

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

Т. С. Айрапетян, С. М. Епоян, С. В. Лукашенко

ОЧИСНІ СПОРУДИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальностей 192, G19 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія»



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2026

Айрапетян Т. С. Очисні споруди водовідведення : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальностей 192, G19 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія» / Т. С. Айрапетян, С. М. Епоян, С. В. Лукашенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. – 126 с.

Автори:

канд. техн. наук, доц. Т. С. Айрапетян,
д-р техн. наук, проф. С. М. Епоян,
канд. техн. наук, доц. С. В. Лукашенко

Рецензенти:

О. Г. Гайдучок, кандидат технічних наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова);

Т. О. Шевченко, кандидат технічних наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 25.08.2025.

Конспект лекцій складено з метою допомогти здобувачам будівельних, екологічних спеціальностей ЗВО під час підготовки до занять та іспитів із курсу «Очисні споруди водовідведення».

© Т. С. Айрапетян, С. В. Лукашенко, 2026

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026

ЗМІСТ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.1 МЕХАНІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	6
1 СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ СТІЧНИХ ВОД.....	6
1.1 Поняття «стічні води». Утворення міських стічних вод.....	6
1.2 Класифікація забруднень стічних вод.....	8
1.3 Основні показники ступеня забруднення стічних вод.....	9
1.4 Визначення концентрації забруднень міських стічних вод.....	14
2 ОХОРОНА ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ВІД ЗАБРУДНЕННЯ СТІЧНИМИ ВОДАМИ.....	16
2.1 Класифікація водних об'єктів за видами водокористування. Санітарні умови випускання стічних вод у водойми.....	16
2.2 Самоочищення води у водних об'єктах.....	19
2.3 Розрахунок коефіцієнта змішування води водойми зі стічними водами.....	20
2.4 Визначення необхідного ступеня очищення стічних вод.....	21
3 МЕТОДИ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД. СХЕМИ ОЧИСНИХ СТАНЦІЙ.....	24
3.1 Методи очистки стічних вод і обробки осадів.....	24
3.2 Технологічні схеми очисних станцій.....	27
4 СПОРУДИ ДЛЯ МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	33
4.1 Решітки, дробарки, їхній розрахунок.....	33
4.2 Призначення і конструктивні відмінності пісковловлювачів.....	39
4.3 Переваги та недоліки різних типів пісковловлювачів.....	44
4.4 Розрахунок пісковловлювачів різних типів.....	45
4.5 Видалення і обробка піску.....	46
4.6 Первинні відстійники. Конструктивні типи відстійників.....	48
4.7 Розрахунок первинних відстійників.....	54
5 ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПЕРВИННОГО ВІДСТОЮВАННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	58
5.1 Попередня аерація.....	58
5.2 Освітлювачі з природною аерацією.....	59
5.3 Біокоагуляція.....	60

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.2 БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	64
6 БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У ПРИРОДНИХ ТА ШТУЧНИХ УМОВАХ.....	64
6.1 Класифікація методів біологічного очищення стічних вод.....	64
6.2 Біологічне очищення стічних вод у природних умовах. Поля зрошення і поля фільтрації.....	65
7 СПОРУДИ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У ШТУЧНО СТВОРЕНИХ УМОВАХ.....	73
7.1 Біологічні фільтри, їхня класифікація.....	73
7.2 Технологічні параметри роботи біофільтрів.....	75
7.3 Основні типи біофільтрів з об'ємним завантаженням.....	77
7.4 Біофільтри з площинним завантаженням.....	81
8 БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД В АЕРОТЕНКАХ.....	83
8.1 Суть процесу очищення в аеротенках.....	83
8.2 Класифікація аеротенків за основними ознаками. Конструкції аеротенків.....	85
8.3 Основні технологічні схеми очищення стічних вод в аеротенках...	87
8.4 Системи аерації в аеротенках.....	90
8.5 Технологічні характеристики роботи аераційних споруд.....	93
8.6 Розрахунок аеротенків.....	95
9 ВТОРИННІ ВІДСТІЙНИКИ.....	99
9.1 Класифікація і конструкції вторинних відстійників.....	99
9.2 Розрахунок вторинних радіальних відстійників.....	101
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.3 ЗНЕЗАРАЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	102
10 ЗНЕЗАРАЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД	102
10.1 Методи знезараження стічних вод.....	102
10.2 Змішувачі стічних вод із хлорною водою і контактні резервуари..	108
11 МЕТОДИ ТА СПОРУДИ ДЛЯ ДООЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	110
11.1 Очищення стічних вод у біологічних ставках.....	110
11.2 Доочищення стічних вод на фільтрах. Конструкції фільтрів.....	113

12 ОБРОБКА ТА ЗНЕШКОДЖЕННЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД.....	117
12.1 Склад і властивості осадів.....	117
12.2 Основні методи і споруди для обробки осадів стічних вод.....	118
12.3 Зброджування осадів у метантенках.....	119
12.4 Природне зневоднення осадів стічних вод на мулових майданчиках. Типи мулових майданчиків.....	120
12.5 Механічне зневоднення осадів стічних вод.....	122
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	124

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.1 МЕХАНІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

1 СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ СТІЧНИХ ВОД

1.1 Поняття «стічні води». Утворення міських стічних вод

У поняття стічні води входять різні за походженням, складом й фізико-хімічними властивостями води, які використовуються людиною для побутових і технологічних потреб. При цьому вода забруднюється, і її фізико-хімічні властивості змінюються. Стічні води різноманітні за складом, а отже, за своїми властивостями.

Розрізняють три основні категорії стічних вод залежно від їхнього походження:

- господарсько-побутові;
- виробничі;
- атмосферні.

Побутові стічні води утворюються в житлових, адміністративних й комунальних (лазні, пральні тощо) будинках, а також у побутових приміщеннях промислових підприємств. Це стічні води, які надходять у водовідвідну мережу від санітарних приладів (умивальників, раковин або мийок; ванн, унітазів і трапів – приладів із решітками, розташованих на підлозі). Вони містять фізіологічні виділення людей, а також господарські відходи: залишки продуктів харчування, пісок, мило і пральні засоби, тканину, папір тощо. Господарсько-побутові стічні води можна розглядати як розбавлену суміш сечі і фекалій, кухонних (стоки від приготування їжі та миття посуду) і банно-пральних стоків (стоки від гігієнічних процедур і прання білизни). Особливістю господарсько-побутових стічних вод є відносна постійність їхнього складу, що зумовлюється подібністю фізіології людини та її господарської діяльності.

Виробничі стічні води утворюються в процесі виробництва різних товарів, виробів, продуктів, матеріалів тощо. Виробничі стічні води надзвичайно різноманітні за кількістю і складом, які, зі свого боку, залежать від виду виробництва, сировини і технології, що застосовується. Забруднення, характерні для виробничих стічних вод, умовно поділяють на п'ять категорій: біологічно нестійкі органічні сполуки; малотоксичні органічні солі; нафтопродукти; біогенні сполуки; речовини зі специфічними токсичними властивостями, зокрема важкі метали, біологічно жорсткі органічні синтетичні сполуки, що не розкладаються.

Виробничі стічні води, що містять органічні речовини, а також токсичні домішки, що перешкоджають біохімічному окисленню цих органічних речовин, попередньо проходять локальне очищення з метою видалення токсичних домішок, після чого скидаються в міську каналізацію.

Стічні води багатьох виробництв, окрім розчинних неорганічних і органічних речовин, містять колоїдні домішки, а також завислі грубодисперсні

й дрібнодисперсні домішки, щільність яких може бути більшою або меншою за щільність води.

Скидання виробничих стічних вод у міську каналізацію регламентується правилами прийому виробничих стічних вод у системи каналізації населених пунктів.

Надходження виробничих стічних вод у міську каналізацію може бути рівномірним чи нерівномірним, безперервним або залповим, цілорічним чи сезонним.

Атмосферні стічні води утворюються в процесі випадіння дощів і танення снігу як на житловій території населених пунктів, так і території промислових підприємств, АЗС тощо. До цієї категорії стічних вод належать поталі води, а також води від поливання вулиць.

Атмосферні стічні води у сучасних містах містять, крім піску і сміття, що змиваються з бруківок, також і органічні речовини, тому за своїм складом вони часто можуть належати до слабкозабруднених побутових стічних вод.

Забруднення території промислових підприємств призводить до появи в зливових водах домішок, характерних для цього виробництва. Відмінною рисою зливого стоку є його епізодичність і різко виражена нерівномірність за витратами й концентраціями забруднень.

Залежно від системи каналізації господарсько-побутові і виробничі, або господарсько-побутові, виробничі й атмосферні стічні води надходять до міської каналізаційної мережі, утворюючи міські стічні води.

Залежно від гідрогеологічних умов місцевості, характеру виробничих процесів у певному регіоні, витрати води на господарсько-побутові й виробничі цілі вибирається та або інша система водовідведення й, відповідно, схема водовідвідної мережі.

Всі зазначені вище стічні води потребують обов'язкового очищення в разі їх відведення у відкриті водойми, оскільки в них містяться різні забруднюючі речовини у концентраціях, що значно перевищують допустимі.

Різний ступінь забруднення стічних вод й природа їхнього утворення вимагають під час проектування спільного або роздільного відведення окремих видів стічних вод, спільного або роздільного їх очищення.

Основними характеристиками стічних вод є: кількість стічних вод, що характеризується витратою, вимірюваною в л/с або м³/с, м³/год, м³/зміну, м³/добу тощо; види забруднень та їхній вміст у стічних водах, що характеризується концентрацією забруднень, вимірюваною в мг/л або г/м³. Важливою характеристикою стічних вод є ступінь рівномірності (або нерівномірності) їхнього утворення й надходження у водовідвідні системи. Зазвичай вона визначається нерівномірністю надходження стічних вод за годинами доби у році. Ці характеристики враховуються під час проектування водовідвідних систем.

1.2 Класифікація забруднень стічних вод

Стічні води надзвичайно різноманітні за своїм складом, а отже, і за своїми властивостями. Знання складу стічних вод і характеру наявних домішок є головною умовою, яка дозволяє правильно вибрати методи їхнього очищення і скласти оптимальну технологічну схему очисних споруд. Забруднення, що містяться в стічних водах, можуть бути класифіковані за різними ознаками, найважливішими з яких є їхнє походження і фазово-дисперсний стан. Стічні води перед скиданням у водойми повинні бути очищені на очисних спорудах. Для цього необхідно знати склад стічних вод та їхню якість.

За походженням забруднення поділяють на: мінеральні, органічні, біологічні та бактеріальні.

До мінеральних забруднень належать пісок, глинисті частинки, шлак, розчини мінеральних солей, кислот і лугів, мінеральні масла тощо.

Органічні забруднення бувають рослинного і тваринного походження. До забруднень рослинного походження належать залишки овочів, фруктів, злаків, паперу тощо. Основним хімічним елементом цього виду забруднень є вуглець. До забруднень тваринного походження належать фізіологічні виділення людей і тварин, залишки м'язових і жирових тканин тварин, клейові речовини тощо. Вони характеризуються значним вмістом азоту. Органічні забруднення за хімічним складом поділяють на безазотисті, які містять вуглець, водень і кисень, та на азотовмісні.

Основа безазотистих органічних домішок господарсько-побутових стічних вод складають вуглеводи і жири. З вуглеводів у стічних водах найчастіше зустрічаються моносахариди – глюкоза, лактоза (молочний цукор) і дисахарид – сахароза. Компонентами господарсько-побутових стічних вод є також такі полісахариди, як целюлоза і крохмаль, які, на відміну від простих вуглеводів, не розчиняються у воді. У стічних водах целюлоза знаходиться у завислому стані, складаючи значну частину твердої фази.

Забруднення мінерального й органічного походження, що містяться у побутових стічних водах, перебувають у нерозчинених, розчинених і колоїдному станах. Частину нерозчинених забруднень, затримуваних під час аналізів на паперових фільтрах, називають завислими речовинами. Найбільшу санітарну небезпеку становлять забруднення органічного походження. Вміст органічних забруднень, що перебувають у розчиненому стані, оцінюється значеннями біохімічної потреби у кисні (БПК) і хімічної потреби у кисні (ХПК). Побутові стічні води мають БПК = 100–400 мг/л, а ХПК = 150–600 мг/л, тому їх можна оцінити як сильно забруднені. У разі зберігання вони здатні загнивати через 12–24 год (за температури 20 °С).

Для міських стічних вод кількість забруднень органічного походження доволі значна і складає 45–58 %. Мінеральні речовини і забруднення становлять відповідно 42–55 %.

Органічні забруднення стічних вод є сприятливим середовищем для розвитку різноманітних мікроорганізмів і бактерій, які складають так зване

біологічне і бактеріальне забруднення стічних вод і зумовлюють їхню епідемічну небезпеку. Розрізняють:

- сапрофітні бактерії (безпечні) (найпростіші, водорості, личинки комах, дріжджі, плісняві грибки);
- хвороботворні бактерії (збудники черевного тифу, паратифу, дизентерії).

Згідно з відомою класифікацією домішок за їхнім фазово-дисперсним станом, розробленою академіком Л. А. Кульським, усі домішки стічних вод незалежно від їхньої природи поділені на чотири групи відповідно до розмірів частинок.

Першу групу домішок складають нерозчинні речовини, що знаходяться у воді у вигляді крупних завислих частинок діаметром більше десятих часток міліметра, а також у вигляді суспензії, емульсії й піни (частинки розміром від десятих часток міліметра до 0,1 мк).

Другу групу домішок складають речовини колоїдного ступеня дисперсності з розміром частинок від 0,1 мк до 0,001 мк.

Домішки третьої групи знаходяться у вигляді молекулярно-дисперсних частинок діаметром менше за 0,001 мк й утворюють у воді істинні розчини.

Домішки четвертої групи мають розміри частинок менше за 0,0001 мк, що відповідає іонному ступеню дисперсності. Це переважно луги, кислоти та їхні солі. Деякі з них, зокрема амонійні солі й фосфати, частково вилучаються зі стічних вод під час біологічного очищення на міських очисних спорудах.

Витрата побутових вод із 1 га площі кварталів міста зазвичай дорівнює 0,3–2 л/с (питома витрата) або 10 000–60 000 м³/рік. У водовідвідну мережу вони надходять порівняно нерівномірно за годинами доби. У денний час витрата більше, ніж у нічний час, витрати за годинами доби можуть змінюватися у 2–5 разів.

Виробничі стічні води різних галузей промисловості істотно відрізняються як за складом забруднюючих речовин, так і за їхніми концентраціями. Виробничі стічні води утворюються в результаті технологічних процесів. Якість стічних вод і концентрація забруднюючих речовин визначаються видом виробництва й вихідної сировини, режимом технологічних процесів.

1.3 Основні показники ступеня забруднення стічних вод

Аналіз стічних вод необхідний для визначення методу їх очищення, можливості випуску у водойми, наявності в них цінних чи токсичних домішок.

Склад стічних вод та їхні властивості оцінюють за результатами санітарно-хімічного аналізу, що містить поряд зі стандартними хімічними тестами низку фізичних, фізико-хімічних і санітарно-бактеріологічних визначень.

Повний санітарно-хімічний аналіз передбачає визначення таких показників: температура, забарвлення, запах, прозорість, величина рН, сухий залишок, щільний залишок і втрати під час проколювання, завислі речовини, що осідають за об'ємом й за масою, перманганатна окисність, хімічна потреба

в кисні (ХПК), біохімічна потреба в кисні (БПК), азот (загальний, амонійний, нітритний, нітратний), фосфати, хлориди, сульфати, важкі метали й інші токсичні елементи, поверхнево-активні речовини, нафтопродукти, розчинений кисень, мікробне число, бактерії групи кишкової палички (БГКП), яйця гельмінтів. Крім перерахованих показників, до обов'язкових тестів повного санітарно-хімічного аналізу на міських очисних станціях належить визначення специфічних домішок, що надходять до водовідвідної мережі населених пунктів від промислових підприємств.

Температура – один із визначальних факторів процесу седиментації. Найважливіше значення має температура для біологічних процесів очищення, тому що від неї залежать швидкості біохімічних реакцій і розчинність кисню у воді.

Забарвлення – один з органолептичних показників якості стічних вод. Господарсько-фекальні стічні води зазвичай слабо забарвлені й мають жовтувато-буруваті або сірі відтінки. Наявність інтенсивного кольору різних відтінків свідчить про наявність виробничих стічних вод. Для забарвлених стічних вод визначають інтенсивність кольору за розведенням до безбарвних, наприклад 1 : 400; 1 : 250 тощо.

Запах – органолептичний показник, що характеризує наявність у воді летких речовин, що пахнуть. Зазвичай запах визначають якісно за температури проби 20 °С і описують як фекальний, гнильний, гасовий, фенольний тощо. За неясно вираженого запаху визначення повторюють, підігріваючи пробу до 65 °С. Іноді необхідно знати порогове число – найменше розведення, за якого запах зникає.

Концентрація іонів водню виражається величиною рН. Цей показник надзвичайно важливий для біохімічних процесів, швидкість яких може істотно знижуватися у разі різкої зміни реакції середовища. Встановлено, що стічні води, які подаються на споруди біологічного очищення, повинні мати значення рН у межах 6,5–8,5. Виробничі стічні води (кислі або лужні) повинні бути нейтралізовані перед скиданням у водовідвідну мережу, щоб запобігти її руйнуванню. Міські стічні води зазвичай мають слабколужну реакцію середовища (рН = 7,2–7,8).

Прозорість характеризує загальне забруднення стічної води нерозчиненими й колоїдними домішками, не ідентифікуючи вид забруднень. Прозорість міських стічних вод зазвичай становить 1–3 см.

Сухий залишок характеризує загальне забруднення стічних вод органічними й мінеральними домішками в різних агрегованих станах (у мг/л). Визначається цей показник після випарювання й подальшого висушування за температури 105 °С проби стічної води. Після проколювання (за температури 600 °С) визначається зольність сухого залишку. За цими двома показниками можна судити про співвідношення органічної й мінеральної частин забруднень у сухому залишку.

Щільний залишок – це сумарна кількість органічних і мінеральних речовин у профільтрованій пробі стічних вод (у мг/л). Визначається за таких самих умов, що й сухий залишок. Після прожарювання щільного залишку за

температури 600 °С можна орієнтовно оцінити співвідношення органічної й мінеральної частин розчинних забруднень стічних вод. Під час порівняння прожарених сухих і щільних залишків міських стічних вод визначено, що більша частина органічних забруднень перебуває в нерозчиненому стані. При цьому мінеральні домішки більшою мірою перебувають у розчиненому вигляді.

Завислі речовини – показник, що характеризує кількість домішок, що затримується на паперовому фільтрі під час фільтрування проби. Це один з найважливіших технологічних показників якості води, що дозволяє оцінити кількість осадів, що утворюються в процесі очищення стічних вод. Крім того, цей показник використовується як розрахунковий параметр під час проектування первинних відстійників. Кількість завислих речовин – один з основних нормативів під час розрахунку необхідного ступеня очищення стічних вод. Втрати під час прожарювання завислих речовин визначаються так само, як для сухого й щільного залишків, але виражаються зазвичай не у мг/л, а у вигляді процентного відношення мінеральної частини завислих речовин до їхньої загальної кількості за сухою речовиною. Цей показник називається зольністю. Концентрація завислих речовин у міських стічних водах зазвичай становить 100–500 мг/л.

Осідаючі речовини – частина завислих речовин, що осідають на дно відстійного циліндра за 2 год відстоювання у стані спокою. Цей показник характеризує здатність завислих частинок до осідання, дозволяє оцінити максимальний ефект відстоювання й максимально можливий обсяг осаду, що може бути отриманий в умовах спокою. У міських стічних водах осідаючі речовини в середньому становлять 50–75 % загальної концентрації завислих речовин.

Під *окисністю* розуміють загальний вміст у воді відновників органічної й неорганічної природи. У міських стічних водах переважну частину відновників становлять органічні речовини, тому вважається, що величина окисності повністю ставиться до органічних домішок. Окисність – груповий показник. Залежно від природи використовуваного окислювача розрізняють хімічну окисність, якщо під час визначення використовують хімічний окислювач, і біохімічну, коли роль окисного агента виконують аеробні бактерії – цей показник – біохімічна потреба у кисні – БПК. Зі свого боку, хімічна окисність може бути перманганатною (окислювач KMnO_4), біхроматною (окислювач $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) й іодатною (окислювач KIO_3). Результати визначення окисності незалежно від виду окислювача виражають у мг/л O_2 . Біхроматну й іодатну окисність називають хімічною потребою у кисні або ХПК.

Перманганатна окисність – кисневий еквівалент домішок, що легко окислюються. Основна цінність цього показника – швидкість і простота визначення. Перманганатна окисність використовується з метою одержання порівняльних даних. Проте є такі речовини, які не окислюються KMnO_4 . Визначаючи ХПК, можна доволі повно оцінити ступінь забруднення води органічними речовинами.

БПК – кисневий еквівалент ступеня забруднення стічних вод біохімічно окислювальними органічними речовинами. БПК визначає кількість кисню, необхідного для життєдіяльності мікроорганізмів, що беруть участь в окислюванні органічних сполук. БПК характеризує біохімічно окислювальну частину органічних забруднень стічної води, що перебувають насамперед у розчиненому й колоїдному станах, а також у вигляді суспензії.

БПК називається кількість кисню, що витрачається на біохімічне окиснення органічних речовин, виражається в мг/л, г/м³. БПК визначається в пробі стічної води за температури 20 °С, попередньо відстояної протягом 2 год.

Пробу поміщають у посудину з притертою кришкою і ставлять у термостат до появи нітритів у кількості 0,1 мг/л. Це відбувається на 15–30-ту добу й супроводжується майже повним (99 %) споживанням кисню. У життєвих умовах неможливо витримувати такі терміни. До того ж, окиснення відбувається нерівномірно: так, на 1 добу споживається 20–21 % кисню від його загальної потреби, на 20 добу БПК₂₀ – 99 %. На 5 добу БПК₅ – 68 %, і тільки на 100 добу БПК_{повн.} – 100 %.

Під час експлуатації очисних споруд вважається, що

$$\text{БПК}_{\text{повн}} = \text{БПК}_{20} = \text{БПК}_5 / 0,68 = 1,5 \text{БПК}_5.$$

Експериментально визначена величина БПК_{повн} на одного мешканця $a = 40$ г/добу, коли рідину попередньо відстояють 2 години, а не вистояна – $a = 75$ г/добу на одного мешканця.

За величиною БПК можна визначити ступінь забруднення стічних вод розчиненими органічними речовинами. Чим більше БПК, тим більше забруднена вода органічними сполуками.

Хімічна потреба в кисні. Загальна кількість кисню, необхідна для перетворення вуглецю органічних сполук на вуглекислоту, водню на воду, азоту на аміак, сірки на сірчаний ангідрид, називається хімічною потребою в кисні й позначається ХПК. ХПК більше за БПК.

БПК не характеризує всієї кількості органічних речовин, оскільки:

– частина органічних речовин узагалі не підлягає біохімічному окисненню;

– частина органічних речовин витрачається на приріст мікроорганізмів.

Тому використовуються хімічні методи окиснення. Для визначення ХПК пробу стічної води змішують із чистою концентрованою сірчаною кислотою, додають йодид калію або солі хромової кислоти, що віддають свій кисень для окиснення. Окиснення проводиться під час кип'ятіння. $\text{БП} = 0,86 \text{ХПК}$.

Азот перебуває в стічних водах у вигляді органічних і неорганічних сполук. У міських стічних водах головну частину органічних азотних сполук складають речовини білкової природи – фекалії та харчові відходи. Неорганічні сполуки азоту представлені відновленими NH_4^+ і NH_3^+ і окисленими NO_2^- і NO_3^- формами. Велика частина амонійного азоту утворюється під час гідролізу сечі, яка є кінцевим продуктом азотного обміну людини. У вигляді аміаку або сечовини в побутових стічних водах наявні 80–90 % всіх азотовмісних речовин.

Концентрація різних форм азоту в стічних водах не постійна, вона змінюється як в мережах водовідведення, так і на різних етапах очищення. Трансформація азотовмісних сполук починається вже в процесі транспортування стічних вод на міські очисні споруди. У міських стічних водах до їхнього очищення азоту в окислених формах (у вигляді нітритів і нітратів) зазвичай немає. Нітрити й нітрати відновлюються групою денітрифікуючих бактерій до молекулярного азоту. Окислені форми азоту можуть з'явитися в стічній воді лише після біологічного очищення.

Вміст *фосфатів* у міських стічних водах знаходиться в межах 5–10 мг/л і зумовлюється фізіологічними виділеннями людей, відходами господарської діяльності людини і деякими видами виробничих стічних вод. В очищених стічних водах вміст фосфатів складає 1,5–5 мг/л. В останні роки вміст фосфатів у стічних водах різко збільшується, тому що до 40 % маси багатьох синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР) складають поліфосфати.

Вміст азоту й фосфору має особливе значення для біологічного очищення стічних вод. Азот і фосфор є біогенними елементами, тобто входять до складу живих бактеріальних клітин. У разі їхньої недостатньої кількості біологічне очищення стічних вод може гальмуватися, а за їх повної відсутності – стає взагалі неможливим. Відповідно до будівельних норм співвідношення БПК_{повн} : N : P повинно відповідати 100 : 5 : 1.

Вміст *хлоридів і сульфатів* у господарсько-побутових стічних водах незначний і зумовлюється їхнім вмістом у водопровідній воді. Однак у виробничих стічних водах їх може міститися значно більше, тому в суміші господарсько-побутових і виробничих стічних вод, яка надходить на очисні споруди, вміст хлоридів і сульфатів становить відповідно близько 180–300 мг/л та 80–160 мг/л.

На міських очисних спорудах вміст хлоридів і сульфатів практично не змінюється, а їхні концентрації в стічних водах не мають суттєвого значення ні для фізико-хімічних, ні для біологічних процесів очищення води. Хлориди не впливають на біохімічні процеси навіть у разі концентрацій до 10 г/л, далі для запобігання засоленню водойм, у які відводяться стічні води, скидання високо мінералізованих виробничих стічних вод у міську каналізацію заборонене.

У забруднених стічних водах *розчиненого кисню* зазвичай немає або його концентрація не перевищує 0,5–1 мг/л. Для нормальної життєдіяльності мікроорганізмів – біоокислювачів мінімальний вміст розчиненого кисню становить 2 мг/л. Вміст розчиненого кисню в очищених стічних водах є нормованим показником і становить не менше 4 мг/л, якщо водойма належить до об'єктів господарсько-питного і культурно-побутового водокористування, і 6 мг/л, якщо стічні води скидаються у водойму рибогосподарського водокористування.

Санітарно-бактеріологічні показники містять: визначення загальної кількості аеробних сапрофітів (мікробне число), бактерій групи кишкової палички (БГКП) і аналіз на яйця гельмінтів.

Стічні води є дуже небезпечними у санітарно-епідемічному відношенні. Ступінь забруднення води патогенними мікроорганізмами оцінюють

опосередковано за наявності у воді БГКП, які належать до родів *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*. Найбільше санітарно-показове значення має рід *Escherichia*. Наявність коліформ у воді свідчить про її фекальне забруднення, а їхня кількість дозволяє оцінити ступінь цього забруднення.

Під час оцінювання санітарно-епідемічної небезпеки стічних вод визначають також вміст *яєць гельмінтів*. Цей показник характеризує загальну й видову ураженість населення гельмінтозами й дозволяє оцінити рівень санітарного стану населеного пункту.

1.4 Визначення концентрації забруднень міських стічних вод

Концентрацію забруднень, які надходять на очисні споруди, визначають хімічним аналізом або розрахунком. Для побутових стічних вод виходять із норм водовідведення на одного мешканця, для виробничих – за технологічними даними або хімічним аналізом. Основними визначальними критеріями забруднення стічних вод є значення БПК, ХПК, концентрація завислих речовин, азоту амонійних солей, фосфатів, хлоридів та поверхнево-активних речовин (ПАР).

Кількість завислих речовин у побутових стічних водах складає близько 65 г сухої речовини на одного мешканця на добу. В середньому 40 г (60–75 %) цієї кількості випадає в осад.

Кількість розчинних органічних речовин, які визначаються їхнім кисневим еквівалентом БПК_{повн}, складає 75 г на одну людину на добу в неосвітлених стічних водах.

Концентрацію забруднень побутових стічних вод у міліграмах на літр за кількістю завислих речовин, БПК, кількістю амонійного азоту, фосфатів (P₂O₅) і хлоридів визначають за такою формулою:

$$C = a \times 1000 / n \quad , \quad (1.1)$$

де a – кількість забруднень на одного мешканця на добу, г/(мешк. × добу),

n – норма водовідведення, л/(мешк. × добу).

Для побутових стічних вод на основі статистичної обробки фізико-хімічних аналізів цих вод встановлено таку кількість забруднюючих речовин на одного мешканця, г/добу [5].

Таблиця 1.1 – Середньодобова кількість забруднень на одного мешканця

Показники	Кількість забруднюючих речовин на одного мешканця, г/добу
Завислі речовини	65
БПК _{повн} неосвітлених вод	75
БПК _{повн} освітлених стічних вод	40
Азот амонійних солей	8
Фосфати (P ₂ O ₅)	3
Зокрема від миючих речовин	1,6
Хлориди	9
Поверхнево-активні речовини (ПАР)	2,5

Побутові стічні води надходять на каналізаційні стічні споруди разом з виробничими, тому необхідно розрахувати концентрацію забруднення суміші:

$$C_c = \frac{C^{nob} \cdot Q^{nob} + \sum C^{mn} \cdot Q^{mn}}{Q^{nob} + \sum Q^{mn}}, \quad (1.2)$$

де C^{nob} , C^{mn} – концентрація забруднень побутових і виробничих стічних вод, мг/л;

Q^{nob} , Q^{mn} – середньодобова витрата побутових і виробничих СВ, м³/добу.

Вплив виробничих стічних вод на склад міських стічних вод може враховуватись за еквівалентною кількістю мешканців.

Еквівалентна кількість мешканців N_{ekv} – це умовна кількість мешканців, які вносять таку саму масу забруднень, як і витрату промислових стічних вод. Визначається за такою формулою:

$$N_{ekv} = \frac{\sum Q_p C_p}{a}, \quad (1.3)$$

де Q_p – середньодобова витрата промислових стічних вод окремих підприємств, м³/добу;

C_p – концентрація забруднень промислових стічних вод, г/м³;

a – кількість цих забруднень, що вносить у стічні води 1 особа за добу, г.

Еквівалентну кількість мешканців визначають за завислими речовинами, БПК й іншими видами забруднень.

Приведена кількість мешканців дорівнює сумі еквівалентної й розрахункової кількості мешканців:

$$N_{priv} = N + N_{ekv}, \quad (1.4)$$

де N – розрахункова кількість населення, яку обирають відповідно до проєкту забудови населеного місця.

Питання для самоперевірки

1. Як класифікують стічні води?
2. Охарактеризуйте побутові стічні води.
3. Які основні забруднення характерні для побутових стічних вод?
4. Охарактеризуйте промислові стічні води.
5. Охарактеризуйте атмосферні стічні води.
6. Які є джерела забруднення поверхневого стоку?
7. Які основні забруднення характерні для виробничих та атмосферних стічних вод?
8. Як утворюються так звані «міські» стічні води?
9. Які основні забруднення за походженням характерні для різних видів стічних вод?
10. Які основні забруднення за фізичним станом характерні для різних видів стічних вод?
11. Що називають БПК? Стандартні умови для його визначення. Чим відрізняється БПК₅ від БПК_{повн.}?

2 ОХОРОНА ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ВІД ЗАБРУДНЕННЯ СТІЧНИМИ ВОДАМИ

2.1 Класифікація водних об'єктів за видами водокористування. Санітарні умови випускання стічних вод у водойми

Стічні води, які скидаються у водойми, можуть спричиняти зміну фізичного стану води (прозорість, забарвлення, запах, присмак), появу плаваючих речовин та утворення осадів на дні, зміну хімічного стану, зменшення кількості розчиненого кисню, зміну кількості та виду бактерій. Усе це може зробити водойму не придатною для питного, технічного водопостачання, у ній гине риба. Самоочищення води у водоймі проходить у два етапи:

- 1) перемішування забрудненого струменя з усією масою води;
- 2) самоочищення, за якого проходить процес мінералізації органічних речовин та відмирання занесених бактерій.

За «Правилами охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами» водойми поділяються на два типи:

- водойми питного та культурно-побутового призначення;
- водойми рибогосподарського призначення.

Кожний з цих типів ще поділяється на два види, і для кожного з них встановлена гранична межа забруднення за певними показниками (табл. 2.2).

До першої категорії належать види водокористування, які потребують підвищення вимог до якості води водоймищ і вживаються для питного водопостачання або для зберігання та відтворення цінних порід риб.

До другої категорії належать види водокористування, які мають культурно-побутове призначення або використовуються для різноманітних рибогосподарських цілей.

Так, розчинний кисень повинен бути для першого типу – 4 мг/дм³, для другого (за видами) – 6 мг/дм³ і 4 мг/дм³ узимку, 6 мг/дм³ – улітку; БПК₅ – 3 мг/дм³ і 6 мг/дм³ для першого типу, 2 мг/дм³ – для другого типу влітку та 6 мг/дм³ і 4 мг/дм³ узимку відповідно за видами водокористування.

Ступінь чистоти води у природних водних об'єктах регламентується *нормами якості води*, які є сукупністю встановлених допустимих значень показників складу і властивостей води водних об'єктів, у межах яких вдається надійно запобігати шкоди здоров'ю населення, забезпечуються нормальні умови водокористування та екологічне благополуччя водного об'єкта. Речовини, що спричиняють порушення норм якості води, називаються *забруднюючими*.

Під *якістю води* загалом розуміють характеристику її складу і властивостей, яка визначає придатність води для конкретних видів водокористування, при цьому *показниками якості* є ознаки, за якими здійснюється її оцінка.

За *санітарною* ознакою встановлюються мікробіологічні показники якості води: кількість мікроорганізмів та кількість бактерій групи кишкової палички в одиниці об'єму води. *Токсикологічні* показники якості води, що характеризують нешкідливість її хімічного складу, визначаються вмістом хімічних речовин, який не повинен перевищувати встановлених норм. Нарешті, під час визначення якості води враховують також її *органолептичні властивості* (що сприймаються органами чуття): температуру, прозорість, колір, запах, смак, жорсткість.

Умови випускання стічних вод у водойми регламентуються Правилами охорони поверхневих вод від забруднень стічними водами. Забороняється випускання у водойми стічних вод, які можуть бути використані в системах зворотного водопостачання або сільському господарстві для зрошення у разі дотримання необхідних санітарних вимог, а також утворення яких в результаті раціоналізації технології виробництва може бути припинено. Якщо ж це неможливо за тих чи інших причин, допускається випуск стічних вод у водойми з дотриманням умов, що викладені в правилах.

Відповідно до нормативного документа (Правила охорони поверхневих вод від забруднень стічними водами) у водні об'єкти забороняється скидати стічні води:

- які можуть бути усунуті шляхом удосконалення технології, максимального використання в системах оборотного водопостачання або шляхом створення безстічних виробництв;
- які містять цінні відходи або речовини, що можуть бути утилізовані;
- які містять речовини, для яких не встановлені гранично припустимі концентрації (ПДК);
- які містять кубові залишки й технологічні відходи.

Таблиця 2.2 – Вимоги до якості води водних об'єктів у розрахунковому створі водокористування

Види водокористування	Категорії Водокористування	Гранично допустима концентрація (ГДК), мг/л		
		БПК _{повн} , ЛГДК	Збільшення завислих речовин, СГДК	Розчинений кисень, ОГДК
Санітарно-побутове:				
– питне водопостачання;	I	3	0,25	4
– культурно-побутове	II	6	0,75	4
Рибогосподарське відтворення і збереження цінних порід риб.	I	3	0,25	6
Інші рибогосподарські цілі	II	3	0,75	6 (улітку) 4 (узимку)

За ГДК беруть ту максимальну концентрацію речовини, за якої не порушуються (не погіршуються) процеси мінералізації органічних речовин, органолептичні властивості води й організмів (риб, раків, молюсків) і не

допускаються токсичні властивості речовин, які можуть спричиняти порушення життєдіяльності (виживаність, розростання, розмноження, плодовитість) основних груп водних організмів (рослин, безхребетних тварин, риб), що відіграють важливу роль у формуванні якості води, створенні й трансформації органічної речовини.

Місця на водних об'єктах, де мають дотримуватися встановлених норм якості води, називають *контрольними створами* (на водотоках) або пунктами (на водоймах).

Належність водоймища до того чи іншого виду водокористування виконується органами Державного санітарного нагляду з урахуванням перспектив використання водоймищ.

Нагляд за виконанням умов скидання очищених стічних вод у водоймища здійснюють санітарно-епідеміологічні станції та басейнові інспекції.

Склад і властивості води водних об'єктів, що використовуються для господарсько-питних і культурно-побутових цілей, повинні відповідати нормативам якості води у створі, що розташований на відстані за один кілометр вище, ніж найближчий за течією пункт водокористування, а на непроточних водоймах і водосховищах – на відстані одного кілометра в обидва боки від вказаного пункту. Для водойм, що використовують у рибогосподарських цілях склад і властивості води повинні відповідати вимогам Правил на відстані 500 м вниз за течією річки від місця випускання стічних вод.

За наявності декількох випусків стічних вод у водойму та надходження речовин з однаковими лімітними показниками шкідливості, включно з домішками, що надходять від розташованих вище випусків, сума відношень концентрацій речовин у одному об'єкті з відповідним ГДК не повинна перевищувати одиниці:

$$\sum_i^n \frac{C_i}{ГДК_i} \leq 1. \quad (2.1)$$

Нормативні показники складаються із загальних показників і показників для шкідливих й отруйних речовин. До загальних показників належать: завислі речовини, домішки, що плавають, присмак, забарвлення, температура, рН, мінеральний склад, розчинений кисень, біологічна потреба в кисні (БПК), збудники захворювань. Шкідливі речовини теж входять у загальні показники, але оскільки вони дуже різноманітні, то для кожного з таких речовин установлені ПДК.

ПДК встановлюється за тією ж ознакою шкідливого впливу (вплив на здоров'я людини, на органолептичні властивості води або на загальносанітарний стан водойми), що характеризується найменшою граничною або підпороговою концентрацією. Тобто шкідливі речовини нормуються за принципом лімітуючого показника шкідливості (ЛПШ). Під ЛПШ розуміється найбільш імовірний несприятливий вплив найменших концентрацій шкідливої речовини.

За ЛПШ всі шкідливі речовини для водойм першої категорії розділені на три групи:

- речовини, що мають санітарно-токсикологічний ЛПШ;
- речовини, що мають загальносанітарний ЛПШ;
- речовини, що мають органолептичний ЛПШ.

Для рибогосподарських водойм забруднюючі речовини, крім перерахованих ЛПШ, можуть мати додатково рибогосподарський і токсикологічний.

Під ПДС розуміється маса речовини в стічних водах, максимально припустима для відведення з установленим режимом у певному пункті водного об'єкта за одиницю часу з метою забезпечення якості води в розрахунковому створі.

2.2 Самоочищення води у водних об'єктах

Водні об'єкти – приймачі стічних вод поділяють на дві основні групи:

1) проточні – річки, в яких вода рухається з відносно великими швидкостями;

2) слабо- або зовсім непроточні – водосховища і озера, постійна швидкість руху води в яких дорівнює нулю чи настільки мала, що під час розглядання питань змішування води нею можна знехтувати; помітне переміщення мас води в таких водоймах спричиняється лише дією вітру.

Забруднення водойм може відбуватися штучним і природним шляхом.

Природним – за рахунок відмирання тварин і рослин водоймищ, забруднень, що надходять із дощовими і талими водами.

Штучне – за рахунок спускання у водойму стічних вод. При цьому відбувається:

- поява речовин, що спливають;
- зміна прозорості і кольору;
- поява запаху і присмаку;
- зміна хімічних властивостей води (рН, кількість органічних і мінеральних домішок, поява токсичних речовин);
- зменшення розчиненого у воді кисню;
- поява хвороботворних бактерій.

Здатність водойми ліквідувати забруднення, що надходять до неї зі стічними водами називають самоочищувальною здатністю. Самоочищення водоймищ розглядають як сукупність процесів розведення, сорбції, осадження і перетворення забруднюючих речовин (біохімічне окиснення). Водойму можна розглядати як природну очисну споруду.

Самоочищувальна здатність водойми залежить від умов змішування та розведення стічних вод із водою водоймищ. Для задоволення санітарних вимог встановлюють гранично допустимий скид (ГДС) лімітуючих речовин з метою обмеження надходження забруднень до водойми зі стічними водами.

