Г.С. Ратушняк, Н.М. Слободян

ІНЖЕНЕРНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ БІОСФЕРИ

Міністерство освіти і науки України

Вінницький державний технічний університет

Г.С. Ратушняк, Н.М. Слободян

ІНЖЕНЕРНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ БІОСФЕРИ

Затверджено Ученою радою Вінницького державного технічного університету як навчальний посібник для студентів спеціальності “Тепло-газопостачання та вентиляція”. Протокол № 13 від 4 липня 2002 р.

Вінниця ВДТУ 2003

Міністерство освіти і науки України

Вінницький державний технічний університет

Г.С. Ратушняк, Н.М. Слободян

ІНЖЕНЕРНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ БІОСФЕРИ

Усі цитати, цифровий, фактичний матеріал та бібліографічні відомості перевірені, написання одиниць відповідає стандартам. Зауваження рецензентів враховані.

Автори: _____ Г.С. Ратушняк
(підпис)

_____Н.М. Слободян

Вимогам, які висуваються до навальної літератури, відповідає.

До друку і в світ дозволяю на підставі § 2 п.15 “Єдиних правил...”

Проректор з навчальної та науково-методичної роботи
В.О. Леонтьєв

Затверджено
на засіданні кафедри ТГП
Протокол № від 2003 р.
Зав. кафедрою
_____ Г.С. Ратушняк
(підпис)

Вінниця ВДТУ 2003

УДК 502.55
Р 25

Рецензенти:

А.Ф.Пономарчук, доктор технічних наук, професор (ВДТУ)
С.Й.Ткаченко, доктор технічних наук, професор (ВДТУ)
І.М.Півошенко, кандидат географічних наук, професор (ВДПУ)

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Ратушняк Г.С., Слободян Н.М.
Р 25 Інженерні методи захисту біосфери. Навчальний посібник.-
Вінниця: ВДТУ, 2003.- 115 с.

Розглянуті основні принципи й умови розташування промислових підприємств та заходи щодо зменшення забруднювання ними навколишнього середовища. Викладені теоретичні положення та приклади розсіювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі. Наведені інженерні методи захисту від забруднення гідросфери та приклади розрахунку очищення стічних вод. Розглянуті питання захисту від радіаційного забруднення довкілля.

УДК 502.55
© Г.С.Ратушняк, Н.М.Слободян, 2003

ЗМІСТ

Передмова 5
1 Основні принципи й умови природоохоронного розташування промислових підприємств 6
1.1 Вибір району будівництва підприємств 6
1.2 Компонування будівель і споруд на промисловому майданчику 7
1.3 Санітарно-захисні зони 8
1.4 Регулювання викидів при несприятливих метеорологічних умовах 11
1.4.1 Заходи, направлені на скорочення викидів при першому режимі роботи підприємства 13
1.4.2 Заходи, направлені на скорочення викидів при другому режимі роботи підприємства 14
1.4.3 Заходи, направлені на скорочення викидів при третьому режимі роботи підприємства 14
1.5 Контроль стану навколишнього середовища 15
1.6 Приклад розрахунку розмірів уточненої санітарно-захисної зони 17
1.6.1 Побудова рози вітрів для заданого місця проектування 17
1.6.2 Побудова уточненої санітарно-захисної зони 18
2 Розсіювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі 21
2.1 Основні принципи розсіювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі 21
2.2 Розрахунок забруднення атмосфери викидами поодинокого джерела 24
2.3 Приклади розрахунку розсіювання шкідливих речовин 35
3 Інженерні методи захисту від забруднення гідросфери 47
3.1 Категорії стічних вод 47
3.2 Характеристика забруднень 47
3.3 Методи захисту водного середовища 48
3.4 Визначення необхідного ступеня очищення стічних вод 50
3.4.1 Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод за завислими речовинами 50
3.4.2 Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод за розчиненим у воді водоймища киснем 50
3.4.3 Розрахунок допустимої температури стічних вод перед скиданням у водоймище 53
3.4.4 Визначення необхідного ступеня очищення води за змінюванням pH 53
3.4.5 Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод за вмістом шкідливих речовин 55

3.5 Способи очищення стічних вод 57
3.6 Механічне очищення вод 60
3.6.1 Решітки 62
3.6.2 Усереднювачі 66
3.6.3 Піскоуловлювачі 70
3.6.4 Відстійники 78
3.7 Хімічне очищення вод 89
3.7.1 Фізико-хімічні, електротехнічні і біологічні методи очищення стічних вод 90
3.8 Нормування і основні положення контролю забруднення водних об'єктів 95
3.8.1 Вміст змулених речовин і плаваючих домішок 95
3.8.2 Органолептичні характеристики 96
3.8.3 Температура 96
3.8.4 Вміст розчиненого кисню і біохімічна потреба у кисні 96
3.8.5 Кислотно-лужна реакція 96
3.8.6 Мінеральний склад 96
3.8.7 Вміст хворобонебезпечних мікроорганізмів 96
3.8.8 Вміст токсичних речовин 96
3.9 Приклади розрахунку очищення стічних вод 97
4 Захист від радіаційного забруднення навколишнього середовища . . . 108
4.1 Основні параметри радіаційного забруднення 108
4.2 Очищення радіоактивних стічних вод 109

Література 114

Передмова

Розвиток людської цивілізації неможливий без раціональної взаємодії з природою. В результаті стрімкого й безконтрольного технічного прогресу існування прийнятних умов життєдіяльності людини та навколишнього органічного світу опинилося під загрозою. Темпи забруднення біосфери на кілька порядків вищі за адаптацію в ній живих організмів. Цілеспрямовані антропогенні дії на природу обумовлюють посилення контролю за природокористуванням та впровадження чіткої стратегії охорони природного середовища.

В цілому в світі при спалюванні вугілля в атмосферу щорічно викидається 120 млн. т золи. Щорічні викиди пилу складають 200…700 млн. т. За останні 200 років людство збільшило вміст оксидів вуглецю в атмосфері на 25% за рахунок спалювання органічних речовин. Викиди в атмосферу оксидів сірки та азоту є причиною випадання кислотних дощів та інших негативних явищ.

Розвиток промислового виробництва, що пов’язаний з використанням водних ресурсів, без належних природоохоронних заходів призводить до інтенсивного забруднення біосфери стічними водами. Водокористувачі скидають до Дніпра щорічно 700…800 тис. т забруднювальних речовин. Це є причиною зниження властивості річок й водоймищ до самоочищення, що зменшує їх біологічну продуктивність та в багатьох випадках унеможливлює їх використання як джерел водопостачання населених пунктів.

Проблема якісної практичної підготовки інженерів-будівельників зі спеціальності “Теплогазопостачання і вентиляція “ знаходяться в тісному взаємозв’язку з отриманням ними знань з раціонального використання та захисту інженерними методами біосфери. Рішення цієї задачі вимагає відповідного методичного забезпечення навчального процесу, яке б давало змогу отримувати навички й уміння з проектування, будівництва й експлуатації господарчих об’єктів на основі раціонального природокористування.

Матеріал посібника враховує специфіку програм дисциплін для студентів спеціальності “Теплогазопостачання і вентиляція” й призначений активізувати їх самостійну роботу. Теоретичні положення супроводжуються прикладами, що роз’яснюють теорію та суть питань, які розглядаються.

1 ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ І УМОВИ ПРИРОДООХОРОННОГО РОЗТАШУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Раціональне розташування (розосередження) і локалізація джерел забруднення відноситься до організаційно-технічних методів захисту навколишнього природного середовища.

З організаційної точки зору розташування підприємств, споруд та інших об'єктів, які впливають на стан атмосферного повітря, а також вимоги щодо його охорони при розташуванні і розвитку міст та інших населених пунктів регламентуються Законом України "Про охорону навколишнього природного середовища".

1.1 Вибір району будівництва підприємств

Великі промислові комплекси, особливо підприємства хімічної і нафтохімічної промисловості, де переважна більшість технологічних процесів пов’язана з використанням токсичних речовин, як правило, не рекомендується розташовувати в районах з підвищеним, високим і небезпечним потенціалом забруднення.

В поняття потенціалу входить комплекс значень, які характеризують вертикальне розподілення і повторюваність температури, швидкість руху вітру, а деколи і інші метеорологічні фактори. Прийнято, що високий потенціал забруднення буде відповідати тим метеорологічним умовам, при яких утворюються найбільші концентрації шкідливих речовин в приземному шарі повітря від джерел з фіксованими параметрами викидів.

При розташуванні нових і реконструкції діючих підприємств, споруд та інших об'єктів необхідно забезпечити дотримання нормативів шкідливого впливу на атмосферне повітря, а при плануванні розташування і розвитку міст та інших населених пунктів повинні враховуватися стан, прогноз змін і задачі охорони атмосферного повітря від шкідливих домішок.

Необхідно уникати будівництва підприємств з великими викидами шкідливих речовин в місцях застою повітря, в низинах і котловинах. Промислові об’єкти краще розташовувати на більш високих відмітках, за винятком місцевостей, в яких спостерігаються приземні інверсії.

Якщо промисловий об'єкт необхідно будувати в долині, то його не слід розташовувати на одній лінії з населеним пунктом (за напрямком панівного вітру). Тому в порівняно вузьких долинах промислові об'єкти потрібно розташовувати на більш високих відмітках або на схилах долини. Житлова забудівля не повинна бути вище промислового майданчика підприємства, інакше переваги високих труб для розсіювання промислових викидів зводяться нанівець. При порівняно спокійному рельєфі місцевості промислові підприємства розташовують на рівному підвищеному місці, яке добре продувається вітрами. По можливості їх необхідно розташовувати в спеціально відведеній для цього промисловій зоні, за межею населених пун-

ктів і з підвітряної сторони від житлових масивів, щоб викиди виносилися в сторону від призначеної для забудови зони (рис.1.1).

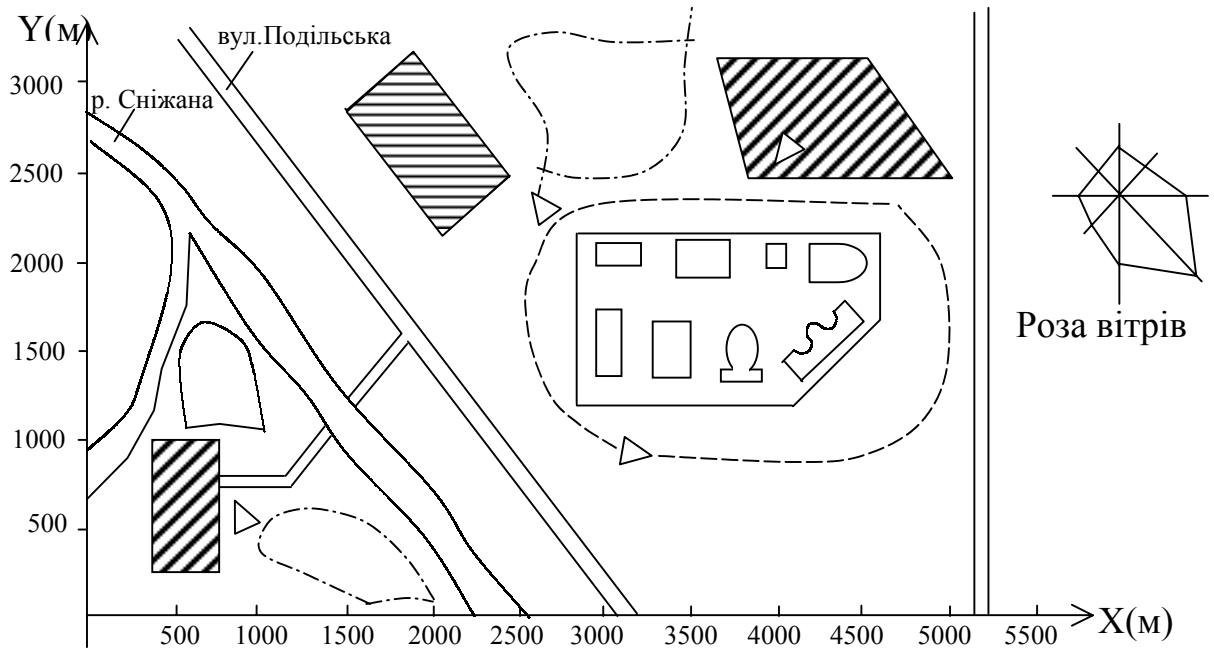


Рисунок 1.1 **- Ситуаційна карта-схема району міста, в якому розташоване підприємство.** Умовні позначення:

——— границя території підприємства;
– – – – – границя санітарно-захисної зони;
–·–·–·– зелена зона;
житлова забудова;
територія пансіонату;
▽ точка контролю якості атмосферного повітря.

1.2 Компонування будівель і споруд на промисловому майданчику

На генеральному плані підприємства чи промислового комплексу розташування будівель і споруд повинно відповідати таким вимогам: необхідно передбачати прохідне провітрювання самого майданчика і міжцехових просторів, уникати розповсюдження шкідливих домішок в повітрі на інші, більш "чисті" виробництва, а також вирішувати проблему одноразового викиду на майданчику всіх шкідливих речовин і організацію чіткої системи централізованих викидів і припливних центрів систем вентиляції.

Для виконання перерахованих вимог в основу планових рішень повинні бути закладені такі принципи:

- формування підприємства автономними технологічними комплексами;
- блокова система забудови генерального плану;
- зонування території на всіх етапах розвитку підприємства;
- централізація технологічних комунікацій.

Необхідно передбачати адміністративну, виробничу, допоміжно-виробничу і складську зони. Технологічні потоки при цьому розташовуються на генеральному плані паралельно один одному і перпендикулярно напрямку розвитку підприємства. Це створює сприятливі умови для їх обслуговування, централізації викидів, очищення їх від шкідливих речовин і провітрювання майданчика.

Будівлі і споруди на генеральному плані доцільно орієнтувати довгою стороною вздовж панівних вітрів, використовуючи магістральні проїзди, розриви між кварталами і блоками як аераційні коридори, ширина яких 36...60 м.

При компонуванні виробництв, розташованих в декількох будівлях і спорудах різної висоти, рекомендується проектувати об'єкти меншої висоти зі сторони панівного напрямку вітру. При відсутності панівного (переважаючого в значній мірі) напрямку руху вітру більш високі будівлі і споруди доцільно розташовувати ближче до центру планованого блока.

Адміністративно-господарчі будівлі, розташовані у виробничій зоні, захищають смугою зелених насаджень від шкідливого впливу газів, пилу, шуму тощо. При значному масиві зелених насаджень забезпечують розрив між ними для провітрювання. При виборі асортименту порід дерев і кущів враховуються не тільки декоративні, але й санітарні, й протипожежні властивості, а також стійкість у певних рослин до дії виробничих хімічно шкідливих речовин.

1.3 Санітарно-захисні зони

У відповідності з вимогами підприємства, їх окремі будівлі і споруди з технологічними процесами, які є джерелами виділення в атмосферне повітря шкідливих речовин і таких, що неприємно пахнуть, а також джерелами підвищених рівнів шуму, вібрації, ультразвуку, електромагнітних хвиль радіочастот, статичної електрики та іонізуючих випромінювань, відділяються від житлової забудівлі санітарно-захисними зонами. Розміри санітарно-захисних зон встановлюються безпосередньо від джерела забруднення атмосферного повітря до межі житлової забудівлі.

Всі підприємства в залежності від їх потужності, умов здійснення технологічного процесу, характеру і кількості викидуваних в навколишнє середовище шкідливих і неприємно пахучих речовин, а також інших шкідливих факторів підрозділяються на п'ять класів . У відповідності з санітарною класифікацією підприємств, виробництв і об'єктів встановлені такі розміри санітарно-захисних зон для підприємств:

Клас підприємства	I	II	III	IV	V
Розмір зони, м	1000	500	300	100	50

При наявності неблагополучних аерологічних умов (часті штилі, тумани) для розсіювання виробничих викидів в атмосфері при відсутності ефективних способів очищення викидів та ряду інших факторів санітарно-захисна зона може бути збільшена, але не більше як в 3 рази (при відповідних техніко-економічних і гігієнічних обґрунтуваннях і наявності спільного рішення Міністерства охорони здоров'я і Держбуду країни). В кожному конкретному випадку розміри санітарно-захисних зон і можливі відхилення від цих розмірів повинні підтверджуватися розрахунками у відповідності з вимогами ОНД-86.

Одержаний за розрахунком розмір санітарно-захисної зони l, м повинен уточнюватися як в сторону збільшення, так і в сторону зменшення в залежності від рози вітрів району розташування підприємства за формулою:

$$l = l_0 \cdot P/P_0, \qquad (1.1)$$

де l_0 - величина санітарно-захисної зони у відповідності з СН 245-71, чи одержана розрахунком без урахування поправки на розу вітрів, м;

P - середньорічна повторюваність напрямку вітрів румба, що розглядається, %:

$\mathbf{P_0}$ - повторюваність напрямків вітрів одного румба при круговій розі вітрів (при восьмирумбовій розі вітрів $\mathbf{P_0} = 100/8 = 12{,}5\%$).

На рис.1.2 наведений приклад побудови санітарно-захисної зони з корекцією на асиметричну розу вітрів для одиничного (чи зосереджених) джерела викидів забруднюючих речовин. Для розосереджених джерел викидів границя санітарно-захисної зони буде залежати від кількості і класу небезпеки викидів кожного джерела (рис.1.3).

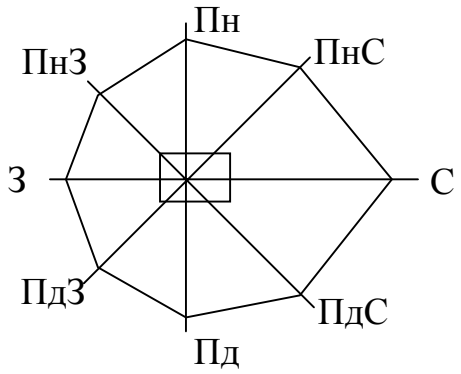


Рисунок 1.2 **- Схема санітарно-захисної зони з розмірами, що уточнені в залежності від середньорічної повторюваності вітрів:**

Повторюваність Р, %	12	14	16	14	12	10	10	10
Напрямок вітру	Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ

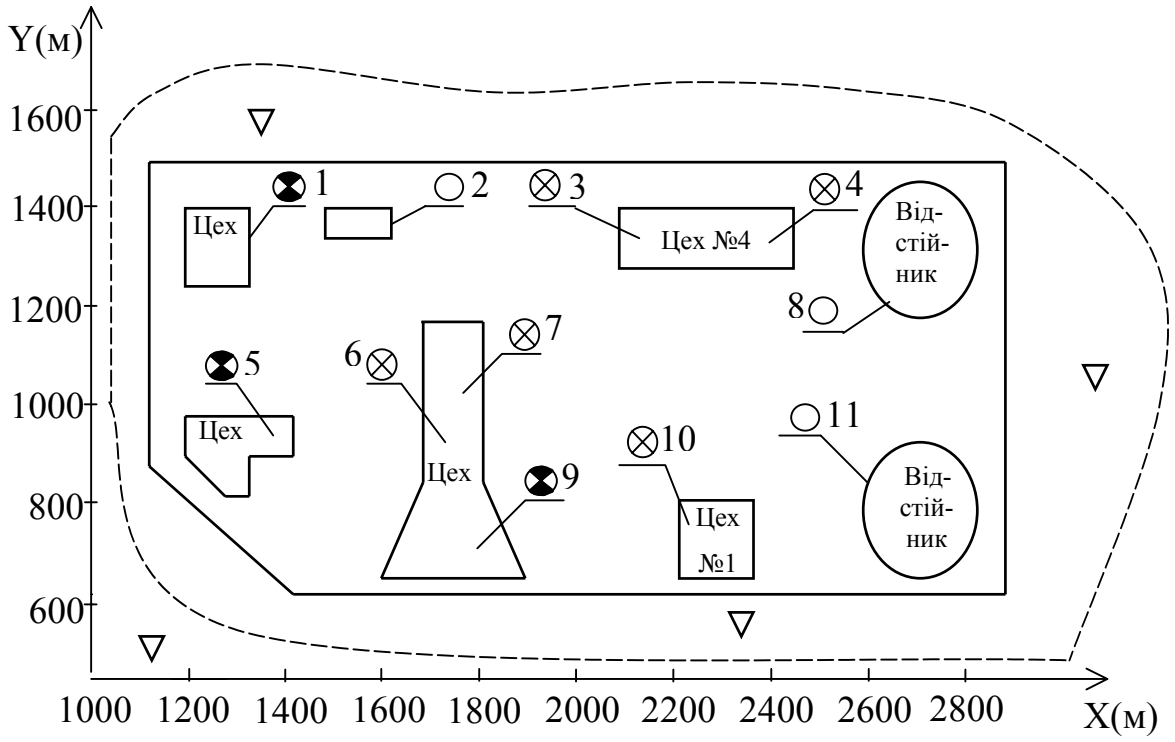


Рисунок 1.3 **- Карта-схема підприємства**

Умовні позначення:

1…11 - номери джерел викидів;

○ - неконтрольовані джерела;

⊗ - контрольовані джерела;

⊗ - джерела, що працюють в періоди несприятливих метеорологічних умов (НМУ)

_____ - санітарно-захисна зона;

——— - границя території підприємства;

▽ - точки контролю якості атмосферного повітря

Територія санітарно-захисної зони повинна бути упорядкована і озеленена. Із сторони житлової території передбачається ряд дерево-кущових насаджень шириною не менше 60 м, а при ширині зони до 1000 м не менше 20 м.

В санітарно-захисній зоні допускається розташовувати підприємства, їх окремі будівлі і споруди з виробництвами меншого класу шкідливості, ніж виробництво, для якого встановлена санітарно-захисна зона за умови аналогічного характеру шкідливості, пожежне депо, бані, пральні, гаражі, склади (за винятком громадських і спеціалізованих продовольчих), будівлі управлінь, конструкторських бюро, навчальних корпусів, магазинів, підприємств громадського харчування, поліклінік, науково-дослідних лабораторій, зв’язаних з обслуговуванням даного і примикаючих підприємств; приміщення для вартового аварійного персоналу і охорони підприємств, стоянки для громадського і індивідуального транспорту, місцеві і транзитні комунікації, лінії електропередач, нафто- і газопроводи, артезіанські

свердловини для технічного водопостачання, водоохолоджувальні споруди для підготовки технічної води; водопровідні і каналізаційні насосні станції, споруди зворотного водопостачання, підземні резервуари, розсадники рослин для озеленення підприємств і санітарно-захисної зони.

