в стічній рідині, що надходить на очистку, $L_{en} = 250 \text{ мг/л}$.

Потрібна кількість фільтр-пресів

$$N = \frac{250}{20 \cdot 12} = 1 \text{ шт.}, \quad (1.95)$$

При витраті суміші осадів, що подаються на зневоднення, $W_{oc} = 250 \text{ м}^3/\text{добу}$ або $10,4 \text{ м}^3/\text{год}$ приймаємо установку одного робочого і одного резервного [2] фільтр-пресів ПЛ 16 зі згущувачем СГ 16 (виробництва «Екотон»), який має продуктивність за сухою речовиною $0,2-0,5 \text{ т/год}$, за об'ємом $15 \text{ м}^3/\text{год}$ (табл. В.4, дод.В).

Визначимо об'єм зневодненого осаду (кека), що утворюється при зневодненні:

$$W_{\kappa} = \frac{250 \cdot (100 - 96)}{(100 - 75)} = 40 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Кількість фільтрату:

$$Q_{\phi} = 250 - 40 = 210 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Маса твердих речовин, що повертаються з фільтратом на повторне очищення у голову споруд при концентрації завислих речовин у фільтраті 450 мг/л :

$$A_{\phi}^C = \frac{210 \cdot 450}{10^6} = 0,1 \text{ т/добу}.$$

Маса органічних забруднень, що повертаються з фільтратом на повторну очистку у голову споруд при значенні БПК фільтрату 550 мг/л :

$$A_{\phi}^L = \frac{210 \cdot 550}{10^6} = 0,12 \text{ т/добу}.$$

Фактична концентрація завислих речовин та значення БПК_{повн} у стічній рідині, що надходить на очисні споруди каналізації з урахуванням скиду фільтрату, мг/л:

$$C_{en}^f = 200 + \frac{0,1 \cdot 10^6}{50\,000 + 210} = 202 \text{ мг/л},$$

$$L_{en}^f = 250 + \frac{0,12 \cdot 10^6}{50\,000 + 210} = 252,4 \text{ мг/л}.$$

Площа майданчика для зберігання кека, м²:

$$F_k = \frac{40 \cdot 120}{2} = 2376 \text{ м}^2.$$

Площа аварійних мулових майданчиків, м²:

$$F_i = \frac{250 \cdot 73 \cdot 1,3}{1,2 \cdot 0,9} = 21968 \text{ м}^2.$$

До будівництва приймаємо 8 карт розміром в плані 35 × 80 м. Майданчики прийняті на природній основі без дренажу.

Приймаємо для суміші активного мулу і сирого осаду дозу катіонного флокулянту Д=4 кг/т сухої речовини.

Добова витрата флокулянту при початковому (вихідному) 100 % вмісті безводного продукту складає:

$$A_{\text{сух}} \times 4 = 10 \times 4 = 40 \text{ кг/добу} = 0,04 \text{ т/добу}.$$

1.6 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 подачею осаду на центрифугу з нього необхідно видалити пісок.

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

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

Продуктивність центрифуг, м³/год визначають за формулою:

$$q_{cf} = (15 - 20) \cdot l_r \cdot d_r, \quad (1.106)$$

де l_r та d_r – відповідно довжина та діаметр ротора центрифуги, м; при $l_r/d_r = 2,5-4$ можливе застосування флокулянтів.

Продуктивність центрифуги знаходиться тільки при застосуванні вітчизняних центрифуг; для закордонних центрифуг продуктивність приймається за паспортними даними.

Ефективність затримання сухої речовини й вологість кека приймають за таблицею Г.1 (дод. Г).

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

Число центрифуг, шт.

$$N_{cf} = \frac{Q_{cf}}{q_{cf} \cdot t_{cf}}, \quad (1.107)$$

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

$$Q_{cf} = \frac{10^4 \cdot A_a}{E_{cf} \cdot (100 - P_a)}, \quad (1.108)$$

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, приймається 8, 16, 20 годин.

Об'єм кека, м³/добу:

$$W_k = \frac{A_{cf} \cdot E_{cf}}{\gamma_k \cdot (100 - P_k)}, \quad (1.109)$$

де P_k – вологість кека. Приймається 70–75 % для сирого осаду і 83–88 % для надлишкового активного мула при зневодненні з флокулянтами.

γ_k – щільність кека, приймається 1 т/м³.

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

Кількість фугату, м³/добу:

$$Q_f = Q_{cf} - W_k, \quad (1.110)$$

Суха речовина фугату, м³/добу:

$$A_f = A_{cf} - \frac{A_{cf} \cdot E_{cf}}{100}, \quad (1.111)$$

Забруднення стічної рідини, що надходить на очисні споруди каналізації при скиді фугату у голову споруд, мг/л:

$$C_{en}^f = C_{en} + \frac{A_f \cdot 10^6}{Q + Q_f}, \quad (1.112)$$

$$L_{en}^f = L_{en} + \frac{A_f \cdot 10^6}{Q + Q_f}, \quad (1.113)$$

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

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

Q – продуктивність очисних споруд каналізації, м³/добу.

