

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Дніпровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра Гідравліка та водопостачання

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
на здобуття кваліфікаційного ступеня «магістр»

Галузь знань 19 Архітектура та будівництво  
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія  
Спеціалізація Водопостачання та водовідведення  
Тема Дослідження роботи відстійника

Керівник магістерської роботи  
Студент

проф. Біляєв М.М.  
Скогорев Вячеслав Олексійович

Дніпро  
2020 р.

## Зміст

### АНОТАЦІЯ

Розділ 1 Відстоювання

Розділ 2 Продуктивність відстійників

2.1. Розрахунок площі осідання відстійника

Розділ 3 Типи відстійника

3.1 Горизонтальний відстійник

3.2 Радіальні відстійники

3.3 Вертикальні відстійники

РОЗДІЛ 4 Механічне очищення малих витрат стічних вод

4.1. Септик-тенк як споруда для відстоювання стічних вод

4.2. Двоярусні відстійники як споруди

для відстоювання стічних вод

4.3. Конструкції відстійників для малих витрат стічних вод

4.4 Тонкошарові відстійники

Розділ 5 Модель осадження часток домішки у відстійнику

Висновки

## АНОТАЦІЯ

**Актуальність теми.** Відстійники різних типів є одним з головних елементів у системі відчищення стічних вод. Тому розрахунок відстійників в системі очистки води є важливою задачею. Аналіз літературних джерел по проблемі розрахунку відстійників свідчить про те що в даний час активно розвиваються інженерні методи, які спрямовані на отримання розрахункових залежностей зручних для практичного використання. О важливості розрахунку відстійників свідочує той факт, що в Україні протягом трьох місяців з 2006 року було захищено дві кандидатські дисертації в цьому напрямку.

При розрахунку відстійників вирішуються ряд задач. Однією з важливих задач є визначення швидкості осадження часток домішок в воді, що рухається в відстійниках.

**Метою** цієї магістерської роботи з'явилася розробка регресійної моделі розрахунку швидкості осадження домішок у відстійниках, що дозволяє врахувати діаметр домішки на процес осадження.

**Наукова новизна** даної роботи полягає в створенні ефективної математичної моделі розрахунку швидкості осадження часток домішки у відстійниках.

**Практична значимість** роботи полягає в можливості застосування розробленої регресійної моделі для оптимізації роботи вертикальних відстійників.

## SUMMARY

Actuality of theme. Settling tanks of different types are one of the main elements in the wastewater treatment system. Therefore, the calculation of settling tanks in the water treatment system is an important task. Analysis of the literature on the problem of calculating settling tanks shows that currently actively developing engineering methods aimed at obtaining design dependencies convenient for practical use. The importance of the calculation of settling tanks is evidenced by the fact that in Ukraine for three months since 2006, two PhD theses were defended in this area.

When calculating the settling tanks, a number of problems are solved. One of the important tasks is to determine the rate of deposition of impurities in water. moving in settling tanks.

**The purpose** of this master's thesis was to develop a regression model for calculating the rate of deposition of impurities in the settling tanks, which allows to take into account the diameter of the impurity in the deposition process.

**The scientific novelty** of this work is to create an effective mathematical model for calculating the deposition rate of impurity particles in settling tanks.

**The practical significance** of the work lies in the possibility of applying the developed regression model to optimize the operation of vertical settlers.

## Розділ 1 Відстоювання

Видалення зважених у воді домішок і скоагульованих пластівців досягається відстоюванням і фільтруванням. При відстоюванні з неї видаляється основна маса завислих речовин, а фільтрування є завершальним процесом, який використовується для повного звільнення води від суспензій.

Процес відстоювання найпростіше здійснюється в нерухомій рідині. Завись осідає в різного типу відстійниках або прояснювачах. Великі частки, що виносяться водою з камер реакції і потрапляють у відстійники, під дією сили тяжіння починають осідати, так як швидкість руху води у відстійниках різко знижується в порівнянні зі швидкістю води в попередніх спорудах. При відстоюванні суспензій відбувається як вільне, так і спряжене осадження. З урахуванням того, що концентрація суспензії у воді навіть у разі коагуляції мала, у верхніх шарах спостерігається режим вільного осадження. У нижніх шарах концентрація суспензії збільшується за рахунок частинок, що осідають з верхніх шарів, тому стає можливим спряжене осадження.

Більшість суспензій, що зустрічаються в природній воді, а також утворюються в процесі очищення, неоднорідні за формою, величиною і масою. Тому характер процесу випадання суспензій встановлюється дослідним шляхом на основі даних графіка (рис. 1.1), де на осі абсцис відкладається час осадження, а на осі ординат – величини, що характеризують масу випала суспензії.

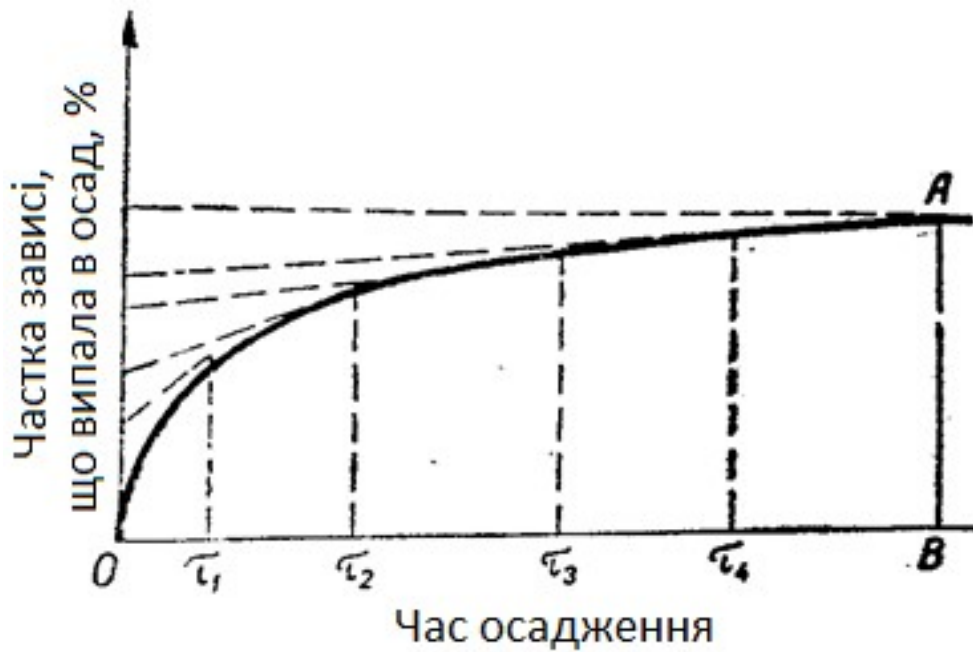


Рисунок 1.1. Крива осадження полідисперсної зависі

У практиці водопідготовки для виділення з води завислих речовин застосовують *горизонтальні, вертикальні й радіальні* відстійники, названі так за напрямком руху в них потоків води.

За висотою відстійник розподіляється на дві частини: зону осадження, де завислі речовини осаджуються, і зону нагромадження та ущільнення осаду.

## Розділ 2

### Продуктивність відстійників

Для розділення неоднорідних систем широко використовують відстійники, що дозволяють порівняно просто при малих енергетичних витратах зробити попереднє розділення пілогазових систем, суспензій та емульсій.

Сутність процесу відстоювання полягає в тому, що неоднорідну систему завантажують в апарат - відстійник і залишають на деякий час у спокійному стані (в апаратах періодичної дії), при цьому під дією сил тяжіння фаза з більшою густиною (важка фаза) осідає і концентрується в нижній частині апарата, а легка фаза освітлюється або збирається у верхній частині апарата. Після завершення процесу відстоювання проводять розділення (декантацію) фаз. У апаратах безперервної дії процес розділення фаз проходить в рухомому потоці та при цьому частинки дисперсної фази осідають на дно апарата або на спеціальні пристрої - полиці. Повнота розділення НС в цих апаратах звичайно нижча, ніж в апаратах періодичної дії.

Основні умови розділення НС у відстійниках такі:

- час осідання частинок в апараті повинен бути меншим або дорівнювати часу перебування середовища в ньому;
- лінійна швидкість руху потоку середовища в апараті повинна бути дещо меншою від швидкості осідання малих частинок у ньому для того, щоб потік не виносив із собою частинок, що осідають.

У зв'язку з тим, що в'язкість рідин зменшується з підвищенням температури, то для інтенсифікації процесу відстоювання суспензій їх можна нагрівати до температур, припустимих умовами реалізації технологічного процесу.

Визначимо залежність об'ємної продуктивності апарата від його геометричних розмірів, швидкості руху потоку середовища і швидкості осідання частинок.

Нехай у горизонтальному відстійнику ящикого типу (див. рис. 2.1. ) із розмірами  $L \times B \times H$  повним поперечним перерізом рухається потік середовища зі

середньою лінійною швидкістю  $W$  м/с, а швидкість вільного осідання частинок дорівнює  $w_o$  м/с.

Тоді час перебування потоку середовища в апараті дорівнює

○ 
$$\tau_{\text{пр}} = L/W . \quad (2.1)$$

Максимальний час осідання частинок у відстійнику дорівнює

○ 
$$\tau_{\text{ос}} = H/w_o . \quad (2.1.2)$$

○

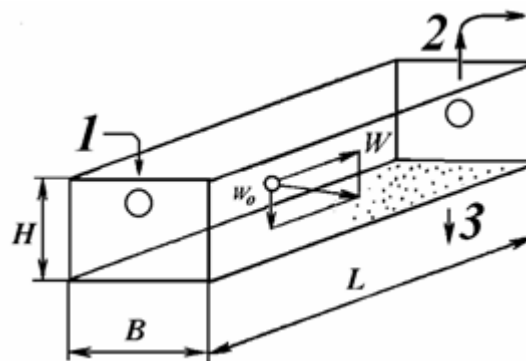


Рисунок 2 .1 – Схема роботи горизонтального відстійника: 1 – подавання суспензії; 2 – відведення освітленої рідини; 3 – відведення осаду

Припускаючи, що час перебування середовища в апараті і час осідання частинок рівні за величиною (перша умова успішної роботи відстійника), прирівнюючи рівняння (2.1.3) і (2.1.4.), отримали залежність

○ 
$$\frac{L}{W} = \frac{H}{w_o} , \quad (2.1.3)$$

розв'язавши яку щодо лінійної швидкості руху потоку знайшли

○ 
$$W = w_o \frac{L}{H} . \quad (2.1.4)$$

З рівняння (2.1.5.) випливає висновок, що припустима лінійна швидкість руху потоку середовища в апараті може перевищувати швидкість осідання частинок усього в декілька разів - не більше ніж відношення розмірів апарата ( $L/H$ ).

Об'ємна продуктивність,  $\text{м}^3/\text{с}$ , відстійника, розрахована для потоку середовища, що розділяється, дорівнює

○ 
$$V_c = B \cdot H \cdot W. \quad (2.1.5.)$$

Підставляючи значення допустимої швидкості потоку з рівняння (2.1.5) одержали

○ 
$$V_c = BH \cdot w_o \cdot \frac{L}{H} = w_o BL. \quad (2.1.6.)$$

Рівняння (2.1.6) дозволяє зробити головний висновок щодо об'ємної продуктивності відстійника, а саме: вона прямопропорційно залежить від швидкості осідання частинок та площі відстійника в плані і не залежить від його висоти.

Цей важливий висновок дозволяє конструювати і застосовувати на практиці компактні багатополічні відстійники з великою загальною площею осідання в одиниці об'єму апарата, або конструювати і експлуатувати багатоярусні вертикальні відстійники.