На території санітарно-захисної зони не допускається розташовувати підприємства, виробничі будівлі і споруди в тих випадках, коли виробничі шкідливі речовини, які виділяються одним із підприємств, можуть впливати на здоров'я працюючих чи приводити до псування матеріалів, обладнання і готової продукції іншого підприємства, а також коли це може привести до збільшення концентрацій шкідливих речовин в зоні житлової забудівлі вище допустимих. Розташування спортивних споруд, парків, дитячих закладів, шкіл, лікувально-профілактичних і оздоровчих закладів загального користування на території санітарно-захисної зони не допускається.

1.4 Регулювання викидів при несприятливих метеорологічних умовах

В ряді випадків здійснення радикальних заходів по захисту повітряного басейну буває утрудненим, розрахованим на тривалий період і вимагає значних капітальних вкладень. В зв'язку з цим великого значення набуває розроблення і здійснення заходів з тимчасового скорочення шкідливих викидів в атмосферу в періоди несприятливих метеорологічних умов (НМУ).

Забруднення приземного шару повітря, утворюване викидами промислових підприємств, теплових електростанцій, транспорту та інших об'єктів у великій мірі залежить від метеорологічних умов. В окремі періоди, коли метеорологічні умови сприяють накопиченню шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери, концентрації домішок в повітрі можуть різко зростати. Щоб в ці періоди не допускати виникнення високого рівня забруднень, необхідне завчасне прогнозування таких умов і вчасне скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу. Розроблені методи прогнозування забруднення повітря. Оперативне прогнозування здійснюється в ряді міст країни. Прогнози високих рівнів забруднення повітря є підставою для регулювання викидів.

Під регулюванням викидів шкідливих речовин в атмосферу мається на увазі їх короткочасне скорочення в періоди несприятливих метеорологічних умов, які призводять до формування високого рівня забруднення повітря. Регулювання викидів здійснюється з урахуванням прогнозу НМУ на основі попереджень про можливий шкідливий ріст концентрацій домішок в повітрі з метою його відвернення.

Прогноз забруднення атмосфери і регулювання викидів є важливою складовою частиною всього комплексу заходів щодо забезпечення чистоти повітряного басейну. Ці роботи дуже важливі в містах з відносно високим середнім рівнем забруднення повітря.

Заходи зі скорочення викидів забруднюючих речовин в атмосферу в періоди НМУ розробляють підприємства, організації, заклади, розташовані в населених пунктах, де органами Держкомгідромету проводиться чи планується проведення прогнозування НМУ.

При розробленні заходів з регулювання викидів необхідно враховувати внесок різних джерел в створення приземних концентрацій домішок. В кожному конкретному випадку необхідно визначати, на яких джерелах належить скорочувати викиди в першу чергу, щоб одержати найбільший ефект. Так, з формули для розрахунку максимальної концентрації домішок в повітрі видно, що концентрація значно зменшується із збільшенням висоти труби, особливо у випадках гарячих викидів. Отже, в періоди НМУ при інших рівних умовах необхідно в першу чергу скорочувати низькі викиди.

Концентрація домішок залежить від числа труб, через які надходять в атмосферу шкідливі речовини. Ця залежність особливо значна для випадку холодних викидів, для яких концентрація прямо пропорційна числу труб. В зв’язку з цим при настанні НМУ необхідно в першу чергу знижувати викиди, які надходять з великої кількості дрібних джерел. Значення концентрації зменшується із збільшенням перегрівання викидних газів по відношенню до навколишнього повітря. Чим холодніші викиди, тим більш ефективним для зменшення приземних концентрацій є їх короткочасне скорочення.

Для ефективного попередження підвищення рівня забруднення повітря в періоди НМУ необхідно в першу чергу скорочувати низькі, розосереджені, холодні викиди.

При розробленні заходів з короткочасного скорочення викидів в періоди НМУ необхідно щоб:

- заходи були достатньо ефективними і практично виконуваними;
- заходи враховували специфіку конкретних виробництв. В зв'язку з цим їх необхідно розробляти головним чином безпосередньо на підприємствах і в галузевих інститутах;
- здійснення розроблених заходів, по можливості, не супроводжувалося скороченням виробництва. Таке скорочення в зв'язку з виконанням додаткових заходів допускається тільки в окремих випадках, коли загроза інтенсивного накопичення домішок в приземному шарі атмосфери особливо велика.

Попередження про підвищення рівня забруднення повітря в зв'язку з очікуваними несприятливими метеорологічними умовами складають в відповідних прогностичних підрозділах . Застосовують два види попереджень про можливе формування підвищеного рівня забруднення повітря: від окремих джерел і по місту в цілому. В першому випадку попередження пов'язані з ростом концентрацій домішок в повітрі, що створюються викидами одного чи групи джерел; в другому - з ростом загальноміського забруднення повітря.

В залежності від очікуваного рівня забруднення атмосфери складаються попередження трьох ступенів, яким відповідають три режими роботи підприємств в періоди НМУ.

1.4.1 Заходи, направлені на скорочення викидів при першому режимі роботи підприємства

При першому режимі роботи підприємства заходи повинні забезпечити скорочення концентрації забруднюючих речовин в приземному шар атмосфери приблизно на 15...20%. Ці заходи носять організаційно-технічний характер, їх можна швидко здійснювати, вони не потребують значних витрат і не призводять до зниження продуктивності підприємства.

При розробленні заходів зі скорочення викидів при першому режимі доцільно враховувати такі заходи загального характеру:

- посилити контроль за точним дотриманням технологічного регламенту виробництва;
- заборонити роботу обладнання на форсованому режимі;
- розосередити в часі роботу технологічних агрегатів, які не беруть участі в єдиному технологічному процесі і при роботі яких викиди шкідливих речовин в атмосферу досягають максимальних значень;
- посилити контроль за роботою контрольно-вимірювальних приладів і автоматичних систем управління технологічними процесами;
- заборонити продування і очищення обладнання, газоходів, ємностей, в яких зберігалися забруднюючі речовини; ремонтні роботи, пов'язані з підвищеним виділенням шкідливих речовин в атмосферу;
- посилити контроль за герметичністю газохідних систем і агрегатів, місць пересипання курних матеріалів та інших джерел пилогазорозподілення;
- посилити контроль за технічним станом і експлуатацією всіх газоочисних установок;
- забезпечити безперебійну роботу всіх пилоочисних систем і споруд і їх окремих елементів, не допускати зниження їх продуктивності, а також відключення на профілактичні огляди, ревізії і ремонти;
- забезпечити максимально ефективне зрошення апаратів пилогазовловлювачів;
- перевірити відповідність регламенту виробництва концентрацій поглинаючих розчинів, що застосовуються в газоочисних установках;
- обмежити вантажно-розвантажувальні роботи, пов'язані із значними виділеннями в атмосферу забруднюючих речовин;
- використати запас високоякісної сировини, при роботі на якій забезпечується зниження викидів забруднюючих речовин;
- інтенсифікувати вологе прибирання виробничих приміщень підприємства, де це допускається правилами техніки безпеки;
- припинити випробовування обладнання, якщо це пов'язано із зміною технологічного режиму і збільшенням викидів забруднюючих речовин в атмосферу;
- забезпечити контроль ступеня очищення газів в пилогазоочисних установках, викидів шкідливих речовин в атмосферу безпосередньо на джерелах і на межі санітарно-захисної зони.

1.4.2 Заходи, направлені на скорочення викидів при другому режимі роботи підприємства

При другому режимі роботи підприємства заходи повинні забезпечити скорочення концентрації забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери приблизно на 20...40%. Вони включають всі заходи, розроблені для першого режиму, а також заходи, що впливають на технологічні процеси з незначним зниженням продуктивності підприємства.

При розробленні заходів зі скорочення викидів при другому режимі доцільно враховувати такі заходи загального характеру:

- знизити продуктивність окремих апаратів і технологічних ліній, робота яких пов'язана із значним виділенням в атмосферу шкідливих речовин;
- у випадку, якщо терміни початку планово-попереджувальних робіт з ремонту технологічного обладнання і настання НМУ достатньо близькі, необхідно зупинити обладнання;
- зменшити інтенсивність технологічного процесу, пов'язаного з підвищеними викидами шкідливих речовин в атмосферу на тих підприємствах, де за рахунок інтенсифікації і використання більш якісної сировини можлива компенсація відставання в періоди НМУ;
- перевести готельні і ТЕЦ, де це можливо, на природний газ чи малосірчане і малозольне паливо, при роботі з якими забезпечується зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу;
- обмежити використання автотранспорту та інших пересувних джерел викидів на території підприємства і міста згідно з раніше розробленими схемами маршрутів;
- припинити обкатку двигунів на випробувальних стендах;
- вжити заходи з попередженняю випаровування палива;
- заборонити спалювання відходів виробництва і сміття, якщо воно здійснюється без використання спеціальних установок, оснащених пилогазовловлювальними апаратами;
- заборонити роботу на холодильних та інших установках, що пов'язано з витоком забруднюючих речовин.

1.4.3 Заходи, направлені на скорочення викидів при третьому режимі роботи підприємства

Заходи повинні забезпечити скорочення концентрацій забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери приблизно на 40...60%, а в деяких особливо небезпечних випадках підприємствам необхідно повністю припинити викиди. Заходи при третьому режимі роботи підприємства включають всі заходи, розроблені для першого і другого режиму, а також заходи, здійснення яких дозволяє знизити викиди забруднюючих речовин за рахунок тимчасового скорочення продуктивності підприємства.

При розробленні заходів зі скорочення викидів при третьому режимі роботи підприємства доцільно враховувати такі заходи загального характеру:

- знизити навантаження чи зупинити виробництва, які супроводжуються значними виділеннями забруднюючих речовин;
- відключити апарати і обладнання, робота яких пов'язана із значним забрудненням повітря;
- зупинити технологічне обладнання у випадку виходу із ладу газоочисних пристроїв;
- заборонити проведення вантажно-розвантажувальних робіт, відвантаження готової продукції, сипкої початкової сировини і реагентів, які є джерелом забруднення;
- перерозподілити навантаження виробництв і технологічних ліній на більш ефективне обладнання;
- зупинити пускові роботи на апаратах і технологічних лініях, що супроводжуються викидами в атмосферу;
- заборонити виїзд на лінію автотранспортних засобів (включаючи особистий транспорт) з невідрегульованими двигунами;
- знизити навантаження чи зупинити виробництва, які не мають газоочисних споруд;
- провести поетапне зниження навантаження паралельно працюючих однотипних технологічних агрегатів і установок (аж до відключення одного, двох, трьох і т.д. агрегатів).

1.5 Контроль стану навколишнього середовища

Боротьба з забрудненням навколишнього природного середовища в промислових районах, містах і на промислових майданчиках заводів, фабрик і ТЕС є складною науково-технічною задачею, основою для вирішення якої є наявність надійних методів і засобів контролю та прогнозування якості навколишнього середовища.

За допомогою контролю визначається якісний стан навколишнього і виробничого середовища, перевіряється виконання запланованих природоохоронних заходів, виявляються і фіксуються порушення санітарно-гігієнічних та інших норм і правил. Пропонуються чи вживаються заходи з ліквідації виявлених недоліків і порушень, ставиться питання про покарання винних.

Дієвість природоохоронного контролю на виробництві значно залежить від раціональної системи відповідних відомчих контрольних служб, від їх взаємозв'язку і взаємодії з зовнішніми державними органами управління і контролю в цій галузі. При цьому важливе значення має правове регулювання цих питань, вибір і застосування найбільш ефективних форм і методів контрольної діяльності, форм реагування при виявленні недоліків.

В систему органів, які здійснюють природоохоронний контроль, входять державний контроль, громадський контроль і прокурорський нагляд за додержанням законодавства про охорону навколишнього середовища.

Державному контролю підлягають використання і охорона земель, надр, поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря, лісів та іншої рослинності, тваринного світу, морського середовища та природних ресурсів територіальних вод, континентального шельфу та виняткової (морської) економічної зони країни, природних територій та об'єктів, що підлягають особливій охороні, стан навколишнього природного середовища.

Порядок здійснення державного контролю за охороною навколишнього природного середовища та використанням природних ресурсів визначається Законом України про охорону навколишнього середовища та законодавством України.

Громадський контроль у галузі охорони навколишнього середовища здійснюється громадськими інспекторами охорони навколишнього природного середовища згідно з Положенням, яке затверджується Міністерством екології України. Громадські інспектори охорони навколишнього природного середовища:

а) беруть участь у проведенні спільно з працівниками органів державного контролю рейдів та перевірок за додержанням підприємствами, установами, організаціями та громадянами законодавства про охорону навколишнього природного середовища, додержанням норм екологічної безпеки та використанням природних ресурсів;

б) проводять перевірки і складають протоколи про порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища і подають їх органам державного контролю в галузі охорони навколишнього природного середовища чи правоохоронним органам для притягнення винних до відповідальності

в) подають допомогу органам державного контролю в галузі охорони навколишнього природного середовища в діяльності із запобігання екологічним правопорушенням.

Нагляд за додержанням законодавства про охорону навколишнього природного середовища здійснює Генеральний прокурор України та підпорядковані йому органи прокуратури.

При здійсненні нагляду органи прокуратури застосовують надані їм законодавством України права, включаючи звернення до судів або арбітражних судів з позовами про відшкодування шкоди, заподіяної в результаті порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища, та про припинення екологічно небезпечної діяльності.

Найбільший досвід зі здійснення державного контролю за охороною навколишнього природного середовища набутий органами Міністерства охорони здоров'я України. Санітарний нагляд здійснюється розгалуженою системою органів і закладів санітарно-епідеміологічної служби Міністерства охорони здоров'я України.

В процесі здійснення поточного санітарного нагляду в області охорони навколишнього середовища санітарна служба здійснює нагляд за виконанням державними органами і підприємствами санітарних норм і пра-

вил щодо запровадження заходів, які попереджають і ліквідують забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами і господарсько-побутовими відходами.

Службові особи органів санітарного нагляду можуть безперешкодно відвідувати об'єкти в будь-який час доби і давати вказівки про усунення виявлених порушень, а також вимагати від посадових осіб і окремих працівників відомості і документи, потрібні для перевірки. Рішення і висновки органів санітарного нагляду обов’язкові для виконання всіма посадовими особами і громадянами. Головним санітарним лікарям надано право робити висновки по проектах перспективних планів розташування промислових підприємств і про відповідність уводжуваних в експлуатацію промислових та інших споруд діючим нормам і правилам; забороняти чи припиняти діяльність діючих виробничих об'єктів; ставити питання про прийняття до винних осіб заходів дисциплінарного чи громадського впливу; накладати штрафи на винних осіб в адміністративному порядку.

Безпосередньо у виробничому об'єднанні і промисловому підприємстві можна виділити систему підрозділів і служб - відділи управління, бюро, групи, окремі спеціалісти, - які займаються питаннями контролю в області охорони навколишнього середовища. Координує їх роботу підрозділ охорони навколишнього середовища.

Серед інших виробничих служб, які мають відношення до здійснення природоохоронного контролю на виробництві, необхідно назвати відділ капітального будівництва, відділи головного енергетика, механіка, лабораторію автоматизації і механізації виробничих процесів, центральну виробничу (заводську, фабричну, дослідну, хімічну) лабораторію тощо.

Поряд з відомчим контролем в області охорони навколишнього природного середовища на виробництві велике значення має громадський контроль, що законодавчо закріплено в Законі про охорону природи України, а також в законодавчих актах про охорону землі, надр, води, лісу, атмосферного повітря, тваринного світу тощо.

1.6 Приклад розрахунку розмірів уточненої санітарно-захисної зони

Встановити розміри уточненої санітарно-захисної зони (СЗЗ) для промпідприємства будівельної індустрії в м. Вінниця. Джерела викидів і їх розміщення приведені на ситуаційному плані (рис. 1.4).

1.6.1 Побудова рози вітрів для заданого місця проектування

Виписуємо середню місячну повторюваність вітру в напрямах 8 румбів для найгарячішого місяця м. Вінниці:

а) в повному масштабі відкладаємо суцільними лініями 8 румбів (Пн, ПнС,...);

б) тонкими штриховими радіальними лініями ділимо румби навпіл (лінії ОА, 0В...);

Румби	Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
Р, %	7,0	7,0	5,0	7,0	9,0	14,0	31,0	20,0
v, м/с	3,4	3,3	2,4	3,1	3,2	3,6	4,5	4,3

в) тонкими суцільними лініями ділимо кути, утворені румбами і штриховими лініями (Оа, Ов...), і отримуємо 32 секторні кути;

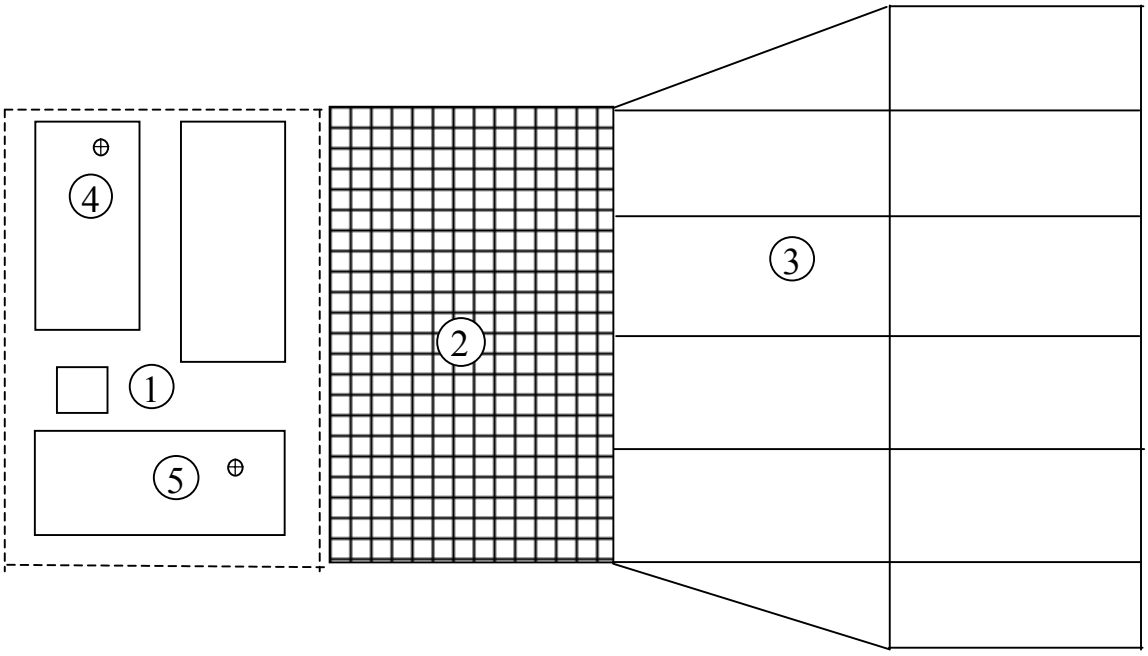


Рисунок 1.4 - **Ситуаційний план:**
1 - промпідприємство; 2 - нормована СЗЗ; 3 - населений пункт;
4, 5 - фіксовані джерела викидів

г) наносимо у довільному масштабі коло радіусом **v** = $\mathbf{P_0}$ = 12,5% (колова роза вітрів);

д) зберігаючи прийнятий масштаб, наносимо суцільною товстою лінією повторюваність вітру **Р** у 8 румбах дугою довжиною 1/32 кола.

Побудова рози вітрів приведена на рис. 1.5.

1.6.2 Побудова уточненої санітарно-захисної зони

а) Встановлюємо клас підприємства за санітарною класифікацією (СН-245-71) і ширину нормативної санітарно-захисної зони ($\boldsymbol{l_{0СЗЗ}}$).

Промпідприємство будівельної індустрії належать до 1 класу і $\boldsymbol{l_{0СЗЗ}}$ = 1000 м.

б) Уточнюємо розміри санітарно-захисної зони з врахуванням рози вітрів ($\boldsymbol{l_{СЗЗ}}$) за формулою:

$$\boldsymbol{l_{СЗЗ} = l_{0СЗЗ}\, P/P_0;}$$

де **Р** - повторюваність вітру у конкретному напрямі, %;

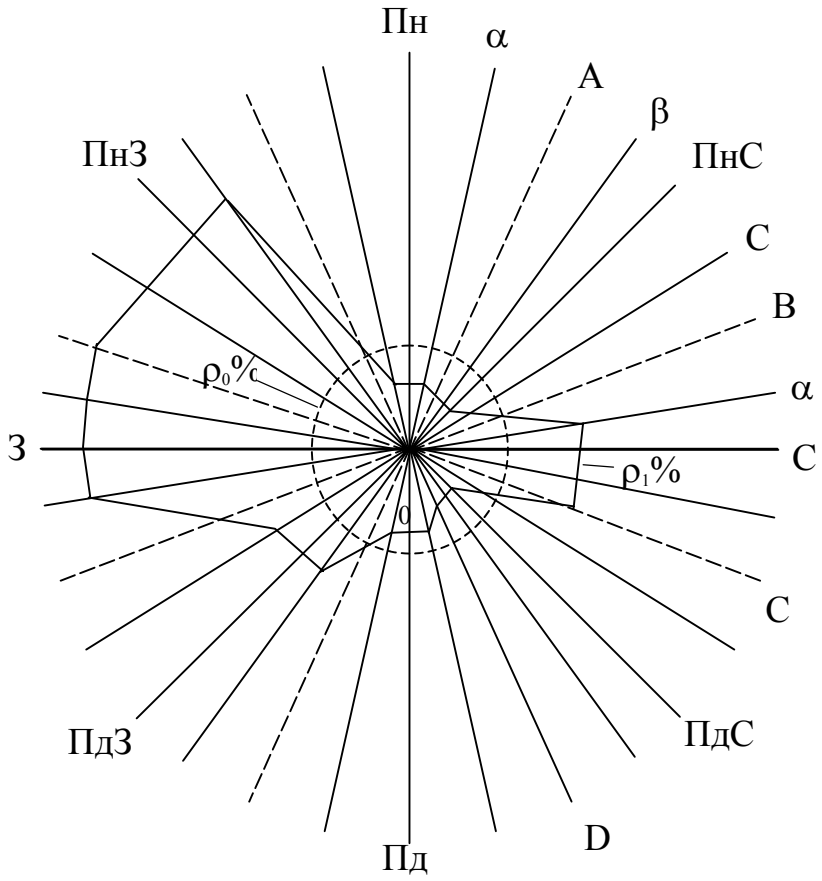


Рисунок 1.5 - **Побудова рози вітрів**
P_0 - середня повторюваність вітру при коловій розі вітрів, 12,5%;
$l_{0СЗЗ}$ - нормативна ширина СЗЗ, м

Уточнені довжини ***$l_{СЗЗ}$*** заносимо в таблицю.