Площа майданчика для зберігання кека, м²:

$$F_k = \frac{W_k \cdot t_k}{h_k}, \quad (1.114)$$

де t_k – тривалість зберігання кека на відкритому майданчику; орієнтовно можна прийняти 4–5 міс при висоті шару осаду 1,5–2 м.

h_k – висота шару кека, орієнтовно можна прийняти 1,5–2 м.

Площа аварійних мулових майданчиків, м²:

$$F_i = \frac{Q_{cf} \cdot t_{ai} \cdot k_z}{k \cdot h}, \quad (1.115)$$

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

k – кліматичний коефіцієнт.

Площа мулових карт для зневоднення фугату, м²:

$$F_f = \frac{365 \cdot Q_f \cdot k_z}{k \cdot h_i \cdot k_3}, \quad (1.116)$$

де h_i – питоме навантаження, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$;

k_z – коефіцієнт, що враховує устрій огорожувальних валиків і доріг. Приймається залежно від продуктивності очисних споруд в межах 1,2–1,4 (менше значення для крупних станцій, більше – для станцій невеликої продуктивності).

k_3 – коефіцієнт збільшення питомого навантаження при зневодненні фугата. Приймається 2 для мулових майданчиків на штучній основі з дренажем.

Витрата флокулянту

$$A_f = A_{cf} \cdot d_f, \quad (1.117)$$

d_f – доза катіонного флокулянту (приймається 2–7 кг/т сухої речовини осаду: більша доза при зневодненні активного мулу, менша – сирого осаду).

До установки можуть бути прийняті такі типи центрифуг (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 – Типи центрифуг

Центрифуга	Продуктивність (при 20-годинній роботі 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)

Тривалість роботи цеху приймається 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.

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

– 1 резервний фільтр-прес при кількості робочих 3 і менше; 2 резервних фільтр-преси при 4 і більше робочих агрегатах;

– 1 резервну центрифугу при кількості робочих агрегатів 2 або 1; 2 резервних центрифуги при 3 і більше робочих агрегатах.

Приклад розрахунку вузла зневоднення осадів на центрифугах з використанням флокулянтів

Вихідні дані для розрахунку:

1. Кількість осаду, що подається на обробку – 2 922 м³/добу.
2. Час роботи цеху протягом доби – 20 год.
3. Вологість вихідного осаду дорівнює $W_{oc} = 97\%$.

Розв'язання

При кількості осаду 2 922 м³/добу до установки можуть бути прийняті центрифуги: ОГШ-631У-02 – 8 робочих і 2 резервні або ОГШ-45/601 Л-01 – 5 робочих і 2 резервні, або комбінації центрифуг з різною продуктивністю.

Приймаємо для розрахунку варіант, що передбачає установку комбінації центрифуг:

- ОГШ-631У-02 – 1 робоча і 1 резервна;
- ОГШ-459У-02 – 1 робоча і 1 резервна;
- ОГШ-45/601 Л-01 – 4 робочих і 2 резервні.

Таким чином, розрахункова кількість осаду, м³/добу, що зневоднюється на центрифугах становитиме:

$$Q_{cf} = 1 \cdot 400 + 1 \cdot 240 + 4 \cdot 600 = 3040 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Кількість сухої речовини осаду, т/добу визначаємо за формулою:

$$A_{cf.} = \frac{Q_{cf} \cdot (100 - P_{oc}) \cdot \gamma}{100} \quad (1.118)$$

$$A_{cf.} = \frac{3040 \cdot (100 - 97) \cdot 1}{100} = 91,2 \text{ т/добу}.$$

Об'єм кека, м³/добу:

$$W_k = \frac{91,2 \cdot 35}{1 \cdot (100 - 80)} = 159,6 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Кількість фугату, м³/добу:

$$Q_f = 3040 - 159,6 = 2880,4 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Суха речовина фугату, м³/добу:

$$A_f = 91,2 - \frac{91,2 \cdot 35}{100} = 59,28 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Доза флокулянта визначається у лабораторних умовах дослідним шляхом і прямо залежить від питомого опору осаду. Приймаємо дозу флокулянта 5 кг на 1 т сухої речовини осаду. Тоді необхідна кількість флокулянта становитиме:

$$Q_{\text{фл}}^{\text{доб}} = D_{\text{фл}} \cdot Q_{\text{сух.р}} = 5 \cdot 91,2 = 456 \text{ кг/добу}.$$

При роботі цеху $t = 20$ год витрата флокулянта:

$$Q_{\text{фл}}^{\text{год}} = Q_{\text{фл}}^{\text{доб}} / 20 = 456 / 20 = 22,8 \text{ кг/год}.$$

Потреба флокулянта за рік:

$$Q_{\text{фл}} = Q_{\text{фл}}^{\text{год}} \cdot 365 = 22,8 \cdot 365 = 8322 \text{ кг/рік} = 8,322 \text{ т/рік}.$$

Питання для самоперевірки

1. Які осади направляються на механічне зневоднення?
2. Назвіть апарати механічного зневоднення осадів стічних вод.
3. На який об'єм осаду проєктують резервні мулові майданчики?
4. Які хімічні реагенти застосовують для кондиціонування осадів перед подачею на механічне зневоднення?
6. Які операції включає робочий цикл вакуум-фільтрів?
7. Мета розрахунку вакуум-фільтра.
8. Вологість зневодненого осаду міських стічних вод після вакуум-фільтрів.
9. Вологість зневодненого осаду міських стічних вод після фільтр-пресів.
10. Мета розрахунку фільтр-пресів.
11. Вологість кека після центрифуг.