Рівняння матеріального балансу виглядає так:

$$\underbrace{qC_{ст.пр}}_{\text{ГДС}} + \underbrace{QC_{\phi}}_{\text{Фон}} = \underbrace{C_{пр}(q + \gamma Q)}_{\text{нормативний стан водоїми}}$$

Процес самоочищення водоїми від забруднень можна поділити на дві стадії: змішування забрудненого струменя масою води і безпосередньо самоочищення.

У проточній водоїмі стічні води, які надходять разом з річковою водою, що розводить їх, рухаються за течією річки. При цьому розрізняють такі зони: випускання стічних вод, практично повного змішування стічних вод з водою водоїми; найбільшого забруднення; відновлення, де закінчується процес самоочищення.

Інтенсивність процесу самоочищення залежить від багатьох факторів, зокрема від характеристики водоїми (швидкості течії, глибини тощо). Під час проєктування скиду стічних вод необхідно враховувати, що у проточних водоїмах процеси самоочищення зазвичай відбуваються швидше, ніж у непроточних.

Максимальне використання самоочисної спроможності водоїмищ дозволяє зменшувати кількість споруд для очищення стічних вод.

Основними факторами, параметрами розрахунку самоочисної спроможності водоїмища є:

- кратність розведення стічних вод із водою водоїмища;
- коефіцієнт змішування, що вказує, яка частина витрати річки змішується зі стічною рідиною.

Для попередніх розрахунків обирають для малих річок 0,75–0,80, для великих – 0,25–0,30.

На підставі рівняння балансу забруднень та витрат стічних вод і водоїмища з урахуванням кратності розведення і коефіцієнта змішування здійснюють технологічні розрахунки необхідного ступеня очищення та ГДС забруднень стічних вод за такими показниками: концентрацією завислих речовин, БПК_{повн}, розчиненому у воді водоїмища кисню, лімітними показникам шкідливості. Ці розрахунки дозволяють визначити необхідний ступінь очищення стічних вод, обрати відповідний метод очищення, розробити технологічний ланцюжок процесів і споруд для обробки стоків та визначити гранично допустимий скид (ГДС) забруднень під час спускання стічних вод у водоїмище.

2.3 Розрахунок коефіцієнта змішування води водоїми зі стічними водами

Ступінь змішування стічних вод з водою водоїми залежить від витрати води у водоїмі, швидкості течії, глибини, звивистості русла, гідравлічної характеристики ложа, витрати стічних вод, умов випуску (конструкції оголовку) та низки інших факторів.

Під час визначення ступеня змішування не можна враховувати всю витрату річки, оскільки поблизу місця випуску достатньо повного змішування ще немає – воно відбувається на деякій відстані від місця випускання.

Для врахування витрати річки, що бере участь у змішуванні, беруть коефіцієнт змішування γ , що показує, яка частина витрати річки змішується зі стічними водами у цьому створі. Під час випускання стічних вод у проточні водойми величину γ визначають за методом В. А. Фролова, І. Д. Родзіллера та А. В. Караушева за напівемпіричною залежністю:

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{q} e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}}, \quad (2.2)$$

де Q – витрата води (у разі 95-відсоткової забезпеченості) у створі річки в ділянці випускання, м³/с;

q – витрата стічних вод, м³/с;

L – відстань від місця випускання стічних вод до розрахункового створу за течією (фарватеру) річки, м;

e – основа натуральних логарифмів, яка дорівнює 2,72;

a – коефіцієнт, що враховує гідравлічні фактори змішування в річці, визначають за формулою

$$a = \varphi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{E/q}, \quad (2.3)$$

де φ – коефіцієнт хвилястості ріки, що дорівнює відношенню відстані від місця випускання стічних вод до контрольного створу за фарватером l_ϕ до відстані між цими ж пунктами по прямій, l_{np} , $\varphi = l_\phi/l_{np} = 1,1-1,2$ (необхідно врахувати, що контрольний створ, для якого визначають коефіцієнт змішування, розташовується на 1 км вище від розрахункового);

ξ – коефіцієнт, який залежить від конструкції випуску стічних вод у водойму: у разі берегового випуску $\xi = 1,0$, у разі випуску у фарватер $\xi = 1,5$, у разі дифузійного випуску $\xi = 3,0$;

E – коефіцієнт турбулентної дифузії, який для рівнинних річок визначають за формулою

$$E = V_p \cdot H_p / 200, \quad (2.4)$$

де V_p – середня швидкість течії ріки на ділянці, м/с;

H_p – середня глибина ріки на ділянці, м.

2.4 Визначення необхідного ступеня очищення стічних вод

Для визначення ступеня очищення стічних вод збирають та аналізують матеріали гідрогеологічної і гідробіологічної характеристик району і водоймищ: сезонні стоки та стоки для року 95-відсоткової забезпеченості; мінімальні середньомісячні літні й зимові витрати в розрахункових створах; гідравлічні характеристики русел для мінімальної середньодобової витрати 95-відсоткової забезпеченості в розрахункових створах.

Ступінь очищення стічних вод, що скидають у водойми визначають за кількістю завислих речовин, допустимою величиною БПК, кількістю

розчиненого у водоймі кисню, зміною активної реакції, температурою води водойми, допустимою концентрацією шкідливих речовин.

Зв'язок між санітарними вимогами до умов випускання стічних вод у водойми (відповідність складу і властивостей води у водоймі, що використовують для водокористування встановленим нормативом) і необхідним ступенем очищення стічних вод перед скиданням їх у водойму в загальному вигляді виражається такою нерівністю:

$$C_{ex}q + C_p \gamma Q \leq (\gamma Q + q)C_{ГДК}, \quad (2.5)$$

де C_{ex} – концентрація забруднень стічних вод після очищення;

q – витрата стічних вод, що скидається у водойму, м³/с;

C_p – концентрація забруднень у воді водойми вище випуску, мг/л;

$C_{ГДК}$ – гранично допустима концентрація забруднень у воді водойми, мг/л.

Із нерівності (2.5) визначають концентрацію шкідливих речовин, яка повинна бути отримана в результаті очищення і знезараження стічних вод.

$$C_{ex} = \left(\frac{\gamma Q}{q} + 1\right) \cdot C_{ГДК} + C_p. \quad (2.6)$$

Ступінь необхідної очистки визначають за такою формулою:

$$\Xi = \frac{C_{en} - C_{ex}}{C_{en}} \cdot 100. \quad (2.7)$$

Допустима концентрація завислих речовин у стічних водах, що скидають відповідно до санітарних правил може бути визначена за такою формулою:

$$C_{ex} = m \left(\frac{\gamma Q}{q} + 1\right) \cdot C_{ГДК} + C_p, \quad (2.8)$$

де m – допустиме збільшення вмісту завислих речовин у воді водойми після скидання стічних вод (залежно від категорії водокористування), г/м³;

C_p – вміст завислих речовин у водоймі до скидання стічних вод, г/м³.

Допустиму БПК стічних вод, що підлягають скиданню у водойму, L_{ex} розраховують на підставі балансу біохімічної потреби в кисні суміші річкової води й стічних вод у розрахунковому створі за такою формулою:

$$L_{ex} = \frac{\gamma Q}{q \cdot 10^{-k_1 t}} (L_{ГДК} - L_p \cdot 10^{-k_2 t}) + \frac{L_{ГДК}}{10^{-k_1 t}}, \quad (2.9)$$

де L_p – БПК_{повн} річкової води до місця випускання стічних вод, мг/л;

$L_{ГДК}$ – гранично допустима БПК суміші річкової і стічних вод у розрахунковому створі, мг/л;

k_1 і k_2 – константи швидкості споживання кисню стічною і річковою водою відповідно;

t – час переміщення води від місця випускання стічних вод до розрахункового пункту в кількості діб, що дорівнює відношенню відстані за фарватером від місця випускання стічних вод до розрахункового створу до середньої швидкості течії води в річці на цій ділянці.

Допустиму мінімальну величину БПК стічних вод, що скидають у водойму визначають з огляду на вимоги Правил [7] про збереження у водоймі мінімальної кількості розчиненого кисню після скидання стічних вод (6 мг/л для рибогосподарських і 4 мг/л для усіх інших водойм).

Температура стічних вод, за якої дотримуються санітарні умови відносно температури води у створі пункту водокористування:

$$T_{\omega} = \left(\frac{\gamma Q}{q} + 1 \right) T_N + T_r, \quad (2.10)$$

де T_r – максимальна температура води водойми до випуску стічних вод у літній час, °С;

T_N – допустиме (не більше ніж на 3 °С) підвищення температури води водойми.

Розрахунок допустимої максимальної величини БПК_{повн} стічних вод, які спускають у водойму з огляду на умови санітарних правил про збереження у водоймі мінімального вмісту розчиненого кисню C_o після скидання стічних вод (6 мг/л для рибогосподарських і 4 мг/л для усіх інших водойм) (табл. 2.2), виконують без урахування реаерації за рівнянням:

$$L = 2,5 \cdot \left(\gamma \cdot \frac{Q_p}{q} \right) \cdot (O_p - 0,4 \cdot L_p - O_{ГДК}) - \frac{O_{ГДК}}{0,4}, \quad (2.10)$$

де γ – коефіцієнт змішування;

Q_p – витрата води у водоймі, м³/с;

q – витрата стічних вод, які надходять до водойми, м³/с;

O_p – вміст розчиненого кисню в річковій воді до місця спускання стічних вод, мг/л;

L_p – БПК_{повн} річкової води, мг/л;

0,4 – коефіцієнт для перерахунку БПК_{повн} у дводобову;

$O_{ГДК}$ – мінімальна концентрація розчиненого кисню, мг/л, яка повинна зберігатися у воді водойми після випускання стічних вод (табл. 2.2).

Питання для самоперевірки

1. Яким чином визначають концентрацію забруднень у стічних водах?
2. За якими основними показниками визначають необхідний ступінь очищення стічних вод?
3. Як визначають ступінь очищення стічних вод за кількістю завислих речовин?
4. Якими нормативними документами визначені умови спускання стічних вод у водоймища?
5. Чому дорівнює граничне допустиме значення БПК стічних вод після скидання стічних вод у водойму?

3 МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД І СХЕМИ ОЧИСНИХ СТАНЦІЙ

3.1 Методи очищення стічних вод і обробки осадів

Технологія обробки стічних вод повинна забезпечити заданий ступінь очищення в разі мінімальних витрат. Залежно від необхідного ступеня очищення стічних вод і подальшого використання очищених вод можуть бути розглянуті різноманітні технологічні схеми. Традиційною для очищення побутових стічних вод є двоступінчаста схема, що містить механічну й біологічну очистку. Підвищенні вимоги до охорони навколишнього середовища і створення умов для використання очищених стічних вод у промисловості і сільському господарстві обумовили необхідність розробки технологічних схем із глибокою очисткою біологічно очищених стічних вод.

Очищують побутові стічні води механічним та біохімічним способами, бактерії знищують знезаражуванням (дезінфекцією).

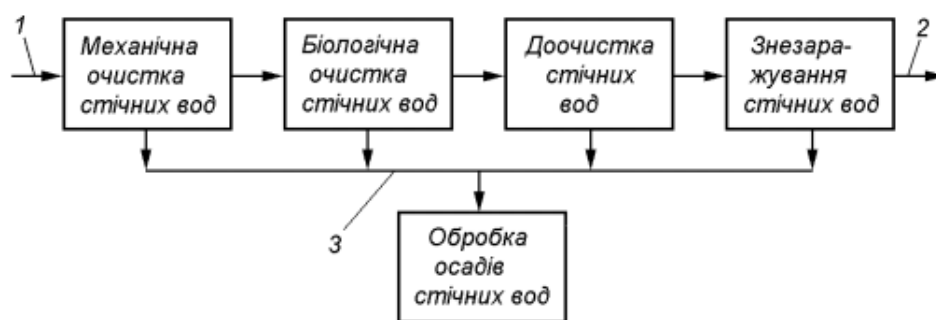


Рисунок 3.1 – Блок-схема процесу очищення стічних вод

Механічні методи очистки дозволяють осаджувати не більше 60 % завислих речовин.

Механічне очищення полягає у видаленні завислих і частково колоїдних частинок. З цією метою використовують такі споруди:

- *решітки* для видалення крупних часток (ганчірки, мочала, папір тощо);
- *пісковловлювачі* для затримання крупних мінеральних домішок (пісок, шлак тощо);
- *відстійники* для видалення завислих речовин, мулу.

Споруди, на яких здійснюють механічну очистку, розташовують в технологічній послідовності, що забезпечує видалення спочатку найбільш великих часток забруднень (решітки, сита), після чого речовини мінерального походження, переважно піску (пісковловлювачі різних типів, гідроциклони) і, нарешті, основної маси більш дрібних завислих речовин (відстійники різних типів).

Плаваючі речовини (жири, масла, нафтопродукти, смоли тощо) також видаляють у відстійниках. Для очистки стічних вод (зазвичай промислових) з

великим вмістом цих речовин передбачаються окремі споруди жиро- і маслоуловлювачі, нафтовловлювачі.

Механічна очистка під час обробки міських стічних вод є попередньою стадією перед біохімічною очисткою.

Біохімічні методи очистки засновані на використанні особливостей життєдіяльності мікроорганізмів, які окислюють органічні речовини, що знаходяться у стічних водах у вигляді тонких суспензій, колоїдів або в розчині. Біохімічним методом вдається майже повністю звільнитися від органічних забруднень, що залишилися в стічних водах після механічної очистки, а також значно зменшити вміст хвороботворних мікроорганізмів.

Біохімічне очищення полягає в тому, що речовини, які ще залишились у воді після механічного очищення за допомогою мікроорганізмів перетворюються на мінералізовані домішки. Для цього використовують природні споруди (поля зрошення, фільтрації, біологічні ставки) та штучні (біофільтри, аеротенки). Для невеликої продуктивності придатна схема, в якій механічне очищення забезпечується решітками, пісковловлювачами, двоярусними відстійниками, а біологічне відбувається на полях зрошення, фільтрації, у біологічних ставках.

Пісок, який видаляють пісковловлювачами, спрямовують для підсушування на піскові майданчики. Мул, що осідає у двоярусних відстійниках, зброджується в їхній нижній частині і періодично надходить на мулові майданчики.

У разі великих витрат стічних вод використовують схему, за якою для біологічного очищення води застосовують біофільтри або аеротенки. Стічна вода спочатку проходить споруди механічної очистки (решітки, пісковловлювачі, первинні відстійники), а потім біологічної очистки з наступним затримання вторинного мулу у вторинних відстійниках. В оброблену таким чином стічну воду додають хлор і спрямовують у контактний резервуар для забезпечення необхідної тривалості контакту й знезараження. В останні часи в такі схеми для підвищення ступені очистки додають ще зернисті фільтри.

Осад, який осів у відстійниках, має неприємний запах, небезпечний у санітарному відношенні, погано сохне. Тому його зброджують у двоярусних відстійниках, метантенках та інших спорудах. Зброджений осад стає однорідної структури, під час підсушування на мулових майданчиках віддає вологу, містить азот, фосфор, калій і може бути використаний у певних умовах в якості добрива.

Споруди, в яких проходить біохімічна очистка, можуть бути поділені на дві основні групи.

1. Споруди, що працюють у природних або близьких до них умовах: поля зрошення, поля фільтрації і біологічні ставки. У цих спорудах стічні води очищаються доволі повільно за рахунок запасу кисню в ґрунті й у воді біологічних ставків, а також завдяки життєдіяльності мікроорганізмів-мінералізаторів, що окислюють органічні забруднення.

2. Споруди, в яких очищення стічних вод відбувається у штучно створених умовах: біологічні фільтри й аеротенки. У цих спорудах очищення проходить інтенсивніше, ніж у природних умовах, завдяки підтриманню штучним шляхом життєдіяльності необхідних мікроорганізмів.

На спорудах механічного очищення ефект зменшення завислих речовин становить 40–60 %, величина БПК знижується на 20–40 %.

Споруди біологічного очищення забезпечують зниження показників забруднень (після аеротенків або біофільтрів і вторинних відстійників) за речовинами і за БПК₅ до 15–20 мг/л.

У технологічних схемах біологічного очищення застосовують біофільтри з витратами стічних вод 10–20 тис. м³/добу, аеротенки – з витратами від 20 тис. м³/добу.

Якщо розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод визначає більш високий ефект, ніж можуть забезпечити споруди біологічного очищення, то виникає необхідність глибокого очищення стічних вод. Це може бути глибоке очищення від завислих, розчинених органічних речовин, біогенних елементів – азоту й фосфору. Споруди глибокого очищення повинні відповідати характеру забруднень, які необхідно видалити зі стічних вод перед їхнім скиданням у водойму.

Доочищення біологічно очищених стічних вод найчастіше здійснюють методами фільтрування через завантаження з різних матеріалів, мікрофільтруванням і контактним освітленням. Також використовують біологічні ставки. Для зниження ХПК біологічно очищених стічних вод застосовують сорбцію на активному вугіллі або хімічне окислення шляхом озонування. Для видалення зі стічних вод біогенних елементів, азоту і фосфору, які, потрапляючи у водойму, сприяють інтенсивному розвитку водної рослинності, застосовують фізико-хімічні й біологічні методи.

Перед випусканням у водойму очищені стічні води *зnezаражують*. Вибір реагенту й метода зnezараження проводять залежно від характеристики водойми – приймача стічних вод і способу подальшого використання очищених стічних вод.

Очисні споруди розраховують за рухом стічної води: приймальна камера, ґрати, пісковловлювачі, водовимірювальні пристрої первинні відстійники, аеротенки, вторинні відстійники, змішувач, хлораторна, контактні резервуари. Під час розрахунку ґрат і пісковловлювачів спочатку здійснюють гідравлічний розрахунок підвідних каналів і лотків, тому що рівень води у лотках входить до розрахунків живого перерізу потоку в ґратах і пісковловлювачах.

Потім розраховують споруди з обробки осаду: мулоущільнювачі, метантенки, цех механічного збезводнення, мулові майданчики.

В останній час поряд із розвитком традиційних біологічних методів велику увагу приділяють фізико-хімічним способам глибокої очистки міських стічних вод, що дозволяють знизити до необхідного рівня вміст органічних забруднень, завислих речовин, біогенних з'єднань, нафтопродуктів, барвників,

поверхнево-активних речовин, солей важких металів тощо. До таких способів належать коагуляція, сорбція, окислення, іонний обмін і деякі інші.

Під час очищення чи доочищення стічних вод будь-яким із розглянутих методів утворюються осади, в яких сконцентрована основна маса домішок і забруднень, вилучених зі стічних вод. Так, у процесі очистки стічних вод утворюється значна кількість осаду в результаті випадання нерозчинних речовин у первинних відстійниках, і біоплівки або надлишкового мулу – у вторинних.

Значна кількість осадів утворюється під час фізико-хімічного очищення стічних вод. Крім забруднень, що вилучаються зі стічних вод, такі осади містять також ще гідроксиди алюмінію чи заліза, інші сполуки, що утворюються в процесі реагентної обробки.

Осад, що виділяється у відстійниках, має високу вологість, неприємний запах і є небезпечним у санітарному відношенні через вміст великої кількості бактерій та яєць гельмінтів. Осад оброблюють з метою зменшення кількості вмісту в ньому органічних речовин і покращенню санітарно-гігієнічних показників. Для цього осад піддають впливу анаеробних мікроорганізмів (зброджуванню) або аеробній стабілізації мулу чи суміші мулу з сирим осадом у відповідних спорудах. До анаеробних споруд належать метантенки, септики, двоярусні відстійники, освітлювачі-перегнивачі. Для анаеробної стабілізації осадів використовують споруди типу аеротенків – аеробні стабілізатори.

Для зневоднення застосовують різні механічні засоби, а також методи термічної сушки й спалювання. Зброджений і зневоднений осад використовують для потреб сільського господарства в якості добрив. Мається досвід використання таких осадів після термічної обробки в якості білково-вітамінних домішок до раціону живлення сільськогосподарських тварин, а також у якості усадкових домішок до будівельних матеріалів.

3.2 Технологічні схеми очисних станцій

Очисна станція є комплексом споруд, пристроїв і комунікацій, що призначені для очищення стічних вод, обробки утворюваних при цьому осадів, а також допоміжних об'єктів, необхідних для здійснення, управління і контролю технологічних процесів, створення відповідних умов роботи обслуговуючого персоналу, забезпечення станції електроенергією, теплом, матеріалами і реагентами.

Комплекс споруд для очищення стічних вод і обробки осадів, розміщений у певній технологічній послідовності, називають *технологічною схемою*. Зазвичай технологічна схема містить споруди механічної та біологічної очистки, доочищення і знезаражування стічних вод, обробки осадів.

Технологічну схему очищення стічних вод обирають відповідно до норм проектування окремих споруд і техніко-економічних розрахунків залежно від:

- складу та властивостей стічних вод;

- необхідного ступеня очищення стічних вод;
- продуктивності очисної станції, концентрації забруднень;
- способу подальшого використання очищеної води;
- потужності водойми, в яку скидаються очищені стічні води;
- методу утилізації утворюваних осадів;
- місцевих умов (геології, рівня ґрунтових вод, рельєфу місцевості, розмірів майданчика під очисні споруди й розмірів санітарно-захисної зони, комунікацій тощо).

Розрахунок необхідного ступеня показує, якого ефекту затримки забруднюючих речовин необхідно досягти на очисних спорудах.

Тип очисних споруд, їхні розміри й кількість обираються і розраховуються згідно з вимогами чинних будівельних норм. Технологія обробки осадів, що утворюються в процесах очищення, визначається залежно від їхніх властивостей, обсягів, наявності площі.

На підставі обчисленого необхідного ступеня очищення стічних вод вибирають метод очищення за даними таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Залежність методу очищення від потрібного ступеня очищення

Рекомендовані методи очищення	Необхідний ступінь очищення, мг/л	
	за завислими речовинами	за БПК _{повн}
Механічна очистка	80	–
Механічна і частково біологічна очистка	25–80	25–80
Механічна і повна біологічна очистка	15–25	15–25
Механічна, повна біологічна очистка і доочищення	<15	<15

Обробку міських стічних вод, що становлять суміш побутових і промислових стічних вод, проводять зазвичай у такій послідовності: механічне очищення на решітках, у пісковловлювачах та первинних відстійниках; біологічне очищення в аеротенках або біофільтрах і вторинних відстійниках; знезараження і випускання у водойму або на повторне використання в промисловості або сільському господарстві. Обробку осаду можна проводити також у метантенках із подальшим зневодненням і термічною сушкою на мулових майданчиках або в мулових ставках.

Якщо під час розрахунку необхідного ступеня очищення стічних вод концентрація завислих речовин повинна бути знижена на 40–50 %, а величина показника БПК_{повн} – на 20–30 %, то можна обмежитися механічним очищенням. Склад споруд обирають за схемою, наведеною на рисунку 3.2. Витрата стічних вод за такої схеми становить не більше 10 тис. м³/добу.

Стічна вода, що надходить на очисну станцію, проходить через ґрати, пісковловлювачі, відстійники й знезаражується хлором.

Сміття, затримане решітками, спрямовують у дробарку й у вигляді пульпи скидають у канал перед або за решітками. Це можливий варіант вивезення затриманих на решітках осадів на полігон. Осад із пісковловлювачів перекачують на піскові майданчики. Із відстійників осад спрямовують у метантенки. Для зневоднення зброженого осаду використовують мулові майданчики, дренажна вода з цих майданчиків перекачується в канал перед контактним резервуаром.

За більших витрат стічних вод – від 50 тис. м³/добу застосовують технологічну схему, наведену на рисунку 3.3. Механічне очищення стічних вод здійснюють на решітках, у пісковловлювачах і відстійниках.

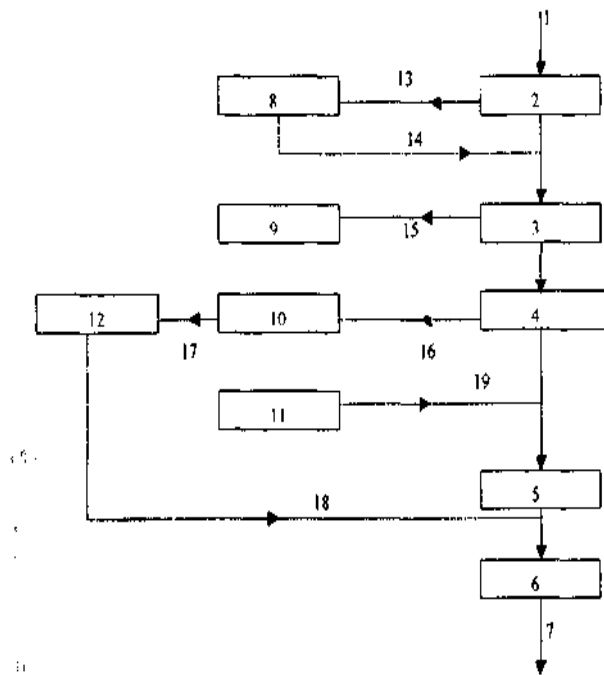


Рисунок 3.2 – Технологічна схема очисної станції з механічним очищенням стічних вод:

- 1 – стічна вода; 2 – ґрати; 3 – пісковловлювачі; 4 – відстійники;
 5 – змішувачі; 6 – контактний резервуар; 7 – випуск; 8 – дробарки; 9 – піскові майданчики; 10 – метантенки; 11 – хлораторна; 12 – мулові майданчики;
 13 – сміття, затримане решітками; 14 – пульпа; 15 – піщана пульпа;
 16 – сирий осад; 17 – зброжений осад; 18 – дренажна вода; 19 – хлорна вода

Для інтенсифікації осадження завислих речовин перед первинними відстійниками можуть використовуватися преаератори, у які подається певна частина надлишкового активного мулу в якості біофлокулянта. Сирий осад з первинних відстійників спрямовується у метантенки.

Біологічне очищення стічних вод за цією схемою здійснюється в аеротенках. Аеротенк – це відкритий резервуар, у якому перебуває суміш активного мулу й проясненої стічної води.

Для нормальної життєдіяльності мікроорганізмів активного мулу в аеротенки повинне надходити повітря, що подається повітродувками,

встановленими в машинному залі. Суміш очищеної стічної води й активного мулу з аеротенка спрямовуються у вторинний відстійник, де осаджується активний мул й основна його маса повертається в аеротенк. У системі «аеротенк – вторинний відстійник» маса активного мулу збільшується за рахунок його приросту, тому частина його (надлишковий активний мул) видаляється зі вторинного відстійника й подається в мулоущільнювач, при цьому обсяг мулу зменшується у 4–6 разів, а ущільнений надлишковий мул перекачується в метантенк. Очищена стічна вода знезаражується (зазвичай хлорується) у контактному резервуарі й скидається у водойму.

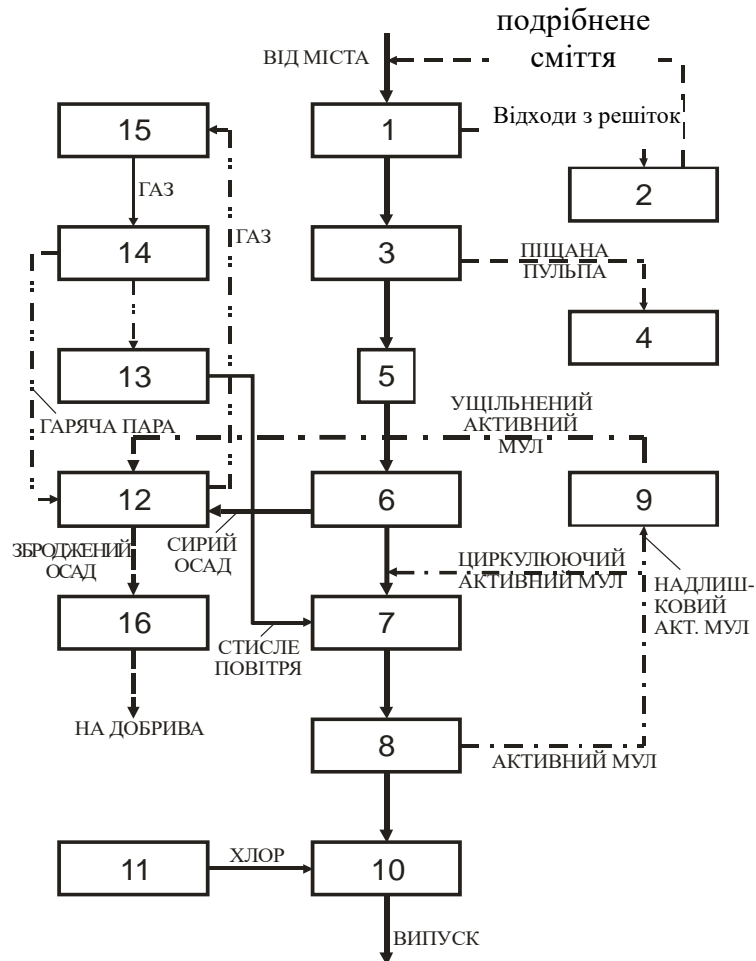


Рисунок 3.3 – Схема розташування споруд і обробки осаду станції біологічного очищення стічних вод у аеротенках:

- 1 – решітки; 2 – дробарка; 3 – пісковловлювач; 4 – піскові бункери;
 5 – вимірювач витрати; 6 – первинні відстійники; 7 – аеротенки; 8 – вторинні відстійники; 9 – мулоущільнювачі; 10 – контактні резервуари; 11 – хлораторна;
 12 – метантенк; 13 – машинне відділення; 14 – котельня; 15 – газгольдери;
 16 – зневоднення збродженого осаду

Зброджений осад із метантенків спрямовується для механічного зневоднення на вакуум-фільтри або фільтр-преси. Зневоднений осад може зазнавати термічного сушіння й використовуватися як добриво.

На рисунку 3.4 наведена технологічна схема біологічного очищення стічних вод на біофільтрах. Такі схеми використовують для витрат стічних вод близько 10–20 тис. м³/добу.

Після споруд механічного очищення (ґрати, пісковловлювачі й первинні відстійники) вода надходить на біофільтри й потім у вторинні відстійники, у яких затримується біологічна плівка (біоплівка), що виноситься водою з біофільтрів, далі вода спрямовується у контактний резервуар, дезінфікується й скидається у водойму.

Проходячи через фільтрувальне завантаження біофільтра, забруднена вода залишає в ній завислі й колоїдні органічні речовини, що не осіли в первинних відстійниках, які створюють біоплівку, густо заселену мікроорганізмами. Мікроорганізми біоплівки окисляють органічні речовини й одержують необхідну для своєї життєдіяльності енергію. Таким чином, зі стічної води видаляються органічні речовини, а в тілі біофільтра збільшується маса біологічної плівки. Відпрацьована й омертвіла плівка змивається стічною водою, що протікає, і виноситься з біофільтра.

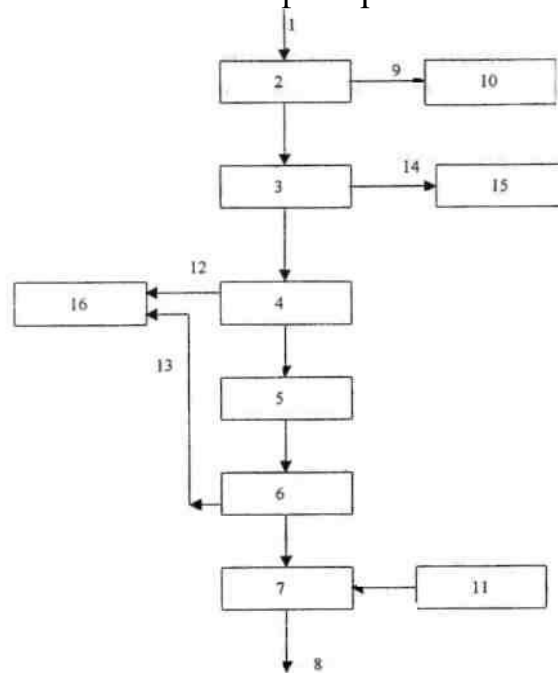


Рисунок 3.4 – Технологічна схема очисної станції з біологічним очищенням стічних вод на біофільтрах:

- 1 – стічна вода; 2 – решітки; 3 – пісковловлювачі; 4 – первинні відстійники; 5 – біофільтри; 6 – вторинні відстійники; 7 – контактний резервуар; 8 – випуск; 9 – осади, затримані ґратами; 10 – дробарки; 11 – хлораторна установка; 12 – осад з первинних відстійників; 13 – біоплівка зі вторинних відстійників; 14 – пісок; 15 – бункер піску; 16 – мулові майданчики

Для нормального процесу очищення в біофільтрах іноді необхідно здійснювати рециркуляцію проясненої у вторинних відстійниках води, тобто подавати перед біофільтрами й змішувати з водою з первинних відстійників. Необхідність рециркуляції визначається розрахунком.

Фізико-хімічне очищення міських стічних вод застосовується для очищення витрат – 10–20 тис. м³/добу. На рисунку 3.5 наведена технологічна схема фізико-хімічного очищення стічних вод.

Вода, що пройшла решітки й пісковловлювачі, спрямовується у змішувач, куди в певних дозах подаються розчини реагентів – мінеральних коагулянтів й органічних флокулянтів. У разі додавання в стічну воду мінеральних коагулянтів утворюються оксигідрати металів, на яких збираються завислі, колоїдні й частково розчинені речовини. Флокулянти укрупнюють пластівці оксигідратів і поліпшують їхні структурно-механічні властивості. Після камер пластівцеутворення осади відокремлюються від очищеної води в горизонтальних відстійниках. Для глибокого очищення від завислих речовин використовуються барабанні сітки й двошарові фільтри або фільтри з висхідним потоком води. Знезаражена хлором вода скидається у водойму. Осад з відстійників ущільнюється й зневоднюється на центрифугах.

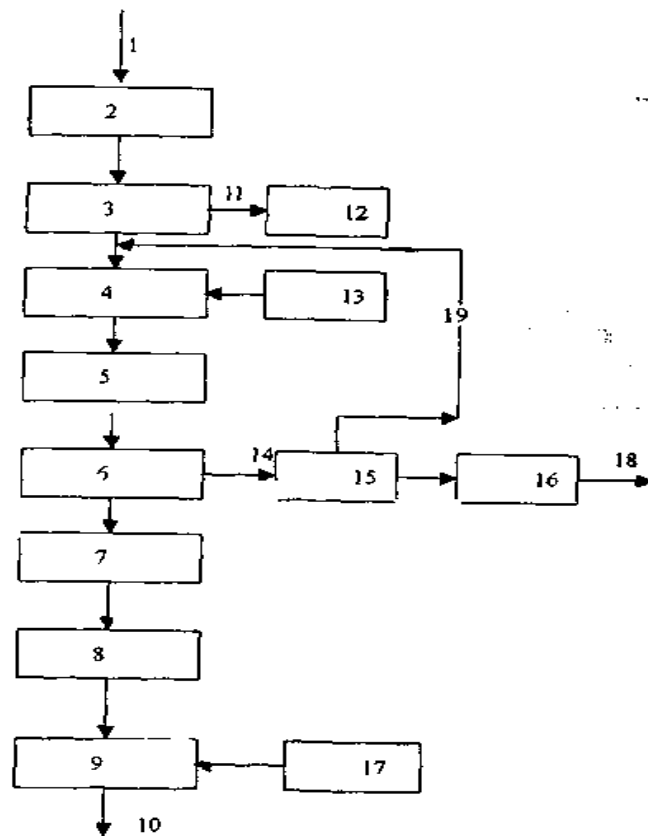


Рисунок 3.5 – Технологічна схема очисної станції з фізико-хімічним очищенням стічних вод:

- 1 – стічна вода; 2 – решітки; 3 – пісковловлювачі; 4 – змішувач; 5 – камера пластівцеутворення; 6 – горизонтальні відстійники; 7 – барабанні сітки; 8 – фільтри; 9 – контактний резервуар; 10 – випуск у водойму; 11 – пісок; 12 – бункер піску; 13 – готування й дозування реагентів; 14 – осад; 15 – осадкові ущільнювачі; 16 – центрифуги; 17 – хлораторна; 18 – шлам; 19 – відстояна вода

Наведені технологічні схеми поширені як у вітчизняній, так і зарубіжній практиці, при цьому є станції, що працюють за зміненими схемами.

Технологічні схеми очищення виробничих стічних вод можуть містити різні методи очищення, такі як фізико-хімічні, біологічні тощо, залежно від специфіки забруднюючих стічних води речовин, їхньої концентрації й ПДК скидання в міську каналізацію.

Атмосферні стічні води з територій міст можуть очищуватися на окремих очисних спорудах у разі використання переважно механічних методів. За кордоном атмосферні води очищують на міських очисних спорудах разом із побутовими стічними водами, однак і за кордоном нині спостерігається тенденція очищення атмосферних вод на автономних очисних спорудах.

Питання для самоперевірки

1. З якою метою проводять очищення стічних вод?
2. Як класифікують способи очищення стічних вод і в яких випадках їх застосовують?
3. Які групи споруд входять до складу загальноміських очисних споруд?
4. Охарактеризуйте схему очищення стічних вод із біологічним очищенням в аеротенках.
5. В яких випадках проводять глибоке доочищення стічних вод?
6. Які осади утворюються під час очищення стічних вод?

4 СПОРУДИ ДЛЯ МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

4.1 Решітки, дробарки, їхній розрахунок

Решітки є першим елементом всіх технологічних схем. Їх використовують для механічного затримання великих домішок розміром більше за 5 мм.

За конструктивними особливостями решітки розрізняють рухомі, нерухомі та поєднані з дробарками.

Залежно від величини прозору решітки поділяють на:

- решітки грубої очистки (прозори 30–200 мм);
- решітки середньої очистки (прозори 10–30 мм);
- решітки тонкої очистки (прозори 1–10 мм).

Залежно від способу очищення від затриманих забруднень розрізняють решітки з ручним способом очистки й механізовані.

Відстань між двома сусідніми стрижнями називають прозором решітки. Товщина стрижнів 6 мм і 8 мм, ширина прозорів на станціях для очищення міських стічних вод становить 16 мм. Найчастіше решітки виготовляють зі стрижнів прямокутного перерізу 60 мм × 10 мм, іноді зустрічаються стрижні іншої форми.

У більшості конструкцій решітки складаються з паралельних похилених (під кутом 60–70 °) або вертикально встановлених металевих стрижнів, що закріплені на металевій рамі, яка встановлюється у каналі на шляху руху стічних вод. Бруд, що затримується на стрижнях решіток під час проціджування стічної води, знімають механічними граблями, які можуть бути розташовані перед або після стрижнів.

Оскільки решітки стискають поперечний переріз потоку, то вони встановлюються в розширених каналах, які називаються камерою решіток.

Камера решіток проектується таким чином, щоб на її дні не осаджувалися крупні мінеральні домішки, пісок, а також завислі речовини. Ширину і наповнення камери решіток підбирають таким чином, щоб у разі максимального годинного притоку швидкість руху стічних вод у прозорах решіток не перевищувала 0,8–1 м/с (за більших швидкостей затримане на решітках сміття може протискуватись між стрижнями решіток). Водночас у разі мінімального годинного притоку швидкість руху стічних вод у камері до і після решіток не повинна бути меншою за 0,4 м/с для запобігання замулюванню.

Якщо камера решіток є ширшою від підвідного каналу стічних вод, її з'єднання з каналом здійснюється поступовим розширенням стінок останнього під кутом 20° до осі каналу. Довжина камери за решітками повинна бути не меншою за 1 м. З'єднання камери з відповідним каналом здійснюється поступовим звуженням її стінок (рис. 4.1).

Для запобігання підтопленню підвідного каналу і камери перед решіткою дно камери безпосередньо за решітками повинно бути знижене на величину втрат напору, які виникають у разі максимального потоку стічних вод через решітку. Підлога приміщення решіток повинна розміщуватись на 0,5 м вище за максимальний рівень води у камері решіток для запобігання затопленню приміщення.

Для забезпечення надійності роботи очисної станції необхідно встановлювати резервні решітки. Кількість резервних решіток обирають залежно від кількості робочих решіток.

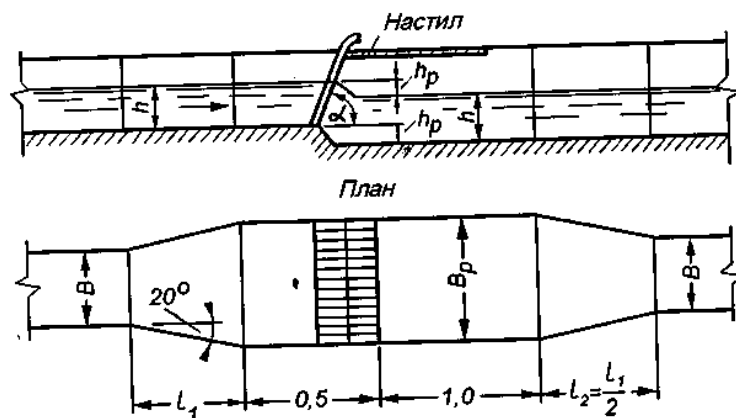


Рисунок 4.1 – Схема встановлення решітки

Найпростішими за конструкцією є *решітки з ручним очищенням*, які встановлюються лише на невеликих очисних станціях із добовою кількістю сміття не більше за 0,1 м³/добу. Стрижні такої решітки складаються з прутків і смуг, що забезпечує зменшення гідравлічних втрат. Завдяки розширенню за рухом рідини і прозорів між стрижнями вони не забиваються сміттям, що значно полегшує очистку решітки. Видалення сміття, затриманого решітками, здійснюється оператором один чи декілька разів на добу граблями на довгій ручці.