Напрям вітру	Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
Напрям відрізка ***$l_{СЗЗ}$***	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	Пн	ПнС	С	ПдС
Довжина ***$l_{СЗЗ}$***, м	560	560	400	560	720	1120	2480	1600

Напрями відрізків ***$l_{СЗЗ}$*** по румбах є дзеркальним відображенням до відповідних напрямків вітрів, позначених на розі вітрів. Наприклад: якщо напрям вітру з півночі, то уточнену ширину санітарно-захисної зони ***$l_{СЗЗ}$*** слід відкласти у південному напрямі, починаючи від джерела викиду.

в) Наносимо уточнену санітарно-захисну зону на ситуаційний план в прийнятому масштабі з врахуванням розміщення всіх джерел викидів. Порядок побудови уточненої СЗЗ такий: на окремому аркуші паперу тонкими суцільними лініями наносимо сітку координат, розміри клітинок якої дорівнюють 5х5 см в прийнятому масштабі. Далі переносимо на координатну сітку ситуаційний план суцільними товстими лініями.

Для кожного заданого джерела з центром у ньому наносимо контур уточненої СЗЗ, що є симетричним відображенням рози вітрів. Для цього то-

нкими штриховими лініями наносимо за межами підприємства радіальні лінії довжиною $l_{СЗЗ}$ і сполучні дуги за тою ж методикою, що і для рози вітрів.

г) Суцільною товстою лінією обводимо спільний для вказаних джерел викидів контур СЗЗ, продовжуючи його за межами уточненої СЗЗ по заданій межі підприємства. Цією ж лінією проводимо дотичні до окремих контурів СЗЗ у найдальших від джерел викидів точках. Ця суцільна лінія і є остаточним контуром санітарно-захисної зони з врахуванням дії рози вітрів. Приклад побудови наведений на рис. 1.6.

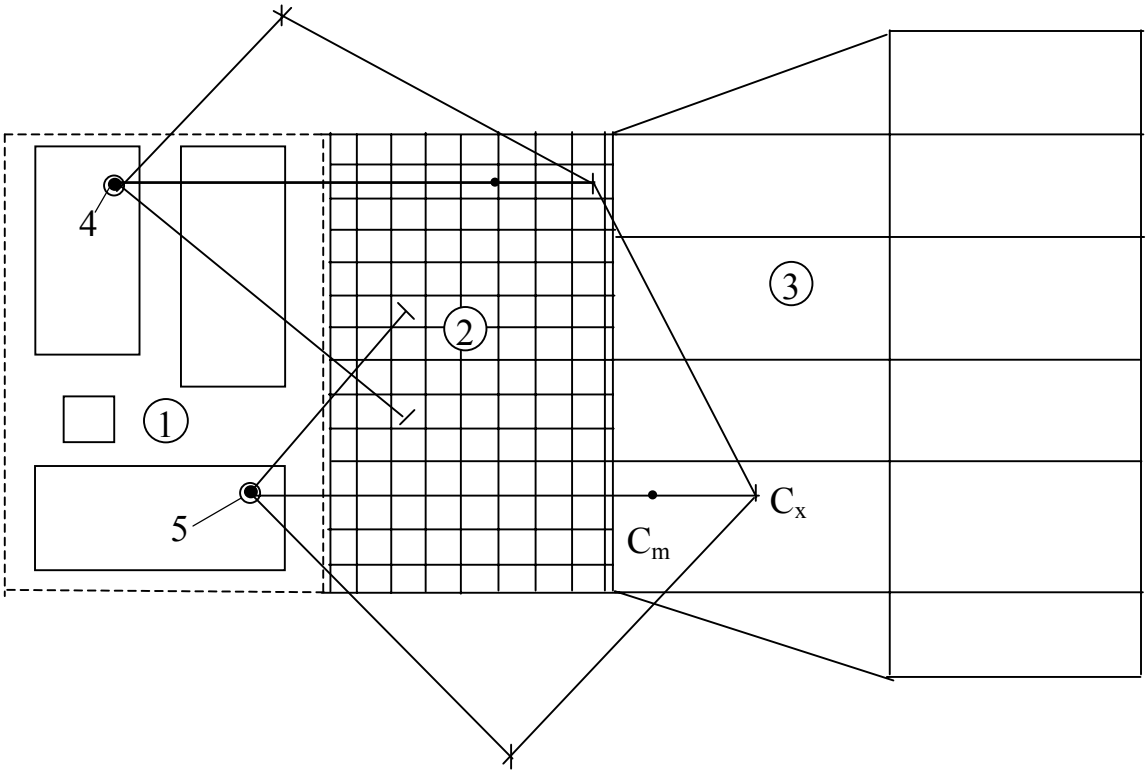


Рисунок 1.6 Побудова уточненої санітарної зони

д) Після побудови уточненої СЗЗ необхідно провести аналіз і передбачити заходи щодо зменшення впливу джерел викиду на навколишнє природне середовище.

2 РОЗСІЮВАННЯ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ

2.1 Основні принципи розсіювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі

Ступінь забруднення повітря біля земної поверхні викидами промислових підприємств обумовлюється не тільки кількістю забруднюючих речовин, що викидаються, але і їх розподіленням в просторі і часі, а також параметрами виходу пилогазоповітряної суміші. В атмосфері викинуті окремі частинки чи групи частинок рухаються завдяки молекулярній і турбулентній дифузії, інтенсивність яких при різних погодних умовах різна і визначається, головним чином, двома факторами: вектором швидкості вітру і вертикальним температурним градієнтом.

Вітер - турбулентний рух повітря над поверхнею Землі - є основним метеорологічним фактором, який впливає на розповсюдження забруднюючих речовин. Залежність концентрації забруднюючих речовин від напряму руху вітру має важливе значення при вирішенні питань розташування промислових підприємств в плані міста і виділенні промислової золи. При виборі майданчика для будівництва підприємств необхідно враховувати середньорічну і сезонну рози вітрів, а також швидкість вітрів окремих румбів. При промислових викидах з низьких джерел (заводських труб) найбільше забруднення спостерігається при слабких вітрах в межах 0...1 м/с. При викидах з високих джерел максимальні концентрації забруднення спостерігаються при швидкостях вітру в межах 3...6 м/с, в залежності від швидкості виходу газоповітряної суміші з отвору джерела.

Температурний градієнт, що характеризує змінювання температури повітря по вертикалі, також впливає на рівень приземної концентрації шкідливих речовин. В звичайних умовах з підніманням вверх температура повітря падає; зменшення її в тропосфері складає в середньому 0,5... 0,6 °С на 100 м піднімання вверх, а в літні дні в найнижчих шарах воно досягає одного градуса і більше. Проте мають місце випадки, коли в окремих шарах тропосфери спостерігається збільшення температури з висотою. Такий стан атмосфери, який характеризується відхиленнями температурного градієнта, носить назву температурної інверсії. Розрізняють приземні і припідняті інверсії. Перші характеризуються відхиленнями температурного градієнта безпосередньо біля поверхні Землі, а припідняті - з'явленням більш теплого шару повітря на деякій висоті від поверхні Землі. Товщина інверсійного шару також, як і висота інверсій, може змінюватися. В інверсійних умовах ослаблюється турбулентний обмін, що приводить до погіршення розсіювання промислових викидів і накопичення шкідливих речовин в приземному шарі.

Для низьких джерел викидів найбільш несприятливим є поєднання приземної інверсії зі слабким вітром. Особливо шкідливе забруднення по-

вітря, коли при холодних викидах (фарбувальні, гальванічні та інші цехи машинобудівних підприємств) припіднята інверсія, розміщена безпосередньо над джерелом, супроводжується слабким вітром, близьким до штилю. В таких випадках викид повинен здійснюватися вище інверсійного шару.

Для того, щоб концентрація шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери не перевищувала гранично допустимих максимальних разових концентрацій, пилогазові викиди підлягають розсіюванню в атмосфері через високі труби. При достатньо високій димовій трубі забруднення досягають приземного шару атмосфери на значній відстані від труби, коли вони вже встигають розсіятися в атмосферному повітрі до допустимих концентрацій.

Ступінь розбавлення викидів атмосферним повітрям знаходиться в прямій залежності від відстані, яку цей викид пройшов до даної точки. Шкідливі речовини, які містяться у викидах, розповсюджуються в напрямку вітру в границях сектора, обмеженого досить малим кутом розкриття факела (2 α = 10-20°) біля виходу з труби (рис. 2.1). На відстані від 4 до 20 висот труби (**Н**) факел торкається землі і деформується. При цьому максимальна концентрація шкідливих речовин в приземному шарі спостерігається на відстані (10...40)**Н**. Таким чином, можна виділити три зони різного забруднення приземного шару атмосфери:

1) зона перекидання факела викиду, яка характеризується відносно невисоким вмістом шкідливих речовин в приземному шарі;

2) зона максимального забруднення приземного шару;

3) зона поступового зниження рівня забруднення.

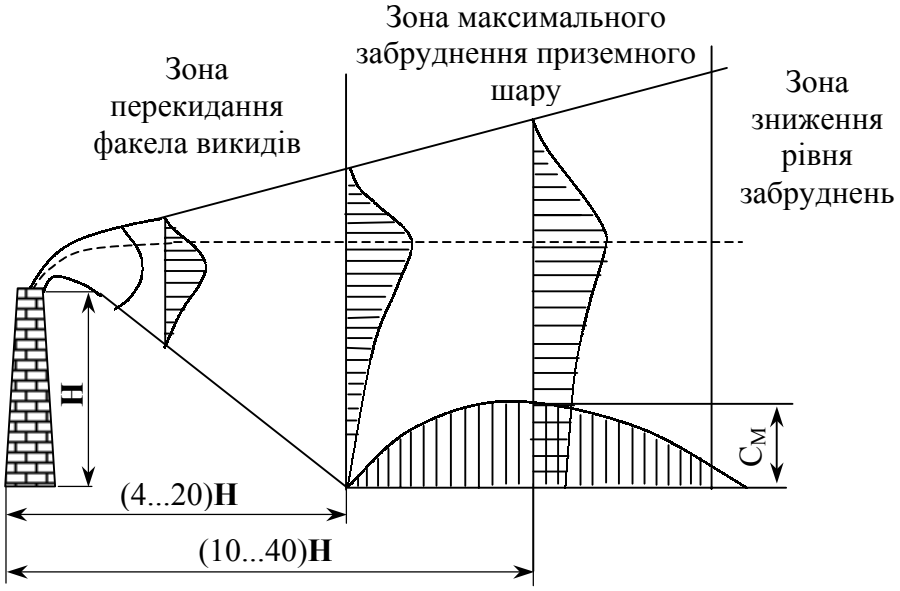


Рисунок 2.1 **- Схема розподілення концентрації шкідливих речовин в атмосфері при викиді через вертикальну трубу**

Основним документом, який регламентує розрахунок розсіювання і визначення приземних концентрацій викидів промислових підприємств, є "Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий, ОНД-86". Основою методики є умова, при якій сумарна концентрація кожної шкідливої речовини не повинна перевищувати разову гранично допустиму концентрацію даної шкідливої речовини в атмосферному повітрі, тобто

$$\mathbf{C_{\Sigma} = (C_{M} + C_{\Phi}) \le ГДК} \qquad \mathbf{(2.1)}$$

де $\mathbf{C_M}$ - максимальна концентрація забруднюючих речовин в приземному повітрі, утворювана джерелами викидів, мг/м^3;

$\mathbf{C_Ф}$ - фонова концентрація однакових чи однонаправлених шкідливих речовин, характерна для даної місцевості (приймається за довідкою органів санітарно-епідеміологічної служби), мг/м^3.

При одноразовій присутності в атмосферному повітрі декількох речовин, що мають адекватні властивості, для кожної точки місцевості повинна виконуватися умова:

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{\mathbf{C_{Mi} + C_{\Phi i}}}{\mathbf{ГДК_i}} \le \mathbf{1}, \qquad \mathbf{(2.2)}$$

де **i** означає **i**-ту домішку.

При викиді в атмосферу одного чи більше однонаправлених забруднюючих речовин з декількох джерел (однакової чи різної висоти), розташованих на значній відстані одне від одного, забруднення приземного шару атмосфери розраховують для кожної труби. Одержані результати для даної точки місцевості підсумовують з урахуванням падіння концентрацій в перпендикулярному вітру напрямку. В залежності від співвідношення валових викидів з джерел і відстані між ними в перпендикулярному по відношенню до вітру напрямку максимальна сумарна концентрація забруднюючих речовин буде знаходитися або на осі джерела більшої потужності, або між джерелами, але ближче до джерела більшої потужності.

У випадку розрахунку розсіювання викидів, що виділяються в атмосферу через труби однакової висоти, розташовані на близькій відстані одна від одної, труби необхідно приймати за одне еквівалентне джерело такої ж висоти з сумарною кількістю забруднюючих речовин, при розташуванні більше двох сусідніх точкових джерел на одній лінії і збігу з нею напрямку вітру викиди будуть накладатися, що приведе до збільшення приземних концентрацій. Шахове розташування зосереджених джерел приводить до зменшення концентрацій домішок в приземному шарі атмосфери.

У вказаному документі наводяться методики розрахунку забруднення атмосфери викидами поодинокого джерела, лінійного джерела, групи джерел і майданчикових джерел; наведена методика розрахунку забруднень атмосфери з урахуванням сумарної дії декількох речовин; наводяться

методики врахування рельєфу місцевості і фонових концентрацій при розрахунку забруднення атмосфери, а також норми для визначення мінімальної висоти джерел викидів, встановлення гранично допустимих викидів і визначення меж санітарно-захисної зони підприємств.

2.2 Розрахунок забруднення атмосфери викидами поодинокого джерела

1. Згідно з діючою методикою максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини $\mathbf{C_M}$, мг/м^3 при викиді нагрітої газоповітряної суміші з одноствольної труби з круглим перерізом досягається при несприятливих метеорологічних умовах на відстані $\mathbf{X_M}$, м, від джерела і знаходиться за формулою:

$$\mathbf{C_м = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot r}{H^2 \sqrt[3]{Q \cdot \Delta T}}}, \qquad \textbf{(2.3)}$$

де **A** - коефіцієнт, що залежить від температурного градієнта атмосфери, приймається для розташованих на Україні джерел висотою менше 200 м в зоні від 50° до 52° південної широти - 180, а південніше 50° п.ш. - 200;

H - висота джерела викидів (для наземних джерел викидів **H** = 2 м);

M - маса шкідливої речовини, яка викидається в атмосферу за одиницю часу, г/с;

F - коефіцієнт, який враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосфері (для газів **F** = 1, для пилу при ефективності очищення викидів не менше 90% **F** = 2,5 і менше 75% чи при відсутності очищення - **F** = 3);

h - коефіцієнт, який враховує вплив рельєфу місцевості, у випадку рівної чи слабопересіченої місцевості з перепадом висот, що не перевищує 50 м на 1 км, **h** = 1;

ΔT - різниця між температурою газоповітряної суміші, що викидається, і температурою навколишнього атмосферного повітря, °С;

Q - витрати газоповітряної суміші, м^3/с, що визначаються за формулою:

$$\mathbf{Q = \frac{\pi \cdot Д^2}{4} V_0}, \qquad \textbf{(2.4)}$$

де **Д** - діаметр перерізу джерела викиду, м;

$\mathbf{V_0}$ - середня швидкість виходу газоповітряної суміші з отвору джерела викиду, м/с. Приймається на основі техніко-економічних розрахунків і залежить від висоти труби :

Висота труби **H**, м	120	150	180	240	330
Швидкість газів на виході $\mathbf{V_0}$, м/с	15-25	20-30	25-35	30-40	35-45

Значення коефіцієнтів **m** і **n** визначаються в залежності від параметрів $\mathbf{f, V_M, V_M'}$ і $\mathbf{f_e}$:

$$f = 1000\frac{V_0^2 \cdot Д}{H_{мін}^2 \cdot \Delta T}; \qquad (2.5)$$

$$V_M = 0{,}65\sqrt[3]{\frac{Q \cdot \Delta T}{H_{мін}}}; \qquad (2.6)$$

$$V_M' = 1{,}3\frac{V_0 \cdot Д}{H_{мін}}; \qquad (2.7)$$

$$f_e = 800(V_M')^3 \qquad (2.8)$$

Коефіцієнт **m** визначається в залежності від **f** з рис 2.2 чи за формулами:

$$m = \frac{1}{0{,}67 + 0{,}1\sqrt{f} + 0{,}34\sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f < 100, \qquad (2.9)$$

$$m = \frac{1{,}47}{\sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f \geq 100. \qquad (2.10)$$

Для $f_e < f < 100$ значення коефіцієнта **m** розраховується при $f = f_e$

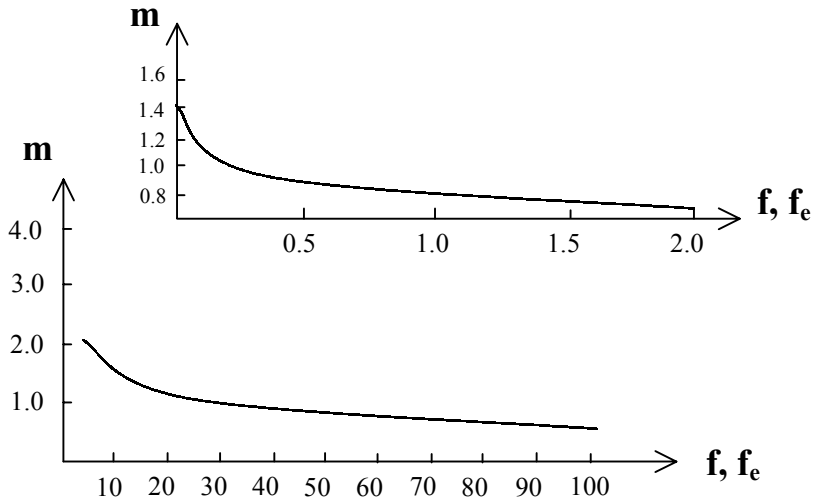


Рисунок 2.2 - **Залежність коефіцієнта m від параметра f**

Коефіцієнт **n** при $f < 100$ визначається в залежності від V_M з рис. 2.3 або за формулами:

$$n = 1 \quad \text{при } V_M \geq 2; \qquad (2.11)$$

$$n = 0{,}532\,V_M^2 - 2{,}13V_M + 3{,}13 \quad \text{при } 0{,}5 \leq V_M < 2; \qquad (2.12)$$

$$n = 4{,}4\,V_M \quad \text{при } V_M < 0{,}5. \qquad (2.13)$$

2. Максимальне значення приземної концентрації холодної газоповітряної суміші від поодинокого джерела з круглим отвором при **f ≥ 100** (або **ΔT ≈ 0**) і $V_M' \geq 0{,}5$ C_M розраховується за формулою:

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot r}{H^{4/3}} K, \qquad (2.14)$$

де $$K = \frac{Д}{8Q} = \frac{1}{7{,}1\sqrt{V_0 \cdot Q}}. \qquad (2.15)$$

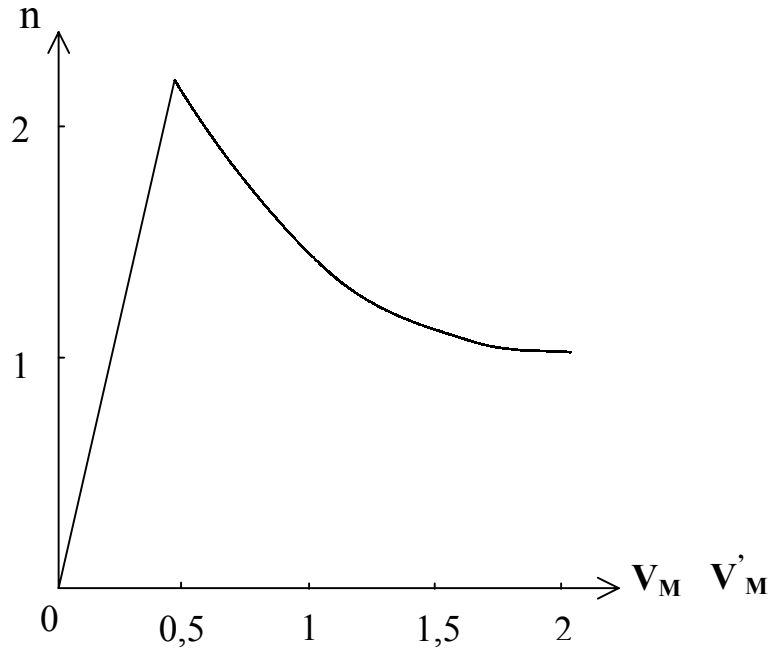


Рисунок 2.3 - **Залежність коефіцієнта n від параметра V_M**

Причому **n** визначається за формулами (2.11)...(2.13) при $V_M = V_M'$. Аналогічно при **f < 100** і $V_M < 0{,}5$ або **f ≥ 100** і $V_M' < 0{,}5$ (випадки гранично малих шкідливих швидкостей вітру) розрахунок C_M замість (2.3) проводиться за формулою:

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m' \cdot r}{H^{7/3}}, \qquad (2.16)$$

де $m' = 2{,}86\ m$ при $f < 100,\ V_M < 0{,}5$;

$m' = 0{,}9$ при $f \geq 100,\ V_M' < 0{,}5$. (2.17)