1.7 Підсушування осадів на мулових майданчиках

Розрахунок мулових майданчиків

При проєктуванні механічного зневоднення осаду необхідно передбачати аварійні мулові майданчики на 20 % від річної кількості осаду [2].

Мулові майданчики зі штучною асфальтобетонною основою з дренажем

Корисна площа мулових майданчиків, м²:

$$S' = \frac{\Omega \cdot 365}{K \cdot k}, \text{ м}^2 \quad (1.119)$$

де Ω – об'єм осаду, що подається на мулові майданчики, м³/добу;

K – навантаження, тобто кількість осаду, м³, який припадає на 1 м² майданчиків за рік, м³/м² (табл. И.1, дод. И);

k – кліматичний коефіцієнт 1,0 для середньої смуги;

0,2 – коефіцієнт [2], що враховує призначення майданчиків у разі аварії.

Дійсна площа мулових майданчиків (із запасом на розподільчі валики й дороги):

$$S = (1,2 \div 1,4) \cdot S', \text{ м}^2. \quad (1.120)$$

Висота шару наморожування, м:

$$h_n = \frac{\Omega \cdot 0,2 \cdot t \cdot k_1}{S' \cdot k_2}, \text{ м}, \quad (1.121)$$

де t – період намерзання [2];

k_2 – коефіцієнт, що враховує частину площі під зимове намерзання, $k_2 = 0,8$;

k_1 – коефіцієнт, що враховує зменшення об'єму внаслідок зимової фільтрації та випаровування, $k_1 = 0,75$.

Кількість підсушеного осаду вологістю 80 %, що підлягає вивантаженню з мулових майданчиків за рік:

$$Q_s = \frac{\Omega \cdot 0,2 \cdot 365 \cdot (100 - P_1)}{100 - P_2}, \quad (1.122)$$

де P_1 – вологість осаду, що вивантажується на мулові майданчики, 97,5 %;

P_2 – вологість підсушеного осаду 80 %.

Кількість карт:

$$n = \frac{S}{B \cdot l}, \quad (1.123)$$

де B – ширина однієї карти, м;

L – довжина однієї карти, м.

1.8 Сушка осадів. Розрахунок сушарок

Термічна сушка осадів проводиться на сушильних установках, що складаються з сушильного апарату (сушарки) та допоміжного обладнання, до якого відносяться топки, підігрівачі теплообмінники, живильники, циклони, скрубери, дутьові пристрої, а також транспортери та бункери.

Параметри сушки осадів у барабанних сушарках:

- напруженість барабана за вологою – 60 кг/(м³·год);
- вологість осаду, що надходить, % (78–80 %);
- вологість осаду після сушки, % (20–25 %);
- температура димових газів на вході в сушарку – 800 °С;
- температура димових газів на виході із сушарки – 250 °С.

Приклад розрахунку барабанних сушарок

Підібрати барабанну сушарку для сушки механічно зневодненого осаду у кількості $G_{en} = 16,15$ т/добу = 672,9 кг/год з вологістю $P_k = 78$ %. Вологість осаду на виході з сушарки $P_{ex} = 25$ %. Температура сушильного агента (димових газів) на вході в сушарку $T_1 = 800$ °С. Температура осаду, на виході з сушарки $T_2 = 250$ °С. Температура осаду, що надходить на сушку $T_{en} = 20$ °С, температура осаду після сушильного барабану $T_{ex} = 70$ °С. Теплоємність осаду $C_t = 3,98$ кДж/(кг·К). Напруженість барабану за вологою $A_v = 60$ кг/(м³·год).

Розв'язання

1 Кількість випаровуваної вологи в процесі сушки:

$$G_w = G_{en} \frac{P_k - P_{ex}}{100 - P_{ex}}, \quad (1.124)$$

$$G_w = 672,9 \frac{78 - 25}{100 - 25} = 475,5 \text{ кг/год.}$$

2 Кількість осаду, що вивантажується із сушарки:

$$G_{ex} = 0,85 \cdot (G_{en} - G_w), \quad (1.125)$$

$$G_{ex} = 0,85 \cdot (672,9 - 475,5) = 167,8 \text{ кг/год,}$$

де 0,85 – коефіцієнт, що враховує винос сухого осаду з газами, що відводяться з сушарки.

3 Витрата тепла на випаровування вологи:

$$\Theta_w = (2490 + 1,97 \cdot T_2 - T_{en}) \cdot G_{en} / 3600, \quad (1.126)$$

де 2490 – теплота пароутворення, кДж/кг;

1,97 – теплоємність водяного пара, кДж/(кг · К).

$$\Theta_w = (2490 + 1,97 \cdot 250 - 20) \cdot 475,5 / 3600 = 0,4 \cdot 10^3 \text{ кВт}$$

4 Витрата тепла на нагрівання осаду:

$$\Theta_{mud} = G_{ex} \cdot C_t (T_{ex} - T_{en}) / 3600 \quad (1.127)$$

$$\Theta_{mud} = 167,8 \cdot 3,98(70 - 20) / 3600 = 9,3 \text{ кВт}$$

де C_t – теплоємність осаду, кДж/(кг·К), приймається $C_t = 3,98$ кДж/(кг·К).