Механізовані решітки застосовують, якщо кількість затриманого сміття більша за 0,1 м³/добу. Головним елементом, який забезпечує вилучення сміття з решіток і підйом їх із води, є так звана граблина – горизонтальна металева рейка з зубцями, які входять у прозори решітки. Граблини можуть розміщуватися як перед (за ходом рідини), так і позаду решітки. За конструкцією тягового елемента, що змушує рухатися граблини решіток, їх можна поділити на решітки з ланцюговим і з тросовим тяговим елементом.

Схему решітки з механічним очищенням наведено на рисунку 4.2. У прозорах решіток рухаються зубці граблин, закріплених на рухливому шарнірно-пластинчастому ланцюгу. Ланцюг рухається завдяки двигуну через привід із шестерною передачею. Сміття, зняте зі стрижнів решіток й підняте граблинами на рухливу стрічку, спрямовують у дробарку для подрібнення. Механізована решітка типу МГ (рис. 4.2) призначена для механізованого видалення і вивантаження вилученого зі стічних вод сміття безпосередньо в контейнер або на транспортер. Похилі решітки типу МГ5Т або МГ12Т використовують на станціях середньої й великої продуктивності, встановлюють під кутом 80 °. На станціях малої й середньої продуктивності встановлюють вертикальні решітки типу РМУ.

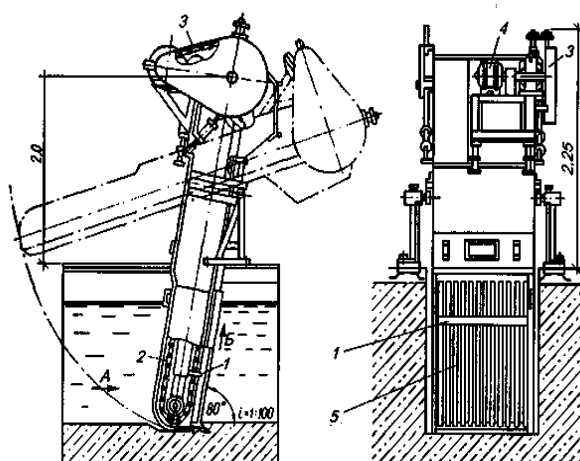


Рисунок 4.2 – Механізовані решітки типу МГ:
 1 – граблина; 2 – тяговий ланцюг; 3 – електропривод;
 4 – електродвигун;
 5 – решітка;
 А – напрям руху рідини;
 Б – напрям руху ланцюга з граблиною

Основний елемент механізованих решіток, який забезпечує вилучення забруднень з решітки та підйом їх із води, – це грабля, тобто горизонтальна металева рейка з зубцями, які входять у прозори решітки.

Рейкові, стрижневі решітки складаються з металевою рами, всередині якої встановлено низку паралельних стрижнів. Зняття забруднень із решітки здійснюється граблинами, що рухаються, або з боку стічної рідини, або з боку

очищеної рідини. Перевагою прочищення з боку очищеної рідини є те, що всі механізми (ланцюги тощо) захищені решіткою від пошкоджень, спричинених наявністю великих домішок у стічній рідині. Крім того, під час зняття забруднень з боку очищеної рідини зуби граблин виштовхують забруднення крізь решітку, запобігаючи продавлюванню та проскакуванню забруднень між стрижнями (решітки типу РМУ). Однак досвід експлуатації показав, що довгі зуби граблин із найменшими розмірами прозорів більш схильні до пошкоджень. Принцип зняття забруднень з боку очищеної рідини реалізований у конструкції ступінчастої решітки тонкого очищення.

Найбільш поширеними є рейкові решітки з прочищенням з боку стічної рідини.

За конструкцією тягового елемента, що змушує рухатися граблі – їх поділяють на решітки з ланцюговим та тросовим тяговим елементом.

На рисунку 4.3 показаний варіант роботи решітки за перепадом рівня стічних вод у каналі до та після решіток.

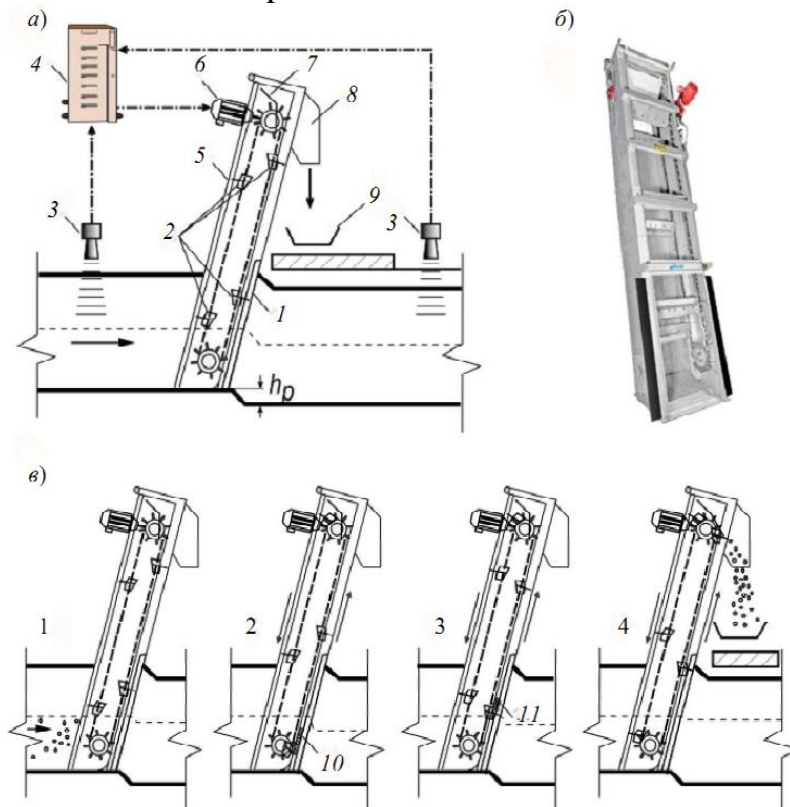


Рисунок 4.3 – Похилі механізовані решітки з граблинами на нескінченному ланцюзі:

а – схема встановлення решітки у каналі; б – загальний вигляд;

в – послідовність роботи;

1 – стрижні решітки; 2 – граблина; 3 – акустичний рівнемір; 4 – щит управління; 5 – рама решітки; 6 – мотор-редуктор; 7 – знімач затриманих забруднень; 8 – скидний жолоб; 9 – конвеєр;

10 – накопичені забруднення (відходи); 11 – відходи, що транспортуються

Щоб уникнути злому робочих органів і несучих частин решіток із граблинами на нескінченному ланцюзі, а також розтягування та розриву ланцюгів, решітки забезпечені запобіжним пристроєм. Запобіжний пристрій спрацьовує під час заклинення граблини або в разі інших механічних пошкоджень, що перешкоджають вільному руху ланцюга, і зупиняє роботу решіток. Одночасно з цим вмикається звукова та світлова сигналізація.

Пруткові решітки Esmil

Важлива особливість пруткової решітки – її конструкція (рис 4.4). Грабельний механізм знаходиться за фільтрувальним полотном і контактує з уже очищеною водою, що значно зменшує ймовірність його заклинювання та обростання забрудненням.



Рисунок 4.4 – Пруткова решітки Esmil

Конструкція фільтрувального полотна решітки – це набір з окремих прутів, загнутих у верхній частині в бік вивантаження відходів і закріплених тільки у нижній частині решітки, що дозволяє виключити можливість заклинювання граблиць навіть за наявності волокнистих забруднень.

Круглий переріз прутів полотна решітки зменшує гідравлічний опір порівняно з прямокутним і забезпечує високу пропускну здатність решітки.

Стрижні фільтрувального полотна встановлені на всю довжину решітки – від дна каналу до скиду. Це покращує видалення відходів із полотна.

Граблини встановлені з кроком 500 мм, що дозволяє якісно знімати забруднення з полотна. Це особливо важливо у періоди пікових надходжень води та забруднень.

Система керування решітки може бути автоматизована в різних режимах, зокрема за часом роботи, рівнем води перед решіткою, різницею рівнів води в каналі перед і за решіткою тощо.

Привід решітки: черв'ячний мотор-редуктор високої надійності від одного зі світових лідерів NORD Drive Systems.

У конструкції пруткової решітки немає компонентів і механізмів, які вимагають постійного обслуговування.

Пруткова решітка має високу стійкість до абразивів (пісок).

Ступінчасті решітки складаються з двох пакетів пластин ступінчастої форми – нерухомих, закріплених на рамі решітки, і рухомих пластин, що здійснюють плоскопаралельне обертання відносно нерухомих за допомогою кривошипно-шатунного приводу, що встановлюється у верхній частині решітки. Завдяки коловим рухам рухомих пластин, які розміщуються по чергово між нерухомими, затримане сміття поступово піднімається у верхню частину решітки і скидається з неї.

Як приклад на рисунку 4.5 подано конструкцію ступінчастої решітки РСК виробництва Esmil.



Рисунок 4.5 – Ступінчаста решітка РСК виробництва Esmil

Особливості застосування таких ступінчастих решіток:

- тонке очищення стічних вод (мінімальна ширина прозорів 3 мм);
- висока пропускну здатність;
- самоочищувальна конструкція фільтраційного полотна;
- застосування системи замулення повітрям відкладень піску.

Переваги та практична користь ступінчастих решіток РСК:

1. Конструкція адаптується практично під будь-яке місце встановлення.
2. Робота у режимі безперервного підймання й транспортування відходів.
3. Самоочищення робочих пластин без використання допоміжних механізмів, щіток або промивання водою.
4. Уникнення падіння відходів назад у канал завдяки зменшеному до 1 мм прозору в зоні над каналом.
5. Низька сприйнятливність до піску та гравію.
6. Пластини із тонкого листового металу товщиною 2–3 мм забезпечують високу пропускну здатність решітки.
7. Усунення дрібних відкладень за допомогою перфорованої труби. Труба встановлена у нижній частині решітки та використовується для змулення відкладень, які можуть накопичуватися на дні.
8. Механічний та електричний захист від перевантаження у випадку заклинювання.

Розрахунок решіток типу СУ

Під час розрахунку решіток визначають їхні розміри і втрати напору, що виникають у разі проходження крізь них стічних вод.

Експлуатація решіток типу СУ з прозорами 5,2 мм виявила, що осадів, які затримуються на решітках із прозорами 5,2 мм, у 5 разів більше, ніж на решітках із прозорами 16 мм. Розміри решіток визначаються з умови забезпечення в прозорах швидкості руху стічних вод 0,8–1 м/с за максимального притоку на очисні споруди.

Ширина решіток визначається за такою формулою:

$$B = bn + \delta(n - 1), \quad (4.1)$$

де δ – товщина стрижня, м.

З огляду на загальну ширину підбирають необхідну кількість робочих решіток. Додатково встановлюють 1–2 резервні решітки і передбачають облаштування обвідної лінії для пропуску води у випадку аварійного засмічення решіток.

Втрати напору в решітках визначають за такою формулою:

$$h_m = \xi \frac{v^2}{2g}, \quad (4.2)$$

де v – швидкість потоку в каналі перед решітками, дорівнює 0,6–0,8 м/с (для запобігання випадання перед нею осаду) [5];

ξ – коефіцієнт опору, визначають за такою формулою:

$$\xi = \beta \left(\frac{\delta}{b} \right)^{4/3} \sin \alpha, \quad (4.3)$$

де β – коефіцієнт, що залежить від форми поперечного перерізу стрижнів решіток (для прямокутних стрижнів – 2,42; для прямокутних із заокругленими ребрами – 1,83);

α – кут нахилу решіток до горизонту.

Кількість затриманого на решітках сміття залежить від виду стічних вод, ширини прозорів решітки і способів її очищення. Для побутових стічних вод із шириною прозорів решітки 16 мм кількість затриманого сміття становить 8 л на 1-го мешканця за рік, вологість затриманого осаду обирають 80 %.

4.2 Призначення і конструктивні відмінності пісковловлювачів різних типів

Пісковловлювачі призначені для затримання важких мінеральних домішок (переважно піску), що містяться у стічних водах. Зазвичай встановлюють їх перед відстійниками. Застосування пісковловлювачів обумовлюється тим, що у разі спільного вилучення у відстійниках мінеральних і органічних домішок виникають значні ускладнення під час видалення осаду з відстійників й подальшому його зброджуванні у метантенках.

Пісковловлювачі розраховують на затримання піску з крупністю зерен 0,15–0,2 мм і гідравлічною крупністю 13,2–24,2 мм/с. Принцип дії

пісковловлювачів заснований на тому, що під дією сили ваги частинки, питома вага яких більше, ніж питома вага води, випадають на дно.

Для затримання піску на очисних станціях використовуються пісковловлювачі декількох типів, які відрізняються напрямком і характером руху рідини: з горизонтальним прямолінійним рухом рідини, горизонтальні пісковловлювачі з коловим рухом рідини, з гвинтовим рухом рідини по колу – тангенціальні пісковловлювачі, з горизонтальним гвинтовим рухом рідини – аеровані пісковловлювачі та вертикальні.

Таблиця 4.1 – Технологічні параметри пісковловлювачів

Тип пісковловлювачів	Гідравлічна крупність піску, мм/с	Швидкість руху води, м/с		Глибина	Кількість затриманого осаду, л/добу на 1-го мешк.	Вміст піску в осаді, %
		мінімальна	максимальна			
Горизонтальні	18,7–24,2	0,15	0,3	0,5–2	0,02	55–60
Тангенціальні	18,7–24,2	–	–	0,5–3	0,02	70–75
Аеровані	13,2–18,7	0,08	0,12	0,7–3,5	0,03	90–97

Тип пісковловлювача вибирають з урахуванням продуктивності очисної станції, необхідної ефективності затримання піску, схеми очищення стічних вод і обробки осадів, рішення з компонування споруд на майданчику очисної станції й інших чинників. Аеровані та горизонтальні пісковловлювачі з прямолінійним рухом рідини використовують у разі витрат очищуваних стічних вод більше за 10 000 м³/добу, горизонтальні з круговим рухом рідини – у разі витрат до 70 000 м³/добу. Тангенціальні пісковловлювачі рекомендується використовувати у разі витрат очищуваних стічних вод до 50 000 м³/добу. На малих очисних станціях застосовують вертикальні пісковловлювачі.

Горизонтальні пісковловлювачі з прямолінійним і коловим рухом води

Горизонтальні пісковловлювачі – це подовжені в плані споруди з прямокутним поперечним перерізом (рис. 4.6). У пісковловлювачах є механізми для переміщення осаду в бункер і гідроелеватор для видалення піску. Крім механізмів, для переміщення осаду застосовують гідромеханічні системи – змивні трубопроводи зі сприсками, покладеними уздовж днища в лотках.

Горизонтальні пісковловлювачі повинні мати два або більше відділень, кожне з яких обладнується шиберами для його вимкнення. Влаштування пісковловлювачів із декількох відділень дозволяє підтримувати постійні швидкості течії стічної води шляхом вимкнення одного або декількох відділень у періоди мінімального притоку і здійснювати очищення непрацюючих відділень.

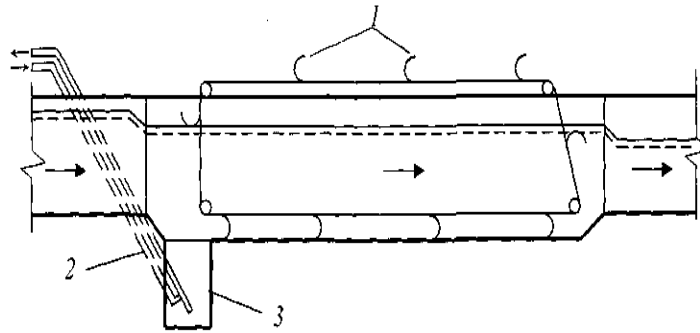


Рисунок 4.6 – Горизонтальний пісковловлювач: 1 – ланцюговий скребковий механізм; 2 – гідроелеватор; 3 – бункер

Приймки для осаду в горизонтальних пісковловлювачах виконують у вигляді пірамід або конусів. Їх стінкам надають ухил до горизонту не менше ніж 60° . У цьому випадку осад самовільно сповзає по стінках в основу приймка.

Переміщення осаду до приймка здійснюють за допомогою механічних скребоків чи гідромеханічним способом (гідрозмив). Із піскового приймка осад видаляється гідроелеваторами, пісковими насосами, ерліфтами чи шнековими насосами.

Механізми для переміщення осаду застосовують двох типів: ланцюгові й візкові. Ланцюгові механізми складаються з двох нескінченних ланцюгів, розташованих по краях пісковловлювача, із закріпленими на них скребками. Механізми візкового типу складаються з візка, що переміщується над пісковловлювачем по рейках уперед та назад, на якому підвішується скребок.

Тривалість перебування стічних вод у пісковловлювачах визначається розрахунком і залежить від глибини. У горизонтальних пісковловлювачах тривалість перебування стічних вод регламентується і повинна бути не менше ніж 30 с.

Горизонтальні пісковловлювачі з коловим рухом води (рис. 4.7) – це круглі резервуари конічної форми з периферійним лотком для протікання стічної води. За принципом роботи подібні до горизонтальних пісковловлювачів. Різниця полягає лише в тому, що рух води відбувається не прямолінійно, а по кільцевому лотку. Проточна частина пісковловлювачів із коловим рухом рідини в поперечному перетині має у верхній частині прямокутну форму, а в основі – трикутну зі щілиною внизу. Пісок, що затримується в кільцевому лотку, провалюється через щілину в конусну частину, звідки періодично відкачується гідроелеватором.

Розроблені типові проекти пісковловлювачів із коловим рухом води продуктивністю 1,4–64 тис. м³/добу і діаметром 4 м і 6 м. Гідравлічна крупність затриманого піску 18–24 мм/с.

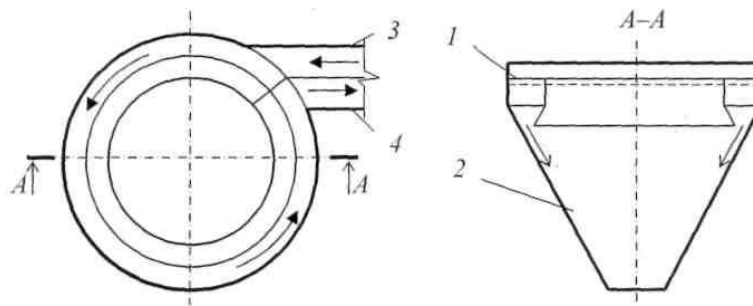


Рисунок 4.7 – Горизонтальний пісковловлювач із коловим рухом води:

- 1 – кільцевий жолоб; 2 – осадочний конус; 3 – підвідний канал; 4 – відвідний канал

Тангенціальні й аеровані пісковловлювачі

Тангенціальні пісковловлювачі мають круглу форму в плані. Підведення води до них здійснюється по дотичній. Підведення води по дотичній і рух її в спорудах по колу спричиняють обертовий рух потоку. За одночасного поступального й обертового руху створюється гвинтовий рух. На периферії вода рухається вниз, а у центрі – вверху. Крім сили тяжіння на частинки піску у тангенціальному пісковловлювачі діють ще і дві відцентрові сили, зумовлені рухом стічної води по колу у плані й обертовим рухом у поперечному перерізі. Внаслідок дії відцентрових сил частинки піску відкидаються на периферію потоку – до стінок і дна пісковловлювача і врешті-решт опиняються у пісковому напрямку. Більш легкі органічні домішки при цьому підтримуються у зваженому стані та не випадають в осад, у результаті чого вміст піску в осаді тангенціальних пісковловлювачів вищий, ніж у горизонтальних, і складає 70–75 %.

У пісковловлювачах цього типу затримуються пісок гідравлічною крупністю від 18,7 мм/с до 24,2 мм/с.

Розміри тангенціальних пісковловлювачів визначають за гідравлічним навантаженням. Оптимальні умови їхньої роботи забезпечуються у разі гідравлічного навантаження на одиницю площі у плані 90–130 м³/м²×год. На малих очисних станціях гідравлічне навантаження на тангенціальні пісковловлювачі може бути зменшене до 60–80 м³/м²×год.

Діаметр пісковловлювачів обирають не більшим за 6 м, а глибину такою, що дорівнює половині діаметра. Впускання стічних вод здійснюється по всій розрахунковій глибині, яка обирається рівною радіусу пісковловлювача. Звільнені від піску стічні води відводяться через водозлив у боковій стінці пісковловлювача у лоток.

Різновидом тангенціальних пісковловлювачів є аеровані пісковловлювачі. *Аеровані пісковловлювачі* (рис. 4.8) мають прямокутну у плані форму (подовжений горизонтальний резервуар) і прямокутний перетин (ширина дорівнює висоті). Уздовж однієї зі стінок пісковловлювачів прокладається аератор із дірчастих труб на глибині 2/3 від загальної глибини.

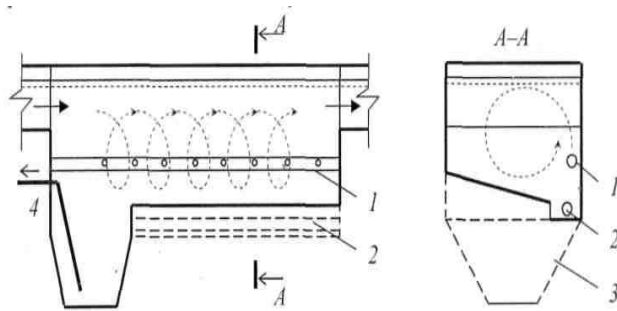


Рисунок 4.8 – Аерований пісковловлювач:
 1 – дірчастий аератор; 2 – трубопровід гідрозмиву осаду;
 3 – осадочна частина; 4 – гідроелеватор

Видалення піску відбувається в полі відцентрових сил під час горизонтально-гвинтового руху рідини. Горизонтально-поступальний рух створюється в них за рахунок подачі води з однієї сторони й відводу з іншої. Обертний рух води забезпечується аерацією потоку, що створює аератор, встановлений з однієї з довгих сторін пісковловлювача на відстані 45–60 см від дна, а під ним розміщений лоток для збору піску. В аерованих пісковловлювачах так само, як і у тангенціальних, за одночасного поступального й обертного руху виникає гвинтовий рух. Як аератори застосовують дірчасті труби з отворами 3–5 мм або фільтросні пластини. Встановлюються аератори по довжині кожної секції пісковловлювачів уздовж однієї зі стінок. Осад, що випав, згрібається до приямка, улаштованого на початку пісковловлювача, звідки видаляється гідроелеватором. Час перебування води в аерованих пісковловлювачах становить 2–3 хв (120–180 с).

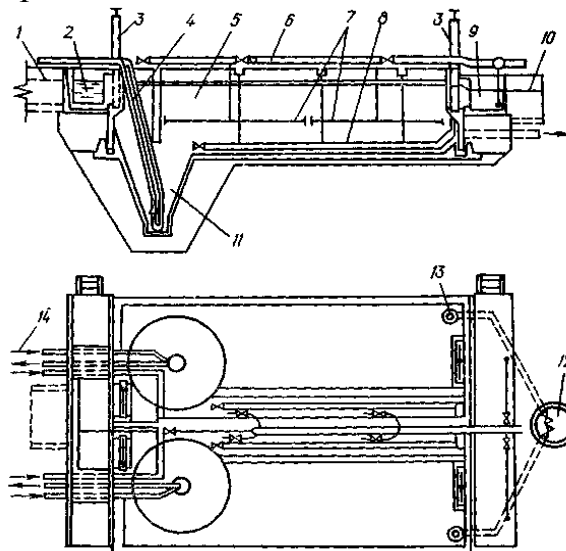


Рисунок 4.9 – Аерований пісковловлювач із гідромеханічним видаленням піску:

- 1 – підвід стічних вод; 2 – підвідний лоток; 3 – шибер; 4 – гідроелеватор;
 5 – відділення пісковловлювача; 6 – повітропровід; 7 – аератор; 8 – змивний трубопровід зі сприсками; 9 – відвідний лоток пісковловлювача; 10 – відвід води; 11 – бункер піску; 12 – колодязь для збору плаваючих речовин;
 13 – відвід плаваючих речовин; 14 – підвід технічної води



Рисунок 4.10 – Аерований пісковловлювач із видаленням піску за допомогою шкребків:
1 – поверхневий скребок для збирання плаваючих речовин; 2 – скребок для збирання піску; 3 – аератори

Важливим є те, що навіть за значних коливань витрати, а отже, і швидкості поступального руху стічних вод, швидкість обертового руху змінюється в незначних межах.

Глибина аерованих пісковловлювачів обирається в межах 0,7–3,5 м. Типові проекти аерованих пісковловлювачів розроблені на три і чотири відділення з шириною 3 м і 4,5 м і з довжиною 12 м.

Розміри аерованих пісковловлювачів (рис. 4.9) обирають з огляду на рекомендовані будівельні норми [5] відношення ширини відділення пісковловлювача B до глибини води H , що дорівнює в межах 1 : 1–1 : 1,5.

4.3 Переваги та недоліки різних типів пісковловлювачів

Осад, що випадає у пісковловлювачах, містить не тільки грубодисперсні домішки мінерального походження, але й значну кількість органічних забруднень, що захоплюються частинками, які осідають. Конструкція пісковловлювачів повинна забезпечувати випадіння частинок заданих розмірів і за можливості скорочувати можливе випадіння органічних речовин. З існуючих конструкцій цим вимогам насамперед задовольняють аеровані пісковловлювачі.

Горизонтальні пісковловлювачі відрізняються простотою конструкції і експлуатації, забезпечують достатньо високий ефект затримання піску (приблизно 65–75 %). Оптимальна швидкість руху стічних вод у горизонтальних пісковловлювачах, призначених для очищення міських стічних вод, складає 0,3 м/с. Зниження швидкості потоку менше 0,3 м/с призводить до випадання в осад значної кількості нерозчинних органічних домішок, більше за 0,3 м/с – до винесення піску з пісковловлювача. Коливання витрати спричиняє зміну швидкості руху очищуваних стічних вод у горизонтальних пісковловлювачах і, як наслідок, призводить до погіршення їхньої роботи. Крім цього, певні труднощі виникають і в разі видалення з них осаду.

Для підтримання постійної швидкості, незалежної від витрати стічних вод, на вихідних каналах горизонтальних пісковловлювачів встановлюються регулюючі лотки або водозливи.

Суттєвим недоліком горизонтальних пісковловлювачів є те, що затриманий осад у них розташовується за всією площею дна, що ускладнює збір його під час вивантаження. У сучасних конструкціях пісковловлювачів переміщення осаду до приямка здійснюють за допомогою механічних скребків чи гідромеханічним способом (гідрозмив).

Намагання спростити вивантаження осаду призвело до створення горизонтальних пісковловлювачів із коловим рухом води. Такі пісковловлювачі займають менше місця, ніж звичайні пісковловлювачі з прямолінійним рухом рідини. Тому їх використовують в умовах обмеженої території для розміщення очисної станції.

Обертний рух, що створюється за рахунок підведення води по дотичній у тангенціальних пісковловлювачах, позитивно позначається на роботі пісковловлювачів такого типу, тому що він сприяє відмиванню від піску органічних речовин і виключає їх випадання в осад. Завдяки цьому осад з тангенціальних пісковловлювачів містить менше органічних забруднень, ніж у пісковловлювачах інших типів.

Перевагами аерованих пісковловлювачів над іншими типами пісковловлювачів є високий ефект затримання піску: кількість затриманого в аерованих пісковловлювачах осаду складає 0,03 л/мешк. на добу чи 75 л на 1 000 м³ стічних вод, що приблизно у 1,5 рази більше, ніж у звичайних пісковловлювачах, низький вміст органічних домішок в осаді, що складає 5–10 % (зольність осаду – 90–95 %) за значно меншої, ніж в горизонтальних, швидкості поступального руху – 0,08–0,12 м/с.

Перевагами аерованих пісковловлювачів є також стійкість роботи зі змінами витрат і добрим відмиванням піску від органіки. Аеровані пісковловлювачі одночасно можуть використовуватися для вловлювання спливаючих забруднень (жирів, нафтопродуктів тощо). Для цього уздовж всього пісковловлювача напівзануреною переділкою відокремлюється спеціальна зона для виділення й накопичення спливаючих забруднень.

Аеровані пісковловлювачі не потребують пристроїв для стабілізації в них швидкості руху води.

4.4 Розрахунок пісковловлювачів різних типів

Розрахунок пісковловлювачів зводиться до визначення їхніх розмірів залежно від гідравлічної крупності піску й обраного типу споруд.

Залежно від обраної швидкості руху стічних вод площу живого перерізу пісковловлювача (або його відділення) визначають за такою формулою:

$$\omega = \frac{q_{\omega}}{v_s n}, \quad (4.4)$$

де q_{ω} – максимальна витрата стічних вод, м³/с;

n – кількість пісковловлювачів (відділень), обирають не меншою за два;

v_s – швидкість руху стічних вод, м/с.

Швидкість руху стічних вод для горизонтальних пісковловлювачів обирають 0,3 м/с у разі максимального притоку і 0,15 м/с у разі мінімального, для аерованих пісковловлювачів 0,08–0,12 м/с у разі максимального притоку.

Довжину робочої частини пісковловлювача визначають за такою формулою:

$$L_s = \frac{1000 K_s H_s v_s}{u_0}, \quad (4.5)$$

де K_s – коефіцієнт, що обирають залежно від типу пісковловлювача;

H_s – розрахункова глибина пісковловлювача, яка обирається для горизонтальних пісковловлювачів 0,25–2 м, для аерованих – половина загальної глибини, що рекомендують обирати від 0,7 м до 3,5 м;

u_0 – гідравлічна крупність піску, що обирається для горизонтальних пісковловлювачів 18,7–24,2 мм/с, для аерованих 13,2–18,7 мм/с.

Після визначення основних розмірів горизонтальних пісковловлювачів перевіряється час протікання стічних вод у разі максимального притоку, який повинен бути не меншим за 30 с.

Затримувана кількість піску в пісковловлювачах вологістю 60 % і щільністю 1,5 т/м³ обирається 0,02 л/(добу × мешк.) у горизонтальних пісковловлювачах, а в аерованих пісковловлювачах 0,03 л на 1-го мешканця на добу.

Об'єм камер для піску визначають залежно від конструктивних параметрів пісковловлювача, але він не повинен перевищувати дводобову кількість піску, що випадає в осад. Для сповзання піску, що випав у осад, кут нахилу стінок піскових камер до горизонту повинен бути не меншим за 60°.

Добова кількість піску, що затримується в пісковловлювачах визначається за такою формулою:

$$\Omega_n = \frac{q_n \cdot N_{36}^{3 \cdot p}}{1000}, \quad (4.6)$$

де q_n – кількість піску, що затримується у пісковловлювачах;

$N_{36}^{3 \cdot p}$ – наведена кількість жителів за завислими речовинами.

4.5 Видалення і обробка піску

Як відомо, у горизонтальних пісковловлювачах осад розташовується за всією площею дна споруд, а в аерованих зосереджується в піскових лотках. Переміщення затриманого піску до приямків у сучасних конструкціях пісковловлювачів здійснюється за допомогою механічних скребоків чи гідромеханічним способом (для видалення піску в аерованих пісковловлювачах).

У разі гідромеханічної системи переміщення осаду у піскові приямки в пісковий лоток укладають змивний трубопровід зі сприсками, спрямованими під кутом вниз у бік вивантаження піску. Вивантаження піску здійснюють гідроелеватором із бункера, який влаштований на початку піскового лотка.

Змивання піску відбувається тоді, коли пісок, що випав у осад, висхідним потоком рідини зі сприсків набуває псевдорідкого стану. Вода, яка виходить зі сприсків у товщу осаду, починає фільтруватися шляхом найменшого опору – вгору. За певної швидкості осад розширюється і стає доволі рухомим. Для цього необхідно подавати воду під тиском, що забезпечує псевдорідкий стан піску, який випав у осад, і достатню рівномірність розподілу його за довжиною лотка. Отже, осад не розпушується, а навпаки, підсмоктується згори і змивається у бік бункера. Оптимальна витрата промивної води дорівнює $0,03\text{--}0,09\text{ м}^3/\text{с}$.

Пісок видаляється з пісковловлювачів із великим об'ємом води. Осад з пісковловлювачів (піскопульпа) має вологість 98–99 %, тому його необхідно зневоднювати. Для цього влаштовуються бункери, піскові майданчики або накопичувачі піску.

Відкачування накопиченого в бункерах пісковловлювачів осаду здійснюється пісковими насосами, гідроелеваторами, шнековими підйомниками й рідше ерліфтами. Видалення затриманого піску з пісковловлювачів усіх типів допускається ручним способом у разі його об'єму до $0,1\text{ м}^3/\text{доб}$. Якщо кількість вловленого піску понад $0,1\text{ м}^3/\text{добу}$, його видаляють механічним або гідромеханічним способом.

Об'єм піскового напрямку W_S визначають залежно від конструктивних параметрів пісковловлювача, але він не повинен перевищувати дводобової кількості піску, що випадає в осад.

Найчастіше пісок, затриманий в пісковловлювачах видаляється за допомогою гідроелеваторів, а потім у вигляді піщаної пульпи перекачується на *піскові майданчики* – земельні ділянки, розділені на карти з валами, що обгороджують, висотою 1–2 м (рис. 4.11).

Піскові майданчики можна влаштовувати на станціях будь-якої потужності. Розміри майданчиків визначаються з умови напуску піску шаром $3\text{ м}^3/\text{м}^2$ на рік з періодичним вивезенням підсушеного піску. Кількість майданчиків – не менше двох.

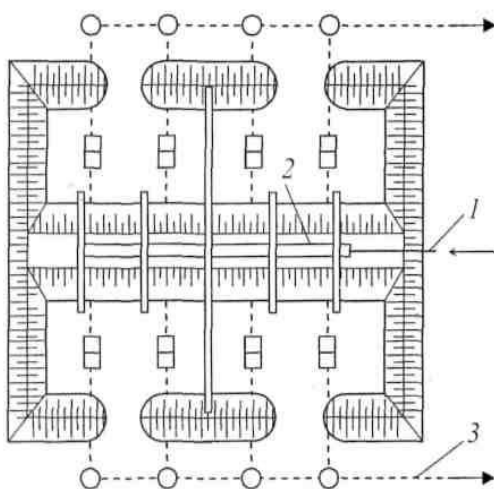


Рисунок 4.11 – Пісковий майданчик:

- 1 – піскопровід від пісковловлювачів;
- 2 – розвідний лоток;
- 3 – трубопровід відведення дренажної води

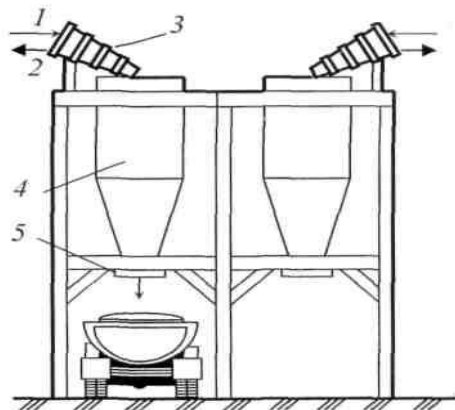
Більш раціональний метод обробки осаду з пісковловлювачів – відмивання, зневоднення й підсушування піску з наступним використанням його в будівництві. Для цього можна використати спеціальні піскові бункери, пристосовані для наступного навантаження піску в автотранспорт (рис. 4.12).

Корисна площа піскових майданчиків визначається за такою формулою:

$$F = \frac{q_n \cdot N_c \cdot 365}{1000h}, \quad (4.7)$$

де h – навантаження на майданчики, яке необхідно обирати не більше за $3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{рік})$.

Піскові бункери. Для відмивання і зневоднення піску в разі витрати стічних вод $Q_{\text{сер.доб.}} \leq 75$ тис. $\text{м}^3/\text{добу}$ рекомендується передбачати влаштування бункерів із гідроциклонами, пристосованих для подальшого відвантаження піску в автомашини. Їх розташовують всередині будівлі або на відкритих майданчиках поблизу пісковловлювачів, що залежить від температури навколишнього повітря. Дренажна вода з піскових бункерів повертається в канал перед пісковловлювачами.



Піщана пульпа в об'ємі

$$\Omega_{\text{III}} = \Omega_s \cdot (1 + 0,5), \text{ м}^3/\text{добу} \quad (4.8)$$

надходить у бункери.

Об'єм бункерів розраховуємо на 1,5–5 – добове зберігання піску:

$$W_6 = 5 \cdot \Omega_{\text{III}}, \text{ м}^3. \quad (4.9)$$

Дренажну воду з піскових бункерів належить повертати в канал перед пісковловлювачами.

4.6 Первинні відстійники. Конструктивні типи відстійників

Відстійники призначені для видалення зі стічних вод грубодисперсних домішок, які під дією гравітаційної сили осідають на дно або спливають на поверхню.

У системі очисної станції відстійники поділяють за призначенням на первинні та вторинні. *Первинні відстійники* призначені для відстоювання стічних вод, що пройшли через решітки й пісковловлювачі, вторинні – для освітлення стічних вод, що зазнали біохімічного очищення в аеротенках або біофільтрах.

Первинні відстійники розташовуються у технологічній схемі очищення стічних вод безпосередньо за пісковловлювачами та призначаються для видалення завислих речовин зі стічних вод, що за достатнього ефекту прояснення 40–60 % призводить також до зниження величини БПК у проясненій воді на 20–40 % від вихідного значення.

Залежно від призначення у технологічній схемі очисної станції відстійники поділяють на такі:

1. Первинні відстійники, призначені для освітлення стічних вод після решіток і пісковловлювачів (встановлюють перед спорудами біологічного очищення).

2. Вторинні відстійники, призначені для розділення мулової суміші після аеротенків чи затримання надлишкової біоплівки після біофільтрів.

3. Третинні відстійники, призначені для освітлення біологічно очищених стічних вод після їх обробки коагулянтами.

За режимом роботи розрізняють відстійники періодичної та безперервної дії. Відстійники періодичної дії використовують зазвичай у разі невеликих витрат або періодичного надходження стічних вод. Ці відстійники – металеві чи залізобетонні резервуари з конічним днищем. Розміри відстійника періодичної дії визначаються витратою стічних вод та кінетикою осадження завислих речовин. На міських очисних спорудах зазвичай застосовують відстійники безперервної дії, в яких здійснюється очищення за будь-яких витрат стічних вод.

За конструктивними особливостями і напрямом руху стічних вод у споруді відстійники поділяють на горизонтальні, вертикальні та радіальні.

Тип відстійника обирають на підставі обраної технологічної схеми очищення стічних вод і обробки їхнього осаду, потужності споруд, черговості будівництва, кількості одиниць, що експлуатуються, рельєфу місцевості, геологічних умов, рівня ґрунтових вод.

Горизонтальні відстійники застосовують у разі продуктивності очисної станції більше за 15 000 м³/добу, радіальні – понад 20 000 м³/добу, вертикальні – до 20 000 м³/добу.

Горизонтальні відстійники. Застосовують на очисних спорудах каналізації продуктивністю 15–100 тис. м³/добу. Це прямокутні у плані резервуари, розділені повздовжніми переділками на декілька відділень (рис. 4.13).

Це дозволяє ремонтувати або чистити одне з відділень, не погіршуючи якості очищення. Вони відзначаються надійністю в роботі, малою глибиною, достатнім ефектом освітлення 50–60 %, можливістю їхнього компактного розміщення та блокування з аеротенками. Потік води в них рухається горизонтально.