3. Відстань X_M, м від джерела викидів, на якій приземна концентрація **C**, мг/м^3 при несприятливих метеорологічних умовах досягає максимального значення C_M, визначається за формулою:

$$X_M = \frac{5 - F}{4} d \cdot H, \qquad (2.18)$$

де **d** - безрозмірний коефіцієнт, який визначається за формулами:

при **f < 100**

$$d = 2{,}48\ (1 + 0{,}28\sqrt[3]{f_e}) \quad \text{при} \quad V_M \le 0{,}5;$$

$$d = 4{,}95\ V_M\ (1 + 0{,}28\ \sqrt[3]{f}) \quad \text{при} \quad 0{,}5 < V_M \le 2; \qquad (2.19)$$

$$d = 7\ \sqrt{V_M}\ \ (1 + 0{,}28\ \sqrt[3]{f}) \quad \text{при} \quad V_M > 2;$$

при **f > 100** або $\Delta T \approx 0$

$$d = 5{,}7 \quad \text{при} \quad V_M' \le 0{,}5;$$

$$d = 11{,}4\ \text{м} \quad \text{при} \quad 0{,}5 < V_M' \le 2; \qquad (2.20)$$

$$d = 16\sqrt{V_M'} \quad \text{при} \quad V_M' > 2.$$

4. Значення шкідливої швидкості вітру U_M, м/с на рівні флюгера (звичайно 10 м від рівня землі), при якій досягається найбільше значення приземної концентрації шкідливих речовин C_M, знаходиться за формулами:

при **f < 100**

$$U_M = 0{,}5 \quad \text{при} \quad V_M \le 0{,}5;$$

$$U_M = V_M \quad \text{при} \quad 0{,}5 < V_M \le 2; \qquad (2.21)$$

$$U_M = V_M\ (1 + 0{,}12\sqrt{f}) \quad \text{при} \quad V_M > 2;$$

при **f ≤ 100** або $\Delta T \approx 0$

$$U_M = 0{,}5 \quad \text{при} \quad V_M' \le 0{,}5; \qquad (2.22)$$

$$U_M = V_M' \quad \text{при} \quad 0{,}5 < V_M' \le 2; \qquad (2.23)$$

$$U_M = 2{,}2\ V_M' \quad \text{при} \quad V_M' > 2. \qquad (2.24)$$

5. Максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини C_{MU}, мг/м^3 при несприятливих метеорологічних умовах і швидкості вітру **U**, м/с, яка відрізняється від шкідливої швидкості вітру U_M, м/с, визначається за формулою:

$$C_{MU} = r \cdot C_M, \qquad (2.25)$$

де **r** – безрозмірна величина, яка визначається в залежності від відношення U/U_M з рис. 2.4 або за формулами:

при $U/U_M \le 1$

$$r = 0{,}67\ (U/U_M) + 1{,}67\ (U/U_M)^2 - 1{,}34\ (U/U_M)^3; \qquad (2.26)$$

при $U/U_M > 1$

$$r = \frac{3(U/U_м)}{2(U/U_м)^2 - (U/U_м) + 2}. \qquad (2.27)$$

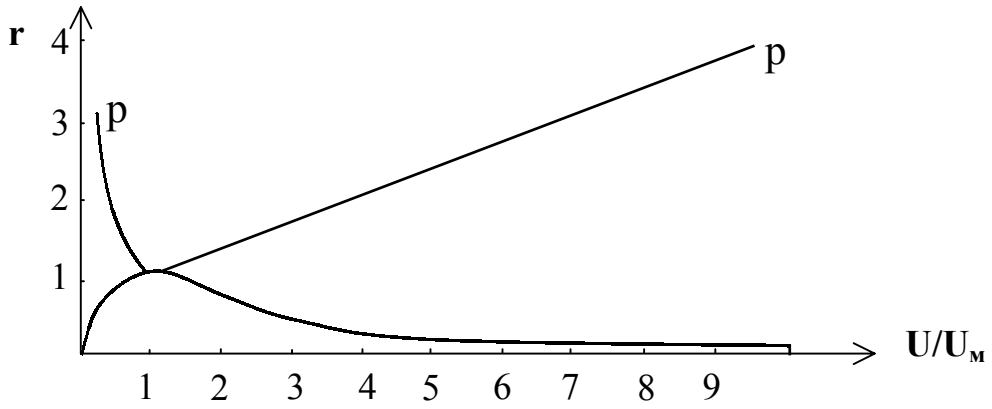


Рисунок 2.4 **- Залежність коефіцієнтів r і P від відношення $U/U_м$**

Примітка. При проведенні розрахунків не використовується значення швидкості вітру **U** < 0,5 м/с а також швидкості вітру **U>U***, де **U*** - значення швидкості вітру, що перевищує в даній місцевості швидкість в середньому багаторічному режимі в 5% випадків.

6. Відстань від джерела викиду X_{MU}, м, на якій при швидкості вітру **U** і несприятливих метеорологічних умовах приземна концентрація шкідливих речовин досягає максимального значення C_{MU}, мг/м^3, визначається за формулою:

$$X_{MU} = p \cdot X_м, \qquad (2.28)$$

де **p** - безрозмірний коефіцієнт, який визначається в залежності від відношення $U/U_м$ з рис 2.4 або за формулами:

$$p = 3 \quad \text{при} \quad U/U_м \le 0{,}25;$$

$$p = 8{,}43(1 - (U/UM)^5 + 1 \quad \text{при} \quad 0{,}25 < U/U_м \le 1;$$

$$p = 0{,}32\ U/U_м + 0{,}68 \quad \text{при } U/U_м > 1. \qquad (2.29)$$

7. При небезпечній швидкості вітру $U_м$ приземна концентрація шкідливих речовин **C**, мг/м^3 в атмосфері по осі факела викидів на різних відстанях **X**, м від джерела викидів визначається за формулою:

$$C = S_1 \cdot C_м, \qquad (2.30)$$

де S_1 - безрозмірний коефіцієнт, який знаходиться в залежності від відношення $X/X_м$ і коефіцієнта **F** з рис. 2.5 або за формулами:

$$S_1 = 3(X/X_м)^4 - 8(X/X_м)^3 + 6(X/X_м)^2 \quad \text{при} \quad X/XM \le 1;$$

$$S_1 = \frac{1{,}13}{0{,}13(X/X_м)^2 + 1} \quad \text{при} \quad 1 < X/X_м \le 8; \qquad (2.31)$$

$$S_1 = \frac{X/X_м}{3{,}58(X/X_м)^2 - 35{,}2(X/X_м) + 120} \quad \text{при} \quad F > 1{,}5 \ \text{і} \ X/X_м > 8;$$

$$S_1 = \frac{1}{0{,}1(X/X_м)^2 + 2{,}47(X/X_м) - 17{,}8} \quad \text{при} \quad F > 1{,}5 \ \text{і} \ X/X_м > 8.$$

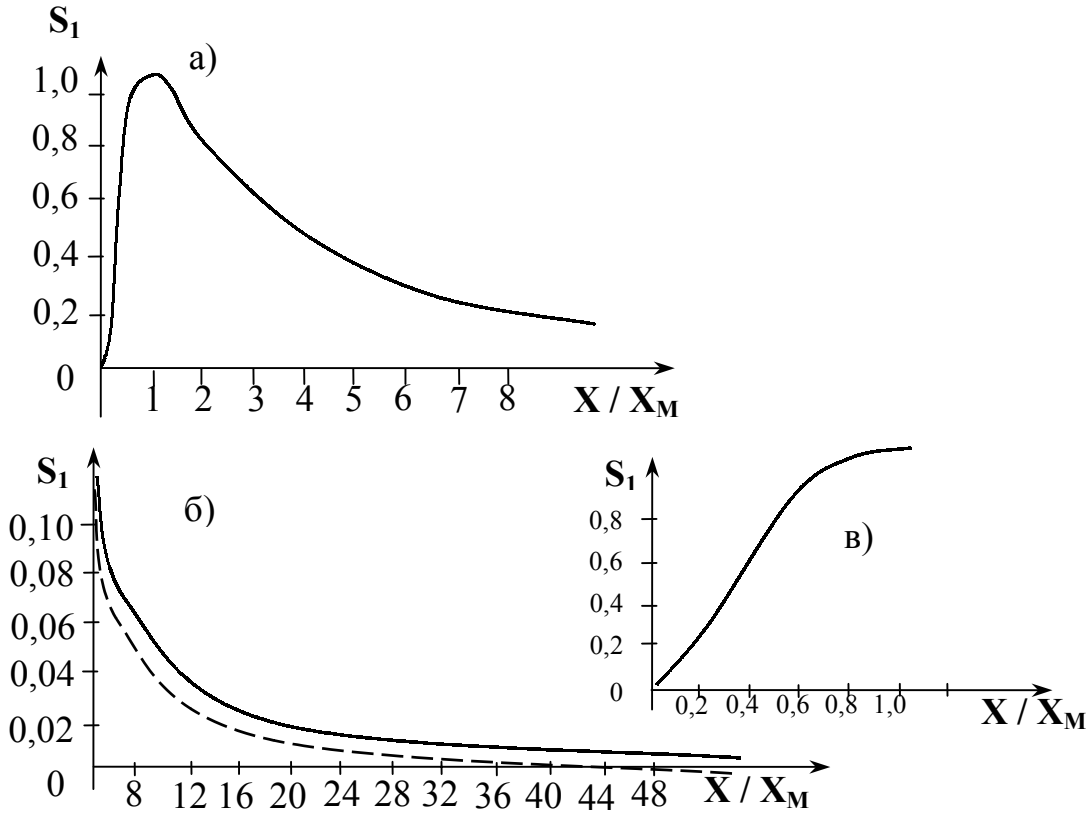


Рисунок 2.5 - **Залежність коефіцієнта S_1 від відношення $X/X_м$: 1 – легкі домішки; 2 – важкі домішки**

Для низьких і наземних джерел (висотою **Н** не більше 10 м) при значеннях $X/X_м < 1$ величина S_1 в (2.30) замінюється на величину $S_1^н$, яка визначається в залежності від $X/X_м$ і **Н** з рис. 2.6 чи за формулою:

$$S_1^н = 0{,}125(10 - Н) + 0{,}125(Н - 2)S_1 \quad \text{при} \quad 2 \le Н < 10. \qquad (2.32)$$

8. Значення приземної концентрації шкідливих речовин в атмосфері $C_у$, мг/м^3 на відстані **У**, м по перпендикуляру до осі факела викидів знаходиться за формулою

$$C_у = S_2 \cdot C, \qquad (2.33)$$

де S_2 – безрозмірний коефіцієнт, який визначається в залежності від швидкості вітру **U**, м/с і відношення **У/Х** за значенням аргументу $t_у$:

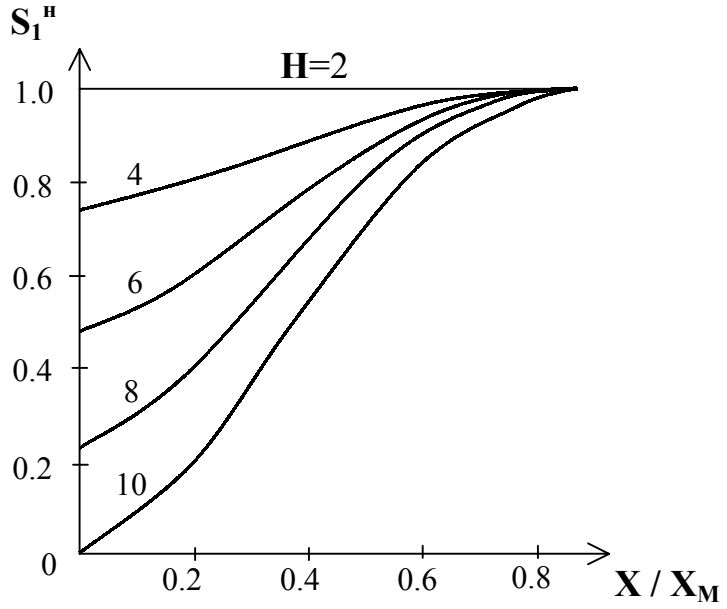


Рисунок 2.6 - **Залежність коефіцієнта S_1^H від відношення X/X_M**

$$t_y = \frac{U \cdot У^2}{X^2} \qquad \text{при } U \le 5; \tag{2.34}$$

$$t_y = \frac{5У^2}{X^2} \qquad \text{при } U > 5.$$

з рис. 2.7 або за формулою:

$$S_2 = \frac{1}{(1 + 5t_y + 12{,}8t_y^2 + 17t_y^3 + 45{,}1t_y^4)^2}. \tag{2.35}$$

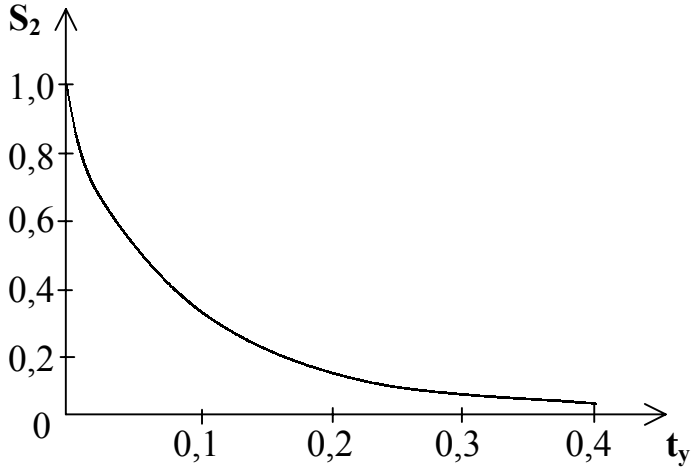


Рисунок 2.7 - **Залежність коефіцієнта S_2 від аргументу t_y**

9. Максимальна концентрація C_{MX}, мг/м^3 на відстані X від джерела викидів по осі факела при швидкості вітру U_{MX} визначається за формулою:

$$C_{MX} = S_1' \cdot C_M \qquad (2.36)$$

де S_1' - безрозмірний коефіцієнт, знаходиться в залежності від відношення X/X_M з рис. 2.8 чи за формулами:

$$S_1' = 3(X/X_M)^4 - 8(X/X_M)^3 + 6(X/X_M)^2 \quad \text{при} \quad X/X_M \le 1;$$

$$S_1' = \frac{1{,}1}{0{,}1(X/X_M)^2 + 1} \quad \text{при} \quad 1 < X/X_M \le 8;$$

$$S_1' = \frac{2{,}55}{0{,}13(X/X_M)^2 + 9} \quad \text{при} \quad 8 < X/X_M \le 24; \qquad (2.37)$$

$$S_1' = \frac{}{4{,}75(X/X_M)^2 - 140(X/X_M) + 1435} \quad \text{при} \quad 24 < X/X_M \le 80;\ F \le 1{,}5;$$

$$S_1' = \frac{2{,}26}{0{,}1(X/X_M)^2 + 7{,}41(X/X_M) - 160} \quad \text{при} \quad 24 < X/X_M \le 80;\ F > 1{,}5;$$

$$S_1' = \frac{X/X_M}{3{,}58(X/X_M)^2 - 35{,}2(X/X_M) + 120} \quad \text{при} \quad X/X_M > 80;\ F \le 1{,}5;$$

$$S_1' = \frac{1}{0{,}1(X/X_M)^2 + 2{,}47(X/X_M) - 178} \quad \text{при} \quad X/X_M > 80;\ F > 1{,}5.$$

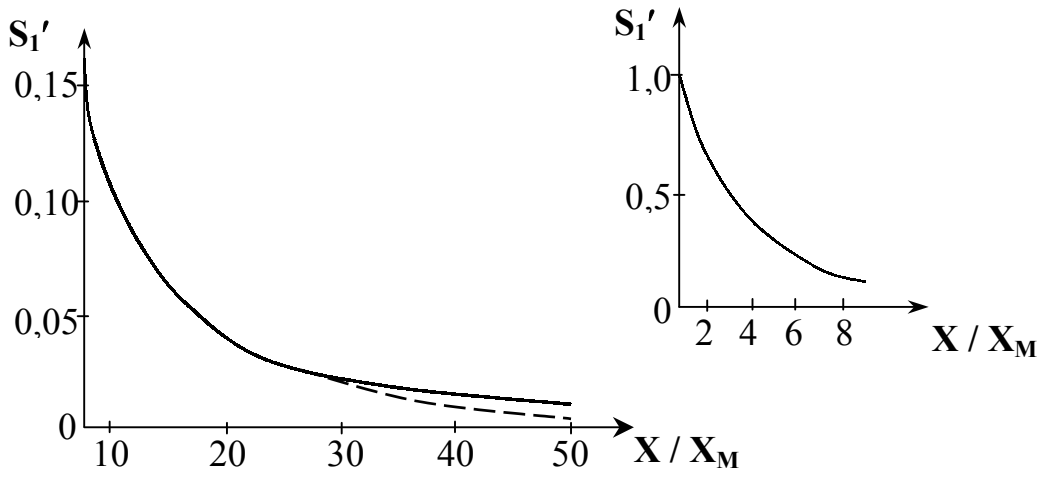


Рисунок 2.8 - **Залежність коефіцієнта S_1 від відношення X/X_M**

Швидкість вітру U_{MX} при цьому розраховується за формулою:

$$U_{MX} = f_1 \cdot U_M \qquad (2.38)$$

де f_1 - безрозмірний коефіцієнт f_1 визначається в залежності від відношення X/X_M з рис. 2.9 чи за формулами:

$$f_1 = 1 \quad \text{при} \quad X/X_M \le 1;$$

$$f_1 = \frac{0{,}75 + 0{,}25X / X_M}{1 + (X / 9X_M)^9} \quad \text{при} \quad 1 < X/X_M \le 8; \qquad (2.39)$$

$f_1 = 0{,}25$ при $8 < X/X_M < 80;$

$f_1 = 0{,}1$ при $X/X_M \ge 80.$

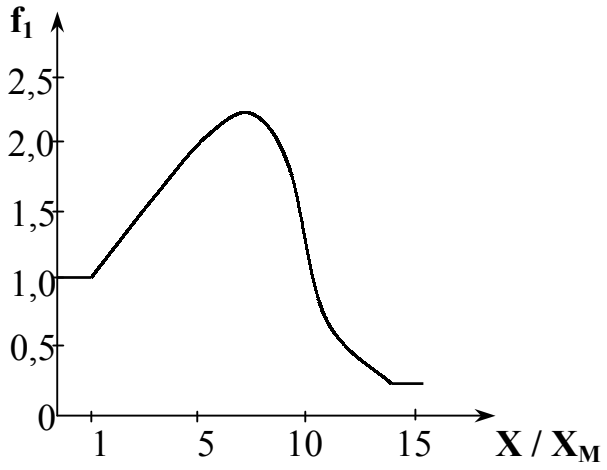


Рисунок 2.9 - **Залежність коефіцієнта f_1 від відношення X/X_M**

10. Розрахунки забруднень атмосфери при викидах газоповітряної суміші з джерела з прямокутним отвором проводяться за приведеними вище формулами при середній швидкості V_0 і значеннях $Д = Д_e$, м і $Q_1 = Q_{1e}$, м^3/с.

Середня швидкість виходу в атмосферу газоповітряної суміші V_0, м/с знаходиться за формулою:

$$V_0 = \frac{Q_1}{L \cdot b}, \qquad (2.40)$$

де **L** - довжина шахти, м;

b - ширина шахти, м.

Ефективний діаметр отвору $Д_e$, м визначається за формулою:

$$Д_e = \frac{2L - b}{L + b}. \qquad (2.41)$$

Ефективні витрати викидуваної в атмосферу в одиницю часу газоповітряної суміші Q_{1e}, м/с, знаходяться за формулою:

$$Q_{1e} = \frac{\pi \cdot Д_e^2}{4} V_0. \qquad (2.42)$$

Примітка. Для джерел з квадратним отвором (**L = b**) ефективний діаметр $Д_e$ дорівнює довжині сторони квадрата. В цьому випадку розрахунок розсіювання шкідливих речовин проводиться як для викидів з джерела з круглим отвором.

11. Вирішення обернених задач з визначення потужності викидів **M** і висоти **H**, що відповідають заданому рівню максимальної приземної концентрації $\mathbf{C_M}$ при інших фіксованих параметрах викидів, знаходиться так.

Потужність викиду **M**, г/с, відповідна заданому значенню максимальної концентрації $\mathbf{C_M}$, мг/м^3, визначається за формулою:

$$\mathbf{M = \frac{C_M \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \sqrt[3]{Q_1 \cdot \Delta T}\,.} \qquad \mathbf{(2.43)}$$

У випадку $\mathbf{f \geq 100}$ або $\mathbf{\Delta T \approx 0}$

$$\mathbf{M = \frac{C_M \cdot H^{4/3}}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot \frac{8 Q_1}{Д}\,.} \qquad \mathbf{(2.44)}$$

Висота джерела **H**, відповідна заданому значенню $\mathbf{C_M}$, у випадку $\mathbf{\Delta T \approx 0}$ знаходиться за формулою:

$$\mathbf{H = \left(\frac{A \cdot M \cdot F \cdot Д \cdot \eta}{8 \cdot Q_1 \cdot C_M} \right)^{3/4}} \qquad \mathbf{(2.45)}$$

Якщо знайденому за формулою (2.45) значенню **H** відповідає $\mathbf{V_H < 2}$ м/с, то **H** уточнюється методом послідовних наближень за формулою:

$$\mathbf{H_{i+1} = H_i \left(\frac{n_i}{n_{i-1}} \right)^{3/4},} \qquad \mathbf{(2.46)}$$

де $\mathbf{n_i}$ і $\mathbf{n_{i-1}}$ – значення знайденого з рис. 2.3 чи за формулами (2.11)…(2.13) коефіцієнта **n**, одержані, відповідно, за значеннями $\mathbf{H_i}$ і $\mathbf{H_{i-1}}$ (при $\mathbf{i = 1}$ у формулі (2.46) приймається $\mathbf{n_0 = 1}$, а значення $\mathbf{H_i}$ визначається за (2.45).