5 Втрати тепла у навколишнє середовище:

$$\Theta_{am} = 0,1 \cdot \theta_w = 0,1 \cdot 0,4 \cdot 10^3 = 40 \text{ кВт,}$$

де 0,1 – коефіцієнт втрати тепла у навколишнє середовище.

6 Загальна витрата тепла на сушку:

$$\Theta_{\Sigma} = \Theta_w + \Theta_{mud} + \Theta_{am} \quad (1.128)$$

$$\Theta_{\Sigma} = 0,4 \cdot 10^3 + 9,3 + 40 = 449 \text{ кВт.}$$

7 Витрата палива на сушку:

$$q_{нал} = \frac{\Theta_{\Sigma} \cdot 3600}{\Theta_n^p \cdot \eta} \quad (1.129)$$

де Θ_n^p – нижча теплотворна здатність палива, кДж/м³, приймається

$$\Theta_n^p = 34270 \text{ кДж/м}^3;$$

η – ККД топки, приймається $\eta = 0,8-0,85$.

$$q_{нал} = \frac{449 \cdot 3600}{34270 \cdot 0,82} = 57,5 \text{ м}^3/\text{ГОД.}$$

8 Необхідний об'єм сушильного барабана:

$$W = \frac{1,2 \cdot G_w}{A_v}, \quad (1.130)$$

де 1,2 – коефіцієнт, що враховує заповнення барабана сушарки.

$$W = \frac{1,2 \cdot 475,5}{60} = 9,5 \text{ м}^3.$$

За таблицею К.1 (дод. К) приймається до встановлення одна робоча барабанна сушарка діаметром 1,6 м, довжиною 8 м з об'ємом сушильного барабана 16 м³.

Типовий об'єм сушильного барабана:

$$W_m = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \quad (1.132)$$

$$W_m = \frac{\pi \cdot 1,6^2}{4} \cdot 8 = 16 \text{ м}^3.$$

9 Питома витрата тепла на випаровування вологи:

$$q_w = \frac{\Theta_{\Sigma} \cdot 3600}{G_w} \quad (1.133)$$

$$q_w = \frac{449,3 \cdot 3600}{475,5} = 3402 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{кг вип. вологи}$$

10. Розрахунок майданчиків з твердим покриттям для зберігання і складання висушеного осаду аналогічний розрахунку майданчиків для зберігання механічно зневодненого осаду.

Сушарки із зустрічними струменями

Рекомендуються наступні параметри роботи установки із зустрічними струменями:

- вологість осаду, з урахуванням додавання висушеного осаду: до сушки – 60– 65 %; після сушіння – 30–35 %;
- температура газів на вході до сушильної камери – 700– 800;

- температура на виході із циклонів – 120–130;
- винесення твердої речовини з сепаратора з газами, що відходять – 15 %;
- напруга об'єму за випаровуваною вологою, кг³/год, – 700–1000.

Порівняно з барабанными сушарками застосування сушарок із зустрічними струменями дозволяє скоротити капітальні витрати у 3–4 рази, а експлуатаційні – у середньому на 15 %. Серійні установки з сушарками СВС 3,5/5,0 рекомендується застосовувати для станцій продуктивністю не більше 200 тис.м³/добу.

Приклад розрахунку сушарки із зустрічними струменями

Визначити кількість сушарок із зустрічними струменями для сушки механічно зневодненого на вакуум-фільтрах осаду в кількості $G_{en} = 16,15$ т/добу = 672,9 кг/год з вологістю $P_k = 78$ %. Вологість надходження осаду з урахуванням додавання висушеного осаду $P_{en} = 60$ %. Вологість осаду на виході із сушарки $P_{ex} = 30$ %. Температура сушильного агента (димових газів) на вході в сушарку $T_{g,en} = 800$ °С, на виході із сушарки $T_{g,ex} = 120$ °С. Температура осаду, що надходить на сушку $T_{en} = 20$ °С, після сушки $T_{ex} = 75$ °С.

Розв'язання

1. Кількість випаровуваної води в процесі сушки за (1.124):

$$G_w = 672,9 \frac{78 - 30}{100 - 30} = 461,4 \text{ кг/год}$$

2. Кількість осаду, що вивантажується із сушарки за (1.125):

$$G_{ex} = 0,85 \cdot (672,9 - 461,4) = 179,8 \text{ кг/год}$$

3. Витрата тепла на випаровування води за (1.126):

$$\Theta_w = (2490 + 1,97 \cdot 120 - 20) \cdot 461,4 / 3600 = 374 \text{ кВт}$$

4. Витрата тепла на нагрівання осаду за (1.127):

$$\Theta_{mud} = 179,8 \cdot 3,98(75 - 20) / 3600 = 10,9 \text{ кВт}$$

5. Втрати тепла у навколишнє середовище:

$$\Theta_{am} = 0,1 \cdot \Theta_w = 0,1 \cdot 374 = 37,4 \text{ кВт}$$

де 0,1 – коефіцієнт втрати тепла у навколишнє середовище.