## 2.1. Розрахунок площі осідання відстійника

На практиці виникає необхідність підібрати відстійник або розрахувати необхідну площу осідання відстійника на задану продуктивність із необхідною повнотою розділення НС, що задана кінцевим вмістом твердої фази в просвітленій рідині.

Нехай у вертикальному відстійнику безперервної дії (див. рис. 2.2.) надходить  $G_c$  кг/с суспензії з початковим вмістом у ній частинок твердої фази  $x_c$  % мас., вміст частинок твердої фази у вологому осаді відповідно дорівнює  $x_o$  % мас.

Швидкість осідання частинок розраховують за мінімальним діаметром частинок, що повинні бути відділені у відстійнику.

Частинки будуть осідати у висхідному потоці рідини в тому випадку, якщо швидкість потоку не буде перевищувати швидкість осідання частинок, тобто умовою задовільної роботи відстійника є залежність  $w_o \geq w_B$ .

Об'ємна продуктивність відстійника щодо просвітленої рідини

$$V_c = w_o \cdot F_o, \text{ звідки } F_o = \frac{V_c}{w_o}, \quad (2.2)$$

де  $F_o$  - площа поперечного перерізу, що дорівнює розрахунковій площі осадження відстійника.

Об'ємну витрату просвітленої рідини знаходять з рівняння

$$V_c = \frac{G_{жс}}{\rho} = \frac{G_c}{\rho} \cdot \frac{(x_o - x_c)}{(x_o - x_{жс})}, \quad (2.2.1)$$

де  $G_{жс}$ ,  $G_c$  - витрата освітленої рідини і суспензії відповідно, кг/с;

$x_c$ ,  $x_{жс}$ ,  $x_o$  - концентрація (вміст) твердих частинок у суспензії, освітленій рідині та у вологому осаді відповідно.

Підставляючи в рівняння (2.2) значення  $w_o = w_B$  і об'ємної витрати рідини  $V_c$  із рівняння (2.2.1), а також припускаючи  $x_{жс} = 0$ , отримали

$$F_o = \frac{G_c(1 - x_c / x_o)}{w_o \rho}. \quad (2.2.2)$$

Формулу (2.2.2) можна використовувати для розрахунку площі відстійника періодичної дії, тому що в ньому практично майже відсутній висхідний потік освітленої рідини.

Для відстійника безперервної дії треба враховувати швидкість висхідного потоку рідини, що дорівнює  $w_e = 0,75 w_o$ , а також стислі умови осідання та неоднорідний дисперсійний склад частинок, що осідають.

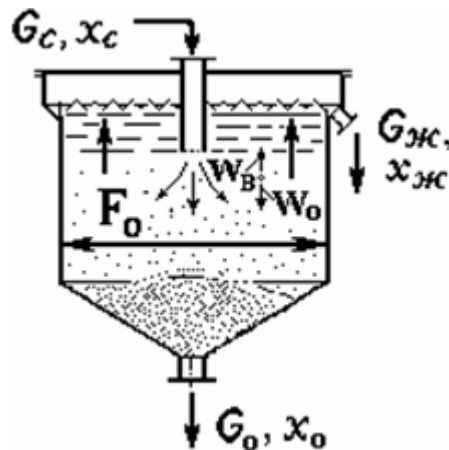


Рисунок 2.2. - До розрахунку площі осідання відстійника

Враховуючи це в практичних розрахунках використовують формулу

$$F_o = \frac{1,33G_c(1 - x_c/x_o)}{w_o \rho}, \quad (2.2.3)$$

○

Відстійник вибирають згідно з розрахованою площею і приводять у відповідність до розмірів стандартних апаратів.

Загальна (повна) висота відстійника складається з висот окремих зон, а саме:

○

зони живлення (0,3-1 м);

○

зони освітлення - власне зони осідання (0,3 - 1,8 м);

○

проміжної зони (0,3 - 0,5 м);

○

зони ущільнення вологого осаду (0,5 - 1 м).

Висота зони ущільнення осаду залежить від часу перебування потоку суспензії у відстійнику (звичайно 0,3 - 0,7 години) і може бути розрахована за формулою

○

$$h_4 = \frac{G_o \tau_{np}}{\rho_{во} F_o}, \quad (2.2.4)$$

○

○

де  $\rho_{во}$  - густина вологого осаду;

$\tau_{np}$  - час перебування суспензії у відстійнику.

Отже загальна висота одноярусних відстійників для розділення малоконцентрованих суспензій дорівнює

○

○

$$H_o = h_1 + h_2 + h_3 + h_4,$$

○

де  $h_1, h_2, h_3, h_4$  - висота зон живлення, освітлення, проміжної і ущільнення осаду відповідно, м.

## Розділ 3

### Типи відстійника

#### 3.1 Горизонтальний відстійник

Горизонтальні відстійники (рис. 3.1) являють собою прямокутні резервуари, в яких прояснювана вода рухається в напрямку, близькому до горизонтального вздовж відстійника. Горизонтальні відстійники виконують зазвичай із залізобетону й обладнують водорозподільними і водозбірними пристроями, трубопроводами для підведення оброблюваної і відведення проясненої води та пристроями для періодичного видалення осаду.

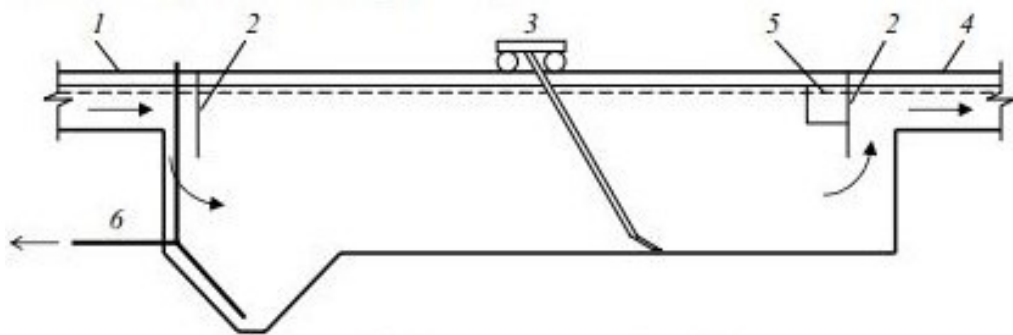


Рисунок 3.1. Горизонтальний відстійник: 1 – підвідний лоток; 2 – напівзаглибна дошка; 3 – скребковий візок; 4 – відвідний лоток; 5 – лоток для збору плаваючих забруднень; 6 – виведення осаду

Горизонтальні відстійники проектують одно- або двоповерховими, з торцевим або розосередженим по площі збором проясненої води, без/з поворотом потоку води в горизонтальній або вертикальній площині (див. рис. 3.1). Перевага двоповерхових відстійників полягає в значно меншій площі забудови, об'ємі й витраті бетону на їхнє будівництво, а великим недоліком є необхідність у додатковому підйомі води. Крім того, потрібні особливі гідрогеологічні умови майданчика, що дозволяють робити великі заглиблення.

За висотою відстійник розподіляється на дві частини: зону осадження, де завислі речовини осаджуються, і зону накопичення й ущільнення осаду. У зв'язку з тим, що осад розподіляється по дну відстійника нерівномірно і велика частина його накопичується в першій половині, об'єм осадкової частини відстійника на початку роблять більше, ніж наприкінці.

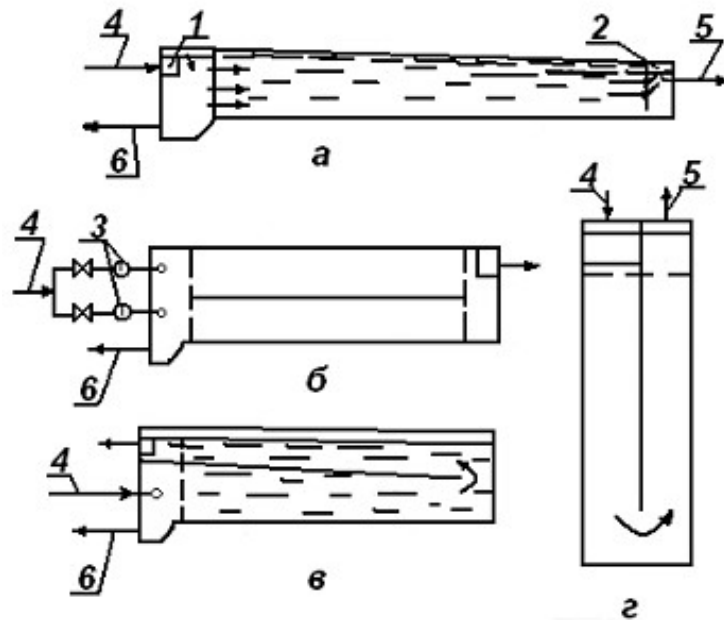


Рисунок 3.2. Схема руху води в горизонтальних відстійниках: а – одноповерховому прямоточному (розріз); б – двоповерховому прямоточному (розріз); в – двоповерховому з поворотом потоку (розріз); г – одноповерховому з поворотом потоку (план): 1, 2 – відповідно розподільний і збірний водозлив; 3 – водоміри; 4 – підведення води; 5 – відведення проясненої води; 6 – відведення осаду.

Механічні засоби видалення осаду з горизонтальних відстійників влаштовують у випадках значної каламутності вихідної води або частого повторення періодів підвищеної каламутності води протягом року. Для цього застосовують скребкові транспортери (див. рис. 3.1), які згрібають осад у приямок, звідки його відкачують гідроелеваторами або відцентровими насосами.

При реконструкції існуючих, будівництві нових відкритих і закритих горизонтальних відстійників рекомендується застосовувати напірну гідромеханічну систему видалення осаду.

До переваг горизонтальних відстійників відноситься високий ефект прояснення по зважених речовинах. Недоліки – підвищена витрата залізобетону (порівняно з круглими відстійниками) і незадовільна робота механізмів для згрібання осаду, особливо в зимовий період.

Горизонтальний відстійник – це прямокутний у плані резервуар, а в розрізі має вигляд, як показано на рис. 3.1.

Неочищені стічні води після пісковловлювача по лотках або трубопроводах 1 надходять у робочу зону горизонтального відстійника 2, де за розрахункової швидкості руху  $V = U_0$ , тобто витримуються умови ( $V > V_1 > V_2$ ), відбувається осідання завислих речовин на дно відстійника. Осад скребковим візком 9 збирають у накопичувач 8 за допомогою гідроелеватора 7 або під гідростатичним тиском періодично (частоту випуску встановлюють під час пуско-налагоджувальних робіт), відводять зі споруди на стабілізацію та зневоднення. Нерозчинні речовини, які плавають, відводять за допомогою лотків та трубопроводів 12, змішують з осадом, потім цю суміш спрямовують на стабілізацію (на метантенки). Освітлені стічні води по трубопроводу 3 подають на споруди біологічного очищення.