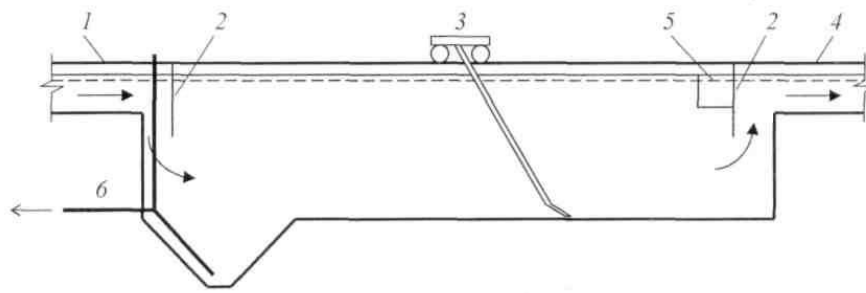


Рисунок 4.13 – Горизонтальний відстійник:

- 1 – підвідний лоток; 2 – напівзанурена дошка; 3 – скребковий візок;
4 – відвідний лоток; 5 – жирозбірний лоток; 6 – видалення осаду

Осад, що випадає за довжиною відстійника переміщується скребком у напрямки, які розташовані на вході, звідки під гідростатичним тиском видавлюється у самопливний трубопровід. Нафтопродукти, що спливають, і жирові речовини збираються у кінці споруди в жирозбірний лоток, з якого також самопливом відводяться на перекачування.

Перевагами горизонтальних відстійників є високий ефект освітлення за завислими речовинами – 50–60 % й можливість їх блокування з аеротенками.

Недоліки – підвищена витрата залізобетону порівняно з круглими відстійниками й незадовільна робота механізмів для згрібання осаду, особливо у зимовий період.

Вертикальні відстійники. Вертикальні відстійники застосовують на очисних спорудах продуктивністю 2–20 тис. м³/добу. Це круглі в плані резервуари з конічним днищем, у яких потік проясненої води рухається у вертикальному напрямку. Вертикальні відстійники бувають із центральним впуском води, з низхідно-висхідним рухом води, з периферійним впуском води.

У відстійниках із центральним впуском (рис. 4.14) стічна вода опускається вниз по центральній розтрубній трубі, відбивається від конусного відбивного щита й надходить у зону прояснення. Відбувається флокуляція частинок, до того ж ті з них, гідравлічна крупність яких перевершує швидкість висхідного вертикального потоку, випадають в осад. Для міських стічних вод швидкість висхідного потоку становить 0,5–0,7 мм/с. Прояснена вода збирається периферійним збірним лотком, жирові речовини, що спливають збираються кільцевим лотком. Ефект прояснення в таких відстійниках невисокий і становить не більше 40 %.

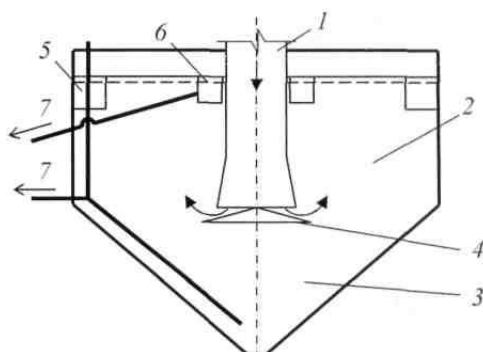


Рисунок 4.14 – Вертикальний відстійник із центральним впуском:

- 1 – центральна труба; 2 – зона відстоювання;
3 – осадочна частина;
4 – відбивний щит; 5 – периферійний збірний лоток; 6 – кільцевий лоток; 7 – видалення осаду

Досконалішими є вертикальні відстійники з низхідно-висхідним рухом води (рис. 4.15). Стічна вода надходить у центральну частину відстійника й через зубчастий водозлив розподіляється за площею зони прояснення, де відбувається низхідний рух потоку води.

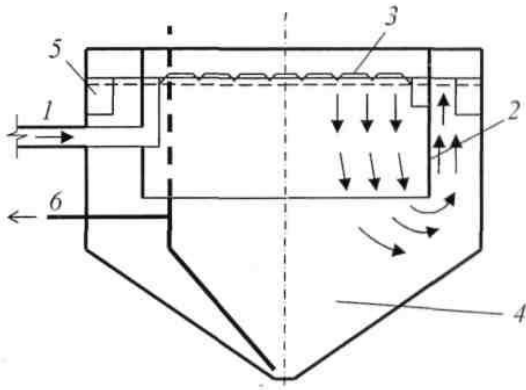


Рисунок 4.15 – Вертикальний відстійник з низхідно-висхідним потоком:

- 1 – трубопровід, що подає; 2 – кільцева переділка; 3 – зубчастий водозлив;
- 4 – осадова частина; 5 – периферійний збірний лоток; 6 – видалення осаду

Основна маса завислих речовин встигає випасти до надходження води в кільцеву зону, де відбувається остаточне прояснення води й збір її периферійним лотком. Ефект посвітління в таких відстійниках становить 60–65 %.

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

Радіальні відстійники. Для очищення стічних вод населених пунктів застосовують радіальні відстійники з центральною та периферійною подачею стічних вод.

Радіальні відстійники з центральною подачею стічних вод знайшли широке застосування на станціях очищення побутових стічних вод. Відстійники такої конструкції мають круглу в плані форму резервуарів, у яких стічна вода подається в центр відстійника й рухається радіально від центра до периферії (рис. 4.16). Їх влаштовують із випуском води знизу або зверху, вода в обох випадках надходить у відстійник по центральній трубі, а прояснена вода зливається в круговий жолоб, звідки відводиться трубами або лотками. Швидкість руху рідини змінюється від максимуму в центрі до мінімального значення на периферії. Осад, що випав на дно, згрібається до центру скребками, закріпленими на рухливій фермі й надходить у приямок, з якого відсмоктується плунжерними насосами або видаляється під гідростатичним тиском води. Частота обертання ферми з мулоскребками становить 2–3 год. Вологість вивантажуваного осаду в разі самопливного видалення – 95 % і 93 % – у разі видалення осаду насосами.

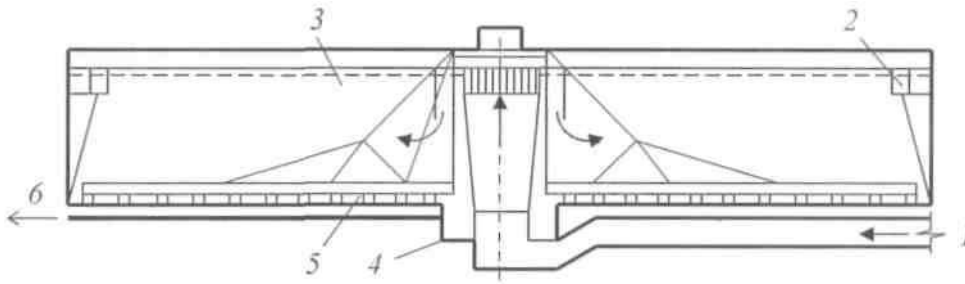


Рисунок 4.16 – Радіальний первинний відстійник:

1 – подача стічної води; 2 – збірний лоток; 3 – відстійна зона; 4 – муловий приямок; 5 – скребковий механізм; 6 – видалення осаду

Основним елементом конструкції радіальних відстійників є скребковий механізм. Враховуючи, що середовище експлуатації механізмів та конструкцій відстійника агресивна щодо металевих виробів, виготовляти їх потрібно з нержавіючих матеріалів, стійких до корозійного зношування. Ця вимога стосується і стакана – відбивача відстійника, і гребінчастих переливів, які рекомендується виготовляти з полімерних матеріалів.

Мулоскребок (рис. 4.17) встановлюється в первинний радіальний відстійник і призначений для збору осілого на дно осаду і плаваючих на поверхні речовин із подальшим їхнім видаленням із відстійника.

Розроблені типові проекти діаметром 18–54 м дозволяють використовувати їх на очисних станціях практично будь-якої пропускної здатності від 20 тис. м³/добу.

Ефект прояснення досягає 50–55 %. Перевагами радіальних відстійників є простота експлуатації й низька питома матеріалоемність, недоліки – зменшення коефіцієнта об’ємного використання через високі градієнти швидкості у центральній частині.



Рисунок 4.17 – Схема збору та видалення осілого осаду

Застосування радіальних відстійників з периферійною подачею (рис. 4.18) дозволяє зменшити час перебування стічних вод у відстійнику за тієї самої ефективності затримання завислих речовин. Розподільний пристрій

таких відстійників виготовляють у вигляді периферійного лотка з отворами у днищі або із зубчатим водозливом і напівзануреною переділкою. Лоток має змінний переріз по довжині для забезпечення рівномірного розподілу витрати стічних вод. Стічна вода надходить у водорозподільний жолоб, розташований на периферії відстійника, потім спрямовується у центральну зону й далі до водовідвідного кільцевого жолоба. Рух води відбувається більш рівномірно по всьому живому перетині відстійника, при цьому місцевих завихрень практично немає.

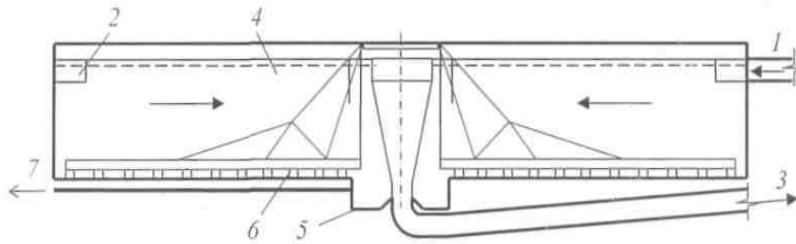


Рисунок 4.18 – Радіальний відстійник із периферійним впусканням:
 1 – подача стічної води; 2 – водорозподільний жолоб; 3 – відвідний трубопровід; 4 – відстійна зона; 5 – муловий приямок; 6 – скребковий механізм; 7 – видалення осаду

Осад, що випав у відстійнику, скребковим механізмом згрібається в приямок і по муловій трубі спрямовується на подальшу обробку.

Розрахункову витрату стічних вод, що надходять на первинні радіальні відстійники, встановлюють за максимальним годинним припливом.

У відстійниках з обертовим водорозподільним і водозбірним пристроєм (рис. 4.19) основна маса води перебуває в стані спокою.

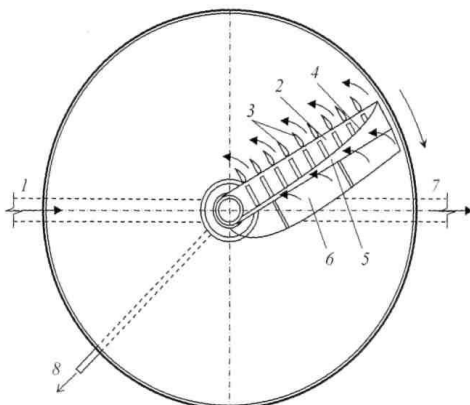
Подача вихідної води й відведення проясненої води здійснюються за допомогою вільно обертового жолоба, розділеного перегородкою на дві частини. Із внутрішнього боку лоток обмежений перегородкою, знизу – щільним днищем і зовні – розподільними ґратами з вертикальними щілинами, що обладнані струмененапрямними лопатками.

Обертання жолоба відбувається під дією реактивної сили води, що витікає, до того ж в багатьох випадках цієї сили досить не тільки для обертання самого лотка, але й скребкової ферми.

Діаметри типових відстійників з обертовим збірно-розподільним пристроєм становлять 18 м й 24 м.

Рисунок 4.19 – Відстійник з обертовим збірно-розподільним пристроєм:

- 1 – подача стічної води; 2 – щільне днище; 3 – струмененапрямні лопатки;
- 4 – поздовжня перегородка;
- 5 – водозбірний лоток;
- 6 – напрямний козирок;
- 7 – відведення проясненої води;
- 8 – видалення осаду



У разі необхідності скорочення обсягу очисних споруд за обмеженості виділеної площі та підвищення ефективності відстоювання в існуючих відстійниках застосовується тонкошарове відстоювання. У першому випадку тонкошарові відстійники відіграють роль самостійних споруд, у другому – існуючі відстійники доповнюються тонкошаровими модулями (рис. 4.20), які розташовуються у реконструйованому відстійнику перед водозбірним пристроєм.

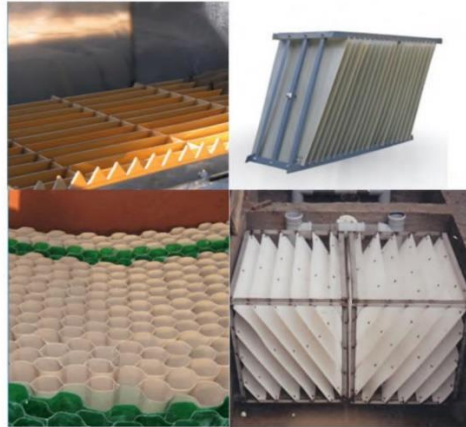


Рисунок 4.20 – Тонкошарові модулі

Вітчизняний досвід експлуатації таких споруд показав позитивні результати щодо ефективності відстоювання та можливості скорочення площі забудови під час очищення міських стічних вод.

У тонкошарових відстійниках зазвичай використовуються готові тонкошарові блок-модулі промислового виготовлення.

4.7 Розрахунок первинних відстійників

Розрахунок первинних відстійників полягає у визначенні їхнього типу, кількості й основних розмірів, а також витрати затримованого осаду.

Вихідні дані для проектування відстійників:

- кількість стічних вод і початкова концентрація в них завислих речовин C_{en} , що обирається за даними аналізу стічних вод або за розрахунками;
- гранична кінцева концентрація C_{ex} завислих речовин в освітленій воді, що обирають відповідно до необхідного ступеня очищення за завислими речовинами й типом споруд біохімічного очищення.

Кількість первинних відстійників обирають не менше двох, а вторинних – не менше трьох, усі відстійники робочі. За мінімальної кількості їх розрахунковий об'єм необхідно збільшити у 1,2–1,3 рази. Розрахунок відстійників, крім вторинних, після біологічного очищення здійснюють за кінетикою випадіння завислих речовин з урахуванням необхідного освітлення і умов роботи споруд біологічного очищення.

Для проектування відстійників експериментально визначають криві кінетики освітлення реальних стічних вод на станції очищення за допомогою відстоювання в лабораторних циліндрах із висотою 0,5 м і 1 м.

Для перерахунку отриманих даних на глибину реальних відстійників використовують умову седиментаційної подоби:

$$\frac{T_{set}}{t_{set}} = \left(\frac{H_{set}}{h_{set}} \right)^n, \quad (4.10)$$

де T_{set} – тривалість прояснення в натурі на глибині H_{set} ;

t_{set} – тривалість прояснення в моделі на глибині h_{set} ;

n – показник ступеня, що відображає здатність суспензії до агломерації.

Розрахункове значення гідравлічної крупності u_0 , необхідно визначати за кривими кінетики відстоювання, що отримані експериментальним шляхом в шарі з глибиною 500 мм. Для приведення отриманих в лабораторних умовах величин до висоти шару, що дорівнює глибині проточної частини відстійника, використовують таку формулу:

$$u_0 = \frac{1\,000 H_{set} K_{set}}{t_{set} \left(\frac{K_{set} H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}}, \quad (4.11)$$

де H_{set} – глибина проточної частини відстійника, м;

K_{set} – коефіцієнт використання ємкості проточної частини відстійника;

t_{set} – тривалість відстоювання, с, відповідно до заданого ефекту очищення й отримана в лабораторному циліндрі в шарі h_1 ; за відсутності лабораторних даних для міських стічних вод величину t_{set} обирають за таблицею 4.2;

n_2 – показник ступеня, що залежить від агломерації домішок у процесі осаджування.

Таблиця 4.2 – Тривалість відстоювання t_{set} стічних вод

Ефект освітлення, %	Значення t_{set} , с, у шарі $h_1 = 500$ мм у разі концентрації завислих речовин, мг/л		
	200	300	400
20	600	540	480
30	960	900	840
40	1 440	1 200	1 080
50	2 160	1 800	1 500
60	7 200	3 600	2 700
70	–	–	7 200

Під час розрахунку горизонтальних відстійників визначають розміри його проточної (робочої) частини і осадочної частин. Час перебування 0,5–1,5 год.

Продуктивність одного відстійника q_{set} визначають за заданими геометричними розмірами споруди (за типовим проектом) і необхідним ефектом освітлення.

Необхідний ефект освітлення визначають з огляду на необхідний ступінь очищення стічних вод і умови роботи споруд біологічного очищення.

$$q_{set} = 3,6K_{set}L_{set}B_{set}(u_0 - v_{tb}), \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.12)$$

де K_{set} обирають за таблицею 4.3;

L_{set}, B_{set} – відповідно довжина й ширина секції (відділення) відстійника, м;
 u_0 – гідравлічна крупність частинок, що затримуються, мм/с (визначають за формулою 4.11);

v_{tb} – турбулентна складова, мм/с (обирають залежно від швидкості потоку у відстійнику v_{ω} , мм/с):

v_{ω} , мм/с	5	10	15
v_{tb} , мм/с	0	0,05	0,1

Продуктивність одного радіального відстійника й відстійника зі збірно-розподільчим пристроєм, що обертається, $\text{м}^3/\text{год}$, визначають за такою формулою:

$$q_{set} = 2,8K_{set}(D_{set}^2 - d_{en}^2)(u_0 - v_{tb}), \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.13)$$

де D_{set} – діаметр відстійника, м;

d_{en} – діаметр випускного пристрою, м.

Основні розрахункові параметри відстійників наведено в таблиці 4.3.

Для відстійників з низхідно-висхідним потоком води продуктивність одного відстійника визначають за такою формулою:

$$q_{set} = 1,41K_{set}D_{set}^2u_0, \quad (4.14)$$

де D – діаметр відстійника, м, що обирається не більшим за 9 м.

Такі відстійники рекомендують застосовувати на станціях потужністю до 10 000 $\text{м}^3/\text{добу}$.

Таблиця 4.3 – Розрахункові параметри первинних відстійників

Відстійник	K_{set}	H_{set} , м	Ширина B_{set} , м	Швидкість робочого потоку v_{ω} , мм/с	Ухил днища до мулового прямока
Горизонтальний	0,5	1,5–4	$2H_{se}-5H_{set}$	5–10	0,005–0,05
Радіальний	0,45	1,5–5	–	5–10	0,005–0,05
Вертикальний	0,35	2,7–3,8	–	–	–
Зі збірно-розподільним пристроєм, що обертається	0,85	0,8–1,2	–	–	0,05
Із низхідно-висхідним потоком	0,65	2,7–3,8	–	$2u_0-3u_0$	–
Із тонкошаровими блоками: – протиточна (прямоточна) схема роботи; – перехресна схема роботи	0,5– 0,7 0,8	0,025– 0,2 0,025– 0,2	2–6 1,5	– –	– 0,005

Продуктивність відстійника, що обладнаний тонкошаровими блоками:

– у разі перехресної схеми роботи

$$q_{set} = \frac{7,2K_{set}H_{bl}L_{bl}u_0}{K_{dis}h_{ii}}, \quad (4.15)$$

– у разі протиточної схеми роботи

$$q_{set} = 3,6K_{set}H_{bl}B_{bl}v_{\omega}, \quad (4.16)$$

де L_{bl} – довжина тонкошарового блока (модуля), м;

B_{bl} – ширина тонкошарового блока, м;

H_{bl} – висота тонкошарового блока, м;

h_{ii} – висота ярусу тонкошарового блока, м;

K_{dis} – коефіцієнт зношення виділених частинок, що обирають для плоских пластин 1,2, а в разі рифлених пластин – 1.

Осад, що виділяється під час відстоювання, подається на подальшу обробку. Кількість осаду Q_{mud} м³/год, визначають залежно від концентрації завислих речовин у воді C_{en} , що надходить, а також від концентрації завислих речовин у освітленій воді C_{ex} за такою формулою:

$$Q_{mud} = \frac{q_{\omega}(C_{en} - C_{ex})}{(100 - p_{mud})\gamma_{mud} \cdot 10^4}, \quad (4.17)$$

де q_{ω} – середня витрата стічних вод, м³/год;

p_{mud} – вологість осаду, %;

γ – щільність осаду, г/см³.

Вологість і щільність осаду обирають за даними експлуатації аналогічних об'єктів залежно від методу видалення його з напрямка відстійника. Для міських стічних вод вологість осаду з первинних відстійників у разі видалення його під гідростатичним тиском – 95 %, $\gamma_{mud} = 1,06$ г/см³, а в разі видалення плунжерним насосом – 93,8 %, $\gamma_{mud} = 1,1$ г/см³ (у разі видалення осаду з двох'ярусних відстійників його вологість обирають 90 %). Вологість активного мулу зі вторинних відстійників, що розташовані після аеротенків, досягає 99,2–99,7 %, $\gamma_{mud} = 1,0$ г/см³, а з відстійників, що встановлені за біофільтрами, – 96–96,5 %, $\gamma_{mud} = 1,06$ г/см³.

Питання для самоперевірки

1. У чому полягає суть механічного очищення стічних вод?
2. Назвіть споруди, в яких здійснюється механічне очищення стічних вод.
3. Яке призначення мають пісковловлювачі? На затримання піску якої крупності вони розраховуються?
4. Типи пісковловлювачів та їхні переваги.
5. За якими критеріями вибирають тип пісковловлювача?
6. Методи видалення піску з пісковловлювачів і способи його зневоднення.
7. Призначення та типи первинних відстійників. Недоліки й переваги кожного типу відстійників.

8. За якими критеріями вибирають тип відстійника?
9. Як визначають розрахункове значення гідравлічної крупності завислих речовин під час проектування первинних відстійників?
10. Як видаляють сирий осад із первинних відстійників різних типів?
11. Як видаляють плаваючі домішки з первинних відстійників?

5 ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПЕРВИННОГО ВІДСТОЮВАННЯ СТІЧНИХ ВОД

5.1 Попередня аерація

У разі початкових концентрацій завислих речовин у стічних водах 300–400 мг/л і вище необхідний ефект первинного відстоювання може досягати 70–80 %. Первинні відстійники відомих конструкцій забезпечують затримання зазвичай 40–55 % завислих речовин, тому їхня концентрація в освітлених стічних водах перед надходженням в аеротенки чи на біофільтри може значно перевищувати рекомендовані значення 100–150 мг/л. У такому випадку для забезпечення необхідного ефекту первинного відстоювання стічних вод необхідно інтенсифікувати процес осадження завислих речовин.

За останній час розроблені й досліджені різноманітні методи інтенсифікації процесу первинного відстоювання стічних вод. Найкращі результати дає додавання у стічні води перед первинними відстійниками мінеральних коагулянтів (сірчаноокислого алюмінію, вапна, сірчаноокислого чи хлорного заліза тощо), а також синтетичних флокулянтів, обладнання відстійників тонкошаровими блоками. Однак найбільшого розповсюдження на міських очисних станціях набули методи інтенсифікації первинного відстоювання, пов'язані з аерацією стічних вод і з використанням біофлокулюючих властивостей надлишкового активного мулу та біоплівки.

Отже, преаератори та біокоагулятори застосовують для збільшення ефекту прояснення стічних вод у разі первинного відстоювання, зокрема за наявності у воді, що надходить, завислих речовин більше за 300 мг/л. Ці споруди не є обов'язковими й застосовують їх у тому випадку, якщо розрахунок показує, що первинного відстійника недостатньо для досягнення необхідного ефекту очищення.

Найпростішим методом інтенсифікації є *попередня аерація (преаерація)* стічних вод, яка здійснюється в каналах, що підводять стічні води до первинних відстійників, чи в спеціальних спорудах – преаераторах, розміщених перед відстійниками. Тривалість аерації при цьому складає 10–20 хв, а витрата повітря – близько 0,5 м³ на 1 м³ аерованих стічних вод. У процесі преаерації відбувається флокуляція й коагуляція дрібних частинок нерозчинених домішок у стічній воді, щільність яких мало відрізняється від щільності самої води. У результаті ці частинки змінюють свою гідравлічну крупність і швидше осідають у разі подальшого відстоювання. Крім цього, спостерігається деяке зменшення БПК стічних вод, покращується відділення

жирів, масел, нафтопродуктів, унеможливаються анаеробні процеси у відстійниках, покращується наступне біологічне очищення стічних вод в аеротенках чи на біофільтрах.

Преаератори необхідно застосовувати на станціях очищення стічних вод з аеротенками. Преаератори влаштовуються перед первинними відстійниками й можуть конструктивно з ними поєднуватися. Преаератори виготовляють у вигляді окремих, вбудованих або прибудованих до первинних відстійників споруд. Застосування цих споруд у разі великої кількості зважених речовин дозволяє знизити будівельний обсяг споруд. Конструктивно це прямокутні резервуари з висотою H_{set} , що дорівнює глибині проточної частини відстійника, і з шириною B , що дорівнює $1-1,5 H_{set}$.

Однак, як показує вітчизняний досвід, проста аерація (без додавання активного мулу) малоефективна. Збільшує ефект первинного освітлення стічних вод за завислими речовинами і БПК_{повн.} лише на 5–8 %.

Попередня аерація сприяє (за рахунок повнішого виділення зважених частинок) кращій підготовці стічних вод до наступного біологічного очищення. Більш високий ефект видалення зважених речовин і зниження БПК стічних вод дає попередня аерація з додаванням надлишкового мулу з вторинних відстійників.

5.2 Освітлювачі з природною аерацією

Освітлювач з природною аерацією на базі вертикального відстійника з вбудованою камерою флокуляції (рис. 5.1), запропонований проф. С. М. Шифриним, – це споруда, в якій аерація відбувається за рахунок підсмоктування атмосферного повітря струминою стічних вод, що падає в центральну трубу з підвідного лотка. Для того, щоб бульбашки атмосферного повітря захоплювались потоком стічних вод і транспортувались разом із ним униз до виходу в камеру флокуляції, різниця відміток рівнів води в підвідному лотку та в освітлювачі повинна складати 0,6 м, а швидкість руху стічних вод у центральній трубі – 0,5–0,7 м/с.

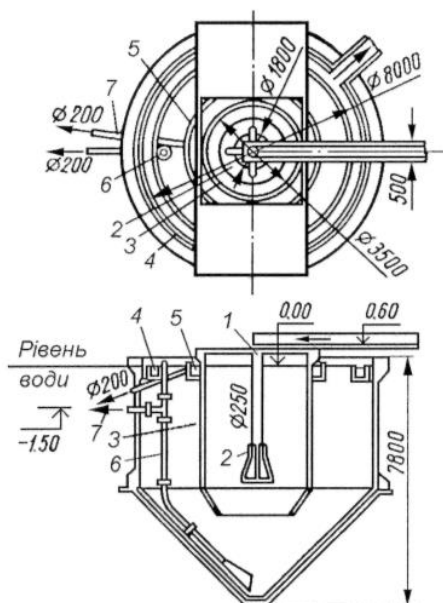


Рисунок 5.1 – Освітлювач з природною аерацією: 1 – центральна труба; 2 – відбивальний конус; 3 – камера флокуляції; 4 – водозбірний лоток; 5, 7 – відповідно лоток і труба для видалення плаваючих речовин; 6 – трубопровід для видалення осаду

У камері флокуляції пухирці повітря спливають і аерують стічну воду, що сприяє флокуляції зависі. Тривалість перебування стічних вод у

камері флокуляції становить 20 хв, глибина камери обирається 4–5 м. Надлишковий активний мул у стічні води перед освітлювачем не додають.

У зоні відстоювання освітлювача формується шар завислого осаду, під час проходження через який стічних вод затримуються дрібнодисперсні завислі речовини. При цьому швидкість висхідного потоку стічних вод у зоні відстоювання повинна складати 0,8–1,5 мм/с. Освітлені стічні води відводяться через круговий периферійний лоток. Затриманий осад під гідростатичним тиском по трубі видаляється у муловий колодязь. Плаваючі речовини видаляються у муловий колодязь із кільцевого лотка, розміщеного зовні камери флокуляції.

Згідно з ДБН [5] освітлювачі з природною аерацією забезпечують зниження концентрацій завислих речовин – до 70 %, а БПК_{повн} – до 15 %.

5.3 Біокоагуляція

Більш ефективною, ніж два розглянуті вище способи інтенсифікації є попередня аерація стічних вод разом із надлишковим активним мулом, який має хороші сорбційні властивості та здатність до біологічної флокуляції.

Аерація стічних вод може здійснюватися також із додаванням надлишкового мулу із вторинних відстійників після аеротенків або біоплівки після біофільтрів. Отже, *біофлокуляція* – це метод інтенсифікації процесу відстоювання, що полягає в додаванні до стічної води активного мулу (біоплівки) і аерації отриманої суміші. При цьому ефективність прояснення збільшується до 60–80 %, а зниження БПК – на 4–50 %. Біофлокуляція здійснюється в таких спорудах, як преаератори й біофлокулятори. Крім фізико-хімічних процесів (коагуляції, флокуляції й сорбції) під час біокоагуляції відбувається біохімічне окислювання деякої частини легко окислювальних розчинених речовин.

Зазвичай у преаератори подають так званий регенований активний мул, біофлокуляційні властивості якого найкращі. За відсутності регенераторів передбачають можливість регенерації активного мулу шляхом його аерації безпосередньо в преаераторах, для чого під регенератори виділяється до 25–30 % від їхнього загального об'єму.

Попередня аерація стічних вод у каналах чи окремих спорудах має один суттєвий недолік – укрупнені під час преаерації частинки зависі руйнуються під час руху стічних вод до відстійника. Тому доцільним є конструктивне поєднання процесів преаерації та відстоювання в одній споруді, яку називають біофлокулятором.

Біофлокулятор – це первинний відстійник (вертикальний чи радіальний) із вбудованою камерою біофлокуляції. Біофлокулятори створюються на базі горизонтальних, вертикальних і радіальних відстійників. Для цього в них обладнуються аератори, завдяки чому у відстійній зоні утворюється зважений шар, що сприяє проясненню стічної води, яка через нього фільтрується.

Біофлокулятори влаштовуються на очисних станціях як з аеротенками, так і з біофільтрами. У біофлокулятор подається 50 % надлишкового активного

мулу чи 100 % надлишкової біоплівки, яка попередньо регенерується протягом 24-х годин у резервуарі, влаштованому за типом аеротенка.

На рисунку 5.2 зображений блок «преаератор – горизонтальний відстійник».

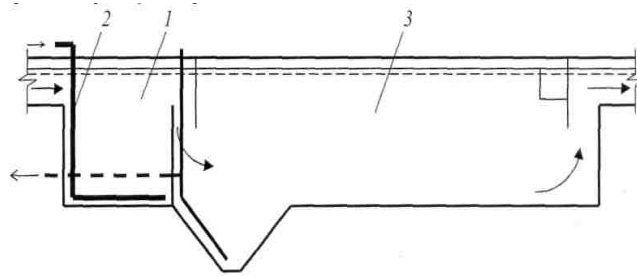


Рисунок 5.2 – Блок «преаератор – горизонтальний відстійник»:
1 – преаератор; 2 – подача повітря; 3 – відстійник

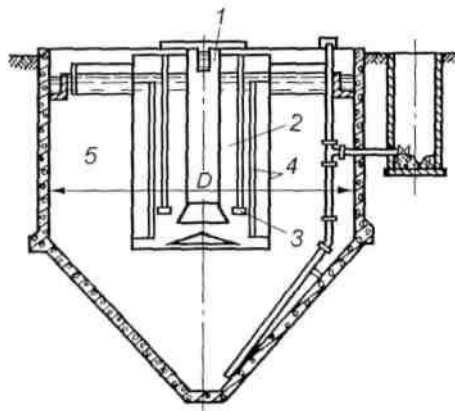


Рисунок 5.3 – Біокоагулятор на базі вертикального відстійника:
1 – центральна труба; 2 – камера біофлокуляції; 3 – фільтросні аератори;
4 – кільцеві перегородки; 5 – зона освітлення

Компактна конструкція біокоагулятора на базі вертикального відстійника показана на рисунку 5.3. Камера біофлокуляції утворена навколо центральної труби двома кільцевими перегородками. Стічна вода через вертикальну трубу надходить у центральну камеру, де розташовані фільтросні аератори, через які повітря надходить у зону аерації. У камеру додають активний мул з аеротенків. Активний мул, перемішуючись зі стічною водою, захоплюється повітрям у верхню частину камери й через улаштовані в ній кармани опускається вниз, надходячи в зону відстоювання первинного відстійника. Вода, пройшовши зважений шар у зоні відстоювання, стає прозорою й через жолоби видаляється з відстійників.

Центральну камеру біокоагуляторів розраховують на 20-хвилинне перебування в ній стічної води. Гідравлічне навантаження на зону відстоювання біофлокуляторів не повинно перевищувати $3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$. Ефективність затримання завислих речовин у біофлокуляторах, що працюють з активним мулом, досягає 75 % (збільшується приблизно на 30 % порівняно з простим відстоюванням), БПК_{ГЛОВН} при цьому знижується на 35 %. Під час використання

біологічної плівки ефективність затримання завислих речовин складає 60–70 %, а зниження БПК_{повн} – 50–55 %.

На рисунку 5.4 зображена схема радіального відстійника з вбудованою камерою біофлокуляції. Особливість конструкції полягає в тому, що надходження рідини з камери біофлокуляції у зону відстоювання здійснюється у верхній частині споруди, що забезпечує оптимальний гідравлічний режим роботи відстійника і виключає можливість каламучення осаду, що спостерігалось у біофлокуляторах попередніх конструкцій. У разі дози надлишкового активного мулу 130–200 мг/л, тривалості аерації в камері біофлокуляції 15–20 хв і інтенсивності аерації 2–3 м³/(м²×год) ефективність роботи відстійника збільшується за завислими речовинами на 40–50 %, а за БПК_{повн} зростає з 15–20 % до 30–40 %.

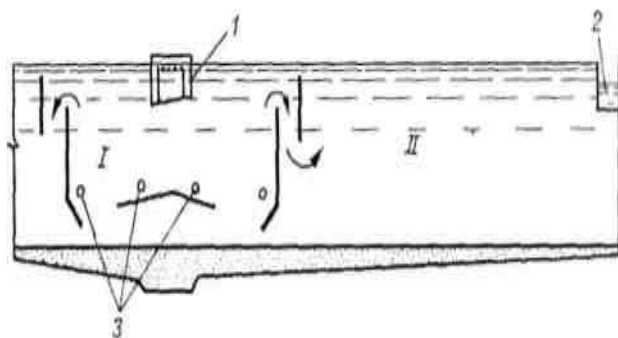


Рисунок 5.4 – Радіальний відстійник із вбудованою камерою біофлокуляції:
I – зона попередньої аерації; II – відстійна зона;
1 – розподільний пристрій; 2 – збірний лоток; 3 – аератори

Біофлокулятор може бути також додатково обладнаний низько градієнтними мішалками у зоні відстоювання, а на виході з неї, перед кільцевим периферійним водозбірним лотком, можливе влаштування тонкошарових блоків, що працюють за перехресною схемою. У такому випадку за оптимальної дози надлишкового активного мулу 160–200 мг/л, яка відповідає його приросту, ефективність освітлення стічних вод за завислими речовинами становитиме 75–80 %, а за БПК_{повн} – досягає 50–70 %. Вологість суміші осаду і надлишкового мулу, що вивантажуються з відстійника при цьому 96,0–96,5 %.

Процес освітлення стічних вод можна інтенсифікувати також шляхом переобладнання первинних відстійників у так звані флотаційні біокоагулятори.

Спосіб флотаційного освітлення стічних вод у поєднанні з біокоагуляцією активним мулом чи біоплівкою, які мають хорошу здатність до флотації, розроблений в Українському інституті інженерів водного господарства (нині Український державний університет водного господарства та природокористування) під керівництвом проф. О. П. Сіньова і називається *флотаційною біокоагуляцією*.

Як флотаційні біокоагулятори можуть бути використані флотатори різних типів. У разі інтенсифікації роботи активних очисних споруд можлива

реконструкція первинних відстійників у флотаційні біокоагулятори, що полягає в обладнанні їх пристроями для розподілу очищених стічних вод і робочої рідини, відведення очищеної води, збору й видалення флотаційного шламу. Через те, що під час роботи флотаційного біокоагулятора і його аварійних зупинок відбувається випадання осаду, у переобладнаному відстійнику необхідно зберегти пристрої для його видалення.

У горизонтальних відстійниках у разі переобладнання їх у флотаційні біокоагулятори частина робочого обсягу на початку відстійника використовується для осадження великих і важких грубодисперсних домішок, інший обсяг приділяється під флотаційну камеру (рис. 5.5). Із найбільшою ефективністю робочий обсяг горизонтального відстійника у випадку переобладнання його у флотатор може бути використаний у разі розосередженої подачі й відведення стічної рідини за довжиною флотаційної камери, хоча це небагато й ускладнює її конструкцію (рис. 5.5, б).

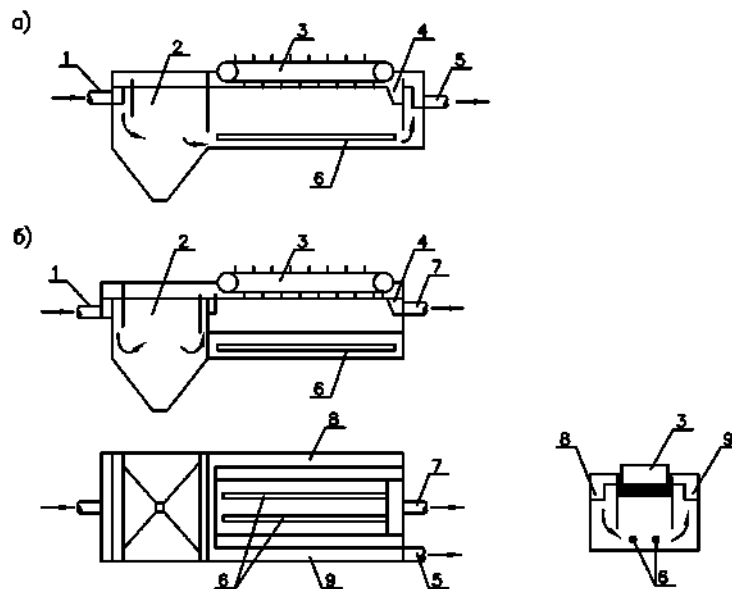


Рисунок 5.5 – Рекомендовані схеми переобладнання горизонтальних відстійників у флотаційні біокоагулятори: а – розосереджена подача води за шириною флотаційної камери; б – розосереджена подача води за довжиною флотаційної камери (б);

- 1 – трубопровід стічних вод; 2 – камера для попереднього відстоювання стічних вод; 3 – скребок; 4 – лоток для збору флотаційного шламу; 5 – трубопровід очищених стічних вод; 6 – розподільний трубопровід робочої рідини; 7 – трубопровід для видалення шламу; 8 – розподільний лоток; 9 – збірний лоток

Флотаційні біокоагулятори можна ефективно використовувати для попереднього очищення стічних вод від жиру й інших домішок, що важко осідають на очисних спорудах, які приймають стічні води м'ясокомбінатів, молокопереробних пунктів й інших підприємств харчової промисловості. У разі використання всього надлишкового активного мулу, що утворюється в аеротенках під час очищення стічних вод м'ясокомбінату, ефект видалення жиру у флотаційних біокоагуляторах становить 70–90 %, що суттєво зменшує навантаження на аеротенки за органічними забрудненнями і знижує практично

до нуля концентрації жиру в біологічно очищених стічних водах. Крім виділення речовин, які осідають у первинних відстійниках, затримуються також плаваючі речовини.

Використання флотаційних біокоагуляторів дозволяє:

- скоротити тривалість первинного відстоювання стічних вод до 30–40 хв, істотно знизити БПК стічних вод і цим зменшити необхідні обсяги аеротенків і витрати повітря на аерацію;
- виключити з технологічної схеми ущільнювачі надлишкового активного мулу;
- зменшити вологість й обсяги осадів і шламів, які підлягають обробці в метантенках й інших спорудах, і цим скоротити їхні розміри.

Питання для самоперевірки

1. У яких випадках виникає необхідність інтенсифікації механічного очищення стічних вод?
2. Інтенсифікація первинного відстоювання стічних вод попередньою аерацією. Недоліки цього методу.
3. Наскільки збільшується ефект первинного освітлення за завислими речовинами і БПК_{повн}.
4. Який з методів інтенсифікації первинного відстоювання стічних вод є більш ефективним?
5. Конструкція біофлокулятора.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.2 БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

6 БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У ПРИРОДНИХ ТА ШТУЧНИХ УМОВАХ

6.1 Класифікація методів біологічного очищення стічних вод

Біологічне очищення стічних вод ґрунтується на здатності різних груп мікроорганізмів руйнувати в процесі своєї життєдіяльності розчинні органічні речовини, що містяться в стічних водах, тобто використовувати розчинені органічні забруднення стічних вод в якості продуктів харчування, в результаті чого вони отримують енергію для своєї життєдіяльності, а стічна вода звільняється від цих забруднень.

Біологічне очищення може здійснюватися такими методами:

- в умовах, близьких до природних;
- у штучно створених умовах.

Біологічне очищення в умовах, близьких до природних, полягає у пристосуванні за допомогою технічних засобів природних біоценозів ґрунтів чи водойм до приймання стічних вод і природного біологічного окислення органічних речовин, що містяться у стічних водах.