Формули (2.45) і (2.46) застосовуються також для визначення **H** при $\mathbf{\Delta T > 0}$. Якщо при цьому виконується умова $\mathbf{H \leq V_0 \sqrt{100 / \Delta T}}$, то знайдене **H** є точним. Якщо ж $\mathbf{H > V_0 \sqrt{100 / \Delta T}}$, то для визначення попереднього значення висоти **H** використовується формула:

$$\mathbf{H = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot \eta}{C_M \sqrt[3]{Q_1 \cdot \Delta T}}}\,.} \qquad \mathbf{(2.47)}$$

За знайденим значенням **H** визначаються на основі формул (2.5)…(2.8) величини $\mathbf{f, V_M', V_M}$ і $\mathbf{f_e}$ і встановлюються в першому наближенні коефіцієнти **m** і **n**. Подальші уточнення значення **H** виконуються за формулою:

$$\mathbf{H_{i+1} = H_i \sqrt{\frac{m_i \cdot n_i}{m_{i-1} \cdot n_{i-1}}},} \qquad \mathbf{(2.48)}$$

де $\mathbf{m_i}$, $\mathbf{n_i}$ відповідають $\mathbf{H_i}$, а $\mathbf{m_{i-1}}$, $\mathbf{n_{i-1}}$ – $\mathbf{H_{i-1}}$ (при $\mathbf{i} = 1$ приймається $\mathbf{m_0} = \mathbf{n_0} = \mathbf{1}$, а $\mathbf{H_0}$ визначається за (2.47).

Уточнення значень **H** за формулами (2.46) і (2.48) проводиться до того часу, поки два послідовно знайдених значень **H** ($\mathbf{H_i}$ і $\mathbf{H_{i+1}}$) будуть відрізнятися менше як на 1 м.

12. У випадку викидів в атмосферу, зумовлених спалюванням палива, при фіксованих висоті і діаметрі отвору труби відповідні $\mathbf{C_M}$ витрати палива σ, т/год визначаються за формулою:

$$\sigma = 3{,}6H^3 \sqrt{\left(\frac{C_M}{d_3 \cdot A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}\right)^3 d_4 \cdot \Delta\Delta}, \qquad (2.49)$$

де $\mathbf{d_3}$ - кількість викидуваної в атмосферу шкідливої речовини на одиницю палива (в необхідних випадках з урахуванням пилогазоочищення), г/кг;

$\mathbf{d_4}$ - витрати газоповітряної суміші, яка виділяється на одиницю маси палива, $м^3/кг$.

13. Для кожного джерела радіус зони впливу розраховується як найбільша з двох відстань до джерела $\mathbf{X_1}$ і $\mathbf{X_2}$, де

$$X_1 = 10\, X_M,$$

а величина $\mathbf{X_2}$ визначається як відстань від джерела, починаючи з якої $\mathbf{C \le 0{,}05\ ГДК}$.

Примітка. Значення $\mathbf{X_2}$ знаходиться графічно за допомогою рис. 2.5. На вертикальній осі відкладається точка $\mathbf{0{,}05ГДК/C_M}$, через яку проводиться паралельна горизонтальній осі лінія до перетину з графіком функції $\mathbf{S_1}$ за максимумом. З точки перетину опускається перпендикуляр на горизонтальну вісь, одержане значення $\mathbf{X/X_M}$ множиться за $\mathbf{X_M}$, внаслідок чого визначається шукане значення. При $\mathbf{C_M \le 0{,}05ГДК}$ значення $\mathbf{X_2}$ покладається рівним нулю.

14. При повному навантаженні обладнання середня концентрація $\mathbf{C_M}$, $г/м^3$ в отворі джерела рівна

$$\tilde{C}_M = M / Q, \qquad (2.50)$$

та знаходиться за формулами:

$$\tilde{C}_M = \frac{C_M \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \sqrt[3]{\Delta T / Q^2} \quad \text{при} \quad f < 100;$$

$$\tilde{C}_M = \frac{8 C_M \cdot H^{4/3}}{A \cdot F \cdot n \cdot Д \cdot \eta} \quad \text{при} \quad f \ge 100 \quad \text{або} \quad \Delta T \approx 0. \qquad (2.51)$$

де $\mathbf{C_M}$ – відповідна $\tilde{C}_M$ максимальна приземна концентрація, $мг/м^3$.

2.3 Приклади розрахунку розсіювання шкідливих речовин

Приклад 2.1 Розрахувати концентрації шкідливих речовин, що викидаються котельнею, в атмосферному повітрі при несприятливих метеорологічних умовах. Котельня розташована на рівній відкритій місцевості у Вінницькій області. Число димових труб N = 1; висота димової труби Н = 40 м; діаметр отвору труби Д = 1,5 м; швидкість виходу газоповітряної суміші V_0 = 6 м/с; температура газоповітряної суміші $t_Г$ = 120 °С; температура навколишнього повітря $t_П$ = 20 °С; викид двоокису сірки M_{SO2} = 22 г/с; викид золи $M_З$ = 3,6 г/с; викид окислів азоту (в перерахунку на двоокис азоту) M_{NO3} = 5 г/с.

Рішення:

1. Максимальне значення приземної концентрації $C_М$, мг/м^3, визначається за формулою:

$$C_М = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{Q \cdot \Delta T}}$$

2. Коефіцієнт А = 200 (Вінницька область знаходиться південніше 50° північної широти); коефіцієнт, який враховує вплив рельєфу місцевості η = 1 (місцевість рівна); коефіцієнт, який враховує швидкість осідання речовин, F = 1 (для двоокису сірки і окислів азоту) і F = 3 (для золи при відсутності золоочищення).

3. Знаходимо максимальні разові гранично допустимі концентрації (ГДК):

двоокису сірки – 0,5 мг/м^3;
золи – 0,5 мг/м^3;
окислів азоту - 0,085 мг/м^3.

4. Знаходимо об'єм газоповітряної суміші за формулою (2.4)

$$Q = \frac{\pi \cdot Д^2}{4} V_0 = \frac{3{,}14 \cdot 1{,}5^2}{4} 6 = 10{,}6 \text{ м}^3/\text{с}.$$

5. Перегрів ΔT, °С, газоповітряної суміші

$$\Delta T = t_г - t_П = 120 - 20 = 100 .$$

6. За формулами (2.5)…(2.8) знаходимо параметри:

$$f = 1000 \frac{V_0^2 \cdot Д}{H^2 \cdot \Delta T} = 1000 \frac{6^2 \cdot 1{,}5}{40^2 \cdot 100} = 0{,}34;$$

$$V_М = 0{,}65 \sqrt[3]{\frac{Q \cdot \Delta T}{H}} = 0{,}65 \sqrt[3]{\frac{10{,}6 \cdot 100}{40}} = 1{,}94;$$

$$V_М' = 1{,}3 \frac{V_0 \cdot Д}{H} = 1{,}3 \frac{6 \cdot 1{,}5}{40} = 0{,}29;$$

$$f_e = 800 (V_М')^3 = 800 \cdot (0{,}29)^3 = 20 .$$

7. За формулами (2.9) і (2.12) чи з рис. 2.2. і 2.3 знаходимо, відповідно, параметри m і n ($f < 100$; $0,5 \le V_M < 2$):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,34} + \sqrt[3]{0,34}} = 0,51;$$

$$n = 0532\ V_M^2 - 2,13\ V_M + 3,13 = 0,532 \cdot 1,94^2 - 2,13 \cdot 1,94 + + 3,13 = 1,0.$$

8. Знаходимо небезпечну швидкість вітру U_M, м/с, за формулою (2.21), тобто $U_M = V_M = 1,94$.

9. Параметр d визначаємо за формулою (2.19)

$$d = 4,95\ V_M\ (1 + 0,28\sqrt[3]{f}\ ) = 4,95 \cdot 1,94(1+0,28\sqrt[3]{0,34}\ ) = 11,5.$$

Розрахунок концентрації двоокису сірки:

10. Максимальна концентрація C_M^{SO4}, мг/м^3 (за формулою (2.3))

$$C_M^{SO_4} = \frac{200 \cdot 22 \cdot 1 \cdot 0,51 \cdot 1 \cdot 1}{40^2 \sqrt[3]{10,6 \cdot 100}} = 0,14.$$

11. Відстань X_M^{SO4}, м, на якій концентрація двоокису сірки досягає максимального значення, знаходимо за формулою (2.18)

$$X_M^{SO_4} = \frac{5 - F}{4} d \cdot H = \frac{5 - 1}{4} 11,5 \cdot 40 = 460\ .$$

12. Коефіцієнт S_1 для відстані X знаходимо за формулами (2.31) або з рис. 2.5:

$X = 50$ м, $X/X_M = 0,11$;

$$S_1 = 3(X/X_M)^4 - 8(X/X_M)^3 + 6(X/X_M)^2 = 3(0,11)^4 - 8(0,11)^3 + 6(0,11)^2 = 0,063;$$

$X = 100$ м, $X/X_M = 0,217$;

$$S_1 = 3(0,217)^4 - 8(0,217)^3 + 6(0,217)^2 = 0,21;$$

$X = 200$ м, $X/X_M = 0,435$;

$$S_1 = 3(0,435)^4 - 8(0,435)3 + 6(0,435)^2 = 0,585;$$

$X = 400$ м, $X/X_M = 0,87$;

$$S_1 = 3(0,87)^4 - 8(0,87)3 + 6(0,87)^2 = 0,991$$

$X = 1000$ м, $X/X_M = 2,17$;

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13(X/X_M)^2 + 1} = \frac{1,13}{0,13(2,17)^2 +} = 0,7;$$

$X = 3000$ м, $X/X_M = 6,52$;

$$S_1 = \frac{1{,}13}{0{,}13(6{,}52)^2 + 1} = 0{,}173 .$$

13. Концентрація C^{SO4}, мг/м^3, на відстанях X буде рівна (формула (2.30)):

X = 50 м, $C^{SO4} = S_1 \cdot C_M{}^{SO4} = 0{,}063 \cdot 0{,}14 = 0{,}009$;

X = 100 м, $C^{SO4} = S_1 \cdot C_M{}^{SO4} = 0{,}21 \cdot 0{,}14 = 0{,}03$;

X = 200 м, $C^{SO4} = S_1 \cdot C_M{}^{SO4} = 0{,}585 \cdot 0{,}14 = 0{,}082$;

X = 400 м, $C^{SO4} = S_1 \cdot C_M{}^{SO4} = 0{,}991 \cdot 0{,}14 = 0{,}139$;

X = 1000 м, $C^{SO4} = S_1 \cdot C_M{}^{SO4} = 0{,}7 \cdot 0{,}14 = 0{,}098$;

X = 3000 м, $C^{SO4} = S_1 \cdot C_M{}^{SO4} = 0{,}173 \cdot 0{,}14 = 0{,}024$.

Розрахунок концентрації окислів азоту:

14. Розрахунок C^{NO2} виконується аналогічно розрахунку C^{SO4}. Концентрації C^{NO2} і C^{SO4} зв'язані співвідношенням:

$$C^{NO2} = C^{SO2}\frac{M_{NO2}}{M_{SO2}} = C^{SO2}\frac{5}{22} = 0{,}227 \cdot C^{SO2} .$$

Тоді максимальна концентрація окислів азоту також буде на відстані 460 м від труби і буде рівна $C_M{}^{NO2} = 0{,}227 \cdot C_M{}^{SO2} = 0{,}227 \cdot 0{,}14 = 0{,}032$ мг/м^3, що не перевищує $C_{ГДК}{}^{NO2} = 0{,}085$ мг/м^3.

Розрахунок концентрації золи:

15. Максимальна концентрація золи $C_M{}^3$, мг/м^3 знаходиться за формулою (2.3) або із співвідношення:

$$C_M^3 = C_M^{SO2} \cdot \frac{M_3}{M_{SO4}} \cdot F = 0{,}14\frac{3{,}6}{22} \cdot 3 = 0{,}069,$$

що значно менше максимальної разової гранично допустимої концентрації ($C^3_{ГДК} = 0{,}5$ мг/м^3).

16. Відстань X^3_M, м, на якій концентрація золи буде максимальною, знаходимо за формулою (2.18) чи із співвідношення:

$$X_M^3 = X_M^{SO4}\frac{5 - F}{4} = 460\frac{5 - 3}{4} = 230 .$$

17. Коефіцієнт S_1 для відстані X знаходимо за формулами (2.31) або з рис. 2.5:

X = 50 м, $X/X_M = 0{,}217$,

$S_1 = 3(X/X_M)^4 - 8(X/X_M)^3 + 6(X/X_M)^2 = 3(0{,}217)^4 - 8(0{,}217)^3 + 6(0{,}217)^2 = 0{,}21$;

X = 100 м, $X/X_M = 0{,}435$,

$S_1 = 3(0{,}435)^4 - 8(0{,}435)^3 + 6(0{,}435)^2 = 0{,}585$;

$$X = 200 \text{ м}, \quad X/X_М = 0{,}87,$$

$$S_1 = 3(0{,}87)^4 - 8(0{,}87)^3 + 6(0{,}87)^2 = 0{,}991,$$

$$X = 400 \text{ м}, \quad X/X_М = 1{,}74,$$

$$S_1 = \frac{1{,}13}{0{,}13(X/X_М)^2 + 1} = \frac{1{,}13}{0{,}13(1{,}74)^2 + 1} = 0{,}81,$$

$$X = 1000 \text{ м}, \quad X/X_М = 4{,}35,$$

$$S_1 = \frac{1{,}13}{0{,}13(4{,}35)^2 + 1} = 0{,}33;$$

$$X = 3000 \text{ м}, \quad X/X_М = 13,$$

$$S_1 = \frac{1}{0{,}1(X/X_М)^2 + 2{,}47(X/X_М) - 17{,}8} = \frac{1}{0{,}1 \cdot 13^2 + 2{,}47 \cdot 13 - 17{,}8} = 0{,}032.$$

18. Концентрацію золи $C^З$, мг/м^3 на відстані X знаходимо за формулою (2.30):

$X = 50$ м $\quad C^З = S_1 \cdot C_М{}^З = 0{,}21 \cdot 0{,}069 = 0{,}0145;$

$X = 100$ м $\quad C^З = 0{,}585 \cdot 0{,}069 = 0{,}0404;$

$X = 200$ м $\quad C^З = 0{,}991 \cdot 0{,}069 = 0{,}0684;$

$X = 400$ м $\quad C^З = 0{,}81 \cdot 0{,}069 = 0{,}0559;$

$X = 1000$ м $\quad C^З = 0{,}33 \cdot 0{,}069 = 0{,}0228;$

$X = 3000$ м $\quad C^З = 0{,}032 \cdot 0{,}069 = 0{,}0022.$

Приклад 2.2 Розрахувати висоту димової труби ТЕС потужністю P = 500 000 кВт, яка працює на мазуті, для двох варіантів:

а) гази викидаються в атмосферу без попереднього очищення; температура газів $t_г = 160$ °С;

б) гази попередньо очищуються в абсорбері від оксиду сірки на 90%; температура підігрітих після очищення газів $t_г = 110$ °С.

Фонова концентрація оксидів сірки $C_Ф{}^{SO2} = 0{,}05$ мг/м^3.

Температура навколишнього повітря $t_П = 23$ °С.

ТЕС розташована на рівній місцевості південніше 50° північної широти на Україні.

Рішення:

1. Визначаємо величини викидів шкідливих речовин $M_З$:

зола $M_З = \frac{P}{3600} q_З = \frac{500000}{3600} \cdot 0{,}4 = 55{,}56$ г/с;

двоокис сірки: а) $M_{SO2} = \frac{P}{3600} q_{SO2} = \frac{500000}{3600} \cdot 15{,}9 = 2208{,}5$ г/с;

б) $M'_{SO2} = \frac{M_{SO2}}{100}(100 - 90) = 22{,}1$ г/с;

окисли азоту $M_{NO2} = \frac{P}{3600} q_{NO2} = \frac{500000}{3600} \cdot 3{,}2 = 444{,}5$ г/с;

де $q_З$, q_{SO2}, q_{NO2} – питомі викиди, відповідно, золи, двоокису сірки і окислів азоту, г/(кВт·год).

2. Розраховуємо об'єм викидуваних газів Q при нормальних умовах:

$$Q = \frac{P}{3600} q_Г = \frac{500000}{3600} 4 = 555{,}6 \text{ м}^3/\text{с},$$

де $q_Г$ – питомі викиди газів, г/(кВт·год).

3. Знаходимо об'єми газів Q при робочих умовах:

а) $Q_1 = Q \frac{T_0 \cdot t_Г}{T_0} = 555{,}6 \frac{273 + 160}{273} = 881 \text{ м}^3/\text{с};$

б) $Q_1 = 555{,}6 \cdot \frac{273 + 110}{273} = 779 \text{ м}^3/\text{с}.$

4. Користуючись формулою (2.4), визначаємо діаметр отвору труби:

а) $Д_О = \sqrt{\frac{4Q_1}{\pi \cdot V_0}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 881}{3{,}14 \cdot 35}} = 5{,}66$ м;

б) $Д'_О = \sqrt{\frac{4 \cdot 779}{3{,}14 \cdot 35}} = 5{,}32$ м,

де V_0 – швидкість газів на виході з труби, приймаємо рівною 35 м/с.

5. Враховуючи величини шкідливих речовин, а також спільну дію двоокису сірки і окислів азоту, розраховуємо висоту труби для розсіювання останніх. Попередньо приводимо викиди М до викидів по окислах сірки:

а) $M = M_{SO2} + 5{,}88 M_{NO2} = 2208{,}5 + 5{,}88 \cdot 444{,}5 = 4822{,}5$ г/с;

б) $M' = 22{,}1 + 5{,}88 \cdot 444{,}5 = 2635{,}8$ г/с.

6. Коефіцієнт А = 200, коефіцієнт F = 1, коефіцієнт η = 1.

Максимальна разова гранично допустима концентрація для двоокису сірки $C_{ГДК}^{SO2} = 0{,}5$ мг/м^3.

7. Знаходимо висоту димової труби Н згідно з формулою (2.45):

а) $H = \left[\frac{A \cdot M \cdot F \cdot Д_0 \cdot \eta}{8Q_1 \left(C_{ГДК}^{SO2} - C_Ф^{SO2} \right)} \right]^{3/4} = \left[\frac{200 \cdot 4822{,}2 \cdot 1 \cdot 5{,}66 \cdot 1}{8 \cdot 881 (0{,}5 - 0{,}05)} \right]^{3/4} = 267{,}2$ м;

б) $H' = \left[\frac{200 \cdot 26 \;\; 35{,}8 \cdot 1 \cdot 5{,}32 \cdot 1}{8 \cdot 779 (0{,}5 - 0{,}05)} \right]^{3/4} = 177{,}8$ м.

8. Знаходимо різницю температур ΔT між температурою викидуваних газів і температурою навколишнього атмосферного повітря:

а) $\Delta T = t_г - t_П = 160 - 23 = 137$ °С;

б) $\Delta T' = 110 - 23 = 87$ °С.

9. Оскільки $\Delta T > 0$, перевіряємо відповідність знайденої висоти труби умові

$$H \le 35\sqrt{10Д_0 / \Delta T}:$$

а) $H \le 35\sqrt{\frac{10{,}5 \cdot 66}{137}}$ $\qquad$ 267,2 > 22,5;

б) $H' = 35\sqrt{\frac{10 \cdot 5{,}32}{87}}$ $\qquad$ 177,8 > 27,4.

10. В зв'язку з тим, що величини висоти труби в обох варіантах не відповідають необхідній умові, для визначення попереднього значення висоти труби H скористаємося формулою (2.47):

а) $H_0 = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot \eta}{\left(C_{ГДК}^{SO2} - C_{Ф}^{SO2}\right)\sqrt[3]{Q_1 \cdot \Delta T}}} = \sqrt{\frac{200 \cdot 4822{,}2 \cdot 1 \cdot 1}{0{,}5 - 0{,}05\sqrt[3]{881 \cdot 137}}} = 208$ м;

б) $H_0' = \sqrt{\frac{200 \cdot 2635{,}8 \cdot 1 \cdot 1}{(0{,}5 - 0{,}05)\sqrt[3]{779 \cdot 87}}} = 169{,}5$ м.

11. За формулами (2.5) і (2.6) знаходимо параметри f і V_H:

а) $f = 1000\frac{V_0^2 \cdot Д_0}{H^2 \cdot \Delta T} = 1000\frac{35^2 \cdot 5{,}66}{208^2 \cdot 137} = 1{,}2$;

$$V_H = 0{,}65\sqrt[3]{\frac{Q_1 \cdot \Delta T}{H}} = 0{,}65\sqrt[3]{\frac{881 \cdot 137}{208}} = 5{,}43;$$

б) $f = 1000\frac{35^2 \cdot 5{,}32}{169{,}5^2 \cdot 87} = 2{,}6;$

$$V_H = 0{,}65\sqrt{\frac{779 \cdot 87}{169{,}5}} = 4{,}79.$$

12. За формулами (2.9) і (2.11) знаходимо коефіцієнти m і n:

а) $m = \dfrac{1}{0{,}67 + 0{,}1\sqrt{f_1} + 0{,}34\sqrt[3]{f_1}} = \dfrac{1}{0{,}67 + 0{,}1\sqrt{1{,}2} + 0{,}34\sqrt[3]{1{,}2}} = 0{,}88;$

n = 1, тому що $V_H > 2$;

б) $m = \dfrac{1}{0{,}67 \cdot 0{,}1\sqrt{2{,}6} + 0{,}34\sqrt[3]{2{,}6}} = 0{,}77.$

13. Уточнюємо величини висоти труби H_1 за формулою (2.48):

а) $H_1 = H_0\sqrt{\dfrac{m \cdot n}{m_0 \cdot n_0}} = 208\sqrt{\dfrac{0{,}88 \cdot 1}{1 \cdot 1}} = 195$ м;

б) $H_1' = 169{,}5\sqrt{\dfrac{0{,}77 \cdot 1}{1 \cdot 1}} = 149$ м,

де $m_0 = n_0 = 1$ – коефіцієнти для висоти труби H_0.