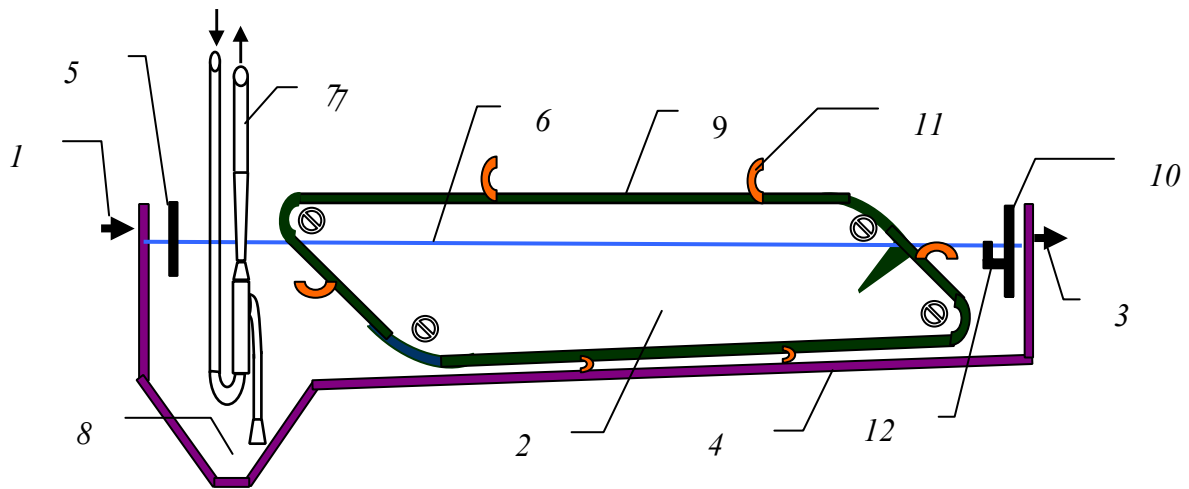


Рисунок 3.1. Концептуальна схема поздовжнього розрізу горизонтального відстійника:

1 – подача стічних вод від пісковловлювача на очищення; 2 – робоча зона відстоювання; 3 – відвід освітленої стічної води на споруди біологічної очистки; 4 – днище відстійника з ухилом до 0,001%; 5, 10 – перегородки розділення потоків води; 6 – рівень стічної води у відстійнику; 7 – гідроелеватор для видалення осаду; 8 – бункер накопичення осаду; 9 – скребковий механізм на безкінечних ланцюгах; 11 – щітки скребкового механізму; 12 – лоток для видалення речовин, що плавають

### 3.2 Радіальні відстійники

Радіальний відстійник являє собою круглий (в плані) резервуар, висота якого невелика в порівнянні з діаметром. Рух води у відстійнику здійснюється від центра до периферії в радіальному напрямку, близькому до горизонтального.

Радіальний відстійник має підвідний і відвідний трубопроводи, водорозподільний і водозбірний пристрої, а також обертову ферму із шкребками для видалення осаду (рис. 3.2.1).

До переваг радіальних відстійників відноситься простота експлуатації і низька питома матеріаломісткість, до недоліків – зменшення коефіцієнта об'ємного використання через високі градієнти швидкості в центральній частині відстійника.

Усунення такого недоліку можливо у відстійниках з периферійним впуском води. У вода надходить у водорозподільний жолоб, розташований на периферії відстійника, потім прямує в центральну зону і далі до водовідвідному кільцевому жолобу. Рух води відбувається більш рівномірно по всьому живому перетину відстійника, при цьому місцеві завихрення практично відсутні.

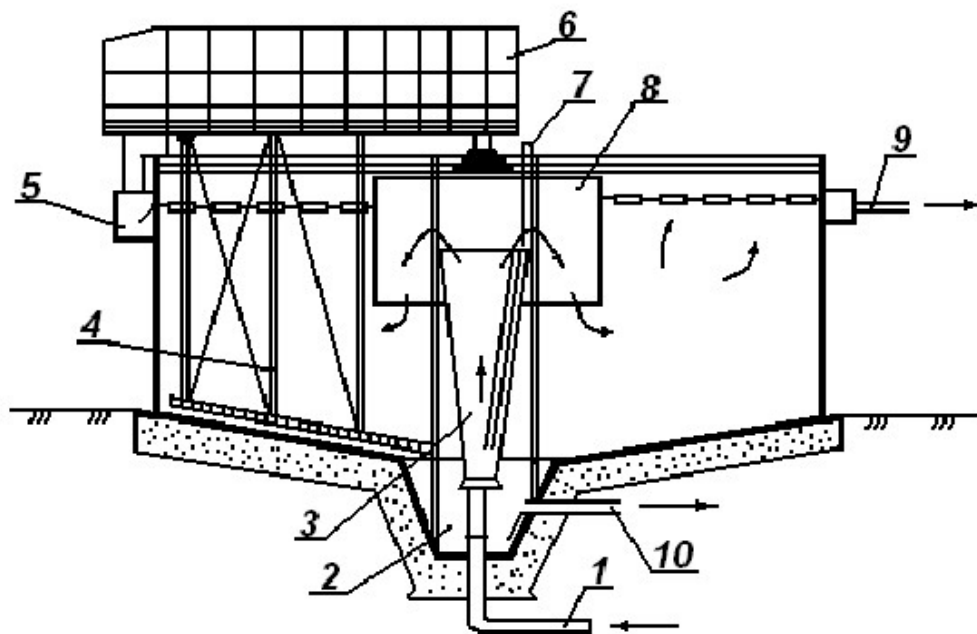


Рисунок 3.2.1 Радіальний відстійник: 1 і 9 – подача вихідної і відведення проясненої води; 2 – приямок для збирання осаду; 3 – дифузор; 4 – обертова ферма для видалення осаду; 5 – збірний кільцевий периферійний лоток; 6 – ходовий місток; 7 – подача реагентів; 8 – водорозподільна склянка; 10 – скидання осаду



Неочищені стічні води по трубопроводу 1 надходять до центрального розподільчого устаткування радіального відстійника 2. Пристрій 2 гасить швидкість руху стічних вод та створює потрібні умови для існування залежності  $U_0 > V$  і для забезпечення розрахункового ефекту освітлення. Стічні води, рухаючись зі швидкістю 5 – 10 мм/с у робочій зоні 3 звільняються від завислих речовин. Завислі речовини осідають на дно відстійника 4.

Освітлені стічні води збираються у лоток 5 та за допомогою трубопроводів 6 відводяться на споруди біологічної очистки. Речовини, які плавають, за допомогою обертального механізму-ферми 9 та закріпленої на ферму дощатої перегородки 10, збираються в бункер 7 і відводяться за межі споруди. Речовини, які плавають, змішуються з осадом та прямують на метантенки. Осад на дні відстійника за допомогою скребкового механізму 7 і скребків 11 збирається у бункері 8 та через трубопровід 12 і насосну станцію, змішуючись з речовинами, які плавають, надходить від бункера 7 і прямує на метантенки. Вологість осаду від первинних відстійників сягає 93 – 95%. Первинні відстійники мають забезпечити зменшення концентрації завислих речовин в освітленій воді < 150 мг/л.

### 3.3 Вертикальні відстійники

Вертикальні відстійники являють собою круглі в плані резервуари з конічним днищем, в яких потік прояснюваної рідини рухається у вертикальному напрямку. Вертикальні відстійники бувають з центральним впуском рідини, з низхідно-висхідним рухом рідини, з периферійним впуском рідини.

У відстійниках з центральним впуском (рис. 3.3.1) вода опускається вниз по центральній трубі, відбивається від конусного відбивного щита і надходить у зону прояснення. Ті частинки, гідралічна крупність яких більша за швидкість висхідного вертикального потоку, випадають в осад. Прояснена вода збирається периферійним збірним лотком. Спливаючі речовини – кільцевим лотком.

Більш досконалыми є вертикальні відстійники з низхідно-висхідним рухом води (рис. 3.3.2). Вода надходить у центральну частину відстійника і через зубчастий водозлив розподіляється по площі зони прояснення, де відбувається низхідний рух потоку води. Основна маса завислих речовин встигає випасти до надходження води в кільцеву зону, де відбувається допрояснення води та збір її периферійним лотком.

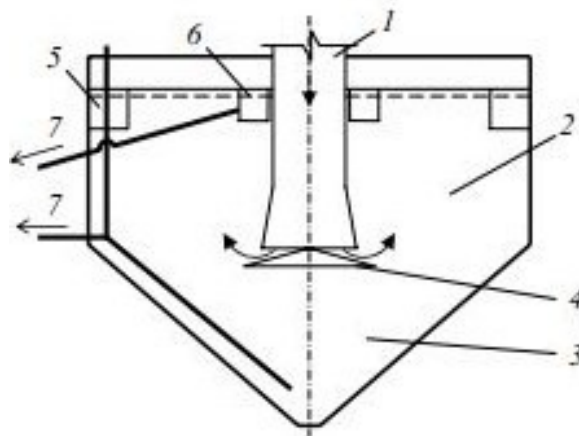


Рисунок . 3.3.1. Вертикальний відстійник з центральним впуском води: 1 – центральна труба, 2 – зона прояснення; 3 – осадова частина; 4 – щит відбивний; 5 – периферійний збірний лоток; 6 – кільцевий лоток; 7 – видалення осаду

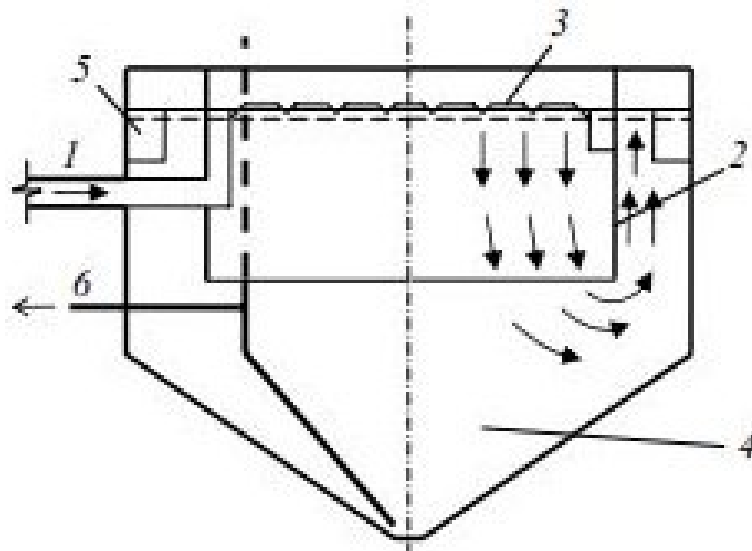


Рисунок 3.3.2. Вертикальний відстійник з низхідно-висхідним рухом води: 1 – підвідний трубопровід, 2 – кільцева перегородка; 3 – зубчастий водозлив; 4 – осадова частина; 5 – периферійний збірний лоток; 6 – видалення осаду

Перевагами вертикальних відстійників є простота конструкції і зручність в експлуатації, недоліком – велика глибина споруд

Вертикальні відстійники – це круглі, прямі або багатокутні у плані резервуари з конічним днищем. Відділення завислих речовин відбувається, переважно, під час висхідного руху рідини зі швидкістю

$V_1 = 0,7$  мм/с та за виконання умови  $V_1 < U_0$ . В країнах СНД на практиці використовують вертикальні відстійники трьох типів:

- 1) з центральною трубою;
- 2) з низхідно-висхідним потоком рідини;
- 3) вертикальний відстійник з низхідно-висхідним потоком рідини з перегородкою.

Схему цих відстійників подано на рис. 3.1, 3.2, 3.3.

Відстійники, які розроблено, детально досліджено та вдосконалено за радянських часів. На практиці їх широко застосовують під час очистки середніх та малих кількостей стічних вод. Вони успішно застосовуються як споруди первинного так і вторинного відстоювання. Вертикальні відстійники, які зовнішньо схожі, відрізняються всередині споруди, що змінює кінетику осідання завислих речовин та покращує коефіцієнт корисної дії. Розглянемо кожний тип відстійника окремо.

Вертикальні відстійники з центральною трубою (рис. 3.2.) розроблено, детально досліджено в 50-ті роки минулого століття в Ленінградському інженерно-будівельному інституті (С. М. Шифрин, Б. Г. Мішуков) та визначено їх переваги і недоліки.