Спори для біологічного очищення стічних вод в умовах, близьких до природних, поділяють на споруди, в яких відбувається фільтрування очищуваних стічних вод через шар ґрунту (*поля фільтрації та поля зрошення*), і на споруди, що є водоймами (*біоставками*), заповненими очищеною стічною водою. У спорудах першого типу надходження кисню відбувається переважно за рахунок його безпосереднього поглинання мікроорганізмами з повітря. У спорудах другого типу надходження кисню відбувається переважно за рахунок реаерації чи штучної аерації. Однак невисока інтенсивність природних біохімічних процесів, велика площа споруд і кліматичні умови обмежують широке застосування методів біологічного очищення стічних вод на полях фільтрації, полях зрошення та у біоставках.

До споруд аеробного біологічного очищення у штучно створених умовах належать біофільтри і аеротенки. *Біофільтр* – резервуар із фільтрувальним матеріалом, поверхня якого вкрита біоплівкою (колонія мікроорганізмів, що здатні сорбувати й окисляти органічні речовини і стічних вод). *Аеротенк* – резервуар, в якому очищені стічні води змішуються з активним мулом (біоценоз мікроорганізмів, також здатних поглинати органічні речовини зі стічних вод).

Принцип очищення у цих спорудах той самий, що є основою природних методів очищення. Однак екологічні системи біофільтрів і аеротенків суттєво відрізняються від природних аналогів екстремальними умовами існування біоценозів, можливістю підтримання в них оптимальних умов життєдіяльності організмів біоценозу (навантаження за органічними речовинами, температура, рН, кількість розчиненого кисню тощо). Усе це забезпечує високу інтенсивність біохімічних процесів у цих спорудах.

Під терміном «*біологічне очищення стічних вод*» у практиці водоочищення зазвичай розуміють процеси аеробної біологічної очистки, які відбуваються під дією аеробних мікроорганізмів за наявності у воді розчиненого кисню. Здатність мікроорганізмів біологічної плівки й активного мулу споживати сполуки різноманітного хімічного складу та їхня висока адаптаційна спроможність до змінюваних умов зовнішнього середовища дозволяє ефективно очищувати стічні води від органічних сполук, що містяться у побутових стічних водах, а також від біологічно окислювальних речовин, що містяться у виробничих стічних водах. На сьогодні біологічне очищення стічних вод на біофільтрах і в аеротенках є основним, найбільш ефективним та економічно доцільним методом очищення міських і багатьох категорій виробничих стічних вод.

6.2 Біологічне очищення стічних вод у природних умовах. Поля зрошення і поля фільтрації

Методи очищення стічних вод у ґрунті засновані на здатності ґрунту до самоочищення. Самоочищення ґрунту зумовлюється його поглинальною спроможністю, під якою розуміють спроможність ґрунту затримувати розчинні, колоїдні і нерозчинні домішки. Внаслідок механічної поглинальної

спроможності, яка пов'язана з поруватістю ґрунту, затримуються нерозчинні домішки стічних вод, зокрема бактерії та яйця гельмінтів. Завдяки хімічній поглинальній спроможності з води вилучаються ті аніони, які утворюють нерозчинні сполуки з катіонами ґрунту (наприклад фосфати). Біологічна поглинальна спроможність ґрунту полягає у використанні органічних і мінеральних домішок стічних вод організмами ґрунту.

Біоценоз ґрунту – це складне угруповання бактерій, грибів, актиноміцетів, водоростей, найпростіших, хробаків і личинок комах. У біологічному відношенні найбільш активним є шар ґрунту глибиною 20 см.

Під час фільтрування стічних вод через шар ґрунту в ньому розвивається мікробна плівка, біоценоз якої складається з мікроорганізмів стічних вод і мікронаселення ґрунту, що пристосувалося до специфічних умов, які виникають у ґрунті під час зрошення його стічними водами. При цьому загальна кількість бактерій збільшується в декілька разів. Вважається, що основну частину бактеріального населення полів зрошення складають природні мешканці ґрунту, а більшість бактерій, які надходять у ґрунт зі стічними водами, відмирає під дією різноманітних фізичних, хімічних і біологічних чинників.

Підраховано, що з моменту надходження на поля до моменту виходу в дренаж кожна порція стічних вод має контакт з ґрунтом протягом приблизно не менше 6–12 діб. Цим, а також розвиненою активною поверхнею ґрунту і великою масою мікроорганізмів у ньому пояснюється високий ефект очищення стічних вод, що досягається на полях зрошення і полях фільтрації.

Різні види забруднень стічних вод проникають у шар ґрунту на різну глибину. Бактерії, віруси, яйця гельмінтів затримуються у верхньому шарі. Дещо глибше проникають органічні речовини й амонійний азот, ще глибше – хлориди та нітрати. Встановлено, що поверхнево-активні речовини слабо поглинаються ґрунтом і тому здатні проникати у дуже глибокі шари, потрапляючи в ґрунтові води. Крім того, ПАР зменшують можливість концентрації речовин на поверхні частинок ґрунту, іншими словами, знижують його поглинальну спроможність. За наявності ПАР бактерії, віруси і яйця гельмінтів мають можливість проникати в більш глибокі шари ґрунту.

Найважливішим чинником, що зумовлює швидке окислення домішок стічних вод, є кисень. Хороша аерація досягається тільки у верхньому шарі ґрунту глибиною 20–30 см, тому саме тут спостерігається найінтенсивніша мінералізація органічних речовин. Поряд із гетеротрофними бактеріями в окисленні органічних речовин беруть активну участь і гриби. Фотосинтетична активність водоростей, що розвиваються у верхньому шарі ґрунту, сприяє його аерації. У добре аерованому верхньому шарі ґрунту інтенсивно відбуваються процеси нітрифікації. Твердий субстрат, яким є ґрунт, його особливі фізико-хімічні умови зменшують шкідливий вплив амонійного азоту, створюючи можливість симбіотичної життєдіяльності гетеротрофних і нітрифікуючих бактерій. Нітрат – іон, що має велику рухливість, вільно проникає вглиб ґрунту, забезпечуючи можливість окислення залишкових концентрацій органічних речовин унаслідок процесу денітрифікації.

Стічні води, очищені на полях зрошення або полях фільтрації, у разі дотримання допустимих гідравлічних навантажень практично повністю звільняються від патогенних бактерій і яєць гельмінтів. Однак санітарний стан ґрунту серйозно погіршується. Неспороносні патогенні бактерії зберігаються в ґрунті порівняно недовго, але спори низки хвороботворних бактерій і яйця гельмінтів не втрачають життєздатності роками. Із цих причин на полях зрошення рекомендується вирощувати культури, що не вживаються в їжу у сирому вигляді, переважно трав'яні.

Ступінь очищення стічних вод на полях зрошення і полях фільтрації значно знижується у зимовий період через уповільнення і навіть припинення біологічних процесів за низьких температур. У цей період поля всіх видів працюють здебільшого як накопичувачі стічних вод шляхом поверхневого наморожування.

Методи біологічного очищення стічних вод на полях зрошення і полях фільтрації за інтенсивністю біохімічних процесів значно поступаються аеротенкам і біофільтрам, але за якістю очищеної води вони порівнянні, а в деяких випадках забезпечують більш ефективне очищення, ніж у штучно створених умовах, особливо від біогенних елементів. Недоліком природних методів очищення є велика площа земельних ділянок, необхідних для влаштування полів, а також сезонність їхньої роботи.

У промислово розвинених країнах практично повністю відмовились від очищення стічних вод на полях зрошення і полях фільтрації, що зумовлено:

- поступовим накопичуванням у ґрунтах біологічно неокислюваних забруднень;
- надходженням у ґрунти зі стічними водами речовин, які згубно впливають на флору й фауну ґрунтів;
- високою вартістю, труднощами у придбанні для очищення земель навколо населених пунктів і різким підвищенням енергетичних витрат у разі віддалення таких споруд від населених пунктів;
- санітарною неблагонадійністю як самих цих споруд, так і вирощуваної на них сільськогосподарської продукції;
- відсутністю технологічного контролю та управління процесами очищення стічних вод у ґрунті;
- налагодженим серійним випуском малих очисних установок будь-якої продуктивності для очищення стічних вод у штучно створених умовах;
- типізацією будівництва великих очисних споруд з використанням інтенсивних методів очистки і знезаражування стічних вод.

Поля фільтрації – це сплановані горизонтально або з незначним ухилом ділянки землі, поділені на карти земляними огорожувальними валиками. Стічні води розподіляються по картах за допомогою зрошувальної мережі; очищена вода, що профільтрувалася через шар ґрунту, відводиться за допомогою осушувальної мережі (дренажу).

Під час влаштування полів фільтрації вибирають відкриті, не затоплювані весняними водами ділянки зі спокійним рельєфом місцевості й природним ухилом не більше 0,02. Поля фільтрації краще влаштовувати на

піщаних і супіщаних ґрунтах, однак їх можна влаштовувати також і на суглинистих і чорноземних ґрунтах, зменшуючи при цьому навантаження на них стічних вод. Важкі суглинки і глини не придатні для влаштування полів, бо вони заболочуються. Торф'яні ґрунти потребують попереднього осушення. Поля не влаштовують на землях, розташованих близько від місць виклинювання водоносних горизонтів.

За несприятливих ґрунтових умов на полях зрошення й полях фільтрації влаштовують осушувальну водовідвідну мережу, що складається з дренажу, збірної мережі, відвідних ліній і випусків.

Дренаж дозволяє своєчасно відводити зайву вологу з ґрунту й сприяє проникненню повітря в осушувальний діяльний шар, без чого не може відбуватися аеробний окислювальний процес. Улаштування дренажу обов'язкове у разі залягання підземних вод на глибині менше за 1,5 м від поверхні карт. Залежно від характеру ґрунтів дренажну мережу влаштовують у вигляді відкритих осушувальних каналів або закритого дренажу: в слабопроникних ґрунтах (суглинках) – закритий дренаж, у сильнопроникних ґрунтах (пісок, супісок) – відкриті осушувальні канали.

Поля фільтрації рекомендується розміщувати нижче за течією ґрунтових вод від водозабірних споруд: на відстані не менше 200 м – для легких суглинків, 300 м – для супісків і 500 м – для пісків. Відносно населених пунктів поля рекомендується розміщувати з підвітряного боку з розривами, розмір яких залежить від типу полів і об'єму стічних вод. Для полів фільтрації розриви (захисні зони) встановлені залежно від витрати стічних вод: до 5 000 м³/добу – 300 м, 5 000–50 000 м³/добу – 500 м, більше 50 000 м³/добу – 1 000 м. По контуру полів фільтрації висаджують вербу й інші вологолюбні дерева. Ширину смуги насаджень обирають рівною 10–20 м залежно від віддалення полів від населених пунктів.

Для зручності експлуатації поля розділяють валиками на окремі карти. Розміри карт полів фільтрації визначають залежно від рельєфу місцевості, загальної робочої площі полів, способу обробки ґрунту, кількості стічних вод, що очищують. Під час оброблення ґрунту трактором площа однієї карти повинна бути не менша за 1,5 га. Обирають 5–8 га. Довжину карт обирають у 2–4 рази більше за ширину. Ширина – залежно від виду ґрунту (для пісків – 50 м, для супісків – 80–100 м, для суглинків 120–150 м)

Огороджувальні валики карт влаштовуються висотою до 1 м з укосом стінок 1 : 1,5 у супісках і легких суглинках і 1 : 2 – у пісках. При цьому різниця відміток сусідніх карт біля розподільчого валика не повинна перевищувати 0,8–1,0 м для запобігання просочуванню води з верхньої карти у нижню і сповзання укосів.

У разі влаштування полів фільтрації передбачають постійну і тимчасову зрошувальні мережі. Постійна зрошувальна мережа складається з магістрального каналу, групових розподільних каналів і картових зрошувачів, які обслуговують окремі карти. Стічні води надходять із картових зрошувачів на поля через випуски, що влаштовуються через 30–50 м. Під час влаштування каналів на валиках ширину валика зі сторони випусків на карту обирають

0,8 м, а з протилежної сторони – не менше 0,5 м. За відсутності на валиках каналів їхню ширину для можливості проходу по них призначають не менше за 0,7 м (рис. 6.1).

Канали зрошувальної системи влаштовуються з ухилом до карт полів фільтрації для забезпечення можливості самопливного надходження стічних вод. Ухил складає: 0,001–0,002 – для картових зрошувачів і 0,001–0,005 – для інших каналів. Магістральні та розподільні канали можуть влаштовуватись у землі без облицювання чи з облицюванням залізобетонними плитами чи дерном. Картові зрошувачі влаштовують у вигляді лотків із залізобетону чи дерева з поперечним перетином не менше 200 мм × 200 мм. У районах із суворими зимами зрошувальна система влаштовується з неметалевих труб, які вкладаються у товщу огороджувальних валиків.

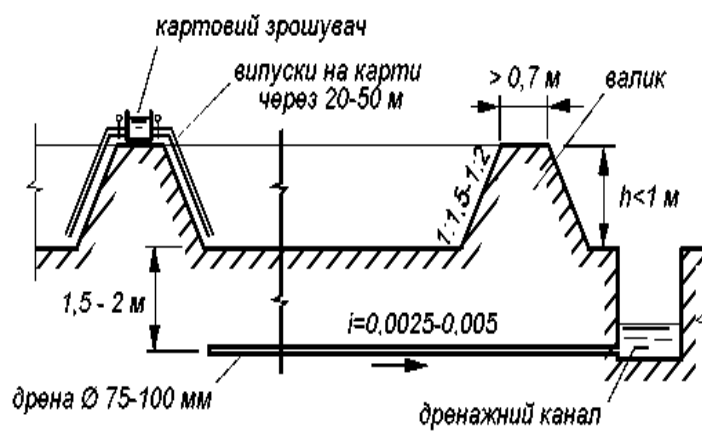


Рисунок 6.1 – Схема влаштування полів фільтрації

Перед пуском полів фільтрації з їхньої робочої поверхні видаляється рослинність, поверхня розорюється і боронується для створення шару добре структурованого ґрунту. Після цього на поверхні карт влаштовується тимчасова зрошувальна мережа у вигляді борозенок (рис. 6.2).

На поля фільтрації подаються стічні води, що пройшли очищення на решітках, у пісковловлювачах і первинних відстійниках (тривалість відстоювання не менше 30 хв). Під час відстоювання зі стічних вод в осад видаляється до 50–80 % яєць гельмінтів, що знижує забруднення ними ґрунту в 7–10 разів. Дуже важливим є затримання у первинних відстійниках також жирів і нафтопродуктів. Небажаним є надходження на поля фільтрації у великих кількостях миючих засобів.

Випускання стічних вод на поля фільтрації здійснюють періодично після того, як профільтрується вся вода і зневодиться верхній шар ґрунту з товщиною до 1,5 м, що забезпечує проникнення у пори ґрунту атмосферного повітря. Звичайно, наступний напуск здійснюється не раніше, ніж через 2–10 діб.

Збір і відведення очищеної води, що профільтрувалася через шар ґрунту, здійснюється за допомогою дренажу, який для добре фільтрувальних ґрунтів (пісок, супісок) влаштовується відкритим у вигляді дренажних каналів по

периметру карт, а для погано фільтрувальних ґрунтів (суглинок) влаштовується закритим і складається з дренажних труб, вкладених по карті на глибині 1,5–2 м, і дренажних каналів. Влаштування відкритого чи закритого дренажу на полях фільтрації є обов'язковим у разі залягання ґрунтових вод на глибині, меншій за 1,5 м від поверхні карт, незалежно від характеру ґрунту. Дренажна система є важливим складником полів фільтрації, бо дозволяє своєчасно відводити надлишкову вологу ґрунту і сприяє прониканню повітря в активний шар, без чого не може відбуватись аеробний окислювальний процес.

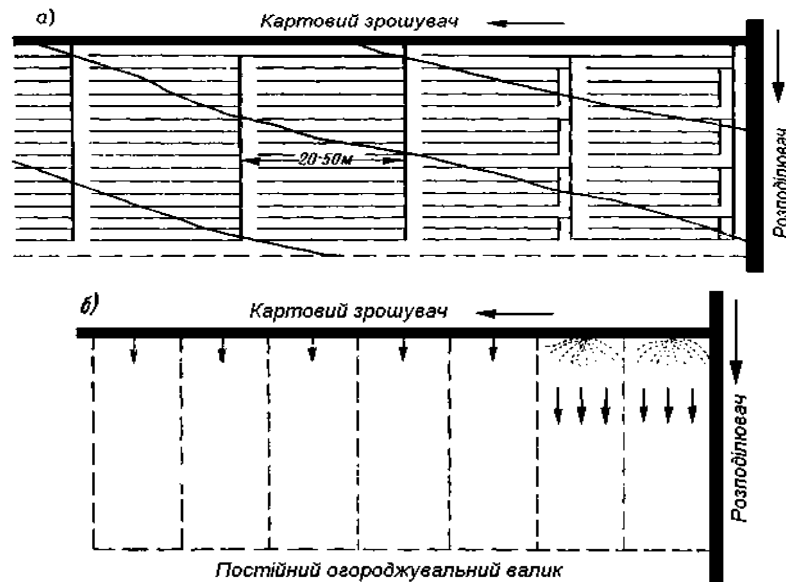


Рисунок 6.2 – Зрошування карт:
а – за борознами; б – за затопленням

Дренажні канали прямокутного або трапецієподібного поперечного перетину виготовляють із цегли, бутового каменю, залізобетону, бетону або роблять земляними. Відстань між дренами залежить від ступеня водопроникності ґрунту, глибини осушуваного шару, глибини закладання дрен, кількості води, що відводиться тощо.

Для попередніх розрахунків відстань між дренами у пісках обирають 16–25 м, у супісках – 12–15 м і у легких суглинках – 8–10 м. Дрени влаштовують здебільшого з неглазурованих гончарних труб діаметром 75–100 мм. Їх вкладають перпендикулярно до напрямку потоку ґрунтових вод з ухилом 0,002 5–0,002. Між трубами залишають проміжки по 4–5 мм. Під стиками вкладають глиняну подушку, згори стики перекривають толем або повстю.

Побутові стічні води, очищені на полях фільтрації, мають БПК_{повн} 10–15 мг/л, стабільність 99 % (тобто практично не загнивають), містять до 25 мг/л нітратів. Кількість бактерій у процесі очистки в ґрунті зменшується на 99–99,9 % порівняно з їхнім вмістом у неочищеній воді. Спеціальне знезаражування очищених стічних вод не вимагається.

У зимовий період навіть за мінусових температур відбувається підлідна фільтрація стічних вод. У разі промерзання ґрунту за температур зовнішнього повітря менше $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ відбувається зимове наморожування стічних вод. При

цьому шар наморожених стічних вод обирається на 10 см меншим від висоти огорожувального валика. Після танення стічних вод талі води фільтруються через ґрунт.

Полями зрошення називаються спеціально підготовлені і сплановані земельні ділянки, призначені для очищення стічних вод і вирощування на них сільськогосподарських культур. Влаштування полів зрошення має дві мети: санітарну – очищення стічних вод, і сільськогосподарську – використання стічних вод як джерела вологи і речовин, що містяться в ній як добрива.

Придатність стічних вод для зрошення оцінюється комплексом показників: мінералізація не вище 2 г/л, нейтральна реакція, наявність елементів живлення (азот, фосфор, калій), відсутність токсичних речовин тощо. В останні роки вимоги до якості води, що використовується для зрошення, значно підвищилися, і у низці випадків для зрошення дозволяється використовувати стічну воду тільки після її біологічної очистки. У цьому випадку поля зрошення виконують функцію споруд для доочищення стічних вод.

Загальний вміст солей не повинен перевищувати 3–4 г/л, зокрема біогенних елементів – 1–1,5 г/л. У разі більшого вмісту солей у стічних водах вимагається їхня спеціальна підготовка (розведення, нейтралізація тощо).

Розрізняють два види полів зрошення:

1. *Комунальні поля зрошення*, головним завданням яких є очищення стічних вод, а використання для сільськогосподарських цілей відіграє допоміжну роль. Експлуатація полів цього типу знаходиться у віданні комунальних органів. За конструкцією вони аналогічні полям фільтрації. Основна відмінність комунальних полів зрошення від полів фільтрації, крім вирощування на них сільськогосподарських культур, полягає у менших навантаженнях, що складають $10\text{--}90 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{добу}$. Однак ці навантаження є максимально допустимими за умовами вирощування сільськогосподарських культур. Біля комунальних полів зрошення влаштовуються поля фільтрації, до яких надходять стічні води у періоди посівної, збирання врожаю й сильних дощів. На цих же полях фільтрації здійснюється також зимове наморожування стічних вод.

2. *Сільськогосподарські поля зрошення*, на яких використання стічних вод для сільського господарства та їхнє очищення є єдиним цілим. Поля цього типу влаштовують на сільськогосподарських землях без вилучення їх у землекористувачів і залишають у віданні останніх. Стічні води подаються на поля незалежно від пори року та метеорологічних умов.

Під час влаштування й експлуатації полів зрошення будь-якого типу необхідно дотримуватися певних санітарних вимог. Зокрема, забороняється зрошувати неочищеними стічними водами поля під час вирощування на них овочів, що вживаються в їжу в сирому вигляді.

Сільськогосподарські поля зрошення влаштовують у різноманітних кліматичних районах, за винятком північних, на ґрунтах, придатних для землеробства. Природний ухил земельних ділянок не повинен перевищувати 0,03 (найбільш прийнятний ухил 0,005–0,015), що у більшості випадків

дозволяє відмовитись від попереднього горизонтального планування зрошуваних ділянок (можна обмежитися тільки вирівнюванням мікрорельєфу).

Порівняно з полями фільтрації санітарно-захисні зони полів зрошування зменшуються на 100 м.

Під час використання на полях зрошення міських стічних вод вони спочатку подаються на очисну станцію, де зазнають механічного очищення на решітках, у пісковловлювачах і первинних відстійниках. У нічний час вода надходить у регулюючі ємності. Після відстійників стічна вода самопливом чи за допомогою насосів подається у найвищі точки, звідки самопливом розподіляється по полях.

На територію полів вода подається зрошувальною мережею, яка поділяється на:

- постійну, що складається з постійних магістральних і розподільчих трубопроводів, якими стічна вода підводиться до полів;

- тимчасову, що складається з переносних трубопроводів, тимчасових зрошувачів, улоговин і водовідвідної борозни;

- поливну, що складається з борозни, смуг і підґрунтових зволожувачів.

Стічні води подають у найвищу точку полів у розподільній колодязь, звідки вода мережею розподільних каналів надходить в окремі карти. Для розподілу води усередині карт полів зрошення перед поливами улаштовують тимчасову зрошувальну мережу у вигляді смуг або борозенок. Для рівномірного заповнення водою карти планують із поздовжнім і поперечними ухилами залежно від водонепроникності ґрунту (для легких суглинків 0,001 й 0,002, для супісків 0,002 й 0,003, для пісків 0,003 й 0,004). Зрошувальна мережа повинна бути запроєктована так, щоб стічна вода подавалася самопливом у кожен з ділянок території, що обслуговується цією мережею.

Зрошувальну мережу проєктують з керамічних або азбестоцементних труб діаметром 75–100 мм. Дозволяється застосування зрошувальних лотків із цегли, бетону й інших матеріалів. Вкладають зрошувальні труби в піщаних ґрунтах з ухилом 0,001–0,003, а в супіщаних – горизонтально. Відстань між паралельними зрошувальними трубами у пісках 1,5–2,0 м, у супісках – 2,5 м. Керамічні труби прокладають із проміжками 15–20 мм; стики труб згори перекривають толем або повстю. В азбестоцементних трубах зрошувальних мереж знизу роблять прорізи на половину діаметра шириною 15 мм. Відстань між прорізами повинна бути не більшою 2 м. Для притоку повітря на кінцях зрошувальних труб встановлюють стояки діаметром 100 мм на висоту 0,5 м над поверхнею землі. Трубопроводи постійної зрошувальної мережі вкладають з урахуванням промерзання ґрунту на орних землях на глибину 0,7–1,2 м, а під дорогами – нижче глибини промерзання ґрунту на 0,1 м до верхньої частини труби.

Під час визначення необхідної площі полів зрошення необхідно розрізняти такі види норм навантажень, м³/га:

- 1) середньодобова норма – об'єм стічних вод, який припадає на 1 га зрошуваної площі полів у середньому за 1 добу протягом певного періоду; зазвичай прийнято вказувати середньодобову норму за рік;
- 2) зрошувальна норма – об'єм води, необхідний для вирощування цієї культури за весь вегетаційний період;
- 3) поливна норма – об'єм води, що подається за один полив;
- 4) удобрювальна норма – об'єм води, необхідний для культури, що вирощується з огляду на удобрювальні властивості стічної води;
- 5) норма зимового зрошення.

Питання для самоконтролю

1. У чому полягає суть біологічного очищення води?
2. Як впливають різні фактори (вміст кисню, біогенних елементів і токсичних речовин, рН середовища, температура тощо) на ефективність процесів біологічного очищення води?
3. Назвіть способи біологічного очищення води.
4. Наведіть технологічні схеми біологічного очищення води.
5. Схарактеризуйте ґрунтові методи біологічного очищення води.
6. Охарактеризуйте схему очищення стічних вод із біологічним очищенням на полях зрошування.
7. Як відбувається біологічне очищення стічних вод за штучних умов?

7 СПОРУДИ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У ШТУЧНО СТВОРЕНИХ УМОВАХ

7.1 Біологічні фільтри, їх класифікація

Біофільтр – це споруда, у якій стічна вода фільтрується через завантажувальний матеріал, вкритий біологічною плівкою (біоплівкою), утвореною колоніями мікроорганізмів. Біофільтр складається з таких частин (рис. 7.1):

- фільтрувального завантаження, поміщеного в резервуар круглої або прямокутної форми в плані (тіло біофільтра);
- водорозподільного пристрою для рівномірного зрошення стічною водою поверхні завантаження;
- дренажного пристрою для видалення профільтрованої рідини;
- повітророзподільного пристрою для надходження повітря всередину біофільтра.

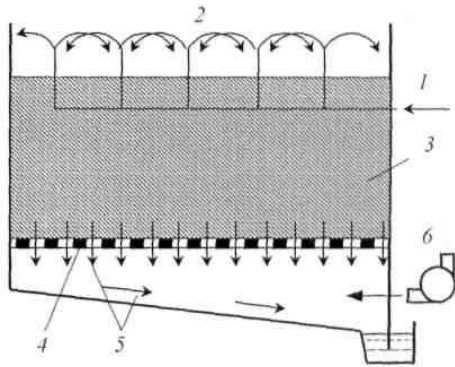


Рисунок 7.1 – Розріз біофільтра:

- 1 – подача стічних вод;
- 2 – водорозподільний пристрій;
- 3 – фільтрувальне завантаження;
- 4 – дренажний пристрій;
- 5 – очищена стічна вода; 6 – повітророзподільний пристрій

Біофільтри проектують на часткове або повне очищення стічних вод із доведенням БПК_{повн} до 15 мг/л. Як фільтрувальний матеріал використовують гравій, гальку, керамзит і різноманітні штучні матеріали.

Усі матеріали, штучні або природні, що використовуються для завантаження біофільтрів, повинні бути волого і морозостійкими та відповідати вимогам будівельних норм [5].

Стічні води розподіляються по поверхні біофільтра розприскувачами, зрошувачами та іншими пристроями.

Проходячи крізь завантаження біофільтра, забруднена вода залишає в ній нерозчинені домішки, що не осіли у первинних відстійниках, а також колоїдні й органічні речовини, що сорбуються біоплівкою.

Частину органіки мікроорганізми використовують для збільшення своєї біомаси, тому маса активної біоплівки весь час збільшується. Відпрацьована й омертвіла біоплівка змивається стічною водою й виноситься з тіла біофільтра, після чого відокремлюється від очищеної води у вторинних відстійниках. Необхідний кисень може надходити в товщу завантаження природною й штучною вентиляцією.

Кількість секцій або біофільтрів повинна бути не менше двох. Розподільну і відвідну мережі біофільтрів розраховують на максимальну витрату стічних вод.

Класифікація біофільтрів

Біофільтри через їхню велику висоту застосовують у тому випадку, коли рельєф місцевості має різко виражені перепади висот у вигляді пагорбів, ярів тощо, завдяки чому забезпечується самопливний рух води по спорудам очисної станції. Втрати напору в біофільтрах значно більші, ніж у аеротенках, і складаються з втрат напору у зрошувачі (до 1,5 м), висоти завантаження (від 2 м до 4 м), висоти дренажного шару і поміждонного простору (0,7–0,9 м). Загальні втрати напору коливаються від 4,2 м до 6,4 м, що повинно бути забезпечене відповідним перепадом місцевості

Біофільтри класифікують за такими ознаками:

1. *За ступенем очищення:* на повне й неповне біологічне очищення (високопродуктивні біофільтри можуть працювати на повне або неповне

очищення залежно від необхідного ступеня очищення, малопродуктивні працюють тільки на повне очищення).

2. *За способом подачі повітря:* зі штучною аерацією (у цьому випадку вони називаються аерофільтрами) і з природною подачею повітря.

3. *За режимом роботи:* з рециркуляцією стічної води (з поверненням частини очищеної рідини в біофільтр) і без неї. Якщо концентрація забруднень, що надходять на біофільтр, невисока й вони можуть бути подані на біофільтр у такому обсязі, що достатній для самовільного його промивання, то рециркуляція стоку необов'язкова. Під час очищення концентрованих стоків рециркуляція бажана, а в деяких випадках навіть обов'язкова.

4. *За технологічною схемою:* одно- і двоступінчасті біофільтри; двоступінчасті біофільтри застосовують, якщо немає можливості збільшувати висоту біофільтра, й за необхідності більш високого ступеня очищення.

5. *За пропускною здатністю:* малої пропускної здатності (краплинні біофільтри) і великої (високонавантажувані).

6. *За видом й особливостями завантажувального матеріалу:* біофільтри з об'ємним завантаженням (гравій, шлаки, керамзит, щебінь тощо) і площинним завантаженням (пластмаси, тканини, азбестоцемент, кераміка, метал тощо).

Біофільтри з об'ємним завантаженням розрізняють за висотою завантаження:

- краплинні, що мають висоту 1,5–2 м;
- високонавантажувані – 2,5–4 м;
- баштові з висотою 8–16 м.

Біофільтри з площинним завантаженням поділяють на такі:

- з жорстким засипним завантаженням (керамічні, пластмасові або металеві засипні елементи);
- з жорстким блоковим завантаженням (гофровані або плоскі листи або просторові елементи);
- з м'яким або рулонним завантаженням, виконаним з металевих або пластмасових сіток, синтетичних тканин, які кріплять на каркасах або укладають у рулонах;
- заглибні біофільтри, що складаються з пакета дисків, насаджених на горизонтальну вісь обертання.

7.2 Технологічні параметри роботи біофільтрів

Питома поверхня завантаження – це площа поверхні 1 м³ завантаження біофільтра, виражена у метрах квадратних. Питома поверхня завантаження, а отже, і сумарна площа поверхні біоплівки, залежно від матеріалу завантаження змінюється в межах 50–350 м²/м³ і може досягати навіть 1 000 м² на 1 м³ об'єму завантаження. Тому в біохімічних процесах у біофільтрах бере участь велика кількість мікроорганізмів (біомаси), і тривалість процесу очистки (до 20–60 хв) значно менша, ніж в аеротенках.

Вентиляція біофільтрів необхідна для постачання киснем повітря аеробних мікроорганізмів біоплівки, а також для видалення з товщі завантаження вуглекислоти, яка утворюється в процесі їхньої життєдіяльності. На практиці застосовують природну вентиляцію й штучну, коли повітря в завантаження подається за допомогою вентиляторів. В обох випадках важливою є наявність у завантаженні достатньої кількості пор, через які атмосферне повітря надходить до біоплівки, тобто поруватість завантаження.

Поруватість завантаження – це виражене у відсотках відношення об'єму пор у завантаженні до загального об'єму завантаження.

Чим більша поруватість матеріалу завантаження – тим краще буде надходити атмосферний кисень до біоплівки і тим ефективніше будуть здійснюватися біохімічні процеси в біофільтрі.

У разі штучної вентиляції завантаження користуються таким показником, як питома витрата повітря.

Питома витрата повітря – це кількість повітря у метрах кубічних, що подається в біофільтр у розрахунку на 1 м^3 очищуваних стічних вод.

Кількість кисню повітря, що використовується в біофільтрах, як і в інших спорудах біохімічної очистки, не перевищує 7–8 %. При цьому необхідна кількість повітря становить 8–16 м^3 на 1 м^3 стічних вод.

Гідравлічне навантаження – це витрата стічних вод у м^3 , яка може бути подана на біофільтр у розрахунку на 1 м^2 площі його поверхні за 1 добу. Іноді гідравлічне навантаження визначають у розрахунку не на 1 м^2 площі поверхні завантаження, а на 1 м^3 його об'єму.

Об'ємне гідравлічне навантаження – це витрата стічних вод у метрах кубічних, яка може бути подана на біофільтр у розрахунку на 1 м^3 його об'єму за 1 добу.

Очевидно, що об'ємне гідравлічне навантаження може розглядатись як кількість стічних вод, що може бути очищена в 1 м^3 завантаження біофільтра за добу, чи як *продуктивність біофільтра*.

Особливістю режиму роботи біофільтра є забезпечення необхідної ефективності очистки стічних вод (наприклад, зниження БПК_{повн.} очищених стічних вод до 15–20 мг/л під час повного біологічного очищення) у разі їхнього одноразового проходження через завантаження. При цьому залежно від матеріалу завантаження, режиму експлуатації біофільтра, виду очищуваних стічних вод за одиницю часу в одиниці об'єму завантаження буде окислюватись певна кількість забруднень, що характеризується таким показником, як окислювальна потужність біофільтра.

Окислювальна потужність біофільтра – це кількість забруднень по БПК_{повн.} чи БПК₅, яка може бути видалена зі стічних вод протягом 1 доби у 1 м^3 його завантаження.

Збільшення концентрації забруднень у стічних водах, що подаються на біофільтр, у разі незмінного матеріалу й висоти завантаження призведе до погіршення якості очистки і, як наслідок, до зміни окислювальної потужності. Тому окислювальна потужність завантаження біофільтра залежить від

кількості забруднень, що надходять на біофільтр, а точніше, від органічного навантаження.

Органічне навантаження – це кількість забруднень по БПК_{повн} чи БПК₅, яка надходить з очищеними стічними водами в розрахунку на 1 м³ завантаження біофільтра за 1 добу.

Під час очищення стічних вод на біофільтрах часто застосовують так звану рециркуляцію, коли очищувані стічні води, перед подачею на біофільтр, змішуються зі вже очищеними стічними водами.

Коефіцієнт рециркуляції – це відношення витрат очищених і очищуваних стічних вод, які змішуються перед подачею на біофільтри.

7.3 Основні типи біофільтрів з об'ємним завантаженням

7.3.1 Особливості конструкції краплинних біофільтрів

У краплинному біофільтрі стічна вода подається у вигляді крапель або струменів. Природна вентиляція повітря здійснюється через відкриту поверхню біофільтра і дренаж. Ці біофільтри рекомендується застосовувати для повного біологічного очищення стічних вод у разі їхніх витрат не більше за 1 000 м³/добу. Гідравлічне навантаження на краплинних біофільтрах становить 1,5–3 м на 1 м² поверхні завантаження на добу.

Краплинні біофільтри застосовують для повного біологічного очищення на станціях потужністю до 1 000 м³/добу. Біофільтри потужністю до 500 м³/добу розташовують у приміщеннях з опаленням за середньорічної температури повітря 3–6 °С. Біофільтри більшої потужності розташовують у неопалюваних приміщеннях із легких конструкцій.

Краплинні біофільтри складаються з фільтрувального завантаження, дренажу й розподільних пристроїв. Повітря надходить природним шляхом: зверху – крізь відкриту поверхню, знизу – крізь дренаж. Процеси окислення, що відбуваються в крапельному біофільтрі, такі самі, як процеси окислення, що відбуваються на спорудах природного біологічного очищення. Але інтенсивність перебігу цих процесів на крапельних біофільтрах значно вища.

Очищення стічних вод на краплинних біофільтрах здійснюється у такий спосіб. Стічні води, освітлені в первинних відстійниках, самопливом або під тиском надходить у розподільні пристрої, за допомогою яких періодично розбризкується на поверхню біофільтра. Вода, що проходить крізь товщу фільтрувального матеріалу, крізь дренаж стікає по суцільному водонепроникному дну до влаштованих у ньому збірних лотків, якими відводиться у відвідні лотки, що розміщені за межами біофільтра. Після цього вода надходить на вторинні відстійники, де відбувається відділення біоплівки від очищених стічних вод.

Ефективність очищення стічних вод за нормальної роботи крапельних біофільтрів дуже велика і може досягати за БПК_{повн} 90 % і більше.

На краплинні біофільтри допускається подавати стічні води з БПК_{повн} не більше 220 мг/л. У разі більшої концентрації передбачають рециркуляцію. Очищена стічна вода може мати БПК_{повн} до 15 мг/л.

Краплинні біофільтри проектують зазвичай прямокутними чи круглими в плані. Їх влаштовують у вигляді 2–8 окремих секцій (усі секції біофільтра – робочі). Розміри кожної секції обирають залежно від способу розподілу води по поверхні, умов експлуатації й інших чинників.

Висота завантаження біофільтра – 1,5–2 м. Найчастіше як завантаження краплинних біофільтрів використовують щебінь, гальку й гравій міцних гірських порід, а також керамзит.

Особливістю краплинних біофільтрів є невеликий діаметр фракцій завантаження (20–40 мм), невелика висота завантаження, низьке питоме гідравлічне навантаження (1–3 м³/м² на добу). *Переваги* – нескладна конструкція, що не потребує великих витрат електроенергії, простота в експлуатації.

Недоліками краплинних біофільтрів є низька продуктивність, чутливість до зміни якості й температури, часті замулювання поверхні завантажувального матеріалу, які зазвичай виникають через перевищення допустимого навантаження за забрудненнями.

7.3.2 Розрахунок краплинних біофільтрів

Розрахунок біофільтрів полягає у визначенні необхідного об'єму завантажувального матеріалу для очищення стічної води і розмірів елементів водорозподільних пристроїв, дренажу, лотків для збору й відведення води.

На краплинні біофільтри допускається подавати стічні води з БПК_{повн} не більше ніж 220 мг/л. За більшої концентрації передбачається рециркуляція.

Об'єм фільтрувального завантаження визначають за окислювальною потужністю. Під окислювальною потужністю мається на увазі кількість забруднень по БПК_{повн} чи БПК₅, що може бути видалена зі стічних вод протягом доби з 1 м³ завантажувального матеріалу біофільтра.

Окислювальна потужність біофільтрів знаходиться у широких межах і залежить від складу стічних вод, температури T_{ω} , гідравлічного навантаження ($q_{bf} = 1-3 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{доб})$), робочої висоти біофільтра ($H_{bf} = 1,5-2 \text{ м}$) і способу подачі повітря.

Параметри краплинних біофільтрів визначаються за будівельними нормами [5] відповідно до заданої розрахункової температури стічних вод T_{ω} і визначеним значенням коефіцієнта біофільтра K_{bf} :

$$K_{bf} = \frac{L_{en}}{L_{ex}}, \quad (7.1)$$

де L_{en} і L_{ex} – відповідно БПК_{повн} неочищених і очищених стічних вод, мг/л.

Загальну площу біофільтрів визначають залежно від добової витрати стічних вод і обраного гідравлічного навантаження q_{bf} :

$$F_{bf} = \frac{Q}{q_{bf}}, \quad \text{м}^2 \quad (7.2)$$

де Q – добова витрата стічних вод, м³/добу.

Висоту шару завантаження краплинного біофільтра обирають у межах 1,5–2 м.

Залежно від обраної висоти завантаження фільтрувального матеріалу H_{cf} і отриманої площі біофільтра визначають об'єм фільтрувального матеріалу.

Розроблені типові проєкти біофільтрів різних розмірів.

Кількість надлишкової біоплівки, що утворюється на станціях очищення з краплинними біофільтрами, визначають залежно від норми на одну особу, що складає 8 г за сухим залишком на добу, і вологості плівки $P_{bf} = 96 \%$.

7.3.3 Високонавантажуваний біофільтр (аерофільтр)

Аерофільтри відрізняються від краплинних висотою завантаження фільтрувального матеріалу й застосуванням штучної вентиляції.

Конструктивними відмінностями високонавантажуваних біофільтрів є більша, ніж у звичайних краплинних біофільтрах, висота шару завантаження, більша крупність його фракцій й особлива конструкція днища й дренажу, що забезпечує можливість штучної продувки матеріалу завантаження повітрям. Завантаження має робочу висоту 2–4 м, крупність матеріалу завантаження становить від 40 мм до 70 мм.