6. Загальна витрата тепла на сушку за (1.128):

$$\Theta_{\Sigma} = 374 + 10,9 + 37,4 = 422,3 \text{ кВт.}$$

7. Кількість сушильних установок:

$$n = \frac{G_w}{G'_h}, \text{ кг/год} \quad (1.134)$$

де G'_h – продуктивність сушарки за випаровування вологою, кг/год,
 $G'_h = 3500$ кг/год.

$$n = \frac{461,4}{3500} = 0,13 \text{ кг/год.}$$

Приймаємо до установки одну сушарку СВС 3,5/5,0.

8. Кількість сухого осаду (ретири):

$$G_p = \frac{G_{en}(P_k - P_{en})}{P_{en} - P_{ex}} \quad (1.135)$$

$$G_p = \frac{672,9 \cdot (78 - 60)}{60 - 30} = 403,7 \text{ кг/год.}$$

9. Питома витрата тепла на випаровування вологи за (1.133):

$$q_w = \frac{422,3 \cdot 3600}{461,4} = 3295 \text{ кВт /кг вип. вологи}$$

Питання для самоперевірки

1. Назвіть методи знезараження та знешкодження осадів стічних вод.
2. Яка вологість висушеного осаду після термічної сушки?
3. Конструкція та принцип роботи барабанних сушарок.
4. Мета розрахунку сушарок.

2 РЕКОМЕНДАЦІ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

2.1 Структура й оформлення курсової роботи

Метою виконання курсової роботи (далі – КР) є вивчення методів обробки осадів, що утворюються в процесі очищення стічних вод, вивчення конструктивних особливостей споруд та методик визначення основних розрахункових параметрів технологічних схем.

Курсова робота складається із розрахунково-пояснювальної записки і графічної частини.

Розрахунково-пояснювальна записка включає теоретичну і розрахункову частини. Завданням для виконання теоретичної частини є розкриття теоретичного питання за завданням викладача (див. розділ 2.2).

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

Основні завдання при виконанні КР:

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

Графічна частина курсової роботи виконується за завданням викладача.

Структура КР повинна бути такою:

- *титульний аркуш* – виконують за відповідною формою (дод. Д);
- *зміст*.

До змісту належать:

- вступ;
- послідовно перераховані найменування всіх розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів;
- список літературних джерел;
- додатки (за необхідності).
- *елементи основної частини КР*

Склад, зміст і обсяг розділів основної частини КР 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, у список включають перелік використаної нормативної документації (ГОСТ, ДБН, ДСТУ, ТУ та ін.);

– *додатки.* В 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 КР. Кожен додаток починають з нової сторінки.

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

– КР виконують на аркушах формату А4 без рамки з полями: верхнє і нижнє – 20, лівє – не менше 25, правє – не менше 10 мм;

– текст КР оформлюють шрифтом 14 пт, (Times New Roman Arial, GOST type A, B) з полуторним міжрядковим інтервалом. Абзаци в тексті відступають від тексту на 1–1,27 см;

– заголовки структурних елементів і розділів КР пишуть прописними (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 номеру розділу і порядкового номеру формули у цьому розділі, відокремлених точкою. Номер формули вказується на рівні формули у круглих скобках по правому краю.

2.2 Завдання до виконання курсової роботи

Теоретична частина

1. На яких спорудах станції очищення стічних вод утворюються осади? Склад і властивостей осадів. форми зв'язку води з частинками твердої фази та їх вплив на обробку осадів.
2. Переваги та недоліки відцентрового згущування осадів у порівнянні з гравітаційним і флотаційним ущільненням
3. Які споруди застосовують для зброджування органічного осаду? Фази й продукти зброджування осадів при анаеробній обробці.
4. Стабілізація осадів стічних вод та активного мулу в анаеробних умовах. Конструкції споруд.
5. Стабілізація осадів стічних вод та активного мулу в аеробних умовах. Конструкції споруд.
6. Анаеробно-аеробна стабілізація осадів. Переваги технології
7. Використання флокулянтів для кондиціонування осадів.
8. 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 при центрифугуванні?
12. Споруди для зневоднення осаду стічних вод у природних і штучних умовах. Порівняльні переваги та недоліки.
13. Які переваги фільтр-пресів у порівнянні з вакуум-фільтрами або з декантерами?
14. Знезараження рідких осадів нагріванням. Камери дегельмінтизації зневоднених осадів.
15. Компостування осадів. Конструкції та технологічні параметри установок для компостування осадів.
16. Переваги низькотемпературної двоступеневої сушки осадів.

17. Спалювання осадів стічних вод

18. Перспективи використання біогазу, що утворюється при обробці осадів стічних вод.

19. Утилізація осадів стічних вод.

Розрахунково-графічна частина

Для розрахунку споруд з обробки осадів можуть бути прийняті такі схеми (схеми обробки осадів та вихідні дані за варіантами наведено у таблиці Е.1, дод. Е):

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.