Цей різновид вертикальних відстійників працює в певній послідовності. Неочищені стічні води  $1$  надходять в центральну трубу  $2$  та прямують у зону відстоювання  $3$ . За висхідного потоку у зоні відстоювання існує залежність  $U_0 >$

$V_1$ , де частинки завислих речовин відриваються від рідини, яка рухається та опускаються у зону осаду 4. Освітлена вода збирається в лоток 5 та через трубопровід 6 відводиться на споруди біологічної очистки. Осад, який накопичується у зоні 4, періодично, під гідростатичним тиском, випускають через мулову трубу 7 на зневоднення. Частину завислих речовин, яка плаває, відводять через пристрій 8.

Основним недоліком цієї конструкції є те, що у процесі зосередженої подачі стічних вод через центральну трубу, під час виходу з останньої, з порівняно великими швидкостями відбувається розмив осаду в осадовій частині і винос завислих речовин. Така динаміка потребує підвищення гідравлічної крупності завислих речовин.

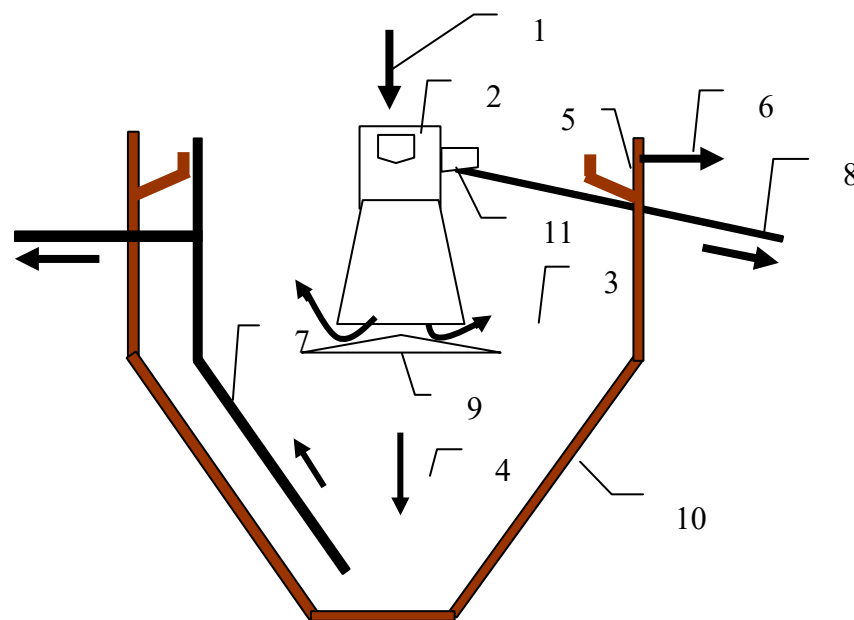


Рисунок 3.1 . Вертикальний відстійник з центральною трубою:

1 – подача стічних вод на відстоювання; 2 – центральна розподільча труба – система відстійника; 3 – робоча зона відстоювання; 4 – зона накопичення осаду; 5 – лоток збору освітленої води; 6 – відвід освітленої стічної води на споруди біологічної очистки; 7 – трубопровід для видалення осаду під гідростатичним тиском; 8 – трубопровід відводу речовин, що плавають;

9 – відбивальний зонти; 10 – днище відстійника з ухилом до 45-50%;  
 11 – бункер для збору речовин, що плавають

Частково цей недолік було усунуто застосуванням, так званого, відбивального зонту 9. Він створює опір і змінює прямолінійний потік рідини. Такі конструкції відстійників ефективніші, ніж вторинні відстійники для відділення активного мулу від біологічно очищених вод. Перевага відстійників з центральною трубою – це простота в експлуатації та повна відсутність енерговитрат.

Вертикальний відстійник з низхідно-висхідним потоком рідини (рис. 17????????) розроблено та детально досліджено у 90-ті роки минулого століття в НДІ міського господарства України (А. В. Єршов) і визначено переваги та недоліки.

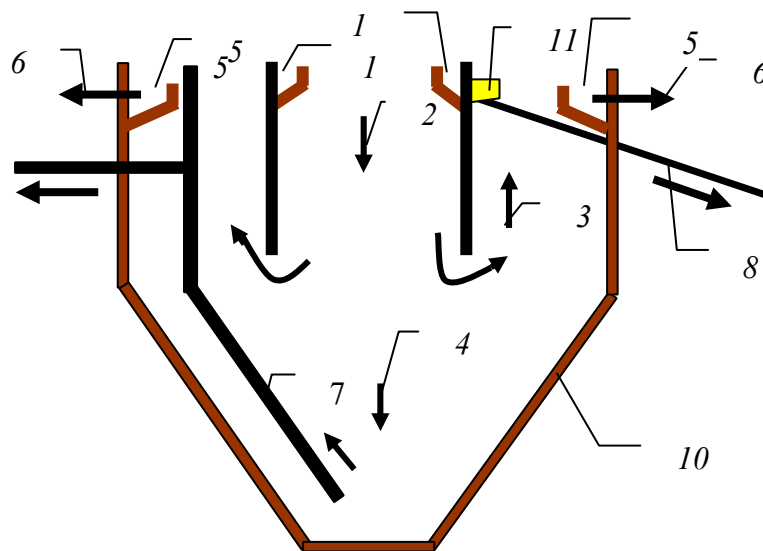


Рисунок 3.2. Вертикальний відстійник з низхідно-висхідним потоком рідини: 1 – подача стічних вод на відстоювання; 2 – зона низхідного потоку; 3 – зона висхідного потоку відстоювання; 4 – зона накопичення осаду; 5 – лоток збору освітленої води; 6 – відвід освітленої стічної води на споруди біологічної очистки; 7 – трубопровід для видалення осаду під гідростатичним тиском; 8 – трубопровід відводу речовин, що плавають; 10 – днище відстійника з ухилом до 45-50%; 11 – бункер для збору речовин, що плавають

Для усунення недоліків вертикальних відстійників з центральною трубою, вузол подачі стічних вод було розширено. Така конструктивна зміна привела до зниження швидкості руху стічних вод за низхідного руху та встановлення відношення  $U_0 = V_1$ . Таким чином, відстійник розділено на дві зони відстоювання: низхідну та висхідну. В зоні 2, за низхідного режиму руху відбувається осідання крупнодисперсних завислих речовин:  $U_0 = V_1$ , а у висхідній зоні за рахунок механічної коагуляції збільшується гідравлічна крупність і встановлюється залежність  $U_0 > V_1$ , де завершується процес розподілу твердої та рідкої фаз. Таке інженерне рішення, за даними промислових дослідів, привело до збільшення коефіцієнта роботи відстійника до 0,65. За таких позитивних показників і ці відстійники мають недоліки, один з них – це винос завислих речовин з освітленої води. Вертикальний відстійник з низхідно-висхідним потоком рідини працює в такій послідовності, як показано на рис.3.2.

Неочищені стічні води подають у розподільчі лотки 1, які вбудовані у верхній частині зони низхідного потоку 2. З низхідної зони стічні води надходять у зону висхідного потоку 3. За висхідного потоку, у зоні відстоювання, частки завислих речовин відриваються від рідини, яка рухається, та опускаються у зону осаду 4. В зоні 3 відбувається остаточне звільнення стічних вод від завислих речовин до розрахункового ефекту. Освітлена вода збирається в лоток 5 та через трубопровід 6 відводиться на споруди біологічної очистки. Осад, який накопичується у зоні 4, періодично, під гідростатичним тиском, випускають через мулову трубу 7 на зневоднення. Частина завислих речовин, яка плаває, збирається в бункер 11 та відводиться через пристрій 8 на стабілізацію та зневоднення.

Цей відстійник має конструктивний недолік, що унеможливує на практиці рівномірність розподілу води по периметру збірних та розподільчих лотків, а також винос завислих речовин. Така нерівномірність порушує гідравлічний режим руху, перерозподіл швидкостей руху рідини та неоднорідні величини

швидкості осідання і, як наслідок, невідповідність проектних розрахунків практичним показникам освітлених вод.

Вертикальний відстійник з низхідно-висхідним потоком рідини з перегородкою (рис. 3.3.) розроблено та детально досліджено у першому десятилітті нашого століття в Київському національному університеті будівництва та архітектури та визначено переваги і недоліки.

Тривалими дослідженнями, переважно на малі витрати, в ДНУЗТ було встановлено особливі недоліки вертикальних відстійників, які стосуються, меншою мірою, радіальних та горизонтальних відстійників і базуються на дослідження, проведених у Ленінградському інженернобудівельному інституті. Дослідження показали, що у вертикальних відстійниках утворюються значні вихрові зони, що суттєво знижує коефіцієнт їх об'ємного використання і ефект освітлення. Під час витікання рідини з високими швидкостями створюються умови “розмиву” осаду у верхніх шарах осадової частини і винос зависі з відстійника. До суттєвих недоліків вертикальних відстійників, які недостатньо висвітлено в науковій літературі, слід віднести стан осаду в зоні осадової частини.

Дослідженнями ДНУЗТ було визначено, що на нахиленій поверхні конічної частини днища вертикальних відстійників усіх типів накопичується осад і перетворюється в „товсту” анаеробну біоплівку. Далі між нижньою поверхнею прикріпленої біоплівки і твердою (нахиленою внутрішньою) поверхнею відстійника на пограничному шарі починається анаеробний процес окиснення. Настає момент, коли в нижній частині біоплівки концентрація органічних речовин наближається до мінімуму (Рис. 3.3.).

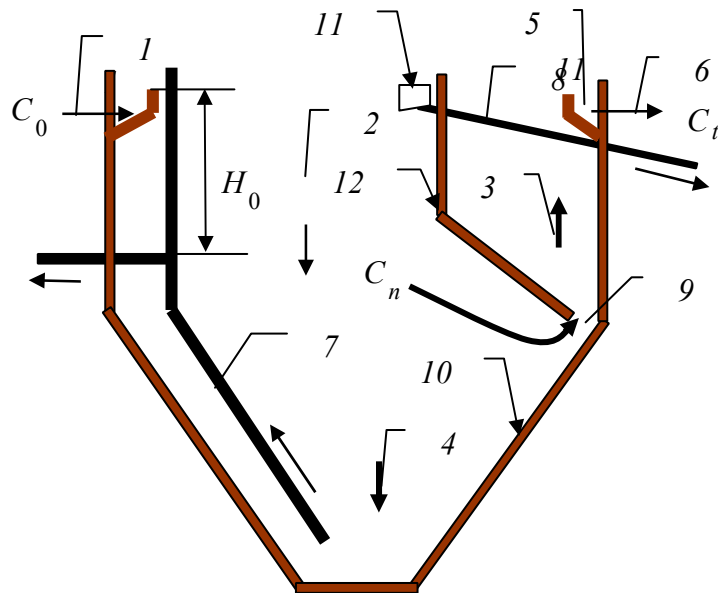


Рисунок 3.3. Вертикальний відстійник з низхідно-висхідним потоком рідини з перегородкою:

1 – подача стічних вод на відстоювання; 2 – зона низхідного потоку; 3 – зона висхідного потоку; 4 – зона накопичення осаду; 5 – лоток збору освітленої води; 6 – відвід освітленої стічної води на споруди біологічної очистки; 7 – трубопровід для видалення осаду під гідростатичним тиском; 8 – трубопровід відводу речовин, що плавають; 9 – щілина для гідравлічного зв'язку зон 2 та 3; 10 – днище відстійника з ухилом до 45-50%; 11 – бункер для збору речовин, що плавають; 12 – відокремлювальна перегородка зон 2 і 3

Це приводить до того, що сили зчеплення між плівкою осаду та внутрішньою поверхнею дна відстійника стають менші за гідравлічне навантаження води. Біоплівка відривається і утворені бульбашки газу флотують осад на поверхню води у відстійнику. Якщо не створити конструктивну перешкоду на шляху підйому частинок осаду, то вони спливають і повторно забруднюють уже освітлені стічні води. Відрив осаду відбувається як з допомогою “анаеробних” газів, так і через розмивну дію висхідних потоків стічної води.