14. Оскільки різниця між H_0 і H_1 (в обох варіантах) більше 1 м, знаходимо параметри f_1 і V_{H1} і коефіцієнти m_1 і n_1 для H_1:

а) $f_1 = \dfrac{1000 \cdot 35^2 \cdot 5{,}66}{195^2 \cdot 137} = 1{,}33;$

$V_{H1} = 0{,}65\sqrt[3]{\dfrac{881 \cdot 137}{195}} = 5{,}54;$

$m_1 = \dfrac{1}{0{,}67 + 0{,}1\sqrt{1{,}33} + 0{,}34\sqrt[3]{1{,}33}} = 0{,}85; \quad n_1 = 1;$

б) $f_1 = \dfrac{1000 \cdot 35^2 \cdot 5{,}32}{149^2 \cdot 87} = 3{,}37;$

$V_{H1} = 0{,}65\sqrt[3]{\dfrac{779 \cdot 87}{149}} = 5{,}0;$

$m_1 = \dfrac{1}{0{,}67 + 0{,}1\sqrt{3{,}37} + 0{,}34\sqrt[3]{3{,}37}} = 0{,}73; \quad n_1 = 1;$

15. Уточнюємо висоту труби:

а) $H_2 = H_1\sqrt{\dfrac{m_1 \cdot n_1}{m \cdot n}} = 195\sqrt{\dfrac{0{,}86 \cdot 1}{0{,}88 \cdot 1}} = 193$ м;

б) $H_2' = 149\sqrt{\dfrac{0{,}73 \cdot 1}{0{,}77 \cdot 1}} = 145$ м.

16. З тієї ж причини, що вказувалася вище, визначаємо параметри f_2 і V_{H2} і коефіцієнти m_2 і n_2 для H_2:

а) $f_2 = \dfrac{1000 \cdot 35^2 \cdot 5{,}66}{193^2 \cdot 137} = 1{,}36;$

$V_{H2} = 0{,}65\sqrt{\dfrac{881 \cdot 137}{193}} = 5{,}56;$

$m_2 = \dfrac{1}{0{,}67 + 0{,}1\sqrt{1{,}36} + 0{,}34\sqrt[3]{1{,}36}} = 0{,}859; \quad n_2 = 1;$

б) $f_2 = \dfrac{100035^2 5{,}32}{145^2 87} = 3{,}56;$

$V_{H2} = 0{,}65\sqrt{\dfrac{779 \cdot 87}{145}} = 5{,}04;$

$m_2 = \dfrac{1}{0{,}67 + 0{,}1\sqrt{3{,}56} + 0{,}34\sqrt[3]{3{,}56}} = 0{,}725; \quad n_2 = 1.$

17. Уточнюємо висоту труби H_3:

а) $H_3 = H_2\sqrt{\dfrac{m_2 \cdot n_2}{m_1 \cdot n_1}} = 193\sqrt{\dfrac{0{,}859 \cdot 1}{0{,}86 \cdot 1}} = 192{,}9$ м;

б) $H_3' = 145\sqrt{\dfrac{0{,}725 \cdot 1}{0{,}73 \cdot 1}} = 144{,}5$ м.

18. Різниця між H_3 і H_2 для обох варіантів менша 1 м, тому приймаємо висоту димової труби для варіанта **а** (без попереднього очищення газів) рівною 192,9 м, а для варіанта **б** (з попереднім очищенням газів) – 144,5 м.

Приклад 2.3 Розрахувати гранично допустимі викиди шкідливих речовин у газах, що викидаються ТЕС потужністю Р = 100 000 кВт електроенергії, яка працює на Донецькому пісному вугіллі, і, при необхідності, вибрати апарати для їх очищення.

Висота труби для розсіювання газів Н = 60 м, діаметр отвору труби $Д_0$ =2,5 м; температура газів, що викидаються, t = 160 °С; температура навколишнього атмосферного повітря $t_П$ = 23 °С; фонова концентрація: оксидів сірки $С_Ф^{SO2}$ = 0,1 мг/м^3; оксидів азоту $С_Ф^{NO2}$ = 0,005 мг/м^3.

Рішення:

1. Визначаємо об’єм газів Q, що викидаються при нормальних умовах:

$$Q = \frac{P}{3600} \cdot q_Г = \frac{100000}{3600} \cdot 4 = 111{,}1 \text{ м}^3/\text{с},$$

де $q_Г$ – питомі викиди газів, г/(кВт·год).

2. Знаходимо об’єм газів Q, що викидаються при робочих умовах

$$Q_1 = Q\frac{T_0 + t_Г}{T_0} = 111{,}1 \cdot \frac{273 + 160}{273} = 176{,}2 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3. Розраховуємо величини викидів шкідливих речовин:

зола $M_З = \frac{P}{3600} q_З = \frac{100000}{3600} \cdot 97 = 2696{,}6$ г/с;

двоокис сірки $M_{SO2} = \frac{P}{3600} \cdot q_{SO2} = \frac{100000}{3600} \cdot 21{,}6 = 600{,}5$ г/с;

окисли азоту $M_{NO2} = \frac{P}{3600} \cdot q_{NO2} = \frac{100000}{3600} \cdot 2{,}8 = 77{,}8$ г/с.

4. Коефіцієнт A = 180, коефіцієнт η = 1, коефіцієнт F: для золи F = 3, для двоокису сірки і окислів азоту F = 1.

Максимальна разова гранична концентрація: золи $C^{З}_{ГДК}$ =0,5 мг/м^3; двоокису сірки $C^{SO2}_{ГДК}$ = 0,5 мг/м^3; окислів азоту $C^{NO2}_{ГДК}$ = 0,085 мг/м^3.

5. Знаходимо різницю температур ΔT між температурою газів, що викидаються, і температурою навколишнього атмосферного повітря

$$\Delta T = t_Г - t_П = 160 - 23 = 137\ ^\circ C\ .$$

6. За формулами (2.5) і (2.6) визначаємо параметри f і $V_М$

$$f = 1000 \frac{V_0^2 \cdot Д^0}{H^2 \cdot \Delta T} = 1000 \frac{15^2 \cdot 2{,}5}{60^2 \cdot 137} = 1{,}14;$$

$$V_М = 0{,}065 \sqrt[3]{\frac{Q_1 \cdot \Delta T}{H}} = 0{,}65 \sqrt[3]{\frac{176{,}2 \cdot 137}{60}} = 4{,}8,$$

де V_0 – рекомендована швидкість виходу газів з труби висотою до 120 м.

7. За формулами (2.9) і (2.11) знаходимо коефіцієнти m і n

$$m = \frac{1}{0{,}67 + 0{,}1\sqrt{f} + 0{,}34\sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0{,}67 + 0{,}1\sqrt{1{,}14} + 0{,}34\sqrt[3]{1{,}14}} = 0{,}883;$$

$n = 1$, тому що $V_М > 2$.

8. Знаходимо величини гранично допустимих викидів шкідливих речовин, користуючись формулою:

золи $ГДВ_З = \frac{\left(C^{З}_{ГДК} - C^{З}_{Ф}\right) H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \sqrt[3]{Q_1 \cdot \Delta T} =$

$$= \frac{(0{,}5 - 0) \cdot 60^2}{180 \cdot 3 \cdot 0{,}883 \cdot 1 \cdot 1} \sqrt[3]{176{,}2 \cdot 137} = 109{,}1 \text{ г/с};$$

двоокису сірки $ГДВ_{SO2} = \frac{(0{,}5 - 0{,}1) \cdot 60^2}{180 \cdot 1 \cdot 0{,}883 \cdot 1 \cdot 1} \sqrt[3]{176{,}2 \cdot 137} = 262$ г/с;

окислів азоту $ГДВ_{NO2} = \frac{(0{,}085 - 0{,}005) \cdot 60^2}{180 \cdot 1 \cdot 0{,}883 \cdot 1 \cdot 1} \sqrt[3]{176{,}2 \cdot 137} = -52{,}5$ г/с.

9. Визначаємо необхідний ступінь очищення η_0 газів, що викидаються, від золи:

$$\eta_0 = \frac{M_3 - ГДВ_3}{M_3} = \frac{2696{,}6 - 109{,}1}{2696{,}6} = 0{,}96.$$

Такий ступінь очищення може забезпечити електрофільтр.

10. Знаходимо необхідну площу активного перерізу S електрофільтра, прийнявши число паралельних корпусів N = 2 і швидкість димових газів V = 1,2 м/с:

$$S = \frac{Q_1}{N \cdot V} = \frac{176{,}2}{2 \cdot 1{,}2} = 73{,}4 \text{ м}^2.$$

З табл. 4.1, що наведена в 4-му розділі, вибираємо електрофільтр типу ЕГА 1-30-9-6-3 висотою електродів 9 м, площею активного перерізу S=73,4 м^2 і максимальним ступенем очищення $\eta_0 = 0{,}99$.

11. Враховуючи спільну дію двоокису сірки і окислів азоту, приводимо величини фактичних і гранично допустимих викидів цих речовин до викидів двоокису сірки:

$$M = M_{SO2} + 5{,}88 M_{NO2} = 600{,}5 + 5{,}88 \cdot 77{,}8 = 1058 \text{ г/с};$$

$$ГДВ = ГДВ_{SO2} + 5{,}88 ГДВ_{NO2} = 262 + 5{,}88 \cdot 52{,}5 = 570{,}7 \text{ г/с}.$$

12. Визначаємо необхідний ступінь очищення газів, що викидаються, від двоокису сірки і окислів азоту

$$\eta_0 = \frac{M - ГДВ}{M} = \frac{1058 - 570{,}7}{1058} = 0{,}46 .$$

Такий ступінь очищення можна забезпечити абсорбційним очищенням газів в абсорберах лужними розчинами NaOH, Na_2CO_3 і $Ca(OH)_2$.

Приклад 2.4 Через витяжну трубу висотою Н = 30 м і діаметром отвору Д = 1 м викидається в атмосферу вентиляційне повітря промислового підприємства після очищення в пиловловлювальних установках (ступінь пиловловлювання η = 80%). Об’єм викидуваного повітря складає V_1 = 30 000 м^3/год = 8,33 м^3/с; валовий викид пилу М = 84 г/с. Пил нетоксичний, має частинки золи, $C_{ГДК}$ = 0,5 мг/м^3. Фонова концентрація запилення у даному районі складає $C_Ф$ = 0,35 мг/м^3 (поряд з підприємством розташована ТЕЦ). Пил і зола, які викидаються через димову трубу, осідають на поля сільськогосподарських угідь, розташованих поблизу цих промислових об'єктів.

Визначити величину максимального забруднення пилом і золою приземного шару атмосфери, а, значить, і поверхні землі.

Рішення:

1. Розраховуємо швидкість виходу забрудненого повітря з отвору труби:

$$V_П = 4V_1 / \pi Д^2 = \frac{4 \cdot 8{,}33}{\pi \cdot 1^2} = 10{,}6 \text{ м/с}.$$

2. Розраховуємо максимальну величину забруднення приземного шару атмосфери.

$$C_М = \frac{AMFnm}{H^{4/3}},$$

де приймаємо значення розрахованих параметрів:

A = 160 $С^{2/3}$ ·град$^{1/3}$ · мг/г (для України);

F=3;

$$m = \frac{Д}{8V_1} = \frac{1}{8 \cdot 8{,}33} = 0{,}01 \text{ с/м}^2;$$

$$V_m = 1{,}3V_П Д / H = \frac{1{,}3 \cdot 10{,}6 \cdot 1}{30} = 0{,}46 \text{ м/с};$$

$$n = 3 - \sqrt{\frac{0{,}46 - 0{,}3}{4{,}36 - 0{,}46}} = 2{,}2;$$

$$C_М = \frac{160 \cdot 84 \cdot 3 \cdot 2{,}2 \cdot 0{,}01}{\sqrt[3]{30^4}} = 5{,}5 \text{ мг/м}^3.$$

3. Розраховуємо загальну концентрацію забруднення приземного шару атмосфери з врахуванням фонового забруднення повітря у даній місцевості:

$$C_З = C_М + C_Ф = 5{,}5 + 0{,}35 = 5{,}85 \text{ мг/м}^3,$$

тобто $C_З$ = 5,85 мг/м^3 > $C_{ГДК}$ = 0,5 мг/м^3 - фактична концентрація перевищує допустиму за нормою в 11,7 разу, що загрожує зниженню родючості забрудненого поля, якщо не встановити пилогазовловлювальні фільтри.

4. Розраховуємо потрібну ефективність очищення промислових викидів до ГДК:

$$\eta_{ПОТР} = \frac{C_З - C_{ГДК}}{C_З} 100\% = \frac{5{,}85 - 0{,}5}{5{,}85} 100 = 91{,}5\%.$$

5. Розраховуємо кількість осідаючого пилу і золи на землі сільськогосподарських угідь (без другої ступені очищення):

G = 84 · 0,8 · 3600 = 24200 г/год = 242 кг/год = 5,8 т/добу.

Приклад 2.5 Підприємство відводить забруднене пилом повітря з допомогою димової труби висотою H = 100 м (з діаметром викидного отвору Д = 1 м) і розсіює його в атмосфері на далеку відстань. Об'єм викидаємого забрудненого повітря V_1 = 20 000 м^3/год (5,55 м^3/с). Валовий викид пилу M = 35 г/с. ГДК пилу $C_{ГДК}$ = 0,5 мг/м^3 (пил нетоксичний, але

вміщує частинки золи), тобто осідаюча на землю суміш пилу із золою шкідлива для сільськогосподарських полів (знижує родючість грунтів). Очищення забрудненого повітря невисоке (ефективність η = 65%). Фонового забруднення у даному районі немає.

Визначити величину гранично допустимого викиду (ГДВ) і відповідну гранично допустиму концентрацію (ГДК) пилу та кількість осідаючих на землю викидів.

Рішення:

1. Визначаємо швидкість виходу забрудненого повітря з отвору димової труби:

$$V_П = \frac{4V_1}{\pi Д^2} = \frac{4 \cdot 5{,}55}{\pi \cdot 1^2} = 7{,}05 \text{ м/с}.$$

2. Визначаємо параметри, необхідні для розрахунку ГДВ:

$$V_m = 1{,}3 V_П Д / Н = 1{,}3 \cdot 7{,}05 \cdot 1 / 100 = 0{,}092,$$

при $V_m \le 0{,}3$ $n = 3$; $A = 160$; $F = 3$ (ппр $\eta < 75\%$).

$$ГДВ = 8 C_{ГДК} H \sqrt[3]{H} V_1 / (AFnД) = \frac{8 \cdot 0{,}5 \cdot 100 \cdot \sqrt[3]{100} \cdot 5{,}55}{160 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 1} = 7{,}2 г/с.$$

3. Визначаємо відповідну величину ГДК суміші (пилу із золою) в отворі викиду:

$$C_{М.С} = \frac{8 C_{ГДК} H \sqrt[3]{H}}{AFnД} = \frac{8 \cdot 0{,}5 \cdot 100 \cdot \sqrt[3]{100}}{160 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 1} = 1{,}3 мг/м^3,$$

тобто $C_{М.С.}$ = 1,3 мг/м^3 > СГДК = 0,5 мг/м^3 - перевищує ГДК у 2,6 разу (необхідний додатковий ступінь очищення суміші від пилу і золи перед викидом і розсіюванням в атмосфері).

4. Розрахуємо кількість осідаючих на землю пилу і золи при розсіюванні їх у приземному шарі атмосфери:

$$G = \frac{35 \cdot 0{,}65 \cdot 3600}{1000} = 82 \text{ кг/год} = 1968 \text{ кг/добу} \approx 2 \text{ т/добу}.$$

3 ІНЖЕНЕРНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ГІДРОСФЕРИ

3.1 Категорії стічних вод

Стічні води – це води, які внаслідок використання їх на побутові або виробничі потреби суттєво погіршили свої первинні властивості і стали непридатні на такі потреби, а також негативно впливають на гідросферу. До них також відносяться води, які стікають з територій населених місць, з промислових підприємств і сільськогосподарських полів внаслідок випадання атмосферних опадів.

В залежності від походження, виду і якісної характеристики домішок стічні води можна розділити на три основні категорії: побутові (господарчо-фекальні), виробничі (промислові) і дощові (атмосферні). До категорії дощових вод можна віднести поливно-мийні води.

До побутових відносяться води від кухонь, туалетних кімнат, душових, бань, пралень, їдалень, лікарень, а також господарчі води, які використані при митті приміщень. Вони надходять як від побутових і громадських, будівель, так і від побутових приміщень промислових підприємств. За природою забруднень вони можуть бути фекальні, забруднені в основному фізіологічними відходами, і господарчі, забруднені різного виду господарчими відходами.

До виробничих стічних вод відносяться води, використані в технологічному процесі і які не відповідають вимогам, що пред'являються до цих процесів, а тому піддягають виведенню з території підприємств. До них відносяться також води, які відкачуються на поверхню землі при добуванні корисних копалин (вугілля, нафти, руди тощо).

Дощові води створюються внаслідок випадання атмосферних опадів. Їх підрозділяють на дощові й талі, які виникають при розтаванні льоду і снігу. Характерна особливість дощового стоку - його епізодичність і різка нерівномірність.

Від промислових підприємств відводяться стічні води всіх трьох категорій. Режим відведення стічних вод в зовнішню каналізаційну систему і їх кількість залежать від багатьох умов: потужності підприємства, числа робочих змін, виду сировини, технології виробництва, числа промислових установок і апаратів, а також режиму їх роботи, питомої витрати води на одиницю продукції та інше.

3.2 Характеристика забруднень

Найбільш широко розповсюдженим видом забруднень стічних вод є нерозчинні домішки або, як їх часто називають, завислі речовини.

Відносна кількість завислих речовин у стічних водах коливається в надзвичайно широких межах - від 0,005 до 0,5% її маси. За розмірами і гу-

стиною окремих частин нерозчинні домішки дуже (надто) різноманітні, особливо велика їх різноманітність у виробничих стічних водах.

Забруднені домішки, що надходять у водоймища, поділяють на мінеральні, органічні та біологічні.

До мінеральних належать: пісок, глина, золи і шлаки, розчини і емульсії солей, кислот, лугу і мінеральних масел та інших неорганічних сполук. Ці домішки погіршують фізико-хімічні та органолептичні властивості води, отруюють фауну водоймищ, сприяють замуленню водоймищ.

Органічні забруднення містять різні речовини рослинного і тваринного походження (рештки рослин, овочів, плодів тощо). До цієї групи відносять також смоли, феноли, барвники, спирти, альдегіди, органічні сполуки, які вміщують сірку і хлор, різні пестициди, що змиваються у водоймища із сільськогосподарських угідь, синтетичні активні речовини тощо.

Біологічні забруднення (хвороботворні бактерії і віруси, збудники інфекцій) потрапляють у водоймища з побутовими стічними водами і стоками виробництв, у тому числі і з виробництва тваринницької продукції.

Використання таких природних вод для пиття, купання, миття посуду, овочів і фруктів призводить, як правило, до захворювання холерою, інфекційним гепатитом, дизентерією, черевним тифом, різними видами гельмінтів та ін.

Найнебезпечнішим для здоров’я людей, тварин і риб є забруднення водоймищ різними радіоактивними відходами. У організмах рослин, риб і тварин відбуваються процеси біологічної концентрації радіоактивних речовин. Дрібні організми, що містять ці речовими в невеликих дозах, поглинаються більшими, в яких уже виникають небезпечні концентрації. Тому окремі прісноводні риби в декілька тисяч разів радіоактивніші за водне середовище, в якому вони живуть. У зв’язку з цим усі стічні води з радіоактивністю понад 100 Кі/л зливають у спеціальні підземні резервуари чи закачують у глибокі підземні безстічні басейни. Застосовується також зневоднювання з наступним виготовленням "блоків" і їх захороненням у відповідних місцях.

3.3 Методи захисту водного середовища

Умови функціонування водних об’єктів регламентуються водним законодавством та іншими правовими актами. У них сформульовано вимоги до стану водних об'єктів. Вони зросли у зв’язку з поглибленням знань з екології, соціології, економіки, техніки та ін. Охорона водних об'єктів забезпечується системою організаційних, технічних, економічних, юридичних та меліоративних заходів, спрямованих на запобігання наслідкам забруднення, засмічення, виснаження та їх усунення.

Вимоги до складу і властивостей води водоймищ поблизу пунктів господарсько-питного (І категорія) і культурно-побутового (ІІ категорія) водокористування такі:

• вміст завислих речовин після скидання стічних вод не повинен збільшитися більше як на 0,25 мг/л для господарсько-питного водокористування, а також для водопостачання харчових підприємств і на 0,75 мг/л для культурно-побутового водокористування;

• на поверхні водоймищ не допускається утворення плаваючих плівок, плям мінеральних масел та інших домішок;

• вода має бути без сторонніх запахів і присмаку;

• кількість розчиненого кисню у воді при температурі 20˚С повинна бути не менше 4 мг/л в будь-який час року;

• біохімічна потреба в кисні (БПК), тобто кількість кисню, витрачуваного на біохімічне окислення органічних речовин при температурі 20˚С, не повинна перевищувати 3 мг/л і 6 мг/л для водоймищ і водотоків відповідно до першої і другої категорій;

• при скиданні у водоймище суміші виробничих і побутових стічних вод реакція **pH** (водневий показник) не повинна виходити за межі 6,5...8,5;

• не допускається вміст у водоймищі отруйних речовин, здатних шкідливо впливати на людей і тварин;

• вода не повинна містити збудників хвороби;

• підвищення температури в водоймищі чи водотоці при спусканні в нього стоків допускається не більше як на 3˚С (порівняно з максимальною температурою води в літній період);

• мінеральний склад сухого залишку не повинен бути більше 1000 мг/л (в тому числі хлоридів - 350 мг/дм^3 і сульфатів - 500 мг/дм^3).

Підприємства, організації та заклади, діяльність яких впливає на стан води, повинні вживати заходів, які б забезпечували охорону вод від забруднень, а також поліпшували їх стан.

Кардинальним вирішенням проблеми захисту водних ресурсів від промислового забруднення на сьогодні є:

• утворення безвідходних і маловідходних виробництв;

• влаштування зворотних та замкнутих систем водопостачання;

• скорочення чи припинення надходження домішок в стічні води шляхом упорядкування чи зміни технологічних процесів виробництв;

• ліквідація відвалів виробничих і побутових відходів, з яких продукти відходів змиваються поверхневим чи дренажним стоком;

• очистка стічних вод;

• закачування в глибокі поглинальні горизонти стічних вод, для яких поки ще не знайдено ефективного способу очищення.