Графічна частина

У графічній частині має бути представлено два креслення:

1. Технологічна схема обробки осадів, що утворюються в процесі очистки стічних вод (аркуш формату А2 – А4). На схемі потрібно зазначити всі параметри, які були визначені під час виконання розрахункової частини (витрати осадів, вологість, концентрації, кількість споруд, зольність тощо). Приклад креслення технологічної схеми обробки осадів наведено у додатку Ж. Оформлення графічного матеріалу має відповідати вимогам (товщина ліній, позначення трубопроводів, умовні позначення, експлікація споруд).

2. Креслення споруди для обробки осадів (план та розріз) або принципова схема механічного зневоднення (аркуш формату А1).

Приклад оформлення графічної частини наведено у додатку Ж.

СПИСОК 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. Туровский И. С. Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание / И. С. Туровский. – М. : Дели принт, 2008. – 376 с.
4. Природоохоронні технології : в 3 ч. : навч. посіб. / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, І. І. Безвозюк, Р. В. Петрук, П. М. Турчик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – Частина 3. Методи переробки осадів стічних вод. – 324 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 в 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 з вторинних відстійників з концентрацією 4,5–6,5 г/л	98	97,3	10-12	9–11	Не більше 0,1
Активний мул з 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 0,2

Таблиця А.2 – Основні параметри вертикальних первинних відстійників

Діаметр, м		Висота, м		Розрах. глибина проточної частини, м	Площа, m^2			Об'єм, m^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

Таблиця А.4 – Основні розміри та розрахункові об'єми двохярусних відстійників із збірною залізобетону

Номер типового проекту	Діаметр, м (L)	Висота, м		Об'єм, м ³	
		загальна	конічної частини	двох жолобів	мулової камери
902-2-204	9,0	8,5	2,5	42,6	258
902-2-203	12,0	8,2	3,4	100,3	300
902-2-203	12,0	9,4	3,4	100,3	435

ДОДАТОК Б

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

Діаметр, м	Корисний об'єм одного резервуара, W_{mi} 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 – Продуктивність вакуум-фільтрів і фільтр-пресів

Характеристика оброблюваного осаду	Доза хімічних реагентів за активною частиною від маси сухої речовини	Продуктивність, кг сухої речовини осаду на 1 м ² поверхні фільтра за 1 год		Вологість кеку, %	
		вакуум-фільтрів	фільтр-пресів	при вакуум-фільтруванні	при фільтр-пресуванні
Зброджений осад первинних відстійників	FeCl ₃ 3–4 CaO 8–10	25–35	12-17	75–77	60-65
Зброджена в мезофільних умовах суміш осаду первинних відстійників і активного мулу, аеробно стабілізований активний мул	FeCl ₃ 4–6	20–25	10–16	78–80	62–68
Зброджена в термофільних умовах суміш осаду первинних відстійників і активного мулу	CaO 10–15	17–22	7–13	78–80	62–70
Сирий осад первинних відстійників	FeCl ₃ 2–3,5 CaO 6–9	30–40	12–16	72–75	55–60
Суміш сирого осаду первинних відстійників і ущільненого активного мулу	FeCl ₃ 3–5 CaO 9–12	20–30	5–12	75–80	62–75
Ущільнений активний мул станцій аерації населених пунктів	FeCl ₃ 6–9 CaO 12–25	8–12	2–7	85–87	80–83

Таблиця В.2 – Технічна характеристика барабанних вакуум-фільтрів

Показники	Марка вакуум-фільтра			
	БОУ-5-1,75	БОУ-10-2,6 (БсхОУ-10-2,6)	БОУ-20-2,6	БОУ-40-3,4 (БсхОУ-40-3,4)
Площа поверхні фільтрування, м ²	5	10	20	40
Діаметр барабана, мм	1 762	2 612 (2 600)	2 612	3 000 (3 400)
Частота обертання барабана, об/хв	0,13–2	0,13–2 (0,13–1,5)	0,13-2	0,436–1,178 (0,1–1,45)
Потужність електродвигуна приводу барабана, кВт	1,1	2,2 (1,7)	3	3,4–4,1 (8)
Габаритні розміри, мм	2 680 × 2 410 × × 2 650	3 420 × 3 320 × × 3 415 (3 165 × 4 100 × × 3 052)	4 750 × 3 230 × × 3 830	6 660 × 4 300 × × 3 640 (6 300 × 5 115 × × 3 725)

Таблиця В.3 – Технічні характеристики стрічкових фільтр-пресів ЛМН

Тип	ЛМН 2	ЛМН 10	ЛМН 15	ЛМН 20
Поверхня фільтрування, м ²	2	10	15	20
Робочий тиск, МПа	0,01–0,02	0,01–0,02	0,01–0,02	0,01–0,02
Встановлена потужність, кВт	1,74	3,0	7,5	11,7
Габаритні розміри:				
– довжина, мм	2 900	5 900	5 650	6 500
– ширина, мм	1 900	2 945	3 150	4 400
– висота, мм	1 100	2 265	3 310	3 360

Таблиця В.4– Технічні данні стрічкових фільтр-пресів і сітчастих згущувачів стрічкового типу (виробництва «Екотон»)