З технологічної точки зору вертикальні відстійники з низхідновисхідним рухом води є досконалішими, оскільки у відстійниках цього типу зона освітлення

розділена напівзануреною перегородкою на дві частини, а коефіцієнт використання об'єму в цих відстійниках підвищується.

Вертикальний відстійник з низхідно-висхідним потоком рідини з перегородкою експлуатується на багатьох об'єктах України. Вони мають високий ефект освітлення стічних вод ( $E = 70 - 75\%$ ), в них усунуто попадання завислих речовин із осадової частини в зону освітлення. Максимальна простота конструкції робить відстійник екологічно і економічно вигідним.

Вертикальний відстійник з низхідно-висхідним потоком рідини з перегородкою працює в такій послідовності (див. рис. 3.3)

Неочищені стічні води подають в розподільчий лоток 1, який вбудовано у верхній частині зони низхідного потоку 2. За низхідного потоку в зоні відстоювання, через малі швидкості та малий параметр стисненого осідання має місце залежність:  $U_0 \geq V_1$ , де частинки завислих речовин відриваються від рідини, яка рухається, та опускаються у зону осаду 4. Із низхідної зони стічні води надходять у зону висхідного потоку 3 через гідравлічну щілину 9. У зоні 3 завислі частини, які залишились, створюють залежність  $U_0 = V_{\text{висх.}}$  та завислий осад, що збільшує ефект роботи відстійника.

Далі у завислому шарі, за висхідного потоку в зоні відстоювання, завдяки механічній коагуляції, має місце залежність  $U_0 > V_1$ , де частинки завислих речовин відриваються від рідини, яка рухається, та опускаються у зону осаду 4. В зоні 3 відбувається остаточне звільнення стічних вод від завислих речовин до розрахункового ефекту. Освітлена вода збирається в лоток 5 та через трубопровід 6 відводиться на споруди біологічної очистки. Осад, який накопичується у зоні 4, періодично, під гідростатичним тиском  $H_0$ , випускають через мулову трубу 7 на зневоднення. Завислі речовини, які мають  $U_0 < V_1$  збираються на поверхні відстійника як речовини, які плавають. Частина завислих речовин, які плавають, збирається в бункер 11 та періодично відводиться через пристрій 8 на стабілізацію і зневоднення.

Розрахунок відстійників виконують за рівняннями, наведеними у таб 3.1.

Таблиця 3.1

№ пор.	Найменування розрахункових позицій	Одиниця вимірювання	Позначення	Рекомендована величина
1	Продуктивність горизонтальних відстійників	м <sup>3</sup> /год.	$q = 3,6 \cdot K \cdot L \cdot b \cdot U_0$	—
2	Продуктивність радіальних відстійників	м <sup>3</sup> /год.	$q = 2,8 \cdot K \cdot (D - d) \cdot U_0$	—
3	Продуктивність вертикальних відстійників	м <sup>3</sup> /год.	$q = 1,41 \cdot K \cdot D^2 \cdot U_0$	—
4	Швидкість осідання (гідравлічна крупність)	мм/с	$U_0 = \frac{1000 \cdot K \cdot H}{t(K \cdot H/h_1)^n}$	—
5	ККД відстійника: - горизонтального; - радіального; - вертикального з низхідно-висхідним рухом рідини		$K_z$ $K_p$ $K_v$	0,5 0,45 0,65
6	Тривалість відстоювання в спокої	с	$t$	СНиП 2.04.03-85 табл. 30
7	Ефект відстоювання (необхідний)	%	$E_\phi = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \cdot 100$	—
8	Концентрація завислих речовин після відстійників	мг/л	$C_t = C_0(1 - 0,01 \cdot E_\phi)$	—
9	Довжина горизонтального відстійника	м	$L = V \cdot H / K \cdot U_0$	—
10	Маса сухого осаду	т/д	$W_{\text{сх}} = \frac{C_0(0,01 \cdot E_{\text{фак.}}) \cdot K_k \cdot Q}{1000 \cdot 1000}$	—
11	Радіус радіального та вертикального відстійника		$R = \sqrt{\frac{Q}{3,6 \cdot \pi \cdot K \cdot U_0}}$	—
12	Кількість осаду, що вивантажується із відстійників	м <sup>3</sup>	$W = \frac{100 \cdot W_{\text{сх}}}{(100 - B_{oc}) \cdot P}$	—

Закінчення табл. 3.1

№ пор.	Найменування розрахункових позицій	Одиниця вимірювання	Позначення	Рекомендована величина
13	Витрата стічних вод	м <sup>3</sup> /д	$Q$	–
14	Глибина відстоювання, відповідно, у відстійнику та лабораторному циліндрі висотою 0,5 м		$H, h_1$	–
15	Зависі у вхідній рідині	мг/л	$C_0$	–
16	Показник степеня		$n_2$	СНиП 2.04.03.85
17	Вологість осаду	%	$B_{ос}$	93-95
18	Коефіцієнт корекції маси		$K_k$	1,2
19	Щільність осаду	т/м <sup>3</sup>	$P$	

## Розділ 4

### Механічне очищення малих витрат стічних вод

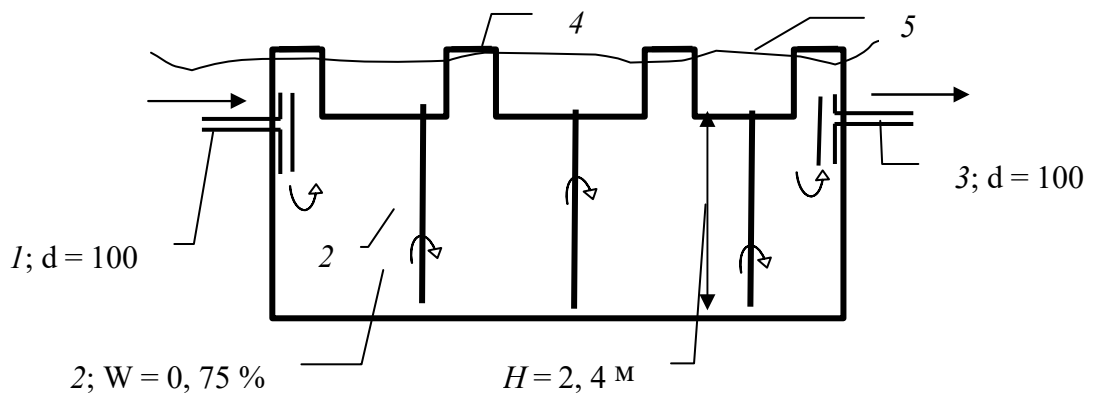
#### 4.1. Септик-тенк як споруда для відстоювання стічних вод

З метою отримання максимального технологічного, енергетичного, економічного та експлуатаційного ефекту роботи системи біологічного очищення у світовій практиці в технологічних схемах проектують вузол механічного очищення. Варто зазначити, що в схемах малої каналізації ряд дослідників первинним відділенням завислих речовин нехтують, що ускладнює роботу споруд біологічного очищення. Отримано результати, які показують можливість збільшення концентрації завислих речовин у стічних водах, що надходять на систему біологічного очищення, які відрізняються від рекомендованих нормами (від 150 до 200 мг/л). Це можливо тому, що у всіх випадках, навіть у погано працюючому вузлі первинного відстоювання вловлюється основна маса, а саме крупнодисперсні завислі речовини. У всіх випадках концентрація завислих речовин у стічних водах, які надходять на біологічне очищення має бути якомога меншою, але не більшою за 150 мг/л, бо в іншому випадку приріст активного мулу значно зростає, а ефект біологічного очищення знижується.

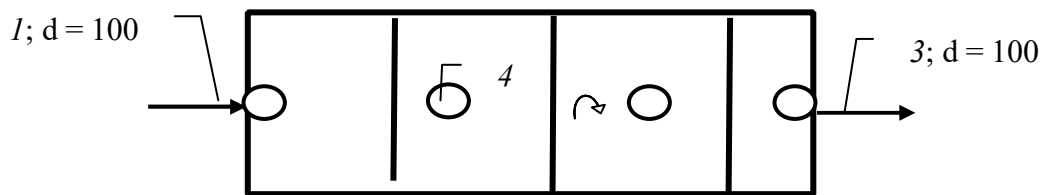
Септики – це споруди для відстоювання та накопичення осаду малих витрат стічних вод. Септик має вигляд прямокутного або круглого проточного резервуара, в якому, за повільного руху, від стічної води відділяються завислі речовини та накопичуються на дні у вигляді осаду. Час перебування стічної води у режимі відстоювання – до 3 діб, а осад знаходиться в септиках та піддається анаеробному розпаду від 6 до 12 місяців.

З метою уникнення виносу завислих речовин, септики поділяються за довжиною на дві або більше камер. За витрати стічних вод до 5 м<sup>3</sup>/д беруть однокамерні, а за витрати більше 5 м<sup>3</sup>/д дво- або більше камерні. Якщо у процесі відстоювання, насамперед, осідають речовини, які мають більшу гідравлічну крупність, об'єм

першої камери беруть більший відносно наступних. Технологічна схема септиків має вигляд, який подано на рис. 4.1.



*a*



*б*

Рисунок 4.1. Технологічна схема секційного прямокутного септика:

*a* – поздовжній розріз; *б* – план:

*1* – подача стічних вод; *2* – коридори (секції); *3* – відвід освітленої води

на споруди підземного природного біологічного очищення;

*4* – горловина для огляду та розвантаження осаду; *5* – рівень поверхні землі

Стічні води надходять у першу камеру по трубопроводу *1* та, рухаючись по камерах *2*, послідовно звільняються від завислих речовин. По трубопроводу *3* прямують на споруди природного очищення. Осад накопичується і стабілізується в психрофільному режимі на дні септика.

Тривалий, багаторічний досвід застосування септиків, як споруд механічної очистки малих кількостей стічних вод, дає можливість вказати на негативні моменти. За тривалого терміну перебування осаду в септику відбувається вторинне забруднення стічних вод. З метою уникнення попадання продуктів розпаду забруднень (агресивний анаеробний газ, такий як сірководень, вуглекислий газ, метан) в освітлені стічні води, що направляються на біологічне очищення, в ДНУЗТ на кафедрі гідравліки та водопостачання рекомендовано зону відстоювання відділити від зони накопичення осаду. Така споруда механічної очистки на малі витрати отримала назву септик-тенк та застосовується в практиці малої каналізації. Септик-тенк сконструйовано на основі відстійника, що працює в режимі з низхідно-висхідним рухом рідини, без центральної труби, який заблоковано з вузлом анаеробної стабілізації, накопичення та ущільнення осаду. З метою уникнення потрапляння газів бродіння надмулову рідину відводять від стабілізатора через трійник. Технологія та конструкція септик-тенка має перевагу над іншими в тому, що відстояна вода, яка надходить на фільтрувальний колодезь, не містить продукти анаеробного розпаду, тобто агресивні токсичні гази, метан та вуглекислий газ. Такий підхід знижує ступінь інгібування, суттєво збільшує швидкість окиснювання забруднень у фільтрувальних колодезях.