Великого значення надається комплексу заходів із запобігання забруднення водоймищ добривами, пестицидами та відходами тваринницьких комплексів.

3.4 Визначення необхідного ступеня очищення стічних вод

Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод, які спускаються у водоймища, проводиться за такими показниками:

- кількість завислих речовин;
- вміст розчиненого у воді водоймища кисню;
- вміст шкідливих речовин;
- допустима температура стічних вод;
- зміна значення величини активної реакції **pH**.

3.4.1 Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод за завислими речовинами

Гранично допустимий вміст (ГДВ) завислих речовин **m**, г/м^3 в стічних водах знаходиться за формулою:

$$\mathbf{m = c \cdot \left(\frac{a \cdot Q_b}{q_b} + 1 \right) + C} \qquad \textbf{(3.1)}$$

де **a** – коефіцієнт змішування;

c – допустиме санітарними нормами збільшення вмісту завислих речовин у водоймищі після спуску стічних вод, г/м^3;

$\mathbf{Q_b}$ – найменша середньомісячна витрата води у водоймищі 95-процентного забезпечення, м^3/с;

$\mathbf{q_b}$ – кількість стічних вод, які надходять у водоймище, м^3/с;

C - вміст завислих речовин у водоймищі до спуску в нього стічних вод, г/м^3.

Якщо в складі очисної станції передбачено біологічне очищення, то винесення мулу із вторинних відстійників не повинно перевищувати величини m, тобто гранично допустимого вмісту завислих речовин.

Ступінь необхідного очищення за завислими речовинами **ε**, %, визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{C_n - m}{C_n} \cdot 100 \ , \qquad \textbf{(3.2)}$$

де $\mathbf{C_n}$ – кількість завислих речовин в стічній воді до очищення, мг/л.

3.4.2 Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод за розчиненим у воді водоймища киснем

Згідно з правилами спуску вод у воді водоймища після зміщування зі стічною водою вміст розчиненого кисню повинен бути не нижче 4 мг/л, а для рибогосподарських водоймищ - 6 мг/л. Виходячи з цього, можна визначити допустиму для даного водоймища максимальну БПК (біологічна потреба кисню) стічних вод $\mathbf{L_{CT}}$, г/м^3

$$\mathbf{L_{CT} = \frac{a \cdot Q_b}{0{,}4 \cdot q_b}\left(O_p - 0{,}4 \cdot L_p - O\right) - \frac{O}{0{,}4}}, \qquad \textbf{(3.3)}$$

де $\mathbf{L_{CT}}$, $\mathbf{L_P}$ – повна біологічна потреба кисню відповідно стічними водами і річковою водою, г/м^3;

$\mathbf{O_P}$ – вміст розчиненого кисню в річковій воді до місця спуску стічних вод, г/м^3;

O – мінімальний вміст кисню у воді (3 чи 6 г/м^3);

0,4 – коефіцієнт для перерахунку $БПК_{ПОВН.}$ в дводобове.

Біохімічну потребу в кисні (БПК) стічної рідини визначають лабораторним шляхом. БПК в 5-добовій пробі при температурі 20˚С позначається $БПК_5$. Основним показником для розрахунків очисних споруд служить величина $БПК_{ПОВН.}$, тобто кількість кисню, який витрачається для повного окислення біохімічним шляхом органічних речовин стічних вод. Для багатьох видів стічних вод для завершення повного біохімічного процесу необхідно 20 діб, тобто $БПК_{ПОВН.} = БПК_{20}$.

За нормами проектування систем каналізації $БПК_{ПОВН.}$ відстояної рідини приймається рівним 40 г/добу на одного жителя, а $БПК_{ПОВН.}$ невідстояної - 7,5 г/добу (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - **Норми забруднюючих воду речовин на одного жителя**

Показник	$q_ж$, г/добу
Завислі речовини	65
$БПК_{ПОВН.}$ неосвітленої води	75
$БПК_{ПОВН.}$ освітленої води	40
Азоталюмінієві солі	8
Фосфати P_2O_5	3,3
В т.ч. від мийних речовин	1,6
Хлориди С	9
Поверхнево-активні речовини (ПАР)	2,5

Концентрація стічних вод за $БПК_{20}$ ($\mathbf{L_{20}}$), г/м^3, в залежності від норми водовідведення, може бути визначена за формулою:

$$\mathbf{L_{20} = \frac{q_ж \cdot 1000}{q_д}}, \qquad \textbf{(3.4)}$$

де $\mathbf{L_{20}}$ – БПК20, г/м^3;

$\mathbf{q_ж}$ – норма забруднюючих воду речовин на одного жителя, г/добу визначається згідно з табл. 3.1;

$\mathbf{q_д}$ – норма водовідведення л/добу на одну людину.

Для більш повної оцінки вмісту органічних речовин в стічній воді визначають хімічну потребу в кисні (ХПК) – загальну кількість кисню, не-

обхідного для переведення вуглецю органічних з'єднань у вуглекислоту, водню у воду, азоту в аміак, сірки в сірчаний ангідрид.

Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод за $БПК_{ПОВН.}$ другим методом враховує самоочищення стічних вод у водоймищі за рахунок біологічних процесів, а також розбавлення стічних вод водами водоймища

$$\mathbf{L_{ст} = \frac{a \cdot Q_b}{q_b \cdot 10^{-K_{ст} \cdot t}} \left(L_{2q} - L_p \cdot 10^{-K_p \cdot t} \right) + \frac{L_{2q}}{10^{-K_p \cdot t}}} \qquad \textbf{(3.5)}$$

де $\mathbf{K_{ст}}$, $\mathbf{K_р}$ – константи швидкості потреб кисню стічною і річковою водою;

$\mathbf{L_{2q}}$ – гранично допустима $БПК_{ПОВН.}$ суміші річкової і стічної води в розрахунковому створі (рис. 3.1). Для водоймищ питного і культурно-побутового водокористування I і II категорії ця величина відповідно рівна 3 і 6 мг/л;

$\mathbf{L_р}$ – $БПК_{ПОВН.}$ річкової води до місця скидання стічних вод, мг/л;

t – тривалість перемішування води від місця випускання стічних вод до розрахункового створу, що рівна відношенню відстані по фарватеру між місцем випускання вод і розрахунковим створом до середньої швидкості течії води в річці на даній ділянці $\mathbf{V_{ср}}$, діб.

Необхідний ступінь очищення $\boldsymbol{\varepsilon}$, %, визначають за формулою

$$\varepsilon = \frac{L_п - L_{ст}}{L_п} \cdot 100, \qquad \textbf{(3.6)}$$

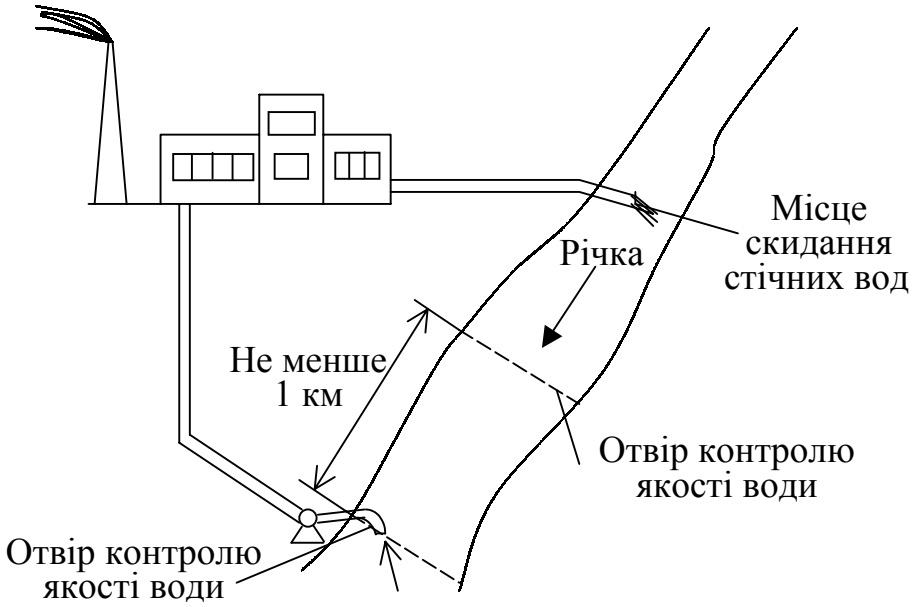


Рисунок 3.1 **- Розміщення створу контролю якості води на річці**

3.4.3 Розрахунок допустимої температури стічних вод перед скиданням у водоймище

Розрахунок на підвищення температури проводять, виходячи з умов, що температура води літом (максимальна температура) не повинна підвищуватися в місці спуску стічних вод більше як на 3˚С. Температура стічних вод, які скидаються у водоймище $\mathbf{T_{СТ}}$, ˚С, повинна задовольняти умову

$$\mathbf{T_{СТ} \le T_{ДОП} + T_{МАКС}}, \qquad \mathbf{(3.7)}$$

де $\mathbf{T_{ДОП}}$ – допустиме за санітарними нормами підвищення температури води водоймища ˚С;

n – кратність розбавлення води

$$\mathbf{n = \frac{\alpha \cdot Q_b + q_b}{q_b}}, \qquad \mathbf{(3.8)}$$

де **α** – коефіцієнт, що залежить від гідравлічних умов змішування.

Коефіцієнт **α** обчислюється за формулою

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \cdot \sqrt{E / q_b}, \qquad \mathbf{(3.9)}$$

де ξ – коефіцієнт, який враховує місце розташування скидання (для берегового спуску ξ = 1, для руслового ξ = 1,5);

φ – коефіцієнт звивистості русла – відношення довжини русла від спуску до розрахункового створу по фарватеру до відстані між цими параметрами по прямій;

E – коефіцієнт турбулентності дифузії, який знаходиться за формулою

$$\mathbf{E = \frac{V_{CP} \cdot H_{CP}}{200}}, \qquad \mathbf{(3.10)}$$

де $\mathbf{V_{CP}}$ – середня швидкість течії води в річці на ділянці між випуском води і розрахунковим створом, м/с;

$\mathbf{H_{ср}}$ – середня глибина річки на тій же ділянці, м.

3.4.4 Визначення необхідного ступеня очищення води за змінюванням pH

При скиданні у водоймища стічних вод, що вміщують розчини кислот чи лугів, спостерігається зміна лужності і активності реакції води водоймища. Кислоти, взаємодіючи з бікарбонатами кальцію, знижують лужність води і підвищують вміст вільної вуглекислоти. При надходженні у водоймище лужних стоків останні нейтралізуються вільною вуглекислотою і бікарбонатами.

Зв’язок між концентрацією водневих іонів pH, бікарбонатною вугільною кислотою HCO_3 і вільною вугільною кислотою CO_2 виражається у вигляді таких залежностей: при скиданні кислих стоків

$$\mathbf{pH\phi = pK_1 + \lg \frac{ПрА\left[HCO_3^-\right] - ПфВ}{ПрАCO_2 / 44 + ПфВ} \geq 6{,}5}, \qquad \mathbf{(3.11)}$$

де **pHф** – активна реакція води в розрахунковому створі при фактичному режимі;

pK$_1$ – мінусовий логарифм першої константи дисоціації вугільної кислоти;

П$_Р$, П$_Ф$ – розрахункова і фактична кратність розбавлення;

$$\mathbf{A = 1 + 10^{pH\phi - pK1}};$$

В - параметр, що обчислюється за формулою:

$$\mathbf{B = \left[HCO_3^-\right] - (CO_2 / 44) \cdot 10^{pH\phi - pK1}}, \qquad \mathbf{(3.12)}$$

де $\left[HCO_3^-\right]$ - концентрація бікарбонатів, мг екв/л;

Концентрація вільної вугільної кислоти **CO$_2$**, мг/л, при скиданні лужних стічних вод, визначається за формулою

$$\mathbf{pH\phi = pK_1 + \lg \frac{ПрА\left[HCO_3^-\right] - 0{,}273 \cdot ПфВ}{ПрАCO_2 / 44 - ПфВ} \leq 8{,}5}, \qquad \mathbf{(3.13)}$$

де $\mathbf{A = 0{,}273 - 10^{pH\phi - pK1}}$;

параметр В в формулі (3.13) визначається так само, як і при скиданні кислих стічних вод.

Таким чином, при скиданні лужних і кислих стоків необхідно, щоб **pH** природної води не виходила за межі 6,5...8,5 (для водоймищ питного і культурно-побутового водокористування).

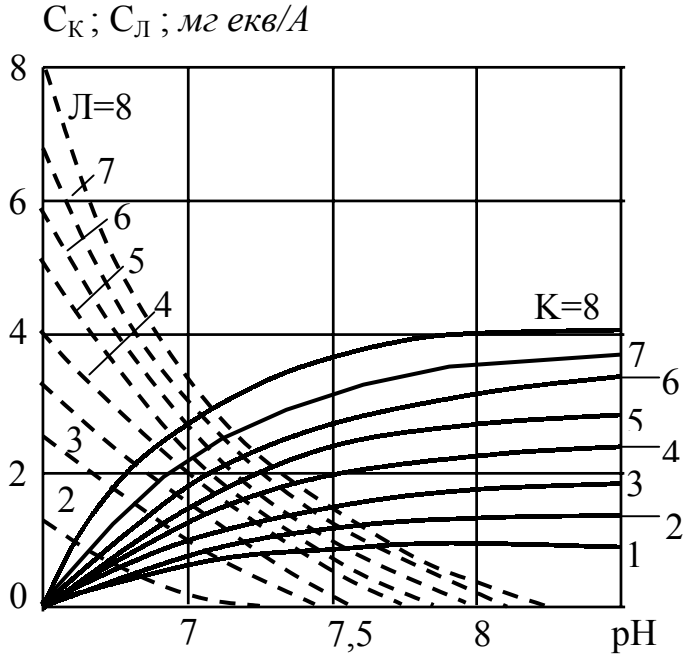


Рисунок 3.2 **- Номограма для розрахунку допустимого скидання у водоймище кислих і лужних вод**

Для визначення максимального вмісту кислоти $\mathbf{C_К}$ і лугів $\mathbf{C_Л}$ допустимого при скиданні вод у водоймище необхідні дані про **pH** і лужність природної води. Для забезпечення точності підрахунку вмісту $\mathbf{C_К}$ і $\mathbf{C_Л}$ розроблено графічний метод розрахунку за номограмами (рис. 3.2), де суцільні криві використовуються при знаходженні $\mathbf{C_К}$, а штрихові - при визначенні $\mathbf{C_Л}$. Кількість кислот і лугів, які нейтралізуються в 1 л води водоймища, розраховується в мг екв на 1 л розчину.

Допустима кількість кислот $\mathbf{C_{доп.к.}}$ чи лугів $\mathbf{C_{доп.л}}$ у стічній воді в мг екв/л за умови розбавлення їх водою джерела в **n** разів визначається за формулами:

$$\mathbf{C_{доп.к.} = (n-1)\cdot C_К;} \qquad \mathbf{(3.14)}$$

$$\mathbf{C_{доп.л.} = (n-1)\cdot C_Л.} \qquad \mathbf{(3.15)}$$

3.4.5 Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод за вмістом шкідливих речовин

Шкідливі і отруйні речовини нормуються за принципом лімітного показника шкідливості (ЛПШ) залежно від найбільш можливої несприятливої дії.

Санітарний стан водоймища при скиданні в нього із стічними водами шкідливих і отруйних речовин вважається задовільним, якщо дотримуються двох основних умов: граничне допустима концентрація кожної речовини, яка входить у цей визначений лімітний показник шкідливості, зменшена в стільки разів, скільки одиниць шкідливих речовин знаходиться в стічних водах і водоймищі; сума відношень концентрацій ($\mathbf{C_1, C_2,...C}$) декількох шкідливих речовин до відповідних гранично допустимих концентрацій ($\mathbf{ГДК_1, ГДК_2,...ГДК}$) не повинна перевищувати одиниці.

$$\frac{\mathbf{C_1}}{\mathbf{ГДК_1}} + \frac{\mathbf{C_2}}{\mathbf{ГДК_2}} + \mathbf{.....} + \frac{\mathbf{C}}{\mathbf{ГДК}} \le \mathbf{1}. \qquad \mathbf{(3.16)}$$

З рівняння (3.16) виходить, що кожна речовина в розрахунковому створі водокористування повинна мати концентрацію

$$\mathbf{C_i = ГДК_i}\left(\mathbf{1 - \sum_{i=1}^{i-1} \frac{C_m^i}{ПДК_m^i}}\right) \qquad \mathbf{(3.17)}$$

Приклади розрахунків

Приклад 3.1. Визначити необхідний ступінь очищення стічних вод, якщо відомо: витрати вод річки Q_b = 25 м^3/с, в яку скидаються стічні води в кількості q_b = 0,5 м^3/с; концентрація завислих речовин в стічних водах $C_п$= 250 мг/л; ділянка водоймища, в яке скидаються стічні води, відноситься до II категорії питного і культурно-побутового водокористування; концентрація завислих речовин в річці до спускання стічних вод С = 5 мг/л; коефіцієнт зміщування α = 0,75.

Рішення:

1. Для даної ділянки водоймища допустиме збільшення вмісту завислих речовин Р=0,75 мг/л (див. розділ 3.3).

2. Знаходимо гранично допустимий вміст завислих речовин в стічних водах $m = C \cdot \left(\frac{a \cdot Q_b}{q_b} + 1 \right) + C = 0{,}75 / 0{,}75 \cdot 25(0{,}5 + 1) + 5 = 42{,}5$ мг/л.

3. Розраховуємо необхідний ступінь очищення стічних вод

$$\varepsilon = \frac{(C_n - m) \cdot 100}{C_n} = \frac{(250 - 42.5) \cdot 100}{250} = 74{,}45\,\%.$$

Приклад 3.2. Визначити ступінь очищення стічних вод за вмістом розчиненого кисню, якщо $БПК_{ПОВН.}$ стічної води L_n=380 мг/л, а $БПК_{ПОВН.}$ в розрахунковому створі $L^p_{повн.}$ = 3 мг/л.

Витрати води в річці рівні Q_b=60 м^3/с, кількість стічних вод, які надходять в річку, - q_b=2 м^3/с. Коефіцієнт змішування а=0,4. Вміст розчиненого кисню в природній воді до місця скидання стічних вод O_p=8,5 мг/л.

Рішення:

1.Розрахунковий створ водоймища за видом водокористування відноситься до джерел для питних і культурно-побутових цілей II категорії, тому ГДК розчиненого кисню розраховується за формулою

$$L_{ст} = \frac{a \cdot Q_b}{0{,}4 \cdot q_b}\left(O_p - 0{,}4 \cdot L_p - O\right) + \frac{O}{0{,}4} = \frac{0{,}4 \cdot 60}{0{,}4 \cdot 2}(8{,}5 - 0{,}4 \cdot 3 - 4) - \frac{4}{0{,}4} = 89 \text{ мг/л}.$$

2.Знаходимо необхідний ступінь очищення стічних вод

$$\varepsilon = (C_n - m) \cdot 100 / C = (380 - 89) \cdot 100 / 380 = 76{,}6\%.$$

Приклад 3.3. Якою повинна бути температура стічних вод перед скиданням у водоймище, якщо максимальна літня температура природної води до місця скидання стічної рівна $T_{МАКС.}$=17˚С, а кратність розбавлення стоків n = 20?

Рішення:

Температура стічної води, яка скидається у водоймище, повинна бути

$$T_{ст} \le n \cdot T_{доп} + T_{макс} = 20 \cdot 3 + 17 = 77\,^{\circ}\text{C}.$$

Приклад 3.4. Визначити концентрації забруднень в побутових стічних водах при нормі водовідведення $q_д$ = 250 л на одну людину за добу.

Рішення:

Розрахунки у даному прикладі і далі проводимо за такою методикою.

Підставляючи в формулу (3.4) норми забруднюючих воду речовин на одного жителя **$q_ж$** з табл. 3.1 одержуємо концентрації забруднень, що наведені в табл.3.2 в мг/л (г/м^3).

Таблиця 3.2 **- Концентрації забруднень, (мг/л);(г/м^3)**

Показник	$q_ж$, г/добу
Завислі речовини	260
$БПК_{ПОВН.}$ неосвітленої води	300
$БПК_{ПОВН.}$ освітленої води	160
Азоталюмінієві солі	32
Фосфати P_2O_5	13,2
Хлориди С	36
Поверхнево-активні речовини (ПАР)	10

Стічна вода з концентрацією завислих речовин і $БПК_{ПОВН.}$ > 250 мг/л може бути віднесена до розряду концентрованих стоків.

3.5 Способи очищення стічних вод

Велика кількість різних забруднень у виробничих стічних водах обумовлює численні способи, методи і технологічні схеми, які використовуються при їх очищенні. Широко застосовується механічне, фізико-хімічне та біологічне очищення стічних вод.

Механічне очищення передбачає відокремлення нерозчинних речовин у процесах відстоювання, фільтрування та центрифугування. Його застосовують у випадках, коли стічні води після проходження через вищезазначене устаткування можуть бути використані для потреб виробництва та як попереднє при використанні інших засобів очищення.

Хімічні та фізико-хімічні способи застосовуються для очищення виробничих стічних вод від колоїдних і розчинних речовин забруднення. Це такі:

- коагулювання з введенням у стічні води речовин-коагулянтів, здатних прискорити видалення з них нерозчинної і частини розчинної речовин забруднення;
- нейтралізація з введенням у стічні води речовин з кислою або лужною реакції з метою забезпечення в них водневого показника в межах 6,5 ....8,5 pH.