Тип устаткування	Продуктивність		Габарити, мм			Витрата технічної води, м ³ /год	Маса, кг	Потужність, кВт
	за сухою речовиною, Q _{сух} , т/год	за вихідним осадом м ³ /год	довжина	ширина	висота			
ПЛ 8	0,1–0,15	2,5–5	3 100	1 550	2 150	8	2 500	1,1
ПЛ 12	0,15–0,25	5–8	4 050	2 135	1 940	10	5 300	2,2
ПЛ 16	0,2–0,5	8–15	4 050	2 430	1 940	12	5 500	2,2
ПЛ 20	0,6–0,8	15–25	4 050	2 830	1 940	15	6 000	2,2
ПЛ 25	0,7–0,9	25–40	4 050	3 448	1 940	20	7 000	3
ПЛ 16 зі згущувачем СГ 16	0,5–0,7	15–30	4 050	2 470	3 400	18	6 600	3,7
ПЛ 25 зі згущувачем СГ 25	0,9–1,2	25–50	4 050	3 495	3 400	25	8 700	5

ДОДАТОК Г

Таблиця Г.1 – Ефективність затримання сухої речовини й вологість кека при механічному зневодненні 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 при зольності, %:		
28–35	10–15	75–85
38–42	15–25	70–85
44–47	25–35	60–75

Таблиця Г.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 Д

Зразок оформлення титульного аркуша курсової роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Кафедра водопостачання, водовідведення та очищення вод

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни

«ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ОСАДІВ»

здобувача освіти ____ курсу,
групи _____
спеціальності _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник доц. Айрапетян Т. С.

Національна шкала _____
Кількість балів: ____ Оцінка: ____ ECTS _____

Харків – 202__ року

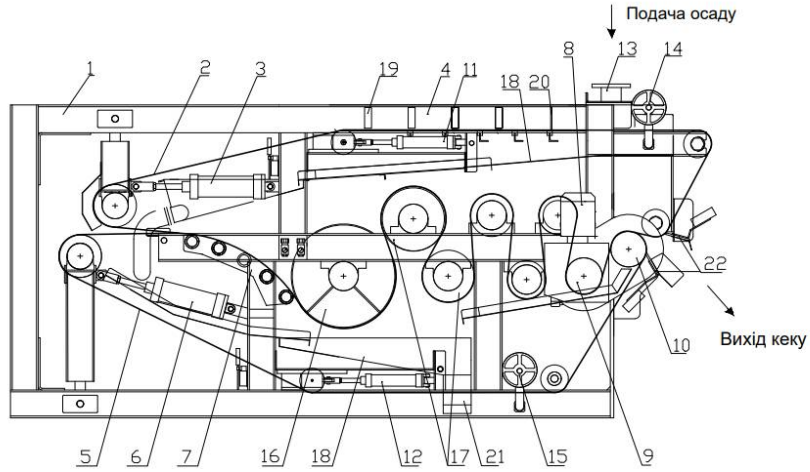
ДОДАТОК Е

Таблиця Е.1 – Вихідні дані для виконання курсової роботи

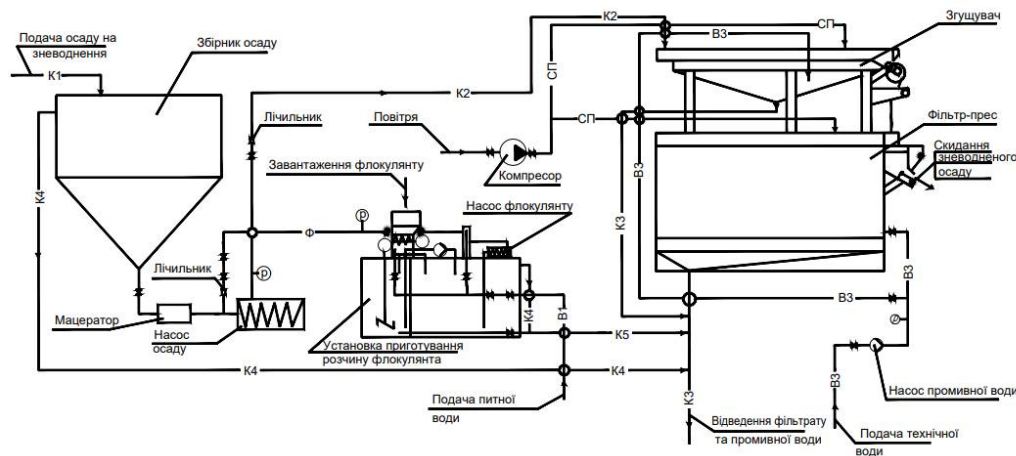
Параметр	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Питання з теоретичної частини	3	10	11	13	14	15	17	18	19	6
Витрата побутових стічних вод, тис. м ³ /добу	50	55	57	60	62	65	67	70	75	77
Норма водовідведення, л/добу на 1 мешк.	280	285	290	295	300	260	265	270	275	280
Витрата стічних вод від промислового підприємства, 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 пісколовок	аеро-вана	гориз.	гориз.	аеро-вана	гориз.	гориз	аеро-вана	гориз	гориз.	аеро-вана
Ефект освітлення (затримання завислих речовин) у первинних відстійниках, %	45	50	55	45	50	55	45	50	55	45
Зниження БПК _{повн} стічних вод при первинному відстоюванні, %	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
Винос 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 цеха 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