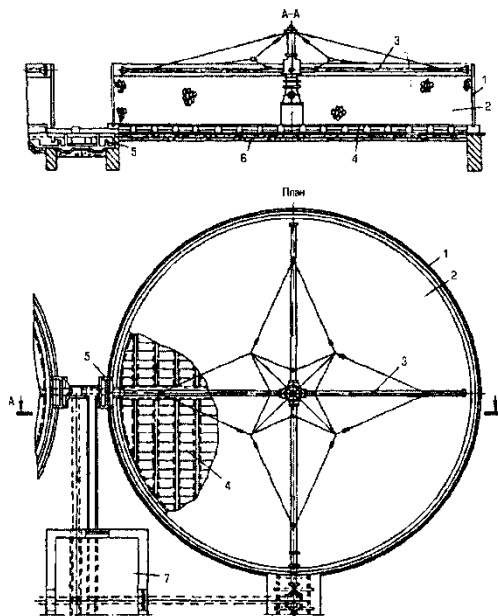


Рисунок 7.2 – Високонавантажуваний біофільтр:

1 – корпус; 2 – завантаження; 3 – реактивний зрошувач; 4 – дренажні решітки; 5 – гідравлічна засувка; 6 – суцільне днище; 7 – вентиляційна камера

Високонавантажувані біофільтри (аерофільтри) використовують на станціях потужністю до 50 000 м³/добу для повного або часткового очищення стічних вод і розміщують на відкритому повітрі. Допустиме значення БПК_{повн} стічних вод без рециркуляції становить 300 мг/л. Гідравлічне навантаження становить 10–30 м³/м² на добу.

Аерофільтри відрізняються від краплинних висотою завантаження фільтрувального матеріалу і застосуванням штучної вентиляції.

Поверхня аерофільтра зрошується рухомим реактивним зрошувачем або спринклерами. На відвідних лотках влаштовується водяна засувка висотою 0,2–0,25 м, який щільно закриває поміждонний простір з усіх боків. Повітря у поміждонний простір подається вентиляторами.

Аерофільтри завантажують сипучими (гравій, шлак, керамзит, галька тощо) і зблокованими (піноскло, шифер тощо) фільтрувальними матеріалами.

Переваги: 1) більша продуктивність, більша окисна потужність, що обумовлено незамулюваністю таких фільтрів і кращим обміном повітря в них (досягається завдяки крупному завантажувальному матеріалу й підвищеному в кілька разів навантаженню по воді); 2) підвищена швидкість протікання стічних вод по поверхні завантаження завдяки безперервному зрошенню. Підвищена швидкість руху стічних вод забезпечує постійне винесення затриманих важкоокислюваних нерозчинених домішок і біоплівки, що відмирає. Кисень повітря, що надходить у тіло біофільтра витрачається переважно на біологічне окислювання частини забруднень, не винесених із тіла біофільтра.

Ступінь очищення в аерофільтрах залежить від висоти фільтрувального завантаження, температури стічної рідини T_{ω} , питомої кількості повітря, що подається, q_a та гідравлічного навантаження q_{af} . Максимальна БПК_{повн} для стічних вод, що подаються на аерофільтри – 300 мг/л.

7.3.4 Розрахунок аерофільтрів

Такі фільтри розраховують відповідно до вимог ДБН [5].

У разі БПК_{повн} очищуваних стічних вод менше за 300 мг/л високонавантажувані біофільтри влаштовуються без рециркуляції, а в разі БПК_{повн} більше за 300 мг/л – з рециркуляцією.

Розрахунок високонавантажуваних біофільтрів здійснюють у такій послідовності:

- 1) визначають коефіцієнт аерофільтрів K_{af} за формулою (7.1);
- 2) за отриманим значенням K_{af} за ДБН [5] для цієї середньозимової температури знаходять значення висоти завантаження аерофільтрів H_{af} (2–4 м), гідравлічне навантаження q_{af} , м³/м²×добу, і питому витрату повітря q_a , що становить 8–14 м³/м³.

Якщо отримане значення K_{af} відрізняється від значень, що наведені в таблиці ДБН [5], то для очистки без рециркуляції необхідно обирати H_{af} , q_{af} і q_a за найближчим більшим значенням K_{af} , а для очистки з рециркуляцією – за

меншим (встановлювати за техніко-економічним розрахунком). БПК_{повн} суміші стічних вод, яка допустима для подачі на аерофільтри, визначають за такою формулою:

$$L_{mix} = K_{af} \cdot L_{ex}. \quad (7.3)$$

У разі БПК_{повн} вихідних стічних вод, що перевищують 300 мг/л, необхідно обрати $K_{af} = 300/L_{ex}$.

Розрахункову площу поверхні біофільтрів визначають за формулою (7.2).

У випадку розрахунку біофільтрів із рециркуляцією після визначення БПК_{повн} суміші стічних вод, яка допустима для подачі на аерофільтри L_{mix} визначають коефіцієнт рециркуляції:

$$K_{rc} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{en}}. \quad (7.4)$$

Тоді загальна площа біофільтрів:

$$F_{af} = \frac{Q(K_{rc} + 1)}{q_{af}}, \quad (7.5)$$

де Q – середньодобова витрата стічних вод, м³/добу;

q_{af} – навантаження, м³, стічних вод на 1 м² площі аерофільтра на добу.

Залежно від обраної висоти завантаження фільтрувального матеріалу H_{af} і отриманої площі біофільтра визначають об'єм фільтрувального матеріалу:

$$V_{af} = H_{af} \cdot F_{af}. \quad (7.6)$$

Необхідну питому витрату повітря q_a обирають у межах 8–12 м³/м² з урахуванням рециркуляційної витрати.

Кількість біоплівки, що виноситься з біофільтрів, обирають 28 г за сухою речовиною на людину за добу, вологість – 96 %.

7.4 Біофільтри з площинним завантаженням

Перевагами таких біофільтрів є компактність, вони мають невелику енергоємність, надійні в експлуатації, не замулюються. Крім того, вони мають високу індустріальність будівництва, включно із заводським виготовленням всього комплексу споруд невеликої потужності. Як завантаження використовують блокові, засипні й рулонні матеріали з пластичних матеріалів, металу, азбестоцементу, кераміки, скла, дерева, тканин тощо.

Щільність площинних завантажуваних матеріалів (12,2–140 кг/м³) значно менша, ніж традиційних матеріалів з гравію або щебеню (1 350–1 500 кг/м³), що дозволяє спростити й полегшити фундамент і конструкції огорожі біофільтрів. Поруватість таких матеріалів (87–98) більше ніж вдвічі вища ніж у об'ємних завантажень (40–50 %), що дозволяє відмовитися від примусової вентиляції й зекономити значну кількість електроенергії.

Цей тип біофільтрів дозволив усунути багато недоліків, властивих біофільтрам: неіндустріальність будівництва, малу пропускну здатність, ненадійність роботи під час перевантажень, нестачу завантажувального

матеріалу тощо. Перевагу біофільтрам із площинним завантаженням необхідно віддавати в районах із важкими ґрунтовими умовами, сейсмічних районах, за наявності дешевих місцевих матеріалів і дефіциту електроенергії.

Біофільтри мають круглу, прямокутну і восьмигранну форму в плані. Висота завантажувального шару 3–8 м, щільність завантаження 10–250 кг/м³, питома площа поверхні 60–250 м²/м³. Гідравлічне навантаження на 1 м³ об'єму біофільтра за добу становить 6–18 м³.

Заглибні біофільтри – це комбіновані споруди для біологічного очищення, які мають ознаки біофільтрів й аеротенків. Бувають трубчасті, шнекові, дискові й барабанні.

Дискові біофільтри складаються з дисків діаметром 1–3 м, що збирають по 30–80 шт. і закріплюють на горизонтальному валу на відстані 10–30 мм один від одного. Диски приблизно на половину діаметра занурені в лоток, по якому протікає стічна вода, і повільно обертаються за допомогою електроприводу. Поступово на поверхні дисків з'являється біоплівка, яка за видовим складом утворюючих її мікроорганізмів не відрізняється від біоплівки біофільтрів із об'ємним і площинним завантаженням. Під час занурення в рідину здійснюється процес сорбції біоплівкою нерозчинних, колоїдних і розчинних забруднень, що містяться в стічних водах. Коли біоплівка знову опиняється у повітрі, відбувається інтенсивне поглинання кисню й окислення вже сорбованих забруднень. За рахунок обертання дисків здійснюється також аерація очищуваних стічних вод. Частина біоплівки, включно з відпрацьованою, відривається від поверхні дисків, потрапляє у лоток і знаходиться в очищуваних стічних водах у завислому стані. Таким чином, процеси біохімічного окислення органічних забруднень стічних вод здійснюються як біоплівкою, закріпленою на поверхні завантаження (як і в біофільтрах), так і вільно плаваючою біоплівкою (аналогічно до аеротенків).

Дискові біофільтри доцільно використовувати для очистки стічних вод малих населених пунктів із витратою до 500–1 000 м³/добу, а також стічних вод від окремих будівель, кемпінгів, будинків відпочинку, санаторіїв, таборів, вахтових селищ тощо. Вони застосовуються і для очищення стічних вод підприємств, що знаходяться в сільській місцевості (молокозаводи, спиртні заводи, консервні заводи).

Барабанні біофільтри є подальшою модифікацією дискових біофільтрів. Основним елементом таких біофільтрів є барабан, жорсткий корпус якого обтягується сіткою і поділяється усередині радіальними поздовжніми переділками на 6–8 секторів, які заповнюються завантаженням.

Питання для самоконтролю

1. Яке призначення мають і для яких умов роботи призначені біофільтри?
2. Як класифікують біофільтри за умовами аерації й за матеріалами завантаження?
3. Краплинні та високонавантажувані біофільтри, їхні особливості.
4. Конструкція біофільтрів (основні елементи).

5. Принцип дії біофільтрів.

6. Системи розподілу стічних вод по поверхні біофільтра.

8 БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД В АЕРОТЕНКАХ

8.1 Суть процесу очищення в аеротенках

Біологічний метод очищення стічних вод застосовують для очищення виробничих і побутових стічних вод від органічних забруднень. Цей процес заснований на здатності деяких мікроорганізмів використовувати забруднювальні стічні води речовини для харчування в процесі своєї життєдіяльності.

На сучасних станціях очистки стічних вод аеротенки є найпоширенішими спорудами біологічного очищення. Також аеротенки – найбільші й енерговитратні ємнісні споруди станцій очищення стічних вод. На стадії біологічного очищення видаляється не тільки основна маса органічних забруднень, але й забезпечується очищення від сполук азоту й основної частини сполук фосфору. Технічні й технологічні рішення, обрані для аеротенків, багато в чому визначають як якість очищеної води, так і енергетичні характеристики станції очищення в цілому.

Аеротенк – резервуар, у якому повільно рухається суміш активного мулу й стічних вод. Для забезпечення нормального перебігу процесу біологічного окислення у аеротенк повинен безперервно надходити кисень.

Активний мул – це біоценоз мікроорганізмів – мінералізаторів, які здатні сорбціювати на своїй поверхні й окислювати органічні речовини стічних вод. Основний процес, що відбувається під час біологічного очищення стічних вод – це біологічне окислювання. Тривалість процесу очищення міських стічних вод в аеротенку – 2–6 год, виробничих – 8 год і більше.

У процесі біологічного очищення стічних вод в аеротенках розчинені органічні речовини, а також тонкодисперговані й колоїдні речовини, що не випадають в осад, переходять в активний мул, спричиняючи приріст вихідної біомаси. Необхідно зазначити, що в процесі окислювання органічних речовин розмножуються аеробні мікроорганізми, і біомаса активного мулу збільшується, тому частину активного мулу повертають в аеротенк (циркуляційний активний мул), а частину (надлишковий активний мул) спрямовують на зневоднення.

Аеротенки застосовують для повного й неповного біологічного очищення стічних вод. Стічні води надходять в аеротенки зазвичай після споруд механічного очищення. Концентрація завислих речовин у них не повинна перевищувати 150 мг/л, а допустима величина БПК_{повн} залежить від типу аеротенка. Під час очищення суміші виробничих і побутових стічних вод необхідно дотримуватися вимог за активною реакцією середовища, за температурою, сольовим складом, наявністю шкідливих речовин, масел, вмістом біогенних елементів тощо.

З аеротенків суміш стічних вод з активним мулом надходить на вторинні відстійники для вилучення з води активного мулу. Якісний активний мул добре відстоюється у вторинних відстійниках із тривалістю відстоювання до 1,5 год, частина його знову повертається в аеротенк (рециркуляція активного мулу), а надлишок (надлишковий мул) спрямовується на мулоущільнювачі для зменшення його вологості. Ущільнений активний мул спрямовують на подальшу обробку в метантенки.

Аеротенки дозволяють отримувати високий ступінь очищення стічних вод із доведенням вмісту органічних речовин в очищених стічних водах за БПК_{повн} до 15 мг/л.

Концентрація розчиненого в рідині кисню підтримується в межах 0,5–2,0 мг/л. Швидкість же споживання кисню тут значно вища, ніж у регенераторі, оскільки у самому аеротенку відбуваються швидші процеси первинної трансформації забруднень у разі їхнього вилучення з очищеної води. Тому інтенсивність аерації тут повинна бути також істотно вищою, ніж у регенераторах.

Тривалість перебування мулу в регенераторі значно більше тривалості аерації у самому аеротенку, хоча сумарна тривалість вилучення й окислювання забруднень залишається тією ж, що й під час реалізації процесу за класичною схемою. Однак концентрація мулу в регенераторі у 2–2,5 рази вище, ніж у самому аеротенку, оскільки мул у нього спрямовується безпосередньо з відстійних споруд і без подачі сюди стічної рідини. Це дозволяє на 15–20 % зменшити сумарний обсяг аераційних споруд порівняно з обсягом під час здійснення процесу очищення тільки в аеротенку.

Тривалість перебування мулу в регенераторі повинна бути достатньою для досягнення необхідної глибини окислювання забруднень, визначається спеціальним розрахунком, що ґрунтується на обліку питомої швидкості окислювання забруднень. Обсяг регенераторів, що вимагається, виражений у відсотках від сумарного обсягу самих аеротенків і регенераторів, одержав назву відсотка регенерації. Якщо, наприклад, необхідний обсяг регенераторів становить 30 % сумарного обсягу, то забезпечити його можна виділивши один коридор трикоридорних аеротенків під регенератор (33 % регенерації).

Для забезпечення 50 % регенерації можна виділити під регенератор або 2 коридори чотирьохкоридорних аеротенків або 1 коридор двокоридорних аеротенків. Оскільки типові аеротенки розроблені у вигляді 2-, 3-, 4-коридорних, то в них можна забезпечити 25 %, 33 %, 50 %, 66 %, 75 % регенерації, виділяючи від 1-го до 3-х коридорів аеротенка під регенерацію. Загалом, можна забезпечити будь-який відсоток регенерації, виділяючи під регенератори відповідний обсяг аеротенків, але при цьому доведеться розробляти конкретну схему підведення активного мулу в регенератор й очищуваної води, безпосередньо у аеротенк у кожному окремому випадку, тобто розробляти індивідуальні проекти аеротенків для конкретного застосування.

8.2 Класифікація аеротенків за основними ознаками. Конструкції аеротенків

Конструктивне оформлення аеротенків визначається пропускною здатністю очисних споруд; вихідними характеристиками стічних вод, що підлягають очищенню, які визначають режим роботи аеротенків; типом аераційного обладнання для подачі повітря і перемішування; конструкцією інших споруд, що входять у технологічну схему очищення стічних вод.

Аеротенки класифікують за такими основними ознаками:

– за гідравлічним режимом – аеротенки-витиснювачі, аеротенки-змішувачі та аеротенки з розосередженим впусканням стічної води;

– за способом регенерування активного мулу – аеротенки з окремою регенерацією активного мулу і аеротенки без окремої регенерації активного мулу;

– за навантаженням на активний мул – високонавантажувані (аеротенки на неповне очищення), нормально навантажені (на повне очищення) і низьконавантажувані (аеротенки подовженої аерації);

– за кількістю ступенів – одно-, дво- і багатоступеневі;

– за типом аерації – з пневматичною, механічною, комбінованою гідродинамічною або пневмомеханічною;

– за способом компоновання з вторинними відстійниками – аеротенки з окремо розташованими вторинними відстійниками і аеротенки, зблоковані з вторинними відстійниками (аеротенки-відстійники).

За структурою руху потоків очищеної стічної води і поворотного активного мулу розрізняють:

1. *Аеротенки-витискувачі (рис. 8.1, а)* – в такій конструкції стічна вода й активний мул подаються зосереджено з однієї з торцевих сторін аеротенку, а випускаються також зосереджено з іншої торцевої сторони. Навантаження на активний мул знижується уздовж споруди. Такий вид аеротенку дозволяє забезпечити високу якість очищення, однак чутливий до різких коливань витрати й складу стоків. Аеротенки-витискувачі доцільніше застосовувати за браком різких коливань витрати стічних вод і вмісту токсичних речовин.

2. *Аеротенки-змішувачі (рис. 8.1, б)* – подача води й активного мулу і випуск здійснюється рівномірно уздовж довгих сторін коридору аеротенку. Повне змішування в них стічної води з муловою сумішшю забезпечує вирівнювання концентрацій мулу й швидкостей процесу біохімічного окислювання. Навантаження забруднень на мул і швидкість окислювання забруднень практично незмінні за довжиною споруди. Вони найбільш придатні для очищення висококонцентрованих ($BPK_{повн}$ до 1 000 мг/л) виробничих стічних вод у разі значних коливань їхніх витрат і концентрації забруднень.

3. *Аеротенки з розосередженим уздовж споруди впуском стічної води (рис. 8.1, в)*. В аеротенках, що працюють за такою схемою, активний мул подається зосереджено в торець головної частини аеротенку, а стічна вода підводиться у декількох точках за довжиною аеротенку, а відводиться

зосереджено з його торцевої частини. Цей вид займає проміжне положення між двома попередніми.

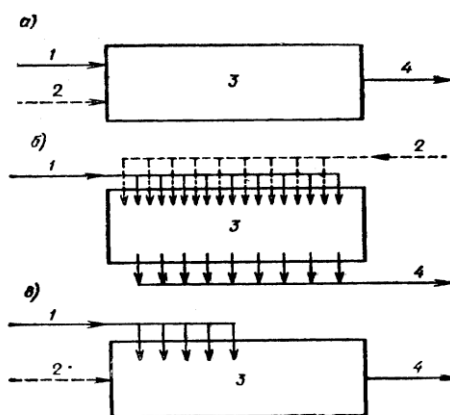


Рисунок 8.1 – Види аеротенків:

- а – аеротенки-витискувачі; б – аеротенки-змішувачі; в – аеротенки з розосередженим впусканням стічної води;
 1 – подача стічної води; 2 – подача поворотного активного мулу;
 3 – аеротенк; 4 – випуск мулової суміші

У аеротенках з розосередженим впусканням стічних вод деякою мірою поєднуються переваги аеротенків-витискувачів, що забезпечує високу якість очищення, з перевагами аеротенку-змішувача, що дозволяє усереднити навантаження на активний мул уздовж споруди. Це особливо важливо за необхідності зняти залпові перевантаження активного мулу або через випадкові підвищення концентрації забруднень, або у разі непередбаченого надходження токсичних або інших шкідливих для біологічних процесів речовин. Аеротенки з нерівномірно розосередженим впусканням стічних вод мають один суттєвий недолік – низькі швидкості окислення забруднень, які за всією довжиною споруди пропорційні $BPK_{повн}$ очищених стічних вод. Аеротенки з розосередженою подачею стічної води застосовують для очищення сумішей побутових і виробничих стічних вод.

Аеротенки-витискувачі (рис. 8.2) – це великі бетонні або залізобетонні проточні резервуари прямокутного перерізу, розділені на низку коридорів із шириною 6–18 м, висотою 4–5 м, в яких повільно рухається суміш активного мулу й стічних вод.

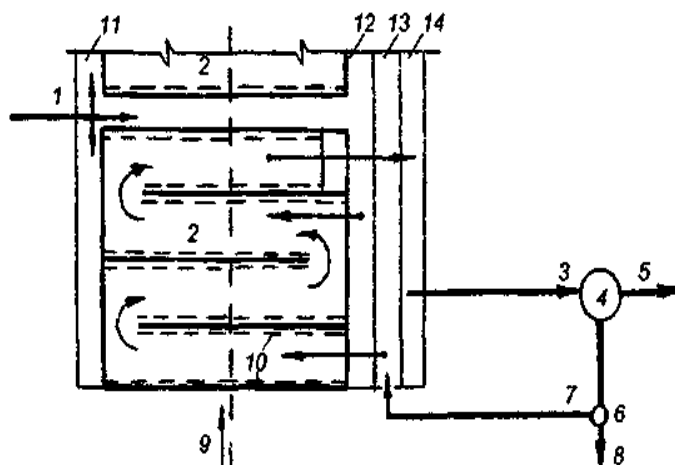


Рисунок 8.2 – Аеротенк-витискувач з регенерацією (50 %):

- 1 – стічна вода після первинних відстійників; 2 – коридори аерації;
 3 – мулова суміш з аеротенків; 4 – вторинний відстійник; 5 – очищена вода;
 6 – мулова камера; 7, 8 – циркуляційний і надлишковий мул;
 9 – повітря від повітродувок; 10 – аераційна система для розподілу повітря в аеротенку; 11 – верхній розподільний канал; 12 – нижній розподільний канал; 13 – канал активного мулу; 14 – канал відведення суміші стічних вод і активного мулу до вторинних відстійників

Аеротенки складаються з секцій, причому кожна з них ділиться поздовжніми переділками, що не доходять до однієї з торцевих сторін, на два, три і чотири коридори. Кількість секцій аеротенків повинна бути не менше двох, робочу глибину обирають 3–6 м, відношення ширини коридорів до робочої глибини – від 1 : 1 до 1 : 2.

За допомогою пневматичних або механічних пристроїв суміш води й активного мулу барботують повітрям, насичуючи її при цьому киснем. Все це забезпечує інтенсивне окислювання органічних речовин.

Розроблені типові проекти дво-, три- і чотирьокоридорних аеротенків-витиснювачів з великим діапазоном продуктивностей, аеротенків-змішувачів із шириною коридору 3 м, 4 м, 6 м і 9 м і робочою глибиною 1,2 м із механічною аерацією, 4,5 м – із низьконапірною аерацією, а також 5 м і 5,2 м – із пневматичною аерацією.

Якщо відстійні споруди мають прямокутну форму в плані (горизонтальні відстійники), то може влаштовуватись єдиний блок аеротенків із первинними та вторинними відстійниками, в якому до мінімуму зведена довжина комунікацій, що з'єднують ці споруди. Розроблені типові проекти таких блоків ємностей із пропускною здатністю від 100 м³/добу до 25 000 м³/добу.

8.3 Основні технологічні схеми очищення стічних вод в аеротенках

Аеротенки можуть бути одноступінчастими й двоступінчастими, при цьому в обох випадках їх застосовують як з регенерацією, так і без неї. Одноступінчасті аеротенки без регенерації (рис. 8.4, а) застосовують у разі

БПК_{повн} стічної води не більше за 150 мг/л, з регенерацією – більше за 150 мг/л і за наявності шкідливих виробничих домішок. Двоступінчасті аеротенки застосовують під час очищення висококонцентрованих стічних вод.

Особливістю одноступінчастої схеми очищення в аеротенках (рис. 8.4, а) є, по-перше, зниження навантаження на активний мул за довжиною аеротенка; по-друге, зниження потреби активного мулу в кисні за довжиною; по-третє, за гідравлічним режимом аеротенк є витискувачем.

Модифікацією цієї схеми є застосування змінної подачі повітря за довжиною аеротенка, що відповідає кривій зниження БПК за довжиною. Інша модифікація полягає в застосуванні поздовжнього секціонування об'єму аеротенка переділками.

У схемі з регенерацією активного мулу (рис. 8.4, б) реалізоване роздільне протікання двох етапів біологічного очищення: поглинання забруднень активним мулом зі стічної води, що відбувається безпосередньо в аеротенку, і окислювання цих забруднень в регенераторі. Регенератор – це аераційна споруда, в якій активний мул аерується без стічної рідини. В аеротенку стічна вода аерується приблизно 1,5–2,5 год, у регенераторі – у кілька разів більше.

Під час роботи аеротенків-витиснювачів у режимі біологічного очищення з регенерацією активний мул завжди подається на початок першого коридору, а освітлені стічні води – на початок наступних коридорів аеротенку. Об'єм регенераторів двокоридорних аеротенків може складати 50 % від загального об'єму аеротенків (так звана 50 % регенерація активного мулу). Активний мул подається при цьому в перший коридор із нижнього каналу мулу, а освітлена вода – на початок другого коридору з верхнього каналу стічних вод.

Двоступінчаста схема без регенерації (рис. 8.4, в) доцільна за високої концентрації органічних речовин у стічній воді, а також за наявності в ній речовин, швидкість окислювання яких різко відрізняється.

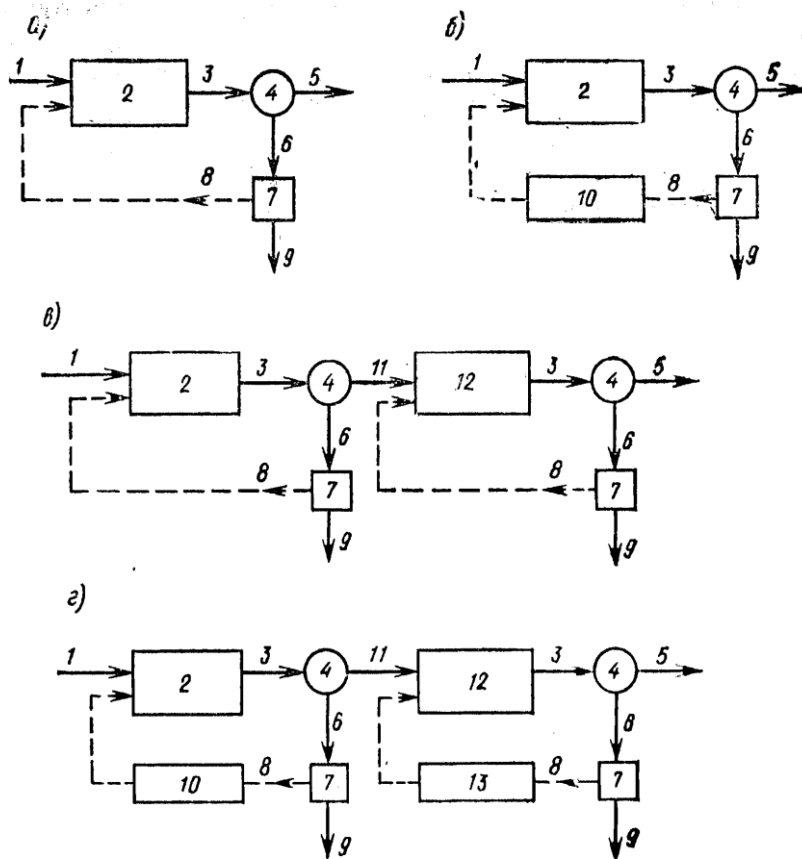


Рисунок 8.4 – Основні технологічні схеми очищення стічних вод в аеротенках: а – з одноступеневим аеротенком без регенерації; б – із одноступеневим аеротенком з регенерацією; в – із двоступеневим аеротенком без регенерації; г – із двоступеневим аеротенком із регенерацією; 1 – подача неочищених стічних вод; 2 – аеротенк; 3 – випуск мулової суміші; 4 – відстійник; 5 – випуск очищених стічних вод; 6 – випуск відстояного активного мулу; 7 – мулова насосна станція; 8 – подача поворотного активного мулу; 9 – випуск надлишкового активного мулу; 10 – регенератор; 11 – випуск стічних вод після I ступеня очищення; 12 – аеротенк II ступеня; 13 – регенератор II ступеня

Двоступінчасті аеротенки з регенерацією і без регенерації активного мулу (рис. 8.4, в, г) застосовують за необхідності повного очищення висококонцентрованих стічних вод з початковим БПК_{повн} 250 і більше, а також за наявності у воді речовин, швидкість окислювання яких різко відрізняється.

В аеротенках першого ступеня завершується перша стадія очищення – абсорбція органічних речовин активним мулом і мінералізація лише найбільш легко окисної частини, що зазвичай дозволяє знизити початкову БПК_{повн} на 50–70 %. З аеротенків першого ступеня частково очищена вода спрямовується на доочищення в аеротенки другого ступеня.

Особливістю ступінчатого очищення стічних вод є те, що на кожному ступені аеротенків поступово розвивається специфічна культура мікроорганізмів, які найбільш пристосовані до існування у цих умовах, що забезпечує високу ефективність роботи аеротенків. Тому загальний об'єм

двоступінчастих аеротенків на одиницю стічних вод, що очищуються, буде меншим порівняно з об'ємом звичайних аеротенків.

Об'єм аеротенків і регенераторів визначають за середньогодинним припливом стічних вод.

Під час проектування двоступінчастих аеротенків влаштування вторинних відстійників передбачають після кожного ступеня очищення.

8.4 Системи аерації в аеротенках

Аерація суміші стічної рідини з активним мулом на всій довжині аеротенка необхідна не тільки для того, щоб забезпечити мікроорганізми-мініералізатори достатньою кількістю кисню, але й для підтримання мулу у завислому стані. Кисень нагнітається в аеротенк повітродувками або засмоктується з атмосфери.

Отже, система аерації – це комплекс споруд і спеціального устаткування, що забезпечує рідину киснем, підтримку мулу у завислому стані й постійне перемішування стічної води з мулом.

За способом диспергування повітря у воді на практиці застосовують три системи аерації: пневматичну, механічну й комбіновану.

Пневматична аерація. В аеротенки з пневматичною аерацією повітря подається повітродувками і надходить у рідину через аератори зазвичай фільтросного типу. Пневматичну аерацію підрозділяють на три типи залежно від розміру пухирців повітря: на дрібнобульбашкову (крупність пухирців повітря становить 1–4 мм), середньобульбашкову (5–10 мм), крупнобульбашкову (більше 10 мм).

До дрібнобульбашкових аераторів належать поруваті керамічні та пластмасові матеріали (фільтросні пластини, труби, дифузори), синтетичні тканини; до середньобульбашкових – щілинні та дірчасті труби. До крупнобульбашкових аераторів належить система «крупних пухирців», в якій аераторами є труби діаметром 30–50 мм із відкритими кінцями, опущені вертикально вниз на глибину 0,5 м від дна аеротенка. У такій системі аерації використовується кисень не тільки стислого, але й більшою мірою атмосферного повітря. Однак ця система поширення не отримала, оскільки не забезпечує надійне й інтенсивне перемішування мулової суміші.

В аеротенках з *пневматичною аерацією* повітря подають металевими трубами і розподіляють через дірчасті труби або фільтроси – відрізки труби довжиною близько 1 м.

Найпоширенішим типом дрібнобульбашкового аератора є фільтросна пластина розміром 300 мм × 300 мм і товщиною 35 мм. Фільтросні пластини зашпаровують у залізобетонні канали, що влаштовують на дні коридору аеротенку, у стінки уздовж довгої його сторони. Пластини укладають зазвичай у два або три ряди для забезпечення подачі в аеротенки необхідного обсягу повітря, що подається магістральними повітропроводами і стояками у канал,

перекритий пластинами. Для середньобульбашкової аерації найчастіше застосовують дірчасті труби з отворами діаметром 3–4 мм.

Зазвичай повітря у перфоровані труби чи під фільтросні пластини надходить від стояків, які відходять від основного магістрального повітроводу, розташованого на поздовжній стіні аеротенка.

Фільтросні пластини з часом засмічуються з внутрішньої сторони пилом, окалиною, іржею, а з зовнішньої можуть заростати бактеріальною плівкою. Тому пластини періодично очищують скребками або щітками, оброблюють соляною чи сірчаною кислотою.

Перевагами аеротенків із пневматичною аерацією є простота пристрою, невеликі енергетичні витрати на аерацію рідини. Недоліками таких систем аерації є досить великі за розміром пухирці повітря, а також необхідність у нагнітальних системах (повітродувках).

Коридорні аеротенки зазвичай обладнують пневматичною системою аерації. Повітря диспергується за допомогою фільтросів, вкладених у бетонних каналах, що влаштовуються в дні аеротенка вздовж поздовжньої стінки його коридора. У регенераторах зазвичай влаштовується більша кількість фільтросних каналів. Так, наприклад, у чотирикоридорному аеротенку з 50 % регенерацією в регенераторі (коридори I і II) вкладають по три, а в аеротенку (коридори III і IV) – по два ряди фільтросних каналів.

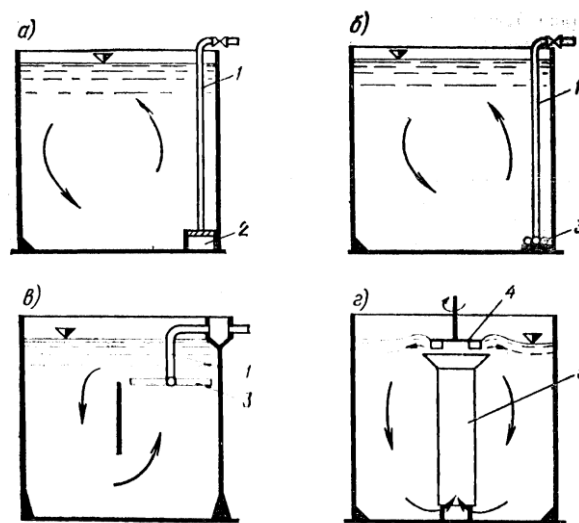


Рисунок 8.5 – Системи подачі повітря у аеротенки:

а – пневматична дрібнобульбашкова; б – пневматична середньобульбашкова;

в – пневматична низьконапірна; г – механічна поверхнева;

1 – повітропідвідні стояки; 2 – повітряний канал з фільтросними пластинами;

3 – дірчасті труби; 4 – поверхневий аератор дискового типу; 5 – стабілізатор

потону

Під час механічної аерації перемішування здійснюють механічними пристроями (мішалками, турбінками, щітками тощо), які забезпечують дроблення струменів повітря, залученого безпосередньо з атмосфери обертовими частинами аератора (ротором).

Останнім часом у таких аеротенках застосовують так звані тарілчасті (дискові) аератори з пружними перфорованими мембранами або трубчасті перфоровані аератори

Трубчасті аератори – найпоширеніший тип аераторів для очисних споруд, які широко представлені на ринку обладнання як вітчизняними, так і зарубіжними виробниками.

Аератор складається з полімерного перфорованого трубчастого каркасу з різьбовими кінцевиками, що мають сполучні внутрішнє та зовнішнє різьблення. На поверхню каркаса нанесено два шари полімерного покриття. Перший шар (великопоруватий) призначений для рівномірного розподілу повітря за довжиною модуля. Другий шар (дрібнопоруватий) – для диспергування повітря.

Таке поєднання, поєднання шарів забезпечує дрібнопухирчасте диспергування повітря в рідині (рис. 8.6). Довжина трубчастих елементів аераторів становить від 0,5 м до 2,0 м за зовнішнього діаметра від 80 м до 180 мм.



Рисунок 8.6 – Конструкція аератора АКВА-ПРО-М:
1 – зовнішній шар, що диспергує;
2 – внутрішній диспергувальний шар;
3 – отвір;
4 – опорна труба.

Розкладка трубчастих аераторів в аеротенку, що здійснюється поперек коридору аеротенку та стандартним чином – вздовж коридору показана на рисунку 8.7.



Рисунок 8.7 – Розкладка трубчастих аераторів у аеротенку

Основною перевагою цих трубчастих аераційних елементів є полімерні стійкі до корозії складові аераторів, що збільшує термін його служби понад 12 років.

Дисковий аератор – це пластиковий каркас у формі диска з мембраною дифузорів, виготовленої зі синтетичного каучуку (EPDM).

За бажанням замовника для застосування в «агресивних» стічних водах, наприклад, із великим вмістом нафтопродуктів, можливе нанесення покриття на мембрани з фторопласту (PTFE) або фторованого синтетичного каучуку (FEPDM), або кремневмісної гуми (рис. 8.8). Діаметр дискового аератора – від 200 мм до 350 мм.



Рисунок 8.8 – Розкладка дискових аераторів в аеротенку

8.5 Технологічні характеристики роботи аераційних споруд

Якість активного мулу залежить від повноти попереднього відстоювання стічних вод, виду органічних забруднень, повноти їхньої мінералізації, інтенсивності й тривалості аерації тощо.

Однією з основних характеристик, що впливає на якість активного мулу є *навантаження*, що виражається кількістю забруднень, що видаляють зі стічних вод за БПК_{повн}, яке припадає на 1 г сухої беззольної речовини активного мулу на добу.

$$q_i = \frac{24 \cdot (L_{en} - L_{ex})}{a_i \cdot (1 - S) \cdot t_{at}}, \text{ мг БПК/г} \times \text{добу.} \quad (8.1)$$

$$\rho = \frac{(L_{en} - L_{ex})}{a_i \cdot (1 - S) \cdot t_{at}}, \quad (8.2)$$

де L_e – БПК_{повн} стічної води, що надходить в аеротенк, мг/л;

s – зольність активного мулу;

t_{at} – тривалість аерації, год;

L_{ex} – БПК_{повн} стічної води на виході з аеротенку, мг/л.

Доза активного мулу – кількість активного мулу в одиниці об'єму мулової суміші, г/л. Залежить від навантаження на мул і становить у середньому 2–5 г/л.

Питома швидкість окислювання забруднень ρ – величина знятої БПК_{повн} (тобто різниця між БПК_{повн}, яка надходить в аеротенк, і вихідної з нього величини БПК_{повн} стічної води) щодо маси мулу й тривалості аерації.

Навантаження на мул і питома швидкість окислювання пов'язані між собою. За високих навантажень на активний мул він може з нею не впоратися й необхідну якість очищення не буде забезпечено. Якщо, навпаки, навантаження на мул мале, то мул буде випробовувати нестачу живлення, і тому може відбутися самоокислення активного мулу й зниження робочої дози мулу в аеротенку.

Розрізняють аеротенки з високими навантаженнями – понад 500 мг БПК_{повн}/(г×добу), середніми навантаженнями в межах 150–500 мг БПК_{повн}/(г×добу) і низьконавантажувани – у межах 65–450 мг БПК_{повн}/(г×добу). У разі навантажень менше за 65 мг БПК_{повн}/(г×добу) наявна так звана «продовжена аерація».

Показником якості мулу є його *здатність до осідання*. Якісний активний мул здатний добре й швидко осідати. Таку здатність оцінюють *муловим індексом J*, см³/г – об'ємом активного мулу в см³ після відстоювання протягом 30 хв щодо 1 г сухої речовини мулу.

Цей показник характеризує седиментаційну здатність активного мулу. Активний мул, що добре осідає, має індекс від 60–90 см³/г до 120–150 см³/г. Муловий індекс за нормального стану активного мулу для міських стічних вод не перевищує 130 см³/г. Якщо його значення вище, то відстоювання мулової суміші у вторинних відстійниках відбувається повільно і відбувається значне винесення мулу. Це може призвести до зменшення кількості активного мулу в аеротенках і порушення процесів очищення. Перевантаження або недовантаження активного мулу призводить до різкого збільшення мулового індексу.

Вік активного мулу – тривалість його перебування у спорудах біологічного очищення, діб.

Ефективність роботи аераційних споруд оцінюється такими показниками, як ступінь очищення за БПК_{повн} (ХПК), приріст мулу, залишкові концентрації в очищеній воді БПК_{повн}, азоту амонійного, нітритів, нітратів, сполук фосфору або якого-небудь конкретного забруднення, завислих речовин після відділення мулу. Оцінка проводиться на основі лабораторних аналізів із визначення якості води, що надходить до споруд біологічного очищення, й вихідної з них стічної води за всіма показниками, а також із визначення дози мулу, концентрації розчиненого кисню, температури, рН тощо.

Робота аеротенків оцінюється також такими енергетичними показниками, як витрата електроенергії на зняття одиниці маси забруднень, наприклад, кВт×год на 1 кг БПК_{повн} (або ХПК); витрата енергії або повітря на очищення 1 м³ стічної води.

Експлуатаційний персонал станції разом із лабораторією щодня повинен здійснювати контроль за перебігом очищення стоків у аеротенках, контролювати дозу активного мулу та його якісний стан, а також стежити за вмістом розчиненого кисню у муловій суміші, контролювати концентрацію азоту амонійного на виході з аеротенку.

Лабораторія має щодня робити аналізи та спостерігати за станом активного мулу, спостерігати за біоценозом, видовим складом індикаторних

мікроорганізмів та їхнім фізичним станом. Визначати дозу мулу та муловий індекс один раз на тиждень.

З метою біоіндикаторного контролю здійснюється гідробіологічний аналіз мулової суміші з використанням методу мікроскопування. Індикатором стабільності та умовами ефективного технологічного процесу очищення стічних вод вважається кількісна перевага певних видів в біоценозі. Таким чином, можна прогнозувати зміни та забезпечувати нормальний перебіг протікання технологічного процесу.