Стічні води надходять на септик-тенк, де у низхідно-висхідному режимі руху рідини відбувається повний розподіл рідини та твердої зависі. Споруда забезпечує глибоке освітлення стічних вод і часткове зниження органічних забруднень. У верхній частині відстійника на вході стічних вод до нього влаштовано перфорований пластмасовий кошик для утримання забруднень великого розміру (ганчірки, шматки харчових відходів, паперу і т. д.). Освітлена стічна вода надходить на фільтрувальні колодезі, де в природних умовах відбувається біологічне очищення розчинених органічних речовин у режимі біологічної фільтрації. Осад від септик-тенка під гідростатичним тиском надходить у зону анаеробного бродіння – стабілізації. Після бродіння ущільнений осад один раз на рік вивантажується, а надмулова рідина подається

на фільтрувальні колодязі. В зоні стабілізації осад ущільнюється і піддається анаеробній стабілізації в психрофільному режимі. Надмулова вода по спеціально передбаченому трубопроводу самопливом відводиться на біологічну очистку – фільтрувальний колодязь (рис. 4.2).

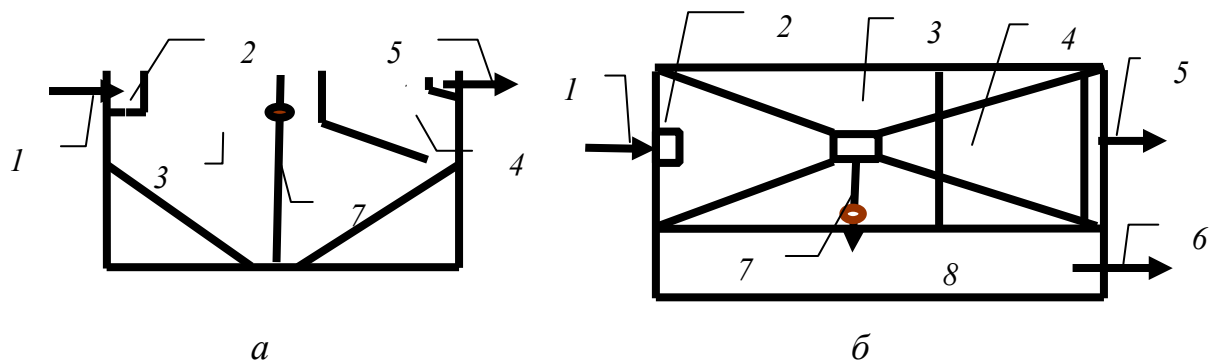


Рисунок 4.2 Технологічна схема септик-тенка:

*а* – поздовжній розріз; *б* – план:

*1* – подача неочищених стічних вод; *2* – кошик для утримання забруднень великого розміру; *3* – зона низхідного потоку; *4* – зона висхідного потоку; *5* – відвід освітленої води на споруди підземного природного біологічного очищення; *6* – відвід надмулової рідини на споруди підземної природної біологічної очистки; *7* – мулова труба для відводу осаду від зони освітлення до зони стабілізації та ущільнення; *8* – зона накопичення та стабілізації осаду

Розрахунок септик-тенка проводять, як вертикального відстійника з низхідно-висхідним рухом стічних вод, а окремо визначають кількість осаду та розраховують об'єм накопичувача стабілізатора.

У табл. 4 наведено основні розрахункові рівняння для спорудсептиків.

Таблиця 4

№ пор.	Найменування розрахункових позицій	Одиниця вимірювання	Позначення
1	Реакційний об'єм септика та двоярусного відстійника	$\text{м}^3$	$W_{\text{заг}} = W_{\text{від}} + W_{\text{осад}}$
2	Об'єм зони відстоювання у септику. Витрата стічних вод	$\text{м}^3 \text{ м}^3/\text{д.}$	$W_{\text{від}} = (0,5 \dots 1,0) \cdot Q$
3	Об'єм зони осаду у септику для одного мешканця	$\text{м}^3$	$W = 60 \text{ л / люд. доб}$
4	Об'єм зони відстоювання у двоярусному відстійнику	$\text{м}^3 \text{ м м}$	$W_{\text{від}} = L \cdot b$ L – довжина зони відстоювання b – ширина зони відстоювання

Закінчення табл. 4

№ пор.	Найменування розрахункових позицій	Одиниця вимірювання	Позначення
5	Довжина лотка двоярусного відстійника	м <sup>3</sup>	$V \cdot N$ $L = \frac{V \cdot N}{U_0}$
6	Об'єм зони осаду двоярусного відстійника (септична частина)	м <sup>3</sup>	$W_{cent.} = \frac{q \cdot (C_0 - C_1) \cdot 60 \cdot 24}{(100 - p) \cdot \gamma \cdot 10^4}$
7	Загальний об'єм осаду фактичної вологості	м <sup>3</sup> /д.	$M_{загал} = Q_{сир.осад} + Q_{акт.мул.}$
8	Об'єм сирого осаду фактичної вологості	м <sup>3</sup> /д.	$Q_{сух.осад} = \frac{Q_{сир.осад}}{(1 - P_{осад}) \cdot \gamma}$

## 4.2. Двоюрусні відстійники як споруди для відстоювання стічних вод

Відстоювання стічних вод відбувається за горизонтального руху рідини в лотках, де кінетика седиментації аналогічна до горизонтальних відстійників. Двоюрусні відстійники в плані – це кругла або багатокутна споруда з конічним дном. У верхній частині розташовані жолоби (лотки), а у нижній частині – ємкість для накопичування та анаеробного бродіння осаду. Жолоби, у яких повільно рухається рідина, виконують функцію горизонтальних відстійників. Схему такої споруди показано на рис. 4.

У двоюрусних відстійниках стічні води надходять по лотку 1 та розподіляються по осадкових жолобах 2. Коли існує залежність між швидкостями руху рідини та зависі у нижче поданому вигляді, відбувається процес відстоювання:

$$U_0 > V,$$

де  $U_0$  - гідравлічна крупність зависі, мм/с;  $V$  - швидкість руху стічних вод у жолобах, мм/с.

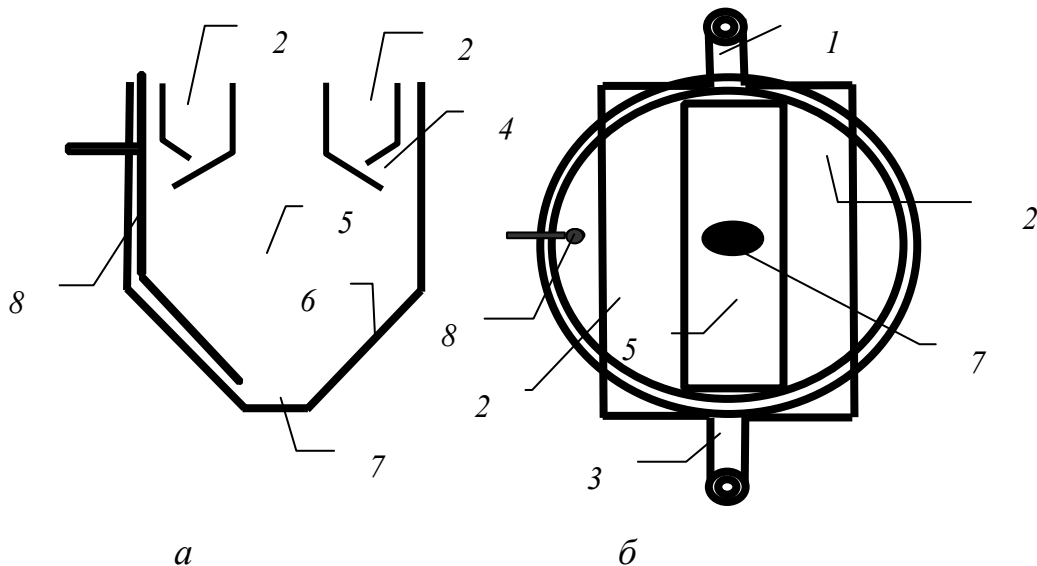


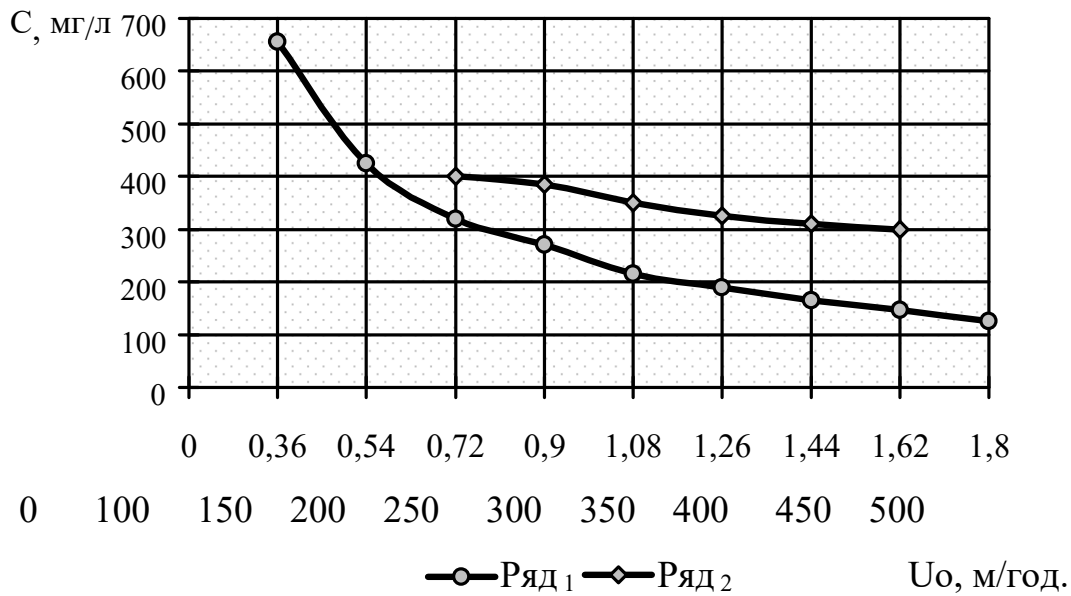
Рисунок. 4.2 Технологічна схема двоярусного відстійника: *a* – поздовжній розріз; *б* – план;

*1* – подача неочищених стічних вод; *2* – осадові жолоби; *3* – відвід освітленої води на споруди підземного природного біологічного очищення; *4* – поздовжня щілина для сповзання осаду; *5* – септична зона накопичення осаду; *б* – внутрішня поверхня септичної частини відстійника; *7* – зона забору стабілізованого осаду; *8* – мулова труба для відводу стабілізованого осаду

Завислі речовини осідають під час руху стічних вод по довжині лотків та через щілину *4* надходять в накопичувач *5*, де протягом до 60 діб відбувається анаеробна стабілізація в психрофільному режимі. Стабілізований осад, періодично, відводиться на мулові майданчики для зневоднення та підсушування. Випуск осаду відбувається через мулову трубу *8*, яка знаходиться під гідростатичним тиском. Кінетика осідання завислих речовин аналогічна до горизонтальних відстійників, що дозволяє осадові жолоби розраховувати за методикою розрахунку горизонтальних відстійників. Освітлена вода відводиться по лотку *3* на споруди біологічного очищення. Незважаючи на широке розповсюдження двоярусних відстійників (емшерські колодязі), вони мають ряд недоліків. Наприклад, більшу глибину, можливість обмерзання, вторинне забруднення освітлених вод, закріплення осаду на внутрішній поверхні *б* тощо.

### **4.3. Конструкції відстійників для малих витрат стічних вод**

За малих витрат специфічно складним є питання будівництва споруд механічної очистки – відстійників. Залежно від норм водовідведення  $q$ , відбувається різка зміна концентрації завислих речовин  $C$  та гідравлічної крупності  $U_0$  (малі значення за великих витрат, більші – за малих витрат) (рис. 4.3.1).



q, л/люд.д.