ДОДАТОК Ж

Схема стрічкового фільтр-пресу



Принципова схема



Експлікація

№ п/п	Назва	Кількість шт	Примітки
1	Каркас.	1	
2	Верхня сітова стрічка.	1	
3	Пневмоциліндр натягу верхньої стрічки.	1	
4	Пристрій змішування та розпушування осаду.	1	
5	Зона гравітаційного зневоднення осаду.	1	
6	Пневмоциліндр керування верхньою стрічкою.	1	
7	Піддони відведення фільтрату.	1	
8	Гегулююча перетинка.	1	
9	Електропривід (мотор-редуктор).	1	
10	Приймальна камера подачі осаду.	1	
11	Пристрій промивки верхньої стрічки.	1	
12	Ножі для зняття осаду.	1	
13	Валець, що ведуть.	1	
14	Валець ведучий.	1	
15	Пристрій промивки нижньої стрічки.	1	
16	Відведення фільтрату та промивної води.	1	
17	Інші віджимні вальці.	1	
18	Пневмоциліндр керування нижньою стрічкою.	1	
19	Валець віджимний перфорований.	1	
20	Зона попереднього віджиму.	1	
21	Пневмоциліндр натягу нижньої стрічки.	1	
22	Нижня сітова стрічка.	1	

Технічні дані

Тип обладнання	Продуктивність		Габарити, мм			Витрати технічної води, м ³ /год	Маса, кг	Потужність, кВт
	за сухою речовиною, т/год	м ³ /год	Довжина	Ширина	Висота			
ПЛ - 12	0,15-0,25	5 - 8	4050	2135	1940	10	5300	2,2

Умовні позначення трубопроводів:

K1- подача осаду;	B1- питна вода;
K2- суміш осаду та розчину флокулянту;	B3- технічна вода;
K3- відведення фільтрату та промивної води;	СП- стисле повітря;
K4- аварійний перелив;	Ф- розчин флокулянту.
K5- опорожнення;	

Рисунок Ж.1 – Приклад виконання графічної частини

ДОДАТОК И

Таблиця И.1 – Навантаження осаду на мулові майданчики, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \times \text{рік})$

Характеристика осаду	Мулові майданчики					
	На природній основі	На природній основі з дренажем	На штучній асфальтобетонній основі з дренажем	Каскадні з відстоюванням і поверхневим відводом мулової води, на природній основі	Майданчики-ущільнювачі	Майданчики з горизонтальним та вертикальним дренажем
Суміш осадів з первинних відстійників і активного мулу, яка зброджена в мезофільних умовах	1,2	1,5	2,0	1,5	1,5	2,5–3,5
Те ж саме, в термофільних умовах	0,8	1,0	1,5	1,0	1,0	2,0–2,5
Зброджений осад із первинних відстійників і осад із двоярусних відстійників	2,0	2,3	2,5	2,0	2,3	3,0
Аеробно стабілізована суміш активного мулу й осаду з первинних відстійників або стабілізований активний мул	1,2	1,5	2,0	1,5	1,5	2,2–2,5

ДОДАТОК К

Таблиця К.1– Технічні характеристики барабанних сушарок

Діаметр барабана, м	Довжина барабана, м	Об'єм сушильного барабана, м ³	Швидкість Обертання барабана, об/хв	Потужність електро-двигуна, кВт	Загальна вага барабана, т
1,6	8,0	16,0	1,6–3,15	7–10	16,18
	10,0	21,1	3,15–6,3	14–20	17,67
	12,0	24,1			19,03
2,0	8,0	25,1	1,6–3,15	10–20	23,46
	10,0	31,4	3,15–6,3	25–28	26,30
	12,0	37,7		28–24	28,73
2,2	10,0	38,0			31,53
	12,0	45,6	1,6–3,15	14–20	33,92
	14,0	53,2	3,15–6,3	28–40	38,03
	16,0	60,8			40,41
2,5	12,0	58,9	2–6		75,52
	14,0	68,7		24–75	80,43
	18,0	80,4			91,25
	20,0	98,1			96,41
2,8	14,0	84,1	2–6		102,51
	16,0	96,2		24–75	91,28
	20,0	120,2		32–100	116,82
	22,0	132,2			131,07
3,0	18,0	127,2	2–6	4–125	138,14
	20,0	141,3		32–100	145,40
3,5	18,0	172,8	2–6	66–200	188,91
	22,0	211,2			188,91
	27,0	259,2			230,20

Електронне виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до проведення практичних занять, самостійного вивчення та
виконання курсової роботи
з навчальної дисципліни

«ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ОСАДІВ»

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання
зі спеціальності*

*192 – Будівництво та цивільна інженерія
освітня програма «Водопостачання та водовідведення»)*

Укладач **АЙРАПЕТЯН** Тамара Степанівна

Відповідальний за випуск *С. М. Епоян*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2022, поз. 470М

Підп. до друку 15.12.2022. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 4,24

Видавець і виготовлювач:

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

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.