8.6 Розрахунок аеротенків

Кінцевою метою розрахунку аеротенків є визначення їхніх об'ємів і витрати повітря, необхідних для досягнення потрібного ступеня очищення, а також об'єму надлишкового активного мулу, який утворюється в процесі очищення та підлягає постійному виведенню з аеротенків.

Вибір типу аеротенку (аеротенк-витиснювач, аеротенк-змішувач, аеротенк з розосередженим впусканням стічних вод) і режиму його роботи (з регенерацією активного мулу або без неї) здійснюється з огляду на характер очищуваних стічних вод (природи окислюваних забруднень, їхньої концентрації, режиму надходження й витрати стічних вод) та необхідного ступеня їхнього очищення.

Згідно із ДБН [5] аеротенки-витиснювачі доцільно застосовувати при БПК_{повн} стічних вод, що надходять до 300 мг/л, а аеротенки-змішувачі – у разі БПК_{повн} до 1 000 мг/л.

Аеротенки-витиснювачі без регенераторів рекомендується застосовувати для очищення міських і близьких до них за складом виробничих стічних вод із БПК_{повн} не більше 150 мг/л, у разі БПК_{повн} до 300 мг/л – аеротенки-витиснювачі з регенераторами.

Об'єм аеротенків визначають за витратою стічних вод, що надходять на очищення, і тривалістю їхнього перебування в аеротенках (її називають також періодом чи тривалістю аерації). Під час розрахунку об'єму аеротенків користуються середньогодинною витратою за період аерації в години максимального припливу.

Витрата активного мулу, що рециркулює, під час розрахунку об'єму аеротенків без регенераторів і вторинних відстійників не враховується.

Під час проєктування аеротенків визначають період аерації залежно від принципу їхньої роботи й наявності регенерації активного мулу.

Ступінь рециркуляції активного мулу R_i (частках одиниці) в аеротенках розраховують за такою формулою:

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{I_i} - a_i}, \quad (8.3)$$

де a_i – доза мулу в аеротенках, г/л, яку визначають техніко-економічним розрахунком з урахуванням роботи вторинних відстійників;

I_i – муловий індекс, см³/г.

Визначення періоду аерації за ДБН [5] здійснюється за питомою швидкістю окислення забруднень.

Питома швидкість окислення, мг БПК_{повн} на 1 г беззольної речовини мулу за 1 годину дорівнює

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{ex} C_0}{L_{ex} C_0 + K_i C_0 + K_0 L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi a_i}, \quad (8.4)$$

де φ – коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу, що обирають 0,07 л/г для міських стічних вод;

ρ_{\max} – максимальна швидкість окислення, що обирають за даними науково-дослідних організацій: для міських стічних вод 85 мг БПК_{повн} на г за годину;

s – зольність мулу, для міських стічних вод дорівнює 0,3;

C_0 – концентрація розчиненого кисню, мг/л (у першому наближенні допускається обирати 2 мг/л і уточнюють на основі техніко-економічних розрахунків з урахуванням періоду аерації та питомої швидкості окислення);

K_0 – константа, що характеризує властивості органічних забруднюючих речовин, яку для міських стічних вод обирають 0,625 мг O₂/л;

L_{mix} – БПК_{повн}, що визначають з урахуванням розведення рециркуляційною витратою.

Під час розрахунку часу аерації та питомої швидкості окислення необхідно враховувати, що наведені формули справедливі за середньорічної температури стічних вод 15 °С. За іншої середньорічної температури стічних вод T_ω тривалість аерації повинна бути помножена на відношення 15/ T_ω .

У всіх випадках тривалість аерації повинна бути не меншою за 2 години.

Тривалість окислення забруднень, год, у системі «аеротенк – регенератор» визначаємо за такою формулою:

$$t_o = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i \cdot a_r \cdot (1 - S) \cdot \rho}, \quad (8.5)$$

де S – зольність мулу, дорівнює 0,3.

Визначення об'єму аеротенків-змішувачів без регенераторів

В аеротенках-змішувачах період аерації t_{atm} визначають за такою формулою:

$$t_{atm} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i (1 - s) \rho}, \quad (8.6)$$

де ρ – питома швидкість окислення, мг БПК_{повн} на 1 г беззольної речовини мулу за 1 годину;

L_{en} – БПК_{повн} стічних вод, що надходять в аеротенк, мг/л;

s – зольність мулу, частка одиниці, яка для міських стічних вод обирається рівною 0,3;

a_i – доза мулу, г/л.

Навантаження на мул q_i , мг БПК_{повн} на 1 г беззольної речовини мулу на добу визначають за такою формулою:

$$q_i = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_i(1-s)t_a}, \quad (8.7)$$

де t_a – період аерації стічних вод, год;

a_i – доза мулу в аеротенку.

Необхідний об'єм аеротенків-змішувачів без регенераторів визначається за розрахунковою витратою та тривалістю аерації без врахування витрати зворотного активного мулу

$$W = t_{am} \cdot Q, \text{ м}^3. \quad (8.8)$$

Визначення об'єму аеротенків-витиснювачів без регенераторів

Згідно з ДБН [5] режим витиснення в аеротенках забезпечується у разі співвідношення довжини коридорів до ширини більше 30.

Тривалість аерації в аеротенках-витиснювачах без регенерації визначають за такою формулою:

$$t_{av} = \frac{1 + \varphi a_i}{\rho_{max} C_0 a_i (1-s)} \left[(C_0 + K_0)(L_{mix} - L_{en}) + K_l C_0 \ln \frac{L_{en}}{L_{ex}} \right] K_p, \quad (8.9)$$

де φ – коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу, що обирають 0,07 л/г для міських стічних вод;

ρ_{max} – максимальна швидкість окислення, що обирають за даними науково-дослідних організацій: для міських стічних вод 85 мг БПК_{повн} на г за годину;

s – зольність мулу, для міських стічних вод дорівнює 0,3;

C_0 – концентрація розчиненого кисню, мг/л (у першому наближенні допускається обирати 2 мг/л і уточнюють на основі техніко-економічних розрахунків з урахуванням періоду аерації та питомої швидкості окислення);

K_0 – константа, що характеризує властивості органічних забруднюючих речовин, яку для міських стічних вод обирають 0,625 мг O₂/л;

K_l – коефіцієнт, що враховує вплив поздовжнього переміщення (у разі біологічного очищення до $L_{ex} = 15$ мг/л – $K_l = 1,5$; якщо $L_{ex} > 30$ мг/л – $K_l = 1,25$);

L_{mix} – БПК_{повн}, що визначають з урахуванням розведення рециркуляційною витратою:

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex} R_i}{1 + R_i}, \quad (8.10)$$

де R_i – ступінь рециркуляції активного мулу.

Об'єм аеротенків-витиснювачів при цьому буде складати:

$$W = t_{av} \cdot (1 + R_i) \cdot Q, \text{ м}^3. \quad (8.11)$$

Визначення об'єму аеротенків з регенераторами

У цьому випадку об'єм власне аеротенка визначається швидкістю сорбції, а загальний об'єм системи «аеротенк – регенератор» – швидкістю окислення забруднень стічних вод активним мулом. При цьому загальний час переробки забруднень t_0 у системі «аеротенк – регенератор» складається з двох

величин – часу перебування суміші стічної води з мулом в аеротенку, t_{at} , і часу перебування мулу в регенераторі, t_r .

Тривалість окислення органічних забруднень t_0 , год:

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i a_r (1-s) \rho}, \quad (8.12)$$

де a_r – доза мулу в регенераторі, г/л:

$$a_r = a_i \left(\frac{1}{R_i + 1} \right), \quad (8.13)$$

де ρ – питома швидкість окислення, що визначають за формулою (9.1) з дозою мулу в регенераторі a_r .

Тривалість обробки води в аеротенку, год, дорівнює:

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{L_{en}}{L_{ex}}. \quad (8.14)$$

Знаючи час t_0 і t_{at} , можна визначити необхідну тривалість регенерації активного мулу в регенераторі, год, за такою формулою:

$$t_r = t_0 - t_{at}. \quad (8.15)$$

Об'єм аеротенка, m^3 , визначають залежно від розрахункової витрати стічних вод q_{ω} , $m^3/год$, і часу обробки:

$$W_{at} = t_{at} (1 + R_i) q_{\omega}. \quad (8.16)$$

Об'єм регенераторів визначають за такою формулою:

$$W_r = t_r R_i q_{\omega}. \quad (8.17)$$

Для забезпечення роботи систем видалення ущільненого мулу з вторинних відстійників ДБН [5] встановлює мінімальні значення R_i : 0,3 – для відстійників із мулососами; 0,4 – для відстійників із мулоскребками; 0,6 – у разі самопливного видалення мулу.

Як і під час розрахунку аеротенків без регенераторів, розрахунок аеротенків із регенераторами повторюють, якщо значення мулового індексу J_i , отримане за таблицею ДБН [5], не відповідає обраному на початку розрахунку.

Питання для самоперевірки

1. Які є типи аеротенків?
2. Що таке активний мул і яка його роль в очищенні стічних вод?
3. Які відомі основні показники стану активного мулу?
4. У яких випадках необхідно проєктувати аеротенки з регенерацією?
5. Для чого потрібна подача стисненого повітря в аеротенки?
6. Як здійснюють аерацію стічних вод у аеротенках?

9 ВТОРИННІ ВІДСТІЙНИКИ

9.1 Класифікація і конструкції вторинних відстійників

Вторинні відстійники є необхідним елементом технологічних схем біологічного очищення стічних вод і розташовуються після біологічних фільтрів чи аеротенків. У першому випадку вони використовуються для затримання надлишкової біологічної плівки, яка виноситься з біофільтрів із очищеними стічними водами, у другому – для розділення мулової суміші та ущільнення затриманого мулу.

Ефективність освітлення біологічно очищених стічних вод у вторинних відстійниках визначає зазвичай кінцевий ефект очищення стічних вод і ефективність роботи всього комплексу споруд біологічного очищення.

Конструкції вторинних відстійників суттєво не відрізняються від конструкцій вертикальних, горизонтальних чи радіальних первинних відстійників. Різниця між ними полягає переважно в умовах експлуатації: вторинні відстійники повинні забезпечити значно більшу ефективність затримання активного мулу чи біоплівки (кінцеві концентрації до 15–20 мг/л) у разі надходження їх у значно вищих концентраціях (до декількох грамів на літр).

Крім того, вторинні відстійники після аеротенків повинні забезпечувати ще й ущільнення затриманого мулу, достатнє для безперервного його повернення в аеротенки і здійснення там біохімічного процесу за заданих технологічних параметрів.

Ефективність роботи вторинних відстійників визначається тими самими чинниками, які впливають на роботу первинних відстійників. Але головну роль при цьому відіграють седиментаційні властивості біологічної плівки та активного мулу, які суттєво різняться між собою.

Для очисних споруд невеликої продуктивності (до 20 тис. м³/добу) застосовують вертикальні вторинні відстійники, для очисних станцій середньої й великої пропускної здатності (більше за 15 тис. м³/добу) – горизонтальні та радіальні.

Вторинні вертикальні відстійники зазвичай – це круглі в плані споруди з конічною муловою частиною, аналогічні за конструкцією до первинних відстійників, але з меншою висотою зони відстоювання.

Рух освітлюваної води у вертикальних вторинних відстійниках із центральною трубою здійснюється у вертикальному напрямку знизу вгору.

Освітлення у висхідному потоці води відбувається внаслідок різниці між швидкостями осадження частинок мулу й руху води. Більш продуктивними є вторинні вертикальні відстійники з периферійним впуском, у яких мулова суміш рухається спочатку вниз, а після проходження під циліндричною напівзануреною переділкою входить у центральну зону освітлення, піднімається до водозбірного лотка і відводиться з відстійника. У зоні освітлення досягається максимальне зниження вхідних швидкостей, зменшення турбулентності потоку, об'ємів застійних і вихрових зон, за

рахунок чого коефіцієнт використання об'єму зони освітлення зростає на 20–30 % порівняно з вторинними вертикальними відстійниками з центральною трубою. Діаметр циліндричної переділки при цьому обирається на 0,4–0,6 м менше від діаметра відстійника, а глибина її занурення складає $2/3$ від його робочої висоти. Розроблені типові проекти таких вертикальних вторинних відстійників діаметрами 4,5 м, 6 м і 9 м.

Перевагою вертикальних відстійників є простота їхньої конструкції, брак механізмів для примусового видалення мулу, який самовільно сповзає у приямок і далі видаляється під гідростатичним тиском. Однак часто мул затримується на стінках мулової частини, загниває і спливає на поверхню відстійника у вигляді великих згустків, що різко погіршує якість очищеної води. Для запобігання заляганню мулу на стінках мулової частини відстійника його згрібають до центру приямка скребками.

Однак вертикальні відстійники мають і недоліки, основним з яких є велика глибина, що збільшує вартість будівництва, особливо в скельних ґрунтах і у разі високого рівня підземних вод. Недостатній ухил стінок бункера призводить до залягання активного мулу, що осідає, і перебігу в ньому анаеробних процесів.

Горизонтальні вторинні відстійники повністю аналогічні первинним.

Горизонтальні вторинні відстійники – це прямокутні в плані резервуари, обладнані водорозподільними і водозбірними пристроями, трубопроводами для підведення мулової суміші, відведення освітленої води й ущільненого рециркуляційного активного мулу. Горизонтальні відстійники застосовують на очисних станціях продуктивністю більше ніж $15\ 000\ \text{м}^3/\text{добу}$.

Ширину відділення горизонтального відстійника зазвичай обирають 6 м чи 9 м, що дозволяє блокувати їх із типовими аеротенками, що сприяє зменшенню площі, яку займають очисні споруди. Робочу глибину обирають в межах 2,5–5 м, а довжину визначають розрахунком. Відношення довжини до висоти відстійника повинно бути не менше 10.

Ефективність роботи вторинних горизонтальних відстійників значною мірою залежить від способу видалення осілого мулу.

Для згрібання осілого мулу до муловому приямку в горизонтальних відстійниках використовують скребкові механізми ланцюгового або візкового типів.

Більш прийнятним є видалення мулу за допомогою мулососів із ерліфтами, які монтуються на поперечній фермі, що реверсивно рухається по рейках, встановлених на поздовжніх стінах відстійника. Осілий мул, що видаляється мулососами з ерліфтами в поперечну трубу, скидається в лоток зворотного мулу, встановлений біля поздовжньої стінки відстійника.

Видалення мулу мулососами практично виключає можливість утворення «мертвих зон». Крім того, дно такого відстійника може бути пласким, без влаштування мулових приямків.

До недоліків горизонтальних відстійників належить складність експлуатації скребкових механізмів.

Радіальні відстійники – це круглі в плані резервуари, обладнані трубопроводами для подачі мулової суміші, а також для відведення освітленої води та ущільненого мулу, водорозподільними і водозбірними пристроями, а також скребками або мулососами, призначеними для безперервного видалення з відстійників осілого мулу. Радіальні відстійники застосовують зазвичай на середніх і великих очисних станціях продуктивністю більше 20 000 м³/добу. Розроблені типові вторинні радіальні відстійники діаметрами 18 м, 24 м, 30 м і 50 м, що дозволяє обирати оптимальну їхню кількість (4–8) на очисних станціях практично будь-якої продуктивності.

Водорозподільні пристрої найчастіше розмішують у центрі відстійника й рідко на його периферії. Залежно від цього рух води у відстійнику може здійснюватися від центру до периферії зі зменшуваною швидкістю або у зворотному напрямку зі зростаючою швидкістю. Під час подання мулової суміші в центрі споруди освітлена вода збирається у периферійний круговий лоток із зубчастим водозливом. У вітчизняній практиці осілий мул зазвичай видаляють за допомогою мулососів, встановлених на радіальній фермі, що обертається.

Вторинний радіальний відстійник показаний на рисунку 9.1.

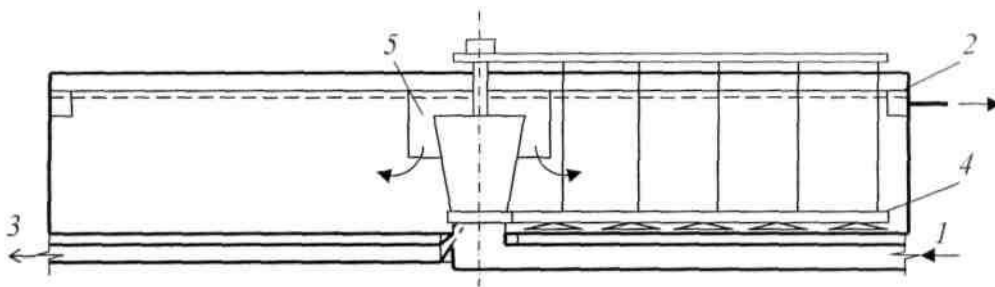


Рисунок 9.1 – Вторинний радіальний відстійник:

- 1 – подача мулової суміші; 2 – збірний лоток очищеної води;
- 3 – видалення активного мулу; 4 – мулосос; 5 – розподільний кожух

Вторинні відстійники за типовими розмірами ідентичні первинним відстійникам та розрізняються переважно за обладнанням видалення ущільненого активного мулу. У сучасних конструкціях відстійників ущільнений мул із вертикальних відстійників видаляється за допомогою ерліфтів, а з горизонтальних та радіальних відстійників – мулососами.

9.2 Розрахунок вторинних радіальних відстійників

Розрахунок вторинних відстійників здійснюють за гідравлічним навантаженням, м³/(м²×год), яке визначається [5] за такою формулою:

$$q_{ssa} = \frac{4,5 \cdot K_{ssa} \cdot H_{set}^{0,8}}{(0,1 \cdot J_i \cdot a_i)^{0,5-0,01 \cdot a_i}}, \quad (9.1)$$

де K_{ssa} – коефіцієнт використання проточної частини відстійника;

H_{set} – глибина проточної частини відстійника, м;

J_i – муловий індекс, $\text{см}^3/\text{г}$;

a_i – доза активного мулу в аеротенку, г/л ;

a_t – винесення завислих речовин із вторинних відстійників відповідно до розрахунку необхідного ступеня очищення стічних вод, мг/л .

Тривалість відстоювання у вторинних відстійниках суміші стічних вод і активного мулу дорівнює 2 години.

Потрібна загальна площа, F_{ssa} , вторинних відстійників визначається за такою формулою:

$$F_{ssa} = \frac{q_w \cdot (1 + R_i)}{q_{ssa}}, \text{ м}^2. \quad (9.2)$$

Діаметр вторинного відстійника, D_{ssa} , обирають таким, що дорівнює діаметру первинного, D_{set} , і визначають кількість, n_{ssa} , вторинних відстійників за такою формулою:

$$n_{ssa} = \frac{F_{ssa}}{f_{ssa}}, \quad (9.3)$$

де f_{ssa} – площа одного вторинного відстійника.

Питання для самоперевірки

1. Яке призначення мають вторинні відстійники після аеротенків?
2. Охарактеризуйте осади, що утворюються під час біологічного очищення стічних вод.
3. Чому дорівнює час відстоювання рідини у вторинних відстійниках після аеротенків?

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.3 ЗНЕЗАРАЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

10 ЗНЕЗАРАЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

10.1 Методи знезараження стічних вод

Очищення стічних вод в аеротенках або на біофільтрах забезпечує зменшення загального вмісту бактерій на 90–95 %. Для знищення патогенних бактерій, що залишилися в очищених стічних водах, і зменшення таким чином небезпеки зараження води водою здійснюється *знезаражування* стічних вод.

На сьогодні існує декілька основних методів знезараження стічних вод, які достатньо широко застосовуються на практиці, а саме:

- знезараження хлором (рідкий хлор або хлор-газ) або гіпохлоритом натрію;
- знезараження ультрафіолетовим випромінюванням;
- озонування.

Під час вибору методу знезараження необхідно брати до уваги багато чинників, серед яких важливу роль відіграють ефективність знезараження, екологічні та економічні чинники. Так, наприклад, озонування не знайшло практичного застосування для знезараження комунальних стічних вод,

оскільки воно є дуже витратним та вимагає як складного комплексу обладнання, так і високих енерговитрат (0,5–0,7 кВт·год/м³).

Використання реагентів, які не містять хлору, наприклад, перекису водню, також мало поширене, оскільки застосування сильних окиснювачів, що входять до складу таких реагентів, призводить до утворення різних побічних продуктів, зокрема таких, на які немає гігієнічних нормативів та методик їхнього визначення.

Метод знезараження, що використовують, не повинен суперечити вимогам охорони поверхневих вод від надходження у водоймища токсичних сполук, наприклад, активного хлору, хлорорганіки, наявність яких у воді не припустима.

Знезараження стічних вод хлором та його похідними

На сьогодні в Україні знезараження хлором (або реагентами, до складу яких входить хлор) застосовується на понад двох третинах очисних споруд, на яких десятки тисяч тон хлору або гіпохлориту натрію на рік витрачаються на знезараження стічних вод.

Кількість активного хлору, необхідна для знезаражування одиниці об'єму стічних вод, виражена в мг/л чи г/м³, називається дозою хлору. Під час експлуатації очисних споруд необхідну дозу хлору уточнюють експериментальним хлоруванням і обирають такою, щоб кількість залишкового хлору після 30 хвилин контакту зі стічними водами не була меншою за 1,5 г/м³. Розрахункова доза активного хлору призначається рівною 10 г/м³ для механічно очищених стічних вод, 5 г/м³ – для стічних вод після неповного біологічного очищення і 3 г/м³ – для біологічно очищених стічних вод [5].

Зазвичай на руйнування бактеріальних клітин витрачається лише незначна частина хлору, що додається у воду. Більша частина хлору йде на окислення органічних речовин і на реакції з мінеральними домішками, що містяться у воді. Кількість хлору, яка витрачається на ці процеси, характеризує хлоропоглинання води.

Хлор, що додається, повинен бути ретельно перемішаний зі стічними водами. До складу споруд для хлорування стічних вод входять хлораторна, змішувач і контактний резервуар.

У наш час експлуатуються декілька типів установок для приготування й дозування розчинів, що містять активний хлор.

Установки першого типу працюють на зрідженому хлорі й називаються хлораторами. У цих установках послідовно здійснюється випаровування хлору, його механічне очищення, дозування й розчинення у воді. Хлорування здійснюється хлорною водою, що виходить із хлоратора. У деяких випадках хлорування може здійснюватися безпосередньо газоподібним хлором, який змішується зі стічними водами в спеціальних пристроях.

До другого типу належать установки, призначені не тільки для приготування дезінфікуючих розчинів, але і для отримання їх із первинної

сировини. До таких установок належать електролітичні установки для приготування розчинів гіпохлориту натрію.

Вибір установки для хлорування здійснюють за витратою очищуваних стічних вод, умовами постачання, транспортування й зберігання реагентів, можливістю автоматизації процесів і механізації трудомістких робіт.

Хлорування стічних вод розчинами газоподібного хлору. Хлор постачається на очисні станції в балонах чи контейнерах, у яких він знаходиться під надлишковим тиском переважно в рідкому стані.

Внаслідок малої розчинності рідкого хлору його попередньо переводять у газоподібний стан, після чого розчиняють у воді, а хлорування стічних вод здійснюють так званою хлорною водою.

Установки для хлорування стічних вод складаються з таких вузлів: складу хлору; пристроїв для випаровування рідкого хлору; дозування газоподібного хлору й приготування хлорної води (хлоратора); насосної для підвищення напору води, що подається в ежектор; електрощитової та приміщення контрольно-вимірювальних приладів; вентиляційних і дегазаційних пристроїв.

Суттєвим недоліком методу обробки газоподібним хлором є необхідність транспортування і зберігання великих об'ємів високотоксичного рідкого хлору в балонах, що є потенційною небезпекою виникнення надзвичайних аварійних ситуацій.

Хлоратори можуть бути напірними чи вакуумними. У напірних хлоргаз знаходиться під деяким надлишковим тиском, у вакуумних – під тиском менше атмосферного. Найбільшого поширення набули вакуумні хлоратори, які виключають можливість витoku хлору в приміщення, де вони встановлені.

Під час вибору технології хлорування необхідно брати до уваги:

- хлор та реагенти, які його вміщують, досить часто не забезпечують достатньої ефективності щодо вірусів та найпростіших мікроорганізмів (здійснюється адаптація мікроорганізмів до знезаражуючої дії хлору);

- у разі використання гіпохлориту натрію необхідно брати до уваги концентрацію у ньому активного хлору (14–17 %) та достатньо швидко зниження цієї концентрації під час зберігання товарного гіпохлориту;

- у разі отримання розчину гіпохлориту (з концентрацією активного хлору на рівні 7–8 %) безпосередньо на очисних спорудах за допомогою електролізних установок з'являється проблема зберігання товарних запасів солі, яка використовується для отримання водного розчину гіпохлориту, та проблема утилізації відходів виробництва.

Крім того, необхідно взяти до уваги достатньо велику енергоємність процесу отримання гіпохлориту та високу вибухонебезпечність (за рахунок утворення великої кількості водню);

- необхідно постійно слідкувати за концентрацією залишкового хлору у воді та підтримувати її на необхідному рівні;

– використання хлору та його похідних пов'язане з дотриманням суворих норм безпеки (ДНАОП 24.1-1.24-93 Правила безпеки при виробництві, зберіганні, транспортуванні та застосуванні хлору);

– процес дехлорування не усуває можливість нарахування штрафів, тому що видаляє тільки залишковий хлор, але не хлорорганіку, що утворилася.

Під час вибору технології знезараження також необхідно брати до уваги вірогідність застосування великих штрафних санкцій, які пов'язані з можливим перевищенням у очищених стічних водах небезпечних хлорорганічних речовин.

Застосування озону для знезараження стічних вод. Під час знезаражування стічних вод озон, який є алотропічною модифікацією кисню, застосовується в газоподібному вигляді. За температури 0 °С і тиску 0,1 МПа розчинність чистого озону складає 0,68 г/л, а маса його 1 л – 2,144 г. Молекула озону O_3 дуже нестійка й легко дисоціює на атом і молекулу кисню. Швидкість дисоціації озону зростає зі збільшенням значення рН, температури й ступеня мінералізації води. Озон – сильний окислювач. Патогенні мікроорганізми знищуються озоном у 15–20 разів, а спорові форми бактерій – у 300–600 разів швидше, ніж хлором. Крім цього, озон одночасно підвищує прозорість води і знижує її кольоровість.

Доза озону для знезаражування стічних вод залежить від ступеня попереднього очищення і вмісту органічних речовин у стічних водах (озон насамперед окислює органічні речовини, а вже потім діє як дезінфікуючий агент), часу контакту стічних вод з озоном, концентрації озону в озono-повітряній суміші. Знезаражування озоном доцільно передбачати після доочищення стічних вод на мікрофільтрах чи фільтрах. Дозу озону в цьому випадку необхідно обрати рівною 6–10 мг/л із тривалістю контакту зі стічними водами 8–10 хв.

Для біологічно очищених стічних вод із концентрацією завислих речовин 10–12 мг/л і БПК_{повн} 15 мг/л доза озону складає 15–30 мг/л, а тривалість контакту – 0,3–0,5 год.

Установки для озонування складаються з озонаторів для синтезу озону, обладнання для підготовки й подачі повітря, систем електроживлення, камер для контакту озону з оброблюваною водою, обладнання для утилізації залишкового озону у відпрацьованій газовій суміші.

Озон отримують шляхом розщеплення молекулярного кисню на атоми під дією тихого електричного розряду в спеціальних апаратах – озонаторах, у яких повітря пропускається з певною швидкістю між двома електродами, сполученими з джерелом змінного струму високої напруги (5–20 кВ).

Для отримання 1 кг озону потрібно 50–60 м³ повітря.

Основними причинами, що стримують і ускладнюють широке застосування озону для знезаражування стічних вод, є відносно висока його собівартість, яка визначається невисокою якістю озонаторних установок промислового типу пропускною спроможністю 10–50 кг/год і малим ступенем використання озону (50–70 %) в існуючих конструкціях змішувачів. Вдосконалення процесів очищення стічних вод із застосуванням озону

розвивається за двома основними напрямками. Це створення ефективних, високопродуктивних і економічних генераторів озону, працюючих на підвищених частотах, та інтенсифікація процесу масообміну контактуючих фаз (озону й стічних вод) за рахунок зміни швидкості реакції застосуванням каталізаторів, фотохімічного чи радіохімічного впливу, поєднання озонування з ультрафіолетовим опроміненням.

Ультрафіолетове (УФ) випромінювання. Знезараження стічних вод з використанням ультрафіолетового (УФ) випромінювання не потребує застосування хімічних реагентів, не впливає на смак і запах води і діє не тільки на бактеріальну флору, але й на бактеріальні спори. Цим усувається потреба у зберіганні, транспортуванні й виробництві небезпечних розчинів і газів. Для досягнення необхідного ефекту знезаражування стічних вод потребується всього декілька секунд (порівняно з 15–30 хв під час обробки хлором чи озоном). Цей метод може бути надійним і нешкідливим заміником хлору завдяки виключенню отруйних речовин і достатній бактерицидній активності опромінення. Бактерицидне опромінення діє майже миттєво, а отже, вода, що пройшла через установку, може відразу ж надходити до системи оборотного водопостачання або у водойму. Знезараження стічних вод ультрафіолетовим випромінюванням не чинить токсичного впливу на водні організми й не призводить до утворення шкідливих для здоров'я хімічних сполук.

На відміну від хлорування або озонування, у разі правильного вибору джерела й дози УФ-випромінювання знезараження не супроводжується зміною складу води й появою яких-небудь токсичних побічних продуктів.

Технологія УФ-знезараження має такі переваги:

- енерговитрати в промислових УФ-установках у 3–4 рази менші від енергоспоживання озонаторних систем;
- УФ-комплекси і їх периферійне обладнання компактні й безпечні;
- використання УФ-знезараження виключає утворення токсичних і канцерогенних продуктів;
- брак необхідності у зберіганні небезпечних матеріалів і реагентів.

УФ-випромінювання ефективно руйнує мікроорганізми шляхом зміни генетичної інформації ДНК, що призводить до загибелі понад 99,99 % усіх патогенних мікроорганізмів у стічній воді.

У разі використання УФ-знезараження немає потреби у додаткових спорудах (таких як контактний резервуар для дехлорування);

- можливість розташування УФ-установки у вже існуючій будівлі або споруді (наприклад, у приміщенні хлораторної або насосної станції);
- низькі експлуатаційні витрати, які пов'язані тільки з витратами на заміну УФ-ламп (один раз у півтора-два роки) та на електроенергію;
- низькі питомі витрати електроенергії, яка споживається для знезараження стічних вод (30–40 Вт·год/м³);
- невеликі експлуатаційні витрати.

Як джерело УФ-випромінювання застосовують спеціальні ртутно-кварцові та ртутно-аргонові лампи з увіолевим склом, яке має підвищену прозорість у зоні УФ-спектра.

УФ-випромінювання ефективно тільки під час знезараження стічних вод, які пройшли якісне біологічне очищення або доочищення на крупнозернистих фільтрах.

Для обробки стічних вод УФ-випромінюванням застосовують установки з зануреними та незануреними джерелами випромінювання.

Установки напірного типу малопотужні й прості. Вони складаються з корпусу, в якому розташована УФ-лампа, поміщена у захисний кварцовий чохол.

Більшість бактерицидних УФ-установок призначені для знезараження невеликих обсягів стічних вод. Це камери опромінення у вигляді труби невеликого діаметра, куди коаксіально вмонтоване джерело УФ-випромінювання, поміщене у захисний кварцовий кожух. В одній камері УФ-випромінювання монтуються 1–3 лампи, й пропускна здатність такої камери не перевищує 50 м³/год.

Для знезараження води доцільно використовувати лампи низького тиску, які характеризуються браком високотемпературних ефектів і простотою пускорегулювальної електроапаратури.

Водозанурені установки касетного типу з використанням ртутних ламп низького тиску вирішують проблему знезараження стічних вод перед випусканням їх у водойми.

Апаратурна реалізація. Для знезараження стічних вод широке розповсюдження отримали ультрафіолетові установки лоткового та корпусного типів WATERLIGHT (ТОВ «Харківська Інженерна компанія») [19–22]. УФ-установки лоткового типу призначені для знезараження стічної води, яка тече по відкритому лотку (камері знезараження). Ці установки відзначаються простотою та надійністю конструкції. Знезараження води у таких установках здійснюється за допомогою бактерицидних УФ-ламп, які розміщуються над дзеркалом води. Простота та надійність конструкції дозволяє застосовувати їх для знезараження стічних вод у складі очисних споруд котеджів, невеликих готелів, дитячих шкільних та дошкільних установ, лікарень тощо. УФ-установки встановлюються безпосередньо на виході невеликих очисних споруд, наприклад, у колодязі, або прямику.

Ефективне знищення бактерій і вірусів, що знаходяться в очищених стічних водах зі вмістом завислих речовин до 25 мг/дм³ забезпечують УФ-системи WATERLIGHT (ВОДОГРАЙ) (рис. 10.1). Система УФ-знезараження WATERLIGHT WA містить кілька моделей, які відрізняються потужністю, продуктивністю і типом бактерицидних УФ-ламп.



Рисунок 10.1 – Установка УФ-знезараження стічних вод WATERLIGHT WA 350ME

Застосовуються також системи УФ-знезараження WATERLIGHT WB, які належать до систем знезараження каналного типу і призначені для знезараження попередньо очищених стічних вод зі вмістом завислих речовин не більше ніж 15 мг/дм^3 . Такі системи складаються з одного або декількох знезаражувальних модулів. Кожен модуль складається з кількох касет із УФ-лампами та системи управління. УФ-лампи поміщені в захисні трубки з кварцового скла, що повністю усуває їхній контакт з водою (рис. 10.2)

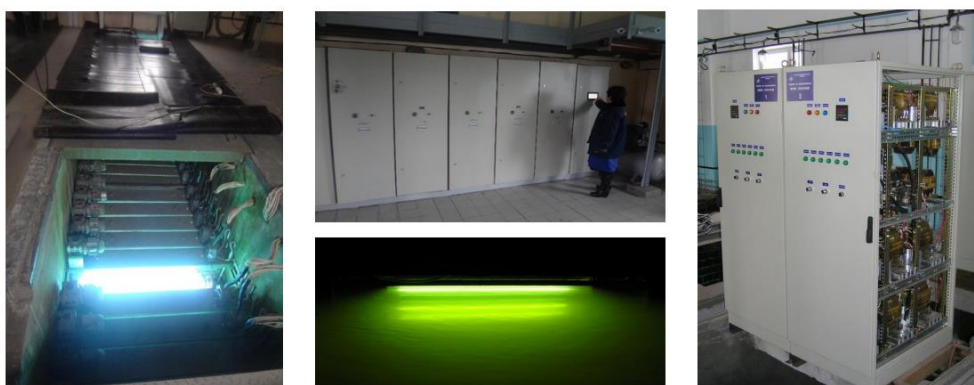


Рисунок 10.2 – Станція УФ-знезараження продуктивністю 35 тис. м^3 /добу (Кривий Ріг, Україна)

Кожна касета оснащена механізмом автоматичного очищення захисних кварцових трубок. У зв'язку із тим, що рівень води в каналі може істотно змінюватися, УФ-система оснащена блокуючим пристроєм, який забезпечує автоматичне вимкнення УФ-ламп зі зниженням рівня води у каналі нижче за допустимий рівень.

Продуктивність знезаражувальних систем WATERLIGHT WB становить від $100 \text{ м}^3/\text{год}$ до $3\,500 \text{ м}^3/\text{год}$ (і більше).

10.2 Змішувачі стічних вод із хлорною водою і контактні резервуари

Перед подачею в контактні резервуари стічні води необхідно ретельно змішати з хлорним розчином. Для змішування стічних вод із хлорною водою

можуть використовуватись змішувачі будь-якого типу. У разі витрат стічних вод до 1 400 м³/добу використовуються йоржеві змішувачі. У разі більших витрат найчастіше застосовуються змішувачі типу лотка Паршалья.

Контактні резервуари призначені для забезпечення розрахункової тривалості контакту очищених стічних вод із хлором або гіпохлоритом натрію.

Кількість секцій контактних резервуарів повинна бути не меншою за 2. У контактних резервуарах відбувається окислення залишкових забруднень стічних вод хлором, що призводить до випадання в них осаду.

Кількість осаду обирають залежно від ступеня очищення стічних вод і використовуюваного дезінфікуючого реагенту. Під час знезаражування хлором кількість осаду вологістю 98 %, який випадає в контактних резервуарах, складає: для стічних вод після механічного очищення – 1,5 л/м³; для стічних вод після біологічного очищення в аеротенках і на біофільтрах – 0,5 л/м³.

На рисунку 10.3 подано конструкцію контактного резервуара з ребристим дном. Дно резервуара має ребристу поверхню. У лотках, які утворені цими ребрами, розташовані трубопроводи, а у вершинах ребер змонтовані аератори з перфорованих труб. Для видалення осаду, який проводиться один раз на 5–7 діб, відповідна секція вимикається, осад змучується технічною водою, що надходить з насадок біля днища резервуарів, після чого суміш перекачується на початок системи очисних споруд. Для підтримання частинок у завислому стані під час перекачування суміш зазнає аерації.

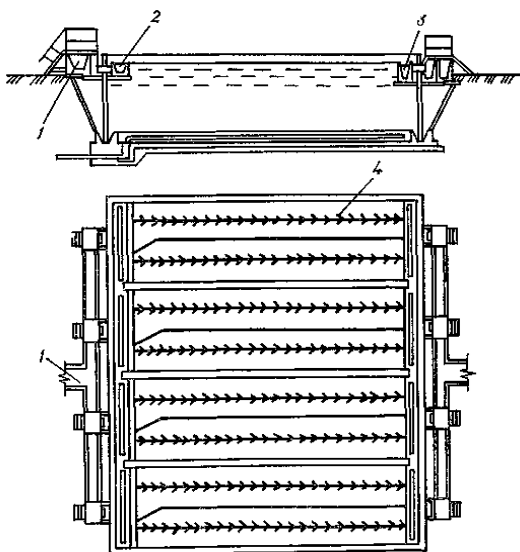


Рисунок 10.3 – Контактний резервуар:

- 1 – підвідний лоток; 2 – розподільний лоток; 3 – збірний лоток;
- 4 – трубопровід для змиву осаду

Якщо від місця випускання очищених стічних вод до місця їхнього скиду у водойму забезпечується не менше як 30-хвилинна тривалість їхнього перебування у скидному каналі, контактний резервуар можна не передбачати, а хлорний розчин можна додавати безпосередньо у змішувач перед випуском води у канал.

Осад має вологість 98 %. Його можна зневоднювати без попереднього зброджування.

Із контактних резервуарів стічні води по спеціальному випуску потрапляють у водойми. Головним завданням на цьому етапі є найбільш повне

змішування очищених стічних вод із водою водойми. Тому випуски влаштовують у місцях із підвищеною турбулентністю потоку (звуження русла річки, протоки, пороги тощо). За санітарними вимогами їх треба влаштовувати нижче границь населеного пункту за течією ріки, на відстані, що узгоджена з місцевими органами влади та санітарного нагляду.

Найбільш повне змішування очищених стічних вод із водою водойми забезпечує русловий розосереджений випуск. При цьому швидкість течії у підвідній частині випуску повинна бути не меншою за 0,7 м/с.

Питання для самоперевірки

1. Які методи застосовують для знезараження стічних вод?
2. Як здійснюють додавання хлору в стічну воду з метою її знезараження?
3. Яка необхідна тривалість контакту стічної рідини з хлорною водою?
4. Яку дозу активного хлору, г/м³, застосовують для дезінфекції стічної води після повного біологічного очищення?
5. Назвіть переваги знезараження стічних вод УФ-випромінюванням порівняно із хлором.

11 МЕТОДИ ТА СПОРУДИ ДЛЯ ДООЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Споруди доочищення призначені для забезпечення більш глибокого очищення міських і виробничих (промислових) стічних вод та їхньої суміші, що пройшли біологічну очистку, а також для промислових стічних вод після механічної, хімічної або фізико-хімічної очистки перед скиданням у водойми чи повторним використанням їх у виробництві чи сільському господарстві.

Як споруди для глибокого очищення стічних вод застосовують фільтри з зернистим завантаженням різних конструкцій, сітчасті барабанні фільтри, біологічні ставки.

11.1 Очищення стічних вод у біологічних ставках

Біологічні ставки – це штучно створені споруди (а іноді природні водойми), в яких відбувається біологічне очищення стічних вод, що ґрунтується на процесах природного самоочищення водойм. У наш час біологічні ставки застосовують здебільшого для доочищення стічних вод, які пройшли біологічне очищення. Однак вони також можуть використовуватись і безпосередньо для очистки стічних вод на невеликих очисних станціях переважно у сільській місцевості.