Рисунок 4.3.1 Залежність  $C = f(q, U_o)$ : ряд 1 –  $C = f(q)$ ; ряд 2 –  $C = f(U_o)$

Особливість режиму водопостачання та водовідведення створила екстремальні умови під час проектування та експлуатації очисних споруд водовідведення малих об'єктів, а саме вузла відстоювання. Крім того, відстоюванню стічних вод малих витрат притаманна особливість, яка викликана сезонністю роботи малих об'єктів, що скидають забруднені стічні води. Серед них найчастіше зустрічаються об'єкти оздоровлення та охорони здоров'я.

Отже специфіка очистки стічних вод об'єктів „малої” каналізації (щодо розв'язання питань відстоювання) пов'язана з такими чинниками:

- висока концентрація завислих речовин у стічній воді через низьку питому норму водовідведення;
- високе значення коефіцієнта нерівномірності водовідведення.

Як вже зазначалося, найбільш поширеними спорудами для малих та середніх витрат стічних вод є вертикальні відстійники. Основні їх переваги – простота конструкції і зручність в експлуатації, а недоліки - велика глибина споруд, що обмежує їх максимальний діаметр 9 м, а також відносно невисока ефективність освітлення води (зазвичай не перевищує 40% за завислими речовинами).

Подальші дослідження привели до розробки вдосконаленої конструкції, в якій відстоювання відбувається в низхідно-висхідному потоці рідини [1; 2; 10]. Ця конструкція значно підвищує ефект роботи, найповніше використовується об'єм споруди і, що дуже важливо, швидкості потоків рідини практично однакові як у низхідній, так і у висхідній зонах.

З технологічної точки зору вертикальні відстійники з низхідновисхідним рухом води є досконалішими, оскільки у відстійниках цього типу зона освітлення розділена на два протилежні потоки, тобто на дві рівні за площею дзеркала води частини.

Стічна вода поступає у центральну частину по лотку чи трубопроводу і через зубчастий водозлив з відбивним козирком розподіляється по площі зони освітлення, де відбувається низхідний рух потоку води, що освітлюється. Це забезпечує краще співпадання напрямків векторів руху потоку води і випадання агломеруючої зависі порівняно із типовими вертикальними відстійниками з центральною розподільчою трубою.

Основна маса завислих речовин встигає випасти в осад до моменту надходження потоку в кільцеву зону висхідного руху, де відбувається доосвітлення води, яка збирається периферійним збірним лотком.

Коефіцієнт використання об'єму у цих відстійниках підвищується до 0,65, а ефективність освітлення води за зниженням концентрації завислих речовин досягає 60 – 65% [1; 2; 10].

Необхідність забезпечення практично однакових швидкостей потоків відповідає дотриманню рекомендацій авторів щодо співвідношення площ поверхні обох зон  $f_{\text{низх.}} : f_{\text{висх.}} = 1:1$ . В той же час наведене співвідношення не враховує можливий факт присутності в низхідній і висхідній зонах часточок зависі з різними значеннями гідравлічної крупності. Крім того, практичному впровадженню цих конструкцій відстійників перешкоджає складність експлуатації, пов'язана з їх невдалою “геометрією” і великою кількістю збірнорозподільчих лотків. Останній факт не дозволяє рівномірно розподілити стічну рідину, що створює умови зосередженого надходження стічної рідини, а

отже призводить до перевантаженості або недовантаженості окремих ділянок. Ці проблеми особливо відчутні в роботі очисних споруд за витрат нижче 200 м<sup>3</sup>/д.

Як правило, основною причиною незадовільної роботи вертикальних відстійників, що існують, є недосконалість їх гідродинамічної схеми, тому має місце створення відстійника нової конструкції, який буде мати сприятливіші гідродинамічні умови для протікання процесу відстоювання.

З початку 90-х років ХХ ст, у зв'язку з переходом до ринкової економіки в Україні, значно зросла кількість невеликих комунальних, промислових і сільськогосподарських об'єктів, які є джерелом утворення стічних вод з обмеженими витратами ( $Q \leq 200$  м<sup>3</sup>/д). Виникла гостра необхідність розробки та впровадження компактних очисних установок, розрахованих на відповідні діапазони витрат стічних вод. З урахуванням вищезазначених недоліків конструкцій вертикальних відстійників, що існують, актуальним є створення їх нової модифікації, яка буде рекомендована на діапазони витрат від 1,0 до 3000 м<sup>3</sup>/д, матиме помітно більший ефект видалення завислих речовин зі стічної рідини, раціональніше вирішення конструкції мулової частини для попередження повторного забруднення стічних вод, і таку оптимальну конструкцію, що дозволить їх вбудову в компактні установки разом з вузлом біологічного очищення стічних вод.

#### **4.4 Тонкошарові відстійники**

Метод відстоювання в тонкому шарі полягає в установці в відстійниках блоків з тонкошарових елементів (плоскі або рифлені пластини, трубчасті елементи). Підвищення ефекту прояснення досягається за рахунок зменшення часу осадження суспензії і поліпшення гідродинаміки осадження.

Існує три схеми розташування модулів у відстійнику (рис. 4.4.1). При перехресній схемі виділений осад рухається перпендикулярно до руху води, а при прямої і протитої – відповідно по ходу руху води або у зворотному напрямку.

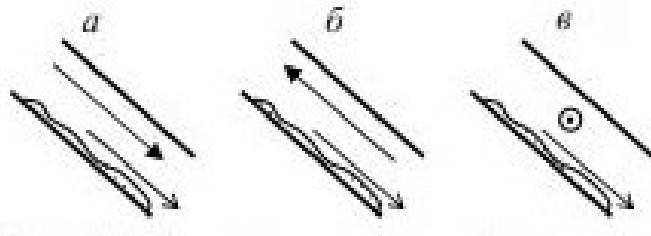


Рисунок 4.4.1. Схеми руху води в тонкому шарі: а – прямочна, б – протиточна, в – перехресна

Тонкошарове відстоювання застосовується при необхідності скорочення об'єму очисних споруд при незмінному ефекті прояснення або при необхідності підвищення ефективності існуючих відстійників. У першому випадку тонкошарові відстійники є самостійними спорудами, у другому – існуючі відстійники доповнюються тонкошаровими модулями, розташовуваними в модифікованому відстійнику. Тонкошарові блоки можуть вбудовуватися в горизонтальні (рис. 4.4.2), вертикальні або радіальні відстійники.

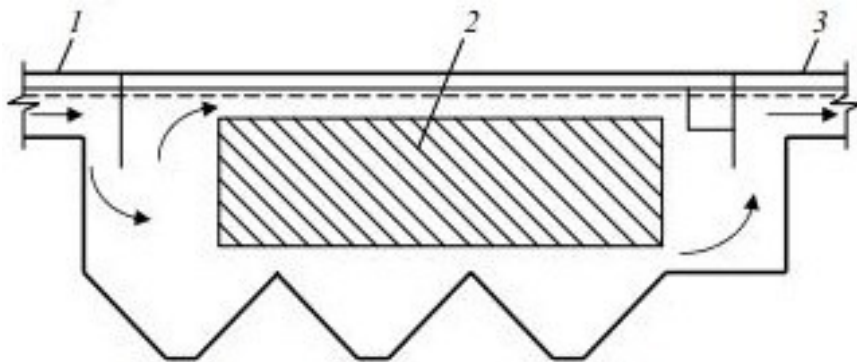


Рисунок 4.4.2. Горизонтальний відстійник з тонкошаровими блоками: 1 – подача води; 2 – тонкошаровий блок; 3 – відведення проясненої води

## Розділ 5

### Модель осадження часток домішки у відстійнику

В лабораторії кафедри гідравліка та водопостачання були проведені експериментальні дослідження для визначення швидкості осадження часток домішки у відстійнику. Лабораторна модель відстійника показана на рис.5.1.



Рисунок 5.1 – Модель відстійника

В якості домішки використовувався мілко дрібний пісок. Цей пісок надавався при вході у відстійник . При роботі відстійник цей пісок осаджувався на дні відстійника . На рис.5.2 показана підготовка відстійника до проведення експерименту.



Рисунок 5.2 Підготовка відстійника до проведення експерименту.

Як відомо, швидкість осадження домішки в відстійнику- є дуже важливим параметром, що впливає на ефективність роботи очисної споруди.

В даній роботі побудовано математичну модель розрахунку швидкості осадження часток піску в залежності від їх розмірів. Експериментальні дослідження проводились для часток піску різного діаметру. Для відбору часток з однаковим діаметром використовувались спеціальні сита. Експериментальні дослідження проводились для кожної фракції піска. Значення швидкості осадження усереднювались для кожного опиту, що проводився для конкретної фракції піску. Для кожної фракції проводилось 5 експериментів .

В табл. 5.1 наведені отримані експериментальні дані щодо швидкості осадження часток піску.

Таблиця 5.1 Експериментальні дані відносно швидкості осадження часток піску

№ п.п.	Математичне очікування швидкості осадження $v, \text{см/с}$	Розмір частиц піску $d, \text{мм}$
1	9,7	0,92
2	12,4	0,97
3	15,6	1,18
4	17,6	1,36
5	23,3	1,74
6	26,3	2,32

Аналіз показав, що залежність  $v=f(d)$  лінійна. В цьому випадку рівняння залежності швидкості осадження має вигляд

$$v = a_0 + b \cdot d \quad (y = a_0 + b \cdot x).$$

Для визначення коефіцієнтів в рівнянні регресії  $a_0$  та  $b$  будемо використовувати формули статистичної обробки результатів експерименту [2, 3].

Для розрахунку базової залежності швидкості осадження часток домішки використовувалась програма «Статистика». В результаті розрахунків отримана така залежність

$$y=1,19+12,24 x \quad \text{або} \quad v=1,19+12,24$$

Якщо підставити в отримане рівняння значення діаметрів часток піску, то можливо визначити розрахункові значення швидкості осадження.

Середньоквадратичне відхилення результатів експерименту від значень рівняння регресії дорівнює:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (y_p - y_3)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{6,99}{6-1}} = 1,18 \text{ см/с}$$

Таким чином, з точки зору інженерної точності можна визначити, що розроблена модель швидкості осадження часток песку можна використовувати при розрахунку і проектуванні відстійників.

На другому етапі були проведені дослідження в лотку. Експерименти проводилися в гідравлічному лотку: розміри лотка: довжина 150 см, ширина 13 см, висота 14 см. У лотку встановлювалися пластини, які моделювали потік всередині горизонтального відстійника.

Проводилася імпульсна подача глини (протягом 0,4 - 0,8 с). У кожному експерименті подавалося  $m_0 = 6$  г глини. На виході з відстійника потік надходив в ємність, з якого далі видалялася домішка, висушувалася і зважувалася. Таким чином визначалася маса домішки  $m_2$ , яка не осіла у відстійнику. Тоді маса домішки, яка осіла в відстійнику, становила  $m_1 = m_0 - m_2$ . При проведенні експериментів об'ємна витрата становила в середньому  $345 \text{ см}^3/\text{с}$ .

Динаміка процесу розподілу домішки у відстійнику показана на рис. 5.3, 5.4.



Рисунок 5. 3 – Розподіл домішки ( $t = 0,1$  с)



Рисунок 5.4 – Розподіл домішки ( $t = 0,6$ );

Результати вимірювань і розрахунку маси домішки по побудованій моделі представлені в табл. 5.2. В табл.5.2 також наведені результати теоретичних розрахунків, що були отримані за допомогою трьох гідродинамічних моделей:

1. Модель №1 – модель потенціального руху (пакет програм «Течія » )
2. Модель №2 – модель ідеальної рідини (пакет програм «Течія - 2 »)
3. Модель №3 – модель в'язкої рідини (пакет програм «Течія - 3 »)

Ці пакети програм розроблені на кафедрі гідравліка та водопостачання університету ДНУЗТ, для використання студентами при виконанні дипломних робіт.

Таблиця 5.2 – Маса домішки, яка осіла у відстійнику, визначена експериментально і за допомогою CFD моделей.

№ експерименту	1	2	3	4	5	6	7
$m_1$ (експеримент), г	3,21	3,54	3,08	3,55	3,89	3,44	3,07
$m_1$ (розрахунок, модель 1), г	3,36	3,45	3,02	3,79	3,70	3,75	3,37
$m_1$ (розрахунок, модель 2), г	3,87	3,89	3,13	3,38	3,48	3,99	3,81
$m_1$ (розрахунок, модель 3), г	3,21	3,34	3,62	3,59	3,29	3,78	3,72

Результати проведених фізичних експериментів були оброблені із застосуванням методів статистики. Розраховувалися:  $\bar{m}_1$  – середнє значення

маси, що осіла в відстійнику;  $Dm_1 = m_1 - \bar{m}_1$  – відхилення;  $(Dm_1)^2$  – квадрат відхилення;  $s_n = \sqrt{\frac{\sum (Dm_1)^2}{n-1}}$  – стандартне відхилення. Результати статистичної обробки показані в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Статистична обробка результатів вимірювання маси домішки, що осіла

№	$m_1$	$\bar{m}_1$	$Dm_1$	$(Dm_1)^2$	$s_n$	$\Delta m_1$
1	3,21	2,62	0,11	0,0121	0,24	0,63
2	3,54		-0,10	0,01		
3	3,08		-0,06	0,0036		
4	3,55		-0,12	0,0144		
5	3,89		0,02	0,0004		
6	3,44		0,18	0,0324		
7	3,07		-0,06	0,0036		

Як видно з табл. 5.3, похибка становить 0,63 г.

Дані, що отримані експериментальним шляхом можна використовувати при розрахунку ефективності роботи відстійників для очистки стічних вод.

## Висновки

1. Виконано аналіз робіт з розрахунку і проектування відстійників. Виявлено, що питання моделювання процесів осадження часток у відстійниках є актуальною задачею, оскільки процес осадження є головним фактором очистки води в відстійниках.

2. Наведено аналіз конструктивних форм відстійників, які використовуються в теперешній час.

3. Розроблено регресіона модель процесу осадження домішок у відстійниках. Модель побудована на базі отриманих експериментальних даних.

4. На базі розробленої моделі виконани розрахунок по визначенню швидкості осадження часток песку в залежності від діаметру.

5. Проведено фізичний експеримент по дослідженню процесу осадження домішки.

## Список використаних джерел

1. А.с. 1353463 СССР, МКИ В 01 D 21/24. Отстойник / С.И. Эпштейн, В.И. Куклич, З.С. Музыкаина, Г.С. Пантелят, И.Н. Шабадаш, Л.В. Паринава. – № 3947659/22-26; заявл. 29.08.85; опубл. 23.11.87, Бюл. №43
2. А.с. 1710517 СССР, МКИ С 02 F 1/40, В 01 D 21/00. Тонкослойный отстойник / А.А. Абдураманов, Г.К. Егимбердиева. – № 4817148/26; заявл. 20.02.90; опубл. 07.02.92, Бюл. №5.
3. А.с. 1722528 СССР, МКИ В 01 D 21/08, С 02 F 1/52. Аппарат для осветления воды / Ю.А. Галкин, Л.Л. Кочнев, Г.С. Пантелят, С.Е. Никулин, А.Н. Царенко. – № 4853435/26; заявл. 19.07.90; опубл. 30.03.92, Бюл. №12.
4. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение / Н.Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1982. – 440 с.
5. Авраменко, М.И. О  $k - \varepsilon$  модели турбулентности / М.И. Авраменко. – Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2005 – 76 с.
6. Бабенко, С.П. Тонкошаровий елемент удосконаленої конструкції для видалення з води завислих речовин: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.04 «Водопостачання, каналізація» / С.П. Бабенко. – Харків: ХНУБА, 2014. – 22 с.
7. Беляев, Н. Н. Математическое моделирование массопереноса в горизонтальных отстойниках [монографія] / Н. Н. Беляев, В. А. Козачина. – Д.: Акцент ПП, 2015. – 115 с.
8. Беляев, Н.Н. Математическое моделирование массопереноса в отстойниках систем водоотведения [монографія] / Н.Н. Беляев, Е.К. Нагорная. – Д.: Нова ідеологія, 2012. – 112 с.
9. Козачина В.А. Математическое моделирование работы горизонтального отстойника / Н.Н. Беляев, В.А. Козачина // Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур. Присвячено 100-річчю створення Харківської каналізації: VI всеукраїнський науковий семінар, 15-16 жовтня 2014 р., м. Харків: тези за матеріалами. – Харків: ХНУБА, 2014. – С. 22-24.

10. Беляев, Н.Н. Моделирование процесса осветления воды в отстойниках / Н.Н. Беляев, В.А. Козачина, О.В. Полубинская // Проблемы та перспективи розвитку залізничного транспорту: 75 міжнародна науково-практична конференція, 14-15 травня 2015 р, м. Дніпро: тези за матеріалами. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – С. 313.

11. Беляев, Н.Н. Моделирование процесса очистки шахтных вод в горизонтальных отстойниках / Вісник Дніпропетровського національного університету. Серія Механіка. – Д.: ДНУ, 2015. – № 19. – С. 70-78.

12. Беляев, Н.Н. Снижение техногенной нагрузки на водоем при сбросе сточных вод за счет повышения эффективности отстойников / Н.Н. Беляев, Л.Ф. Долина, В.А. Козачина // Електромагнітна сумісність і безпека на залізничному транспорті. Науковий журнал. – Д.: ДНУЗТ, 2012. – Вып. №3. – С. 92-97.

13. Беляев, Н.Н. Усовершенствованная методика расчета горизонтального отстойника / Н.Н. Беляев, В.А. Козачина // Актуальні проблеми систем теплогазопостачання і вентиляції, водопостачання і водовідведення. Присвячено 50-річчю кафедри теплогазопостачання, вентиляції та санітарної техніки НУВГП: міжнародна науково-технічна конференція, 11-13 березня 2015 р., м. Рівне: тези за матеріалами. – Рівне: НУВГП, 2015. – С. 92-93.

14. Беляев, Н.Н. Численное исследование процесса осветления воды в горизонтальных отстойниках / Н.Н. Беляев, В.А. Козачина // Проблемы та перспективи розвитку залізничного транспорту: 74 міжнародна науково-практична конференція, 15-16 травня 2014 р, м. Дніпро: тези за матеріалами. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – С. 315-316.

15. Беляев, Н.Н. Численное моделирование процесса осветления шахтных вод в горизонтальном отстойнике / Н.Н. Беляев, Е.Ю. Гунько, В.А. Козачина // Геотехнічна механіка. Міжвідомчий збірник наукових праць. – К.: Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, 2014. – № 114 – С. 240-250.

16. Беляев, Н.Н. CFD моделирование процесса формирования осадка в горизонтальном отстойнике / Н.Н. Беляев, В.А. Козачина // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. – №3 (81). – С. 222-225.

17. Беляев, Н.Н. CFD моделирование процесса формирования осадка в горизонтальном отстойнике / Н.Н. Беляев, В.А. Козачина // Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд. Присвячено 85-річчю ХНУБА: VII міжнародна наукова конференція, 20-21 жовтня 2015 р., м. Харків: тези за матеріалами. – Харків: ХНУБА, 2015. – С. 14-15.

18. Беляев, Н.Н. CFD моделирование работы горизонтального двухэтажного отстойника с поворотом потока в вертикальной плоскости / Н.Н. Беляев, В.А. Козачина // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Д.: НГУ, 2014. – №45. – С. 152-157..

19. Беляев, Н.Н. CFD моделирование работы горизонтального отстойника со струенаправляющими пластинами / Беляев Н.Н., Козачина В.А // Вода та водоочисні технології. Науково-технічні вісті. – К., 2014. – №2 (15) – С. 50-55.

20. Василенко А.И. Проектирование канализации населенных мест / А.И. Василенко, А.А. Василенко. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – К.: Будівельник, 1985. – 136 с.

21. Василенко, О.А. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки: Навчальний посібник / О.А. Василенко, С.М. Епоян – Київ, Харків: КНУБА, ХНУБА, ТО Ексклюзив, 2012. – 540 с.

22. Водовідведення і очищення стічних вод міста. Навчальний посібник / [С.М. Епоян, Г.М. Смірнова, І.В. Корінько, С.П. Пашкова, В.Ю. Сорокіна, Г. Вевелер]. – Харків: Видавнича група «РА Каравела», 2003. – 144 с.

23. Водоотведение и очистка сточных вод. Учебник для вузов / [С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, В.И. Калицун]. – М.: Стройиздат, 1996. — 591 с.

24. Водопостачання (очистка природних вод) / С.М. Епоян, Г.І. Сухоруков, О.Г. Друшляк, В.В. Шилін. Навчальний посібник – Харків, ХДТУБА, 2001. – 191 с.
25. Водопостачання та очистка природних вод. Навчальний посібник / С.М. Епоян, В.Д. Колотило, О.Г. Друшляк, Г.І. Сухоруков, Т.С. Айрапетян. – Х.: Фактор, 2010. – 192 с.
26. Воронов, Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебное пособие / Ю.В. Воронов. - М.: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2009. – 760 с.
27. Гарбарук, А.В. Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений: учебное пособие / А.В. Гарбарук, М.Х. Стрелец, М.Л. Шур – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 88 с.
28. Гнедин, К.В. Режим работы и гидравлика горизонтальных отстойников / К.В. Гнедин. – Київ: Вид-во «Будівельник», 1974. – 223 с.
29. Гуревич, М. И. Теория струй идеальной жидкости / М.И. Гуревич. – М.: Наука, 1979. – 536 с.
30. Давидян, М.А. Моделирование работы тонкослойного отстойника с каналами для отвода осадка при очистке воды хозяйственно-питьевого назначения / Давидян М.А // Науковий вісник будівництва: збірник наукових праць. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010 – Вип. 60. – 5 с.
31. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування / К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – 2013. – 172 с.
32. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування / К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – 2013. – 128 с.
33. Демура, М.В. Проектирование тонкослойных отстойников / М.В. Демура – К.: Будівельник, 1981. – 50 с.

34. Душкин, С.С. Разработка научных основ ресурсосберегающих технологий подготовки экологически чистой питьевой воды / С.С. Душкин, Г.И. Благодарная. – Харьков: ХНАГХ, 2009. – 95 с.

35. Епоян, С.М. Використання активованих розчинів коагулянтів сульфату алюмінію в процесах підготовки питної води / С.М. Епоян, С.С. Душкін // Досягнення та перспективи розвитку водогосподарської галузі: до 100-річчя від дня народження Гаркуші М.А. – першого міністра меліорації і водного господарства України, Державне агентство водних ресурсів України, міжнар. наук.-практ. конф., 11-12 вересня 2014: тези за матеріалами – К., 2014. – С. 97-100.

36. Епоян, С.М. До розрахунку горизонтального відстійника з пористою полімербетонною перегородкою систем господарсько-питного водопостачання / С.М. Епоян, Д.Г. Сухоруков // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2012. – Вип. 68. – С. 244-248.