Біологічні ставки будують на нефільтруючих чи слабо фільтруючих ґрунтах. Під час будівництва біоставків на фільтруючих ґрунтах влаштовуються спеціальні протифільтраційні екрани. Біологічні ставки влаштовують у вигляді виїмок, зазвичай їх огорожують земляними валиками

чи дамбами з внутрішнім облицюванням із залізобетонних плит, покриттям із полімерних плівок тощо.

Біоставки відносно населених пунктів розміщують із підвітряної сторони пануючих у теплий період року вітрів. Напрямок руху води у ставках при цьому повинен бути перпендикулярним до напрямку вітрів.

Розрізняють біоставки з природною та штучною аерацією.

Біоставки з природною аерацією влаштовують у разі БПК_{повн} очищуваних стічних вод до 200 мг/л, у разі більшої БПК_{повн} необхідно проводити цей процес у ставках зі штучною аерацією. У випадку, якщо величина БПК_{повн} перевищує 500 мг/л, стічні води необхідно попередньо очищувати. Глибина біоставків із природною аерацією складає 0,5–1 м. Невелика глибина ставка забезпечує добре прогрівання, освітленість і аерацію води.

Для інтенсифікації процесу очистки стічних вод в аеровані біоставки штучним шляхом подається повітря. Це дає можливість очищувати в них стічні води з БПК_{повн} до 500 мг/л, збільшити глибину до 5 м, зменшити час обробки води в біоставках у 3–5 разів порівняно з біоставками з природною аерацією. Такі біоставки займають значно меншу площу і менше залежать від кліматичних умов, вони можуть працювати і за температури повітря від –15 °С до –20 °С, а в окремі дні і до –45 °С. Аерація біоставків здійснюється за допомогою механічних, пневматичних чи пневмомеханічних аераторів.

Для пневматичної аерації біологічних ставків використовують перфоровані поліетиленові труби. Їх монтують на підставках на відстані 20–30 см від дна перпендикулярно потоку рідини. Парні отвори діаметром 2,5–3 мм розміщуються в горизонтальній площині на відстані 30 см.

Біоставки проєктують не менш ніж із двох паралельних секцій, кожна з яких містить 2–5 послідовних ступенів із можливістю від'єднання будь-якого ставка для очистки чи профілактичного ремонту. Бажано, щоб кожен ступінь біоставка з природною аерацією працював як реактор-витискувач, що забезпечується з відношенням довжини секції до її ширини не менш ніж 20 : 1. Якщо у конкретних умовах виконання цього співвідношення неможливе, то на кожному ступені біоставка повне використання його об'єму повинно забезпечуватись конструкцією впускних і випускних пристроїв. У біоставках із штучною аерацією відношення довжин сторін може бути будь-яким. При цьому аератори повинні забезпечувати рух води у будь-якій точці біоставка зі швидкістю не менше 0,05 м/с.

Біоценоз біоставка формується залежно від навантаження за органічними речовинами (БПК) на одиницю його площі, кисневих умов і складу очищуваних стічних вод. Основу біоценозу біоставків складають бактерії, однак на останніх ступенях біоставків участь в процесах очищення беруть водорості, а в окремих випадках і вища водна рослинність. За нормальної експлуатації, крім повного біологічного очищення, біоставки забезпечують також і високий ефект бактеріального самоочищення. Так, кількість кишкової палички у ставках зменшується на 95,9–99,9 %, а вміст яєць гельмінтів в очищених стічних водах зовсім малий.

Перед біоставками необхідно передбачити механічне очищення стічних вод на решітках, у пісковловлювачах і відстійниках. Під час концентрації завислих речовин у стічних водах до 250 мг/л тривалість відстоювання можна обирати 0,5 год, із концентрацією 250–500 мг/л – 1 год. У деяких випадках відстоювання стічних вод здійснюють у біоставку першого ступеня, однак такий технологічний прийом не можна вважати доцільним через труднощі з видаленням осаду з плаского дна біоставка.

Після біоставків із природною аерацією додаткове освітлення стічних вод не передбачається. Після біоставків зі штучною аерацією очищені стічні води необхідно відстоювати протягом 2–2,5 год.

Використання біологічних ставків із природною аерацією для біологічного очищення стічних вод рекомендується здійснювати з витратами очищуваних стічних вод до 5 000 м³/добу, а біоставків зі штучною аерацією – до 15 000 м³/добу. Науково-дослідним інститутом експериментального проектування інженерного обладнання розроблений альбом технологічних конструкцій біологічних ставків для очищення стічних вод продуктивністю 100–10 000 м³/добу для II, III і IV кліматичних зон (рис. 10.1).

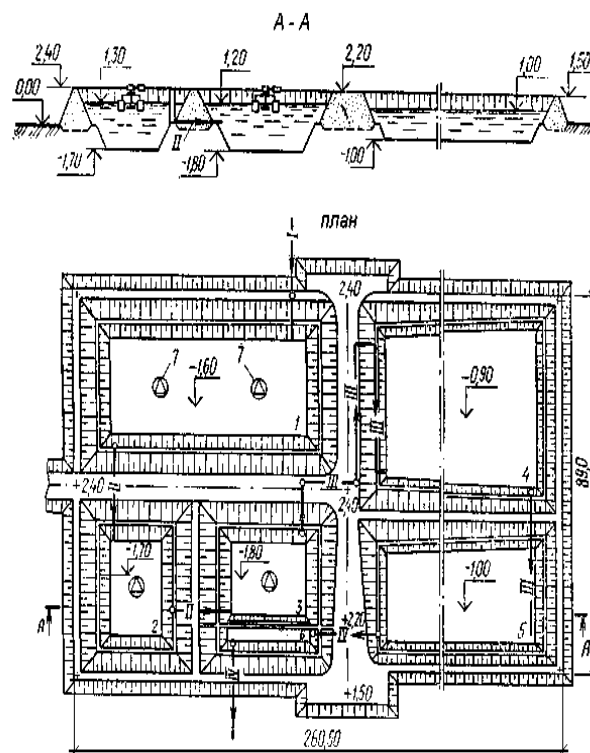


Рисунок 11.1 – Аеровані біологічні ставки продуктивністю 1 400 м³/добу:

- 1, 2, 3 – аеровані біологічні ставки I, II і III ступенів;
- 4, 5 – біологічні ставки I і II ступенів із природною аерацією;
- 6 – контактний резервуар;
- 7 – механічні аератори

Будівництво очисних споруд з аерованими біоставками потребує менших капітальних вкладень порівняно з очищенням стічних вод іншими методами. Питомі витрати на цих станціях на 20–50 % нижчі. Однак серйозним недоліком біологічних ставків, окрім сезонності їхньої роботи і

великої площі земельних ділянок, необхідних для будівництва ставків, є складність регулювання процесу очищення

11.2 Доочищення стічних вод на фільтрах. Конструкції фільтрів

Для доочищення стічних вод використовують фільтри різних конструкцій. У результаті фільтрування зменшується вміст у стічній воді переважно завислих речовин, а також нафтопродуктів, фосфору й інших забруднень.

Для доочищення стічних вод фільтруванням застосовують барабанні сітки, мікрофільтри, фільтри з зернистим завантаженням, фільтри з плаваючим завантаженням, наливні фільтри.

Залежно від вимог до якості води для доочистки застосовують фільтри таких конструкцій: з вертикальним висхідним чи низхідним рухом води, а також із горизонтальним рухом рідини, одношарові або двошарові, каркасно-засипні фільтри (КЗФ).

Як фільтрувальний матеріал допускається застосовувати кварцовий пісок, гравій, гранітний щебінь, гранульований доменний шлак, антрацит, керамзит, полімери, а також інші зернисті завантаження, що володіють необхідними технологічними властивостями й хімічною міцністю.

Розрізняють дрібнозернисте (розмір частинок 0,2–0,4 мм), середньозернисте (0,4–0,8 мм), крупнозернисте (0,8–1,5 мм), а також підтримуюче (2–16 мм) завантаження.

Залежно від способу створення напору під час фільтрування фільтри класифікують, як безнапірні, напірні чи комбіновані. За швидкістю фільтрування зернисті фільтри поділяють на повільні (швидкість фільтрування 0,1–0,5 м/год), напівшвидкісні (0,5–3,0 м/год), швидкісні (3,0–25,0 м/год) і понадшвидкісні (швидкість фільтрування понад 25 м/год).

Промивка завантаження зернистих фільтрів може бути водяною з розпушенням фільтрувального шару, водоповітряною з розпушенням фільтрувального шару або повітряною без розпушення фільтрувального шару. Системи для збирання і розподілу промивної та фільтрованої води конструктивно можуть бути виконані у вигляді дірчастих чи щілинних сталевих, чавунних, азбестоцементних і пластмасових труб або у вигляді лотків.

Перед фільтрами на першому ступені доочистки стічних вод застосовують *барабанні сітки* (сітчасті барабанні фільтри), які встановлюють з метою попередження замулювання зернистих фільтрів (крім КЗС). Барабанні сітки забезпечують видалення зі стічних вод крупних пластівців активного мулу й інших домішок, що не затримуються у вторинних відстійниках.

Вміст завислих речовин у біологічно очищеній стічній воді перед барабанними сітками не повинен перевищувати 40 мг/л; у ній не повинно бути речовин, які ускладнюють промивання сітки (смоли, жири, масла, нафтопродукти тощо). Ефективність затримання зважених речовин на барабанних сітках складає 20–25 % і 5–10 % БПК_{повн}. Барабанні сітки

промивають 8–12 раз на добу водою протягом 5 хвилин із витратою 0,3–0,5 % від розрахункової продуктивності.

Сітчасті барабанні фільтри використовують і як самостійні споруди глибокого очищення, у цьому випадку вони називаються *мікрофільтрами*.

Завантаження *одношарових фільтрів* із низхідним напрямком фільтрування влаштовують із дрібнозернистого кварцового піску діаметром зерен 1,2–2 мм (еквівалентний діаметр 1,5–1,7 мм) чи з крупнозернистого гранітного щебеню діаметром зерен 3–10 мм (еквівалентний діаметр 5,5 мм). У першому випадку, за товщини шару завантаження 1,2–1,3 м і швидкості фільтрування 6–7 м/год, ефективність доочистки стічних вод за завислими речовинами складає 70–75 %, а за БПК_{повн} – 50–60 %.

Порівняно з дрібнозернистим кварцовим піском, крупні фракції завантаження фільтрів із гранітного щебеню замулюються менше, що призводить до збільшення пропускної здатності фільтра в 1,6, а тривалості фільтроциклу в 1,5–2 рази (до 12–24 год). Однак ефективність доочистки стічних вод за завислими речовинами при цьому зменшується до 45–50 %, а за БПК_{повн} – до 35–40 %.

Водоповітряну промивку одношарових фільтрів із завантаженням із дрібнозернистого кварцового піску здійснюють у три етапи: I етап – подача повітря з інтенсивністю 20 л/с·м² протягом 2 хв; II етап – водоповітряна обробка з інтенсивністю подачі повітря 20 л/(с·м²) і води 5 л/с·м² протягом 12 хв; III етап – подача води з інтенсивністю 7 л/с·м² протягом 8 хв.

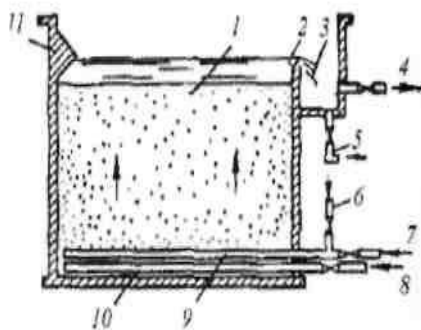


Рисунок 11.2 – Схема фільтра з висхідним потоком води й водоповітряною промивкою:
1 – завантаження; 2 – пісковловлюючий жолоб;
3 – карман; 4 – відведення фільтрованої води;
5 – відведення промивної води; 6 – подача води на промивку; 7 – подача води, що очищається;
8 – подача повітря; 9 і 10 – розподільні системи для подачі відповідно води і повітря;
11 – струмененаправний виступ

Збільшення брудоемності фільтрів без зменшення ефективності доочистки стічних вод досягають застосуванням фільтрів із багатошаровим завантаженням. Наявність у багатошаровому фільтрі верхніх крупнозернистих шарів зумовлює велику глибину проникання забруднень, а наявність нижнього дрібнозернистого піщаного шару – достатньо високу ефективність фільтрування. Тому в практиці доочистки стічних вод значного поширення набули *двошарові фільтри*, які за конструкцією принципово не відрізняються від одношарових.

Як матеріал верхнього фільтрувального шару товщиною 0,4–0,5 м застосовується антрацит чи керамзит з діаметром зерен 1,2–2 мм, а нижнього шару – кварцовий пісок із діаметром зерен 0,7–1,6 мм. Для запобігання перемішуванню шарів завантаження між собою промивку двошарових

фільтрів здійснюють лише водою з інтенсивністю $14\text{--}16\text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ протягом $10\text{--}12$ хв. Ефективність доочистки стічних вод при цьому складає $60\text{--}70\%$ за завислими речовинами і $70\text{--}80\%$ за $\text{БПК}_{\text{повн}}$.

Каркасно-засипний фільтр (КЗФ) є різновидом фільтрів, у яких використовується принцип фільтрування в напрямку зменшуваної крупності зерен завантаження. За конструкцією КЗФ подібний до звичайного фільтра з фільтруванням води згори вниз і верхнім відведенням промивної води (рис. 11.3). У КЗФ на підтримуючий гравійний шар спочатку вкладають шар гравію крупністю $40\text{--}60$ мм, товщиною $1,8$ м – так званий «каркас», який на висоту $0,9$ м засипають піском крупністю зерен $0,8\text{--}1$ мм. Таким чином, КЗФ – це фактично двошаровий фільтр, верхній гравійний шар якого затримує найкрупніші частинки (приблизно $20\text{--}40\%$ від загальної кількості), а нижній – гравійно-піщаний, – інші частинки, що залишились у воді. Завдяки цьому КЗФ має більшу брудоемність, ніж фільтри інших конструкцій, тому барабанні сітки перед ним не встановлюють.

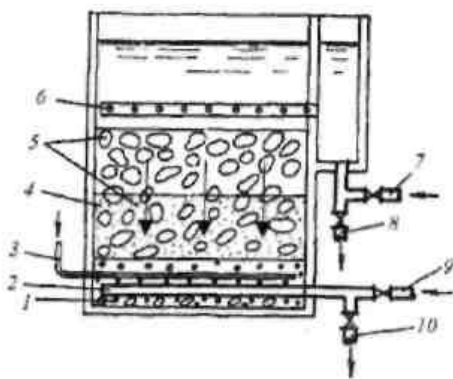


Рисунок 11.3 – Схема каркасно-засипного фільтра:

- 1 – підтримуючий шар із гравію;
- 2 – розподільна система для води; 3 – подача повітря під час промивання; 4 – піщана засипка; 5 – гравійний каркас; 6 – трубчаста система для подачі стічних вод та відведення промивної води; 7 – подача стічних вод; 8 – відвід промивної води; 9 – подача промивної води; 10 – відведення фільтрату

Під час розрахунку КЗФ обирають: швидкість фільтрування – 10 м/год, тривалість фільтроциклу – 20 год, висоту шару води над піщаним завантаженням – близько 2 м, втрати напору в завантаженні до кінця фільтроциклу – до $3\text{--}3,5$ м. За початкових концентрацій у доочищуваних стічних водах завислих речовин до 20 мг/л, $\text{БПК}_{\text{повн}}$ до $15\text{--}20$ мг/л і поверхнево-активних речовин до $2,5$ мг/л, КЗФ забезпечує зменшення їхньої концентрацій відповідно на $70\text{--}80\%$.

Промивка КЗФ може бути як водяною, так і водоповітряною. Інтенсивність водяної промивки обирають у межах $14\text{--}15\text{ л/с}\cdot\text{м}^2$, а її тривалість – 8 хв. Водоповітряну промивку здійснюють у такому режимі: спуск води до рівня піску; водоповітряна промивка протягом $5\text{--}7$ хв з інтенсивністю подачі повітря $14\text{--}16\text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ і води $6\text{--}8\text{ л/с}\cdot\text{м}^2$; подача води з інтенсивністю $14\text{--}15\text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ протягом 3 хв. Витрата промивної води при цьому складає $3\text{--}5\%$ від об'єму очищеної води.

Експлуатація фільтрів із важкими зернистими завантаженнями виявила низку загальних для них недоліків: складність промивання і великі енерговитрати, трудомісткість й складність завантаження і вивантаження важких матеріалів, що фільтрують, з корпусу фільтра, необхідність установки перед фільтрами барабанних сіток (окрім КЗФ). Указані недоліки можна

усунути, застосовуючи легкі плаваючі завантаження, що фільтрують, з пінополістиролу. Цей матеріал має малу насипну щільність і відповідає всім вимогам, що висуваються до фільтрувальних завантажень.

Для доочистки міських стічних вод знаходять застосування **фільтри з плаваючим завантаженням із пінополістиролу (ФПЗ)**. Найчастіше – це фільтри з низхідним рухом рідини типу ФПЗ-4. Завантаженням фільтрів є гранули спіненого полістиролу діаметром 1–12 мм, товщина завантаження складає 0,9–1,2 м. Оскільки спінений полістирол легший за воду, то для його підтримання в затопленому стані у фільтрі влаштовується решітка, під якою завантаження самостійно сортується: великі за розміром кульки опиняються зверху, а менші – знизу. Таким чином, фільтрування стічних вод у ФПЗ здійснюється в напрямку зменшення діаметра завантаження.

Тому, на відміну від інших фільтрів, ФПЗ мають значно більшу брудоемність, і на їхню роботу відносно мало впливає підвищене винесення завислих речовин із вторинних відстійників.

Через розподільний канал доочищувані стічні води надходять у надфільтровий простір ФПЗ-4 і далі фільтруються через плаваюче завантаження згори вниз. Збирання і виведення фільтрату здійснюється за допомогою середньої дренажної системи. Промивку ФПЗ-4 здійснюють після досягнення розрахункових втрат напору в завантаженні (1–1,5 м) низхідним потоком води, накопиченої у надфільтровому просторі. За інтенсивності промивки 13 л/с·м² шар завантаження розріджується на 30–60 % і промивається протягом 4–6 хв.

Ефективність доочистки стічних вод на фільтрах ФПЗ-4 за завислими речовинами і БПК_{повн.} рівнозначна ефективності доочистки на фільтрах із двошаровим завантаженням. За умови підтримання швидкості фільтрування 10 м/год ФПЗ-4 забезпечують зниження концентрацій завислих речовин до 3–6 мг/л і БПК_{повн.} до 5–8 мг/л. Є різні конструкції фільтрів із цим полімерним завантаженням, причому встановлено, що більший ефект доочистки досягається на гідроавтоматичному фільтрі марки АФПЗ-4. Вміст зважених речовин у відфільтрованій воді становить 3–5 мг/л, БПК_{повн.} – 3–7 мг/л.

Питання для самоперевірки

1. Основні завдання доочистки біологічно очищених стічних вод.
2. Які методи застосовують для доочистки біологічно очищених стічних вод?
3. Які фільтри застосовують для доочистки стічних вод?
4. З якою метою перед фільтрами доочистки стічних вод встановлюють барабанні сітки?
5. Одношарові й двошарові швидкі фільтри.
6. Конструкція каркасно-засипних фільтрів.
7. Фільтри з плаваючим завантаженням із пінополістиролу.

12 ОБРОБКА ТА ЗНЕШКОДЖЕННЯ ОСАДІВ СТИЧНИХ ВОД

12.1 Склад і властивості осадів

Крім сміття, що затримується на решітках, і осаду з пісковловлювачів, під час освітлення стічних вод у первинних відстійниках міських очисних споруд утворюється сирий осад, а під час біологічного очищення в аеротенках чи на біофільтрах – надлишковий активний мул чи надлишкова біоплівка, обробці й знешкодженню яких і присвячений цей розділ.

Вирішення питань, пов'язаних з обробкою та знешкодженням осадів, є надзвичайно складним. Осади міських стічних вод мають великі об'єми (1–4 % витрати очищуваних стічних вод; 60–70 % загальної кількості осадів при цьому складає надлишковий активний мул), високу вологість, неоднорідний склад і змінні властивості, містять органічні речовини, які здатні швидко загнивати, заражені бактеріальною (зокрема й патогенною) мікрофлорою та яйцями гельмінтів. Осади стічних вод належать до важкофільтрованих мулових суспензій.

Кількість і вологість осадів залежать від типу, режиму експлуатації й ефективності роботи споруд для механічного та біологічного очищення міських стічних вод, а також кількості й виду виробничих стічних вод, що очищаються разом із господарсько-побутовими стічними водами.

Сирий осад первинних відстійників – це драгливата суспензія сірого або світло-коричневого кольору з кислуватим запахом. Внаслідок вмісту великої кількості органічних речовин він швидко загниває, набуваючи темно-сірого або чорного кольору і має неприємний кислий запах. Вологість осаду первинних відстійників залежить переважно від способу його вивантаження: під час вивантаження під гідростатичним тиском вологість осаду становить у середньому 95 %, під час відкачування плунжерними насосами – 93–93,8 %.

Надлишковий активний мул – це суспензія аморфних пластивців сірувато-чорного кольору. Під час зберігання й ущільнення він швидко загниває. Вологість надлишкового активного мулу, який вивантажується з вторинних відстійників після аеротенків, становить 99,2–99,7 %, а вологість надлишкової біоплівки, яка вивантажується з вторинних відстійників після біофільтрів, – 96–96,5 %.

Зброджені осади відрізняються більш однорідною структурою, це суспензії чорного або темно-сірого кольору.

Хімічний і гранулометричний склад осадів. Більшу частину сухої речовини сірого осаду первинних відстійників (у середньому 60–75 %) і надлишкового активного мулу (в середньому 70–75 %) складає органічна речовина. Вона представлена білками, жирами та вуглеводами, які у сумі складають 80–85 %, а також гумусоподібними, які складають відповідно 15–20 %. Кількісне співвідношення між окремими компонентами в осадах різне. Якщо в органічній речовині осаду переважають жироподібні речовини й вуглеводи, то в активному мулі значну частину органічної речовини складають

білки. Хімічний склад осадів має суттєвий вплив на їхні властивості і визначає можливі методи їхньої обробки.

12.2 Основні методи і споруди для обробки осадів стічних вод

Основне завдання обробки осадів стічних вод полягає в отриманні кінцевого продукту, властивості якого забезпечують можливість його утилізації або зводять до мінімуму шкоду довкіллю.

На очисних спорудах застосовують такі процеси обробки осадів стічних вод: ущільнення (згущення), стабілізацію, кондиціонування, зневоднення, сушіння, термічну обробку, утилізацію цінних продуктів або ліквідацію осадів.

Ущільнення й зневоднення забезпечують зменшення вологості, об'єму та маси осадів і є зазвичай важливою частиною будь-якої технологічної схеми їхньої обробки. Зазвичай ущільнюють надлишковий активний мул, у окремих випадках – суміш активного мулу й сирого осаду.

Найбільш поширеним і простим прийомом зниження об'єму надлишкового активного мулу є гравітаційне ущільнення. Воно значною мірою зменшує об'єм споруд, потребу в реагентах і витрати електроенергії, необхідні для подальшої його обробки. Зменшення об'єму і вологості осадів гравітаційним методом досягається тривалим їхнім відстоюванням. У процесі ущільнення активного мулу відокремлюється вільна вода.

Застосовують зазвичай мулозгущувачі радіального типу. На станціях невеликої продуктивності використовують вертикальні мулозгущувачі, які влаштовують на базі звичайних первинних вертикальних відстійників із центральною трубою. Із мулозгущувачів радіального типу мул видаляють безперервно мулошкребами або мулососами та спрямовують на подальшу обробку.

Розрахункова тривалість ущільнення осаду в радіальних відстійниках для активного мулу з вторинних відстійників становить 9–11 год. Вологість ущільненого активного мулу складає при цьому 98 %.

Стабілізацію (мінералізацію) здійснюють з метою запобігання загниванню осадів, зменшення маси їхньої сухої речовини за рахунок розпаду частини беззольної речовини, покращання, в окремих випадках, водовіддавальних властивостей.

Стабілізацію органічної речовини осаду здійснюють за допомогою мікроорганізмів у анаеробних і аеробних умовах.

Аеробну стабілізацію здійснюють у аераційних спорудах типу аеротенків, вона полягає в тривалій аерації осаду.

Анаеробну стабілізацію або *зброджування* здійснюють у таких спорудах:

- у септиках (із продуктивністю станції до 25 м³/добу);
- у двоярусних відстійниках або освітлювачах (із продуктивністю станції до 10 тис. м³/добу);
- у метантенках (із продуктивністю станції більше 10 тис. м³/добу).

Отже, для міських і районних очисних станцій можуть застосовуватися послідовно всі методи обробки осадів: попереднє ущільнення; аеробна стабілізація в стабілізаторах із продуктивністю станції 64–100 тис. м³/добу чи анаеробна стабілізація в метантенках із продуктивністю станції понад 100 тис. м³/добу; механічне зневоднення з попереднім кондиціонуванням осадів на вакуум-фільтрах, фільтр-пресах або центрифугах; зневоднення на мулових майданчиках (якщо це можливо); термічна обробка шляхом сушіння і спалювання.

12.3 Зброджування осадів в метантенках

Анаеробне зброджування – це біологічний процес зменшення органічної речовини осаду за допомогою мікроорганізмів за відсутності кисню повітря. Здійснюється процес цей у закритих ємностях – метантенках. Умовно вважається, що процес розпаду органічної речовини осадів у анаеробних умовах відбувається в дві стадії:

1) гідроліз складних органічних речовин, у результаті якого утворюються жирні кислоти, спирти, альдегіди тощо;

2) метанова стадія – перетворення цих проміжних продуктів на метан і вуглекислоту, а також бікарбонатні й карбонатні солі.

Кінцевими продуктами процесу є зброджений осад, метан CH₄ (60–70 %) двоокис вуглецю CO₂ (16–34 %) і вода. У зв'язку з розпадом органічної речовини, кількість сухої речовини зменшується приблизно на 30 %, але її об'єм практично мало змінюється у зв'язку з утворенням додаткової вологи.

Основними технологічними параметрами, що визначають ефективність процесу анаеробного зброджування осадів, є їхній хімічний склад, температура і тривалість зброджування, навантаження за органічною речовиною, концентрація завантаженого осаду, а також режим завантаження і перемішування вмісту камери зброджування.

Одним із найважливіших чинників, що впливають на швидкість росту анаеробних мікроорганізмів і ефективність розпаду осаду, є температура.

Зброджування осадів можна здійснювати у мезофільному або термофільному режимах. Оптимальна температура для *мезофільного режиму* 30–38 °С, для термофільного – 50–57 °С. Останній має переваги в санітарному відношенні, оскільки забезпечує повну дегельмінтизацію осаду (особливо, якщо осад використовують для добрива ґрунту), тоді як в умовах мезофільних температур гине лише 50–80 % всієї кількості яєць гелмінтів.

Термофільне зброджування відрізняється від мезофільного більшою інтенсивністю і закінчується приблизно в 2 рази швидше. Крім того, оскільки дози завантаження за термофільного режиму приблизно в 2 рази більші, ніж за мезофільного, з'являється можливість скоротити об'єми метантенків, а отже, і капітальні витрати на їхнє будівництво, поліпшуються санітарно-гігієнічні показники осадів, але вимагає майже удвічі більшої витрати тепла.

Осади, зброжені в термофільних умовах, значно гірше віддають воду і вимагають глибшої підготовки до механічного зневоднення, ніж осади

зброджені в мезофільних умовах. Зброджування осаду в термофільних умовах потребує великої витрати тепла, яке у низці випадків не покривається за рахунок газу, що виділяється під час зброджування суміші осадів.

Метантенки – герметичні резервуари, що забезпечують зброджування осадів без доступу кисню повітря за підтримки оптимальної температури зброджуваного осаду. На відміну від двоярусних відстійників і освітлювачів-перегнивачів у метантенках здійснюють підігрівання осадів до 33 °С чи 53 °С, їхнє інтенсивне перемішування та утилізацію утворюваного біогазу.

На більшості очисних станцій зброджування здійснюють у мезофільних умовах, що дає можливість вироблення біогазу в кількості, достатній як для підігріву метантенків, так і для отримання додаткового тепла. Час перебування осаду в метантенках за мезофільного режиму складає 20–25 діб. Перевагами такої обробки є високий розпад беззольної речовини осаду (і відповідно вихід біогазу), його добрі водовіддавальні властивості, а також мінімальна витрата тепла на підтримку необхідної температури.

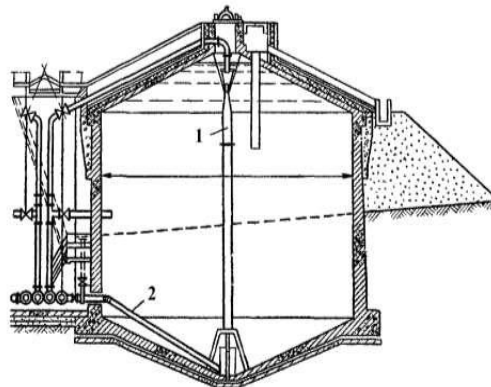


Рисунок 12.1 – Принципова схема метантенка з нерухомим незатопленим перекриттям: 1 – гідроелеватор; 2 – випуск мулу

Газ, що одержується в результаті зброджування осадів в метантенках, доцільно використовувати в теплоенергетичному господарстві очисної станції і близько розташованих об'єктів.

Газ із метантенків виділяється нерівномірно, тому для його збору, зберігання і подальшого використання застосовують газгольдери.

Метантенки є вибухонебезпечними спорудами, тому необхідно дотримуватися нормативних відстаней між метантенками, газгольдерами та іншими спорудами станцій аерації.

Об'єм метантенків у м³ визначають залежно від вологості осаду і режиму зброджування.

12.4 Природне зневоднення осадів стічних вод на мулових майданчиках. Типи мулових майданчиків

Найбільш поширеним методом зневоднення осаду є сушка його на *мулових майданчиках* різних конструкцій. Застосовують мулові майданчики на природній основі з дренажем і без дренажу, на штучній дренажній основі, на асфальтобетонній основі з дренажем, а також каскадні мулові площадки з

відстоюванням і поверхневим видаленням мулової води, площадки–ущільнювачі, площадки з механічним видаленням осаду або будь–якої іншої конструкції.

Механізм дії мулових майданчиків переважно зводиться до таких процесів:

- ущільнення осаду й видалення рідкої фази із поверхні;
- фільтрація рідкої фази через шар осаду й видалення її за допомогою дренажної системи;
- випаровування рідини з вільної поверхні осаду.

Залежно від конструкції майданчика та властивостей осаду вказані процеси можна поєднувати один з одним.

Мулові майданчики складаються з карт, оточених з усіх боків валиками. Розміри карт і кількість випусків визначають з огляду на вологість осаду і способу прибирання після підсихання. Кількість карт – не менше 4. Робоча глибина карт – 0,7–1,0 м; висота захисних валиків на 0,3 м вище за робочий рівень осаду на карті.

Осад, розлитий по картах, підсушується переважно за рахунок випаровування води. Частина води профільтровується через дренаж або в ґрунт (на природній основі). Підсушений осад згрібають бульдозером або скрепером, завантажують у автомашины і вивозять на подальшу утилізацію. Вологість підсушеного осаду складає близько 75 %. На мулових майданчиках влаштовують дороги з пандусами для з'їзду на карти автотранспорту і засобів механізації.

Площа мулових майданчиків залежить від кількості осаду, його характеру і кліматичних умов.

У світовій практиці мулові майданчики використовують на станціях малої продуктивності; на очисних спорудах середньої і великої продуктивності перевагу віддають механічному зневодненню осадів.

Якщо ґрунт добре фільтрує воду (пісок, супісок) і ґрунтові води знаходяться на великій глибині, мулові майданчики влаштовують на природних ґрунтах. За неглибокого залягання ґрунтових вод (до 1,5 м) необхідно передбачати пониження їхнього рівня або застосовувати *мулові майданчики на штучній асфальтобетонній основі з дренажем*.

Розміри карт мулових майданчиків залежно від місцевих умов для великих станцій приймають від 200 м² до 400 м² і більше.

Корисну площу мулових майданчиків, м², визначають за такою формулою:

$$F = \frac{W \cdot 365}{hK}, \quad (11.1)$$

де W – кількість осаду, м³/добу, що надходить на мулові майданчики;

h – навантаження осаду на мулові майданчики, м³/(м²·рік);

K – кліматичний коефіцієнт.

12.5 Механічне зневоднення осадів стічних вод

До переваг механічного зневоднення осаду належать: велика потужність, скорочення виробничої площі за рахунок відмови від мулових майданчиків; ліквідація неприємних запахів; зменшення кількості обслуговуючого персоналу; відсутність впливу кліматичних факторів на процес зневоднення; можливість автоматизації всього комплексу споруд на очисній станції.

Механічне зневоднення осаду здійснюють за допомогою фільтр-пресів, центрифуг і вакуум-фільтрів. При цьому вологість осаду (кеку) після зневоднення зменшується до 75–80 %.

Під час фільтрування відбувається процес відділення твердих частинок від рідини з різницею тиску над фільтрувальним середовищем і під ним. Фільтрувальним середовищем на барабанних вакуум-фільтрах і фільтрпресах є фільтрувальна тканина і шар осаду, що налипає на тканину в процесі фільтрування. Первинне фільтрування відбувається через тканину, в порах якої тверді частинки осаду затримуються і створюють додатковий фільтрувальний шар. Цей шар у міру фільтрування збільшується і є головним фільтрувальним середовищем, а тканина слугує лише для підтримки фільтрувального шару. У зоні фільтрування осад фільтрується під дією вакууму (в барабанних вакуум-фільтрах), а на фільтрпресах – під тиском.

Зброджений осад, вивантажуваний із метантенка, перед подачею на механічне зневоднення зазнає промивання технічною водою протягом 15–20 хв із розрахунку 2–4 м³ води на 1 м³ осаду і продувається повітрям в об'ємі 0,5 м³ на 1 м³ суміші осаду і води. Потім цю суміш спрямовують у мулозгущувачі, де протягом 12–24 год ущільнюється осад і видаляється вода. Мулова вода, що містить до 1,5 г/л завислих речовин і БПК до 900 мг/л, прямує на очисні споруди, а ущільнений осад (кек) вологістю 94–96 % перед подачею на механічне зневоднення зазнає коагуляції. Осад після такої обробки має нижчий питомий опір і значно легше віддає воду. Реагенти додають безпосередньо перед подачею осаду на механічне зневоднення (перед фільтрпресами, центрифугами).

Вакуум-фільтри – це горизонтально розташовані циліндричні барабани, відкриті фільтрувальною тканиною. Барабан повільно обертається на цапфах і занурений приблизно на 1/3 у корито, в яке завантажують осад, що зневоднюють.

Перевагами методу *центрифугування* є простота, економічність і керованість процесом. Центрифугування осадів здійснюють із застосуванням флокулянтів або без них. У разі використання флокулянтів осад після зневоднення (кек) має меншу вологість; рідка фаза, що утворюється під час центрифугування (фугат), має менше забруднення.

Однак центрифуги швидко зношуються, якщо в осаді містяться абразивні домішки, зокрема пісок. Тому необхідно в схемі механічного очищення стічних вод, осади яких передбачається обробляти на центрифугах, обирати решітки з шириною прозорів 5,2 мм для більш ретельної затримки забруднень.

Порівняно з вакуум-фільтрами, за початковими рівними умовами, після обробки на *фільтр-пресах* утворюються осади з меншою вологістю.

На відміну від центрифуг стрічкові фільтр-преси не зазнають абразивного зношування у разі підвищеного вмісту піску в осаді.

Залежно від складу, властивостей та температури осадів і флокулянта, що застосовують, остаточна вологість кеку на виході фільтр-преса становить 65–74 %.

Питання для самоперевірки

1. На яких спорудах станції очищення стічних вод утворюються осади?
2. Дайте характеристику якісних властивостей осадів стічних вод.
3. Яке основне завдання обробки осадів стічних вод?
4. Назвіть основні стадії обробки осадів стічних вод.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки : навч. посіб. / О. А. Василенко, С. М. Епоян, Г. М. Смірнова [та ін.]. – Київ ; Харків : КНУБА, ХНУБА, 2012. – 572 с.
2. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посіб. / В. А. Ковальчук. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.
3. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін, М. Т. Брик. – Київ : Лібра, 2000. – 552 с.
4. Природоохоронні технології : навч. посіб. У 2 ч. Ч 2. Методи очищення стічних вод / В. Г. Петрук, Л. І. Северин, І. В. Васильківський, І. І. Безвозюк. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 258 с.
5. 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.
6. Сіньов О. П. Інтенсифікація роботи і реконструкції каналізаційних очисних споруд : навч. посіб. / О. П. Сіньов. – Київ : ІСДО. – 1994. – 136 с.
7. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами. – Затв. Постановою Кабміну України від 25.03.1999. – № 303.
8. Константинов Ю. М. Інженерна гідравліка. Підручник для студентів вищих навчальних закладів / Ю. М. Константинов, О. О. Гіжа. – Київ : Видавничий Дім «Слово», 2006. – 432 с.
9. Проектування мереж водовідведення стічних вод міста : навч. посіб. / С. М. Епоян, І. В. Корінько, В. Г. Слепцов [та ін.]. – Харків : Каравела, 2004. – 124 с.
10. Основи комплексного проектування систем водовідведення міста: навч.-метод. посіб. / С. М. Епоян, Г. М. Смірнова, В. Ю. Сорокіна [та ін.]. – Харків : ХДТУБА, 2008. – 79 с.
11. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А. К. Запольський. – Київ : Вища шк., 2005. – 671 с.
12. Удосконалення технології біологічної очистки стічних вод / М. Д. Волошин, О. Л. Щербак, Я. М. Черненко, І. М. Корнієнко. – Дніпродзержинськ : Дніпродзержинський державний технічний університет, 2009. – 230 с.
13. Системи водовідведення : навч. посіб. / М. Гіроль, Б. Охримюк, Г. Собчук, Г. Лагуд. – Рівне : НУВГП, 2011. – 444 с.
14. Реконструкція і інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення : навч. посіб. / О. А. Василенко, П. О. Грабовський, Г. М. Ларкіна. – Київ : ІВНВКП «Укрґеліотек», 2010. – 272 с.
15. Василенко О.А., Раціональне використання та охорона водних ресурсів : навч. посіб. / О. А. Василенко, Л. Л. Литвиненко, О. М. Квартенко. – Рівне : НУВГП, 2007. – 246 с.

16. Водне господарство в Україні / за ред. А. В. Яцика, В. М. Хорева. – Київ : Генеза, 2000. – 456 с.

17. Фізико-хімічні та біологічні методи очистки стічних вод : навч. посіб. / С. М. Епоян, Р. І. Назарова, Л. П. Снагощенко [та ін.]. – Харків : ХНУБА, 2012. – 296 с.

18. Біологічне очищення та знезараження міських стічних вод : навч.-метод. посіб. для здобувачів вищої освіти спеціальностей 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (професійного спрямування «Водопостачання та водовідведення») та 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів / С. М. Епоян, В. Ю. Сорокіна, О. Г. Ісакієва, О. Г. Гайдучок. – Харків : ХНУБА, 2022. – 68 с.

19. Ультрафіолетові установки для знезараження стічних вод та шляхи їх досконалення / С. М. Епоян, І. Ю. Штонда, С. М. Шаляпін [та ін.] // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. – Вип. 1 (79). – С. 237–241.

20. Епоян С. М. УФ установки лоткового типу для знезараження стічних вод на локальних очисних спорудах / С. М. Епоян, Т. С. Шаляпіна // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2020. – Т. 100. – № 2. – С. 225–230.

21. Шаляпіна Т. С. Щодо вибору технології знезараження стічних вод / Т. С. Шаляпіна // Виробн.-практ. журнал Водопостачання та водовідведення, 2022. – № 1. – С. 44–47.

22. Шаляпін С. М. Установки УФ знезараження стічних вод / С. М. Шаляпін, Т. С. Шаляпіна // Виробн.-практ. журнал Водопостачання та водовідведення, 2018. – № 4. – С. 11–16.

Електронне навчальне видання

АЙРАПЕТЯН Тамара Степанівна,
ЕПОЯН Степан Михайлович,
ЛУКАШЕНКО Сергій Вікторович

ОЧИСНІ СПОРУДИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання
зі спеціальностей 192, G19 – Будівництво та цивільна інженерія,
освітня програма «Цивільна інженерія»)*

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*
Редактор *Б. О. Хільська*
Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян, І. В. Волосожарова*

План 2025, поз. 59Л

Підп. до друку 26.02.2026. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 7,3.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Черноглазівська, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 8386 від 14.07.2025.