При фізико-хімічному очищенні використовуються такі методи:

- сорбція - здатність деяких речовин поглинати або концентрувати на своїй поверхні речовини забруднення, що містять у собі стічні води;
- екстракція - введення в стічні води речовини, яка б не змішувалася з ними, але могла вилучати містимі в стічних водах забруднення;
- флотація - пропускання через стічну воду повітря, бульбашки якого, рухаючись вгору, підхоплюють речовини забруднення;
- евапорація - пропускання через нагріту стічну воду водяної пари для відгону забруднюючих легких речовин;
- іонний обмін - вилучення із розчинених аніонів і катіонів у стічних водах забруднень іонітами (наприклад, штучних іонно-обмінних смол);

• електродіаліз - пропускання струму через електроди, що розміщені у стічних водах. Це сприяє розчиненню матеріалу електродів у воді і утворенню пластівців коагулянту, які, в свою чергу, осаджують забруднення стічних вод;

• реагентний метод використання флокулянтів, які сприяють більш повному очищенню стічних вод у первинних і підвищують ступінь їх освітлення у вторинних відстійниках. Застосовують їх для очищення стічних вод і підвищення ступеня ущільнення активного мулу, внаслідок чого використання флокулянтів дає змогу значно підвищити навантаження аеротенків.

Ефективним заходом очищення стічних вод є також озонування, позитивна якість якого полягає у здатності руйнування забруднень, що не окисляються при біохімічному очищенні.

Біохімічне очищення базується на здатності деяких мікроорганізмів використовувати для свого розвитку органічні речовини, що містяться в стічних водах у колоїдному і розчиненому стані. Цей спосіб застосовується після очищення стічної води від мінеральних і нерозчинних органічних речовин. Він дає змогу майже повністю видалити забруднення органічного походження. Біохімічне очищення проводять у природних (на полях зрошення, фільтрації або в біологічних ставах) і штучних умовах (в біологічних фільтрах, аеротенках, окислювальних каналах та інших типах окислювачів).

Виробничі і побутові стоки, що пройшли біологічне очищення, втрачають більшу частину бактерій, які в них містяться, але повністю вони можуть бути знищені тільки за допомогою дезинфекції - хлоруванням, електролізом, використанням бактерицидного променя тощо.

Одним із методів, що збільшує ефективність біохімічного розкладання, є мікробний, який полягає у спеціальному вирощуванні мікроорганізмів, адаптованих до високих (на кілька порядків вище за середні) концентрацій токсичних і важкоокислюваних вод, речовин, внаслідок чого процес очищення стічних вод стає ефективнішим. Перспективним є також фізіологічне підвищення активності мікроорганізмів різними хімічними мутагенами.

Вибір методу і технологічної схеми очищення стічних вод залежить від характеру та кількості забруднень, їх подальшого використання, необхідного ступеня очищення тощо.

На рис. 3.3 показана розповсюджена схема очищення побутових стічних вод і суміші побутових і виробничих стічних вод в разі використання для біохімічного очищення біологічних фільтрів. За такою схемою проектують очисні станції на середні витраті води від 5 до 30 тис. $м^3$/доб.

Стічні води механічно і біохімічно очищаються, а потім дезінфікуються. Осад зброджують в метантенках, а зневоднюють і сушать на мулових майданчиках.

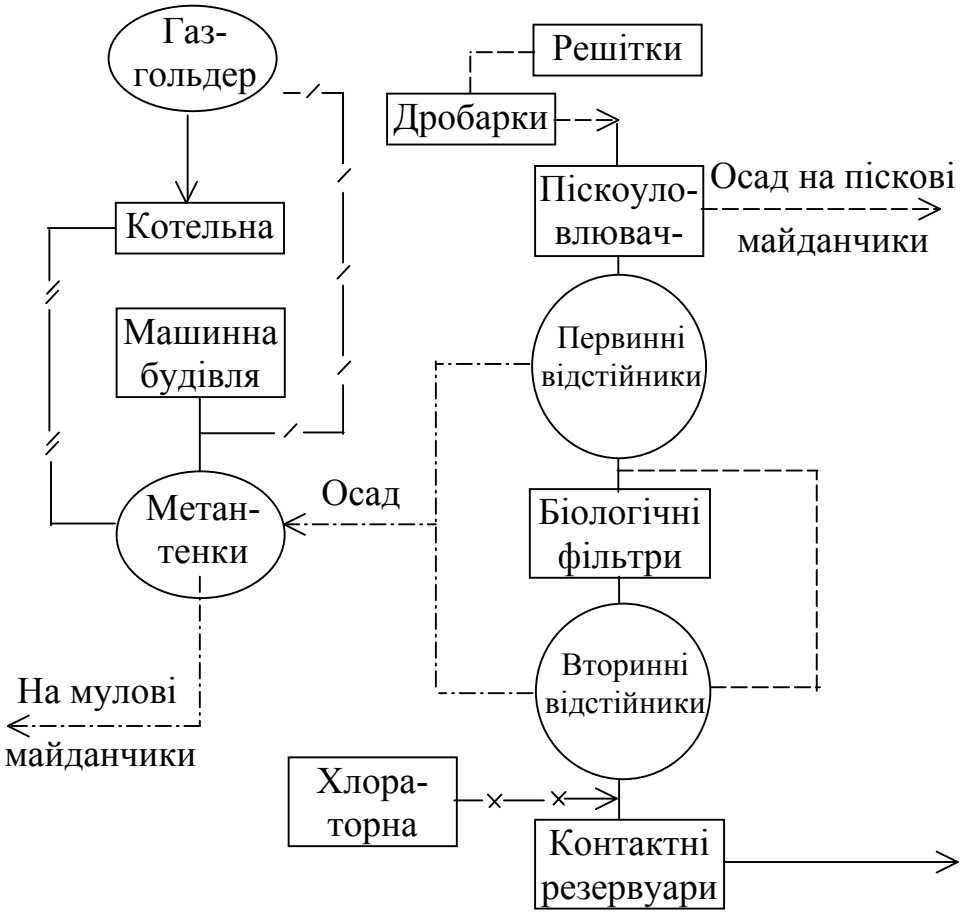


Рисунок 3.3 **- Схема механічного і біологічного (на біологічних фільтрах) очищення стічних вод**

Механічне очищення полягає в проціджуванні стічних води через решітки, уловлюванні піску в піскоуловлювачах і освітленні води в первинних відстійниках. Забруднення, затримані на решітках, дробляться на спеціальних дробарках і повертаються в потік очищуваної води до або після решіток. Ці забруднення можна відправляти і на зброджування в метантенки. Осад з піскоуловлювачів складається в основному з піску. Його обробка полягає в зневодненні на піскових майданчиках. Тверда фаза осаду, який утворився у відстійниках, переважно має органічне походження, в зв'язку з чим осад направляється на зброджування в метантенки.

Біологічне очищення стічних вод на біологічних фільтрах здійснюється аеробними мікроорганізмами, які розвиваються на фільтрувальному завантаженні споруд у вигляді так званої біологічної плівки. Вона періодично відмирає і виноситься з очищеною водою. Для її уловлювання застосовують вторинні відстійники. З метою зниження ступеня забруднення води, яка надходить на біологічні фільтри, частину очищеної води повертають для розбавлення неочищеної (рециркуляція води).

Осад із вторинних відстійників також направляють в метантенки. Для дезінфекції води використовують хлор. Приготовлену в хлораторній

хлорну воду змішують з очищеною водою. Знезаражування води відбувається в контактних резервуарах.

При зброджуванні осаду в метантенках утворюється газ, основою якого є метан. Цей газ використовують на потреби станції, в тому числі для підігріву осаду в метантенках.

3.6 Механічне очищення вод

Методи відділення механічних (нерозчинних у воді) домішок ґрунтуються на використанні гравітаційних сил або сил інерції. При цьому потрібно, щоб густина домішок і води була різна.

На частинку домішки, яка знаходиться у товщі нерухомої води, діють:

сила ваги $\mathbf{G = \rho_g \cdot g \cdot V}$; **(3.18)**

піднімальна (архімедова) сила $\mathbf{P = \rho_b \cdot g \cdot V}$, **(3.19)**

де ρ_g і $\rho_в$ – густина, відповідно, частинок домішки і води, кг/м^3;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2;

V – об'єм частинки, м^3.

Сила **G** направлена вертикально вниз, а сила **P** - вверх (напрямок сумарної сили, діючої на частинку, залежить від значень ρ_g і $\rho_в$). При $\rho_g > \rho_в$ частинка починає осідати на дно ємності, а при $\rho_g < \rho_в$ спливати на поверхню. Але ж тільки частинка почне рухатись вниз або вверх, на неї буде діяти сила опору (тертя) води

$$\mathbf{R_T = \xi\ \rho_в\ F\ (V^2/2),} \qquad \textbf{(3.20)}$$

де ξ - безрозмірний коефіцієнт форми частинки (для кулі $\xi = 1$);

F - площа проекції поперечного перерізу часинки на горизонтальну площину, м^2;

V - швидкість вертикального руху частинки, м/с.

При досягненні деякого значення швидкості **V** величини сумарної сили (**G-P**) і сили опору $\mathbf{R_T}$ стануть рівними і рух частинки буде проходити з постійною швидкістю, яку можна обчислити за формулою

$$\mathbf{V = \sqrt{\frac{4}{3}\frac{dg}{\xi}\frac{(\rho_g - \rho_в)}{\rho_в}}}, \qquad \textbf{(3.21)}$$

де **d** - діаметр частинки, м.

На цих теоретичних положеннях базується принцип дії методу відстою та методика розрахунку піскоуловлювачів і відстійників.

При вмісті у стічній воді плаваючих домішок з розмірами більше 5 мм вони відділяються на решітках і сітках з відповідними розмірами чарунок і щілин. Тверді мінеральні частинки з розмірами від 250 мкм до 5 мм

вловлюються у піскоуловлювачах (вертикального або горизонтального каналу, на дно якого випадають ці частинки при русі по ньому потоку води). Мінімальну довжину піскоуловлювача ***l*** (м) можна визначити за формулою

$$l = V_X (H / V_y), \qquad (3.22)$$

де V_X і V_Y - горизонтальна і вертикальна складова швидкості частинки, м/с;

H - глибина шару води, м (рекомендовані значення V_X = 0,15...0,3 м/с).

При заданій витраті води **Q**, м^3/с необхідну ширину каналу **B** (м) можна обчислити за формулою

$$B = Q / (V_X H) . \qquad (3.23)$$

Наступний ступінь механічного очищення - відстійники. Вони розраховуються таким чином, щоб вловлювати частинки домішок розмірами більше 30 мкм при малих значеннях різниці (ρ_g - ρ_B). За конструктивними особливостями відстійники бувають горизонтальні, вертикальні та радіальні. Подача забрудненої води проходить через пристрій, розміщений у центральній частині відстійника, а видалення очищеної води - через кільцевий лоток, розміщений по його периметру. За допомогою обертового механічного скребка осаджені на дно тверді частинки надходять у шлакозбірник, звідки вилучаються через спеціальний шламовий канал. Необхідний діаметр відстійника $Д_B$ (м) можна розрахувати за формулою

$$Д_B = 2\sqrt{Q/(\pi V)}, \qquad (3.24)$$

де **Q** – витрати стічної води через відстійник, м^3/с;

V – мінімальна швидкість осадження частинок, м/с.

Для підвищення ефективності відстійників застосовують методи штучного укрупнення (злиття) частинок у шарі води. Для цього додають у воду спеціальні речовини - коагулянти, або подають у воду стиснене повітря.

Значно менші габарити і більшу продуктивність в порівнянні з відстійниками мають гідроциклони і центрифуги, принцип дії яких грунтується на використанні відцентрових сил.

Фільтрування також відноситься до механічних методів очищення стічних вод і застосовується найчастіше як один із останніх ступенів очищення, оскільки дозволяє вловлювати найбільш мілкодисперсні домішки.

Найбільш поширеними є зернисті фільтри. Фільтрувальним матеріалом є гравій, пісок, а також керамзит, антрацит, металургійний шлак тощо. Раціонально використовувати багатошаровий фільтр, у якому крупність гранул фільтрувального матеріалу зменшується за ходом руху очищуваної води. Принцип фільтрації полягає в тому, що частинка домішки затримується у каналах і порах фільтрувального матеріалу, що мають прохідний переріз менший, ніж розмір частинки. Необхідно періодично замінювати фільтрувальний матеріал або його регенерувати (зворотною течією). Тонке

очищення забезпечує мікропроціджування або мікрофільтрування з застосуванням войлока, спеціальних тканин, пінополіуретанових матів тощо.

При механічному очищенні із стічної води виділяються забруднення, які знаходяться в ній, головним чином, в нерозчиненому і частково колоїдному стані. Великі частини відходів, ганчірки, папір, залишки овочів і фруктів та різні виробничі відходи затримуються решітками. Покидьки, що затримуються на решітках, направляються в дробарки. Застосовуються також решітки-дробарки, в яких одночасно затримуються і подрібнюються великі покидьки.

Основна маса забруднень мінерального походження (пісок), питома вага частинок яких значно вища питомої ваги води, осаджується в піскоуловлювачах. Пісок з піскоуловлювачів направляється у вигляді піщаної пульпи на піщані майданчики, де він зневоднюється та періодично видаляється.

Забруднення органічного походження, що знаходяться в завислому стані, виділяються із стічних вод у відстійниках. Речовини, питома вага яких більша питомої ваги води, осідають на дно. Речовини більш легкі, ніж вода (жири, масла, нафта, смоли), випливають на поверхню і їх відділяють від стічної рідини.

До споруд механічного очищення відносяться: усереднювачі, гідроциклони, центрифуги, двоярусні відстійники і освітлювачі-перегнивачі, з допомогою яких вода освітлюється, а також обробляється осад, що випав. Механічне очищення стічних вод є остаточною стадією в тому випадку, коли за місцевими умовами у відповідності з санітарними правилами стічні води можна спустити після дезінфекції у водоймище. Частіше ж механічне очищення - попередня стадія перед біологічним очищенням.

3.6.1 Решітки

Решітки - це перший пристрій в схемі очисних споруд. Вони мають вигляд закріплених на рамі металевих стержнів з просвітами різної ширини (просвіт) в залежності від необхідного ступеня очищення. Стержні решіток бувають прямокутними, рідше - круглими. Решітка встановлюється вертикально чи похило на шляху руху стічних вод. Кут нахилу решітки до горизонту складає 60-80˚.

Решітки бувають рухомі і нерухомі, а за способом їх очищення від затриманих забруднень - найпростіші і механізовані.

Найпростіші решітки (рис.3.4) встановлюють при кількості затриманих забруднень менше 0,1 м^3/добу. Їх очищають вручну металевими граблями. Домішки скидають на дренувальні майданчики або дірчасті жолоби, а потім вивозять в закритих контейнерах в спеціально відведені місця і знезаражують. Основні параметри механізованих решіток наведено в таблиці 3.3, а решіток-дробарок в таблиці 3.4.

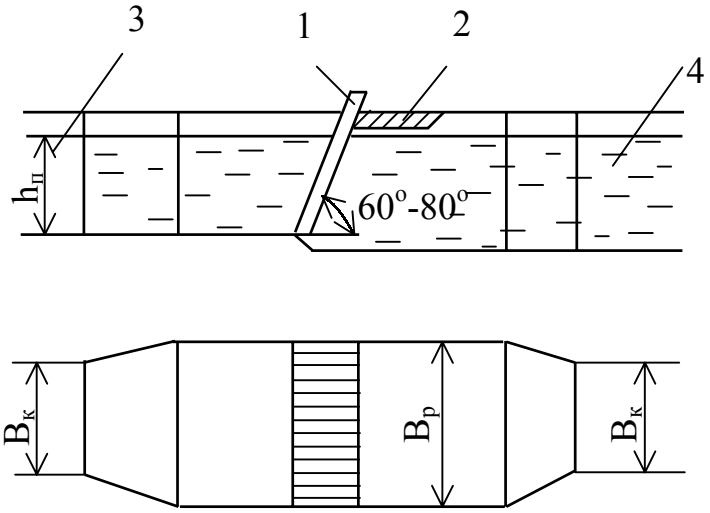


Рисунок 3.4 - **Схема найпростішої решітки**:
1 - решітка; 2 - настил; 3 - підвідний канал; 4 - відвідний канал

Таблиця 3.3 - **Основні параметри механізованих решіток**

Марка	Номінальні розміри каналу (ВхН), мм	Ширина камери в місці встановлення, мм	Число просвітів	Товщина стержня, мм	Радіус повороту, мм	Маса, кг
МГ5Т	2000х3000	2290	84	8	3810	2691
МГ9Т	1000х1200	1140	39	8	2050	1329
МГ10Т	1000х2000	1200	39	8	2850	1436
МГ-12Т	1600х2000	1790	64	8	2850	1949
РМУ-1	600х800	685	21	6	-	650
РМУ-4	1500х2000	2035	60	6	-	1560
РМУ-7	2500х3000	3035	107	6	-	2300

Таблиця 3.4 - **Основні параметри решіток-дробарок типу РД**

Марка	Максимальна пропускна здібність, $м^3/г$	Ширина щілинних отворів, мм	Діаметр барабана, мм	Частота обертання бараба-на, $хв^{-1}$	Потужність електродви-гуна, кВт	Маса агре-гату, кг
РД-100	30	8	100	85	0,27	85
РД-200	60	8	180	53	0,6	320
РД-400	420	10	400	31	0,8	660
РД-600	2000	10	635	31	1,5	1800

При розрахунку решіток враховують:
- просвіти (ширину) між металевими стержнями **в** = 10.... 20 мм;
- густину – 750 $кг/м^3$;

- швидкість руху стічних вод в просвітах решітки при максимальному притоці в механізованих решітках $\mathbf{V_P}$=0,8...1 м/с, в просвітах решіток-дробарок – 1-2 м/с;

- коефіцієнт годинної нерівномірності (табл. 3.5)

- кут нахилу решітки до горизонту, приймається 60-80˚;

- норму відходів, які затримуються решітками, що становить 0,008 м^3/(люд.рік), густиною 750 кг/м^3, відносною вологістю 80%.

- норму водовідведення на одну добу, що становить 0,25 м^3/люд.

Таблиця 3.5 **- Коефіцієнти нерівномірності надходження стічних вод**

Загальний коефіцієнт нерівномірності притоку стічних вод	Середні витрати стічних вод, л/с								
	5	10	20	50	100	300	500	1000	5000 і більше
Максимальний $\mathbf{K_H}$	2,5	2,1	1,9	1,7	1,6	1,55	1,5	1,47	1,44
Мінімальний $\mathbf{K_H}$	0,38	0,45	0,5	0,55	0,59	0,66	0,68	0,69	0,71

Примітка: При проміжних значеннях середніх витрат стічних вод загальний коефіцієнт нерівномірності необхідно визначити інтерполяцією.

Розрахунок решіток полягає у визначенні їх розмірів і втрати напору, що виникає при проходженні стоків.

Витрати стічних вод, $\mathbf{Q_c}$, м^3/с, які проходять через решітку, залежать від її конструктивних розмірів:

$$\mathbf{Q_c = F_p \cdot V_p = b \cdot n \cdot h_п \cdot V_p}, \qquad \textbf{(3.25)}$$

де $\mathbf{F_p}$ – площа перерізу, м^2;

$\mathbf{V_p}$ – швидкість руху рідини в просвітах решітки, м/с;

$\mathbf{b}$ – величина просвітів решітки, м;

$\mathbf{h_п}$ – глибина потоку, м;

$\mathbf{n}$ – число просвітів решітки.

З виразу (3.25) знаходимо число просвітів решітки

$$\mathbf{n = 1{,}05 \cdot \frac{Q_c}{b \cdot h_п \cdot V_p}}, \qquad \textbf{(3.26)}$$

де **1,05** – коефіцієнт, який враховує стиснення потоку граблями.

Ширина решітки обчислюється за формулою

$$\mathbf{B_p = B \cdot n + \delta \cdot (n - 1)}, \qquad \textbf{(3.27)}$$

де $\boldsymbol{\delta}$ – товщина стержня, м.

Втрата напору в решітці визначається за формулою

$$\mathbf{h_м = \xi \cdot \frac{V_p^2}{2g} \cdot K}, \qquad \textbf{(3.28)}$$

де **К** - коефіцієнт, який враховує збільшення втрат напору внаслідок забруднення решітки, приймається **К** = 3;

ξ - коефіцієнт опору.

Коефіцієнт опору знаходиться за формулою

$$\xi = \beta \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^{4/3} \cdot \sin\alpha, \qquad \textbf{(3.29)}$$

де **β** – коефіцієнт, що залежить від форми поперечних перерізів стержнів решітки; для круглих стержнів **β** = 1,72, для прямокутних - 2,42, для прямокутних з закругленими ребрами - 1,83;

α – кут нахилу решітки до горизонту, ^{0}С

Приклади розрахунку

Приклад 3.5. Підібрати тип і кількість решіток для станції продуктивністю 50 000 м^3/доб.

Рішення:

1.Знаходимо секундну витрату стічних вод

$$Q_c = \frac{Q_д}{t_c доб} = \frac{Q_д}{24 \cdot 3600} = \frac{50000}{24 \cdot 3600} = 0{,}57 \text{ м}^3/\text{с}$$

2. З табл. 3.3 знаходимо коефіцієнт нерівномірності $К_н$ = 1,1 і визначаємо максимальну витрату стічних вод

$$Q_{смакс} = Q_c \cdot К_н = 0{,}57 \cdot 1{,}1 = 0{,}62 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3. Необхідна площа поперечного перерізу робочих решіток при рекомендованій швидкості руху води в просвітах решітки $V_р$= 0,8 м/с

$$F_р = Q_c / V_р = 0{,}62 / 0{,}8 = 0{,}77 \text{ м}^2.$$

4. При двох робочих решітках (N = 2) площа поперечного перерізу кожної буде

$$F_р^{`} = F_{р1}^{`} \cdot N = 0{,}77 / 2 = 0{,}38 \text{ м}^2.$$

5. Число просвітів решітки при їх ширині b = 0,016 м і глибині води перед решіткою $h_п$ = 0,85 м

$$n = 1{,}05 \cdot \frac{Q_{смакс}}{b \cdot h_п \cdot V_р} = \frac{0{,}62}{0{,}016 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}8} = 60.$$

6. Ширина решітки при товщині стержня δ = 8 мм

$$B_р = B \cdot n + \delta \cdot (n-1) = 0{,}016 \cdot 60 + 0{,}008 \cdot (60-1) = 1{,}43 \text{ м}.$$

7. За одержаними розмірами підбираємо решітку типу МГ9Т: дві робочі і одну резервну.

8. Швидкість протікання води через просвіти решітки МГ9Т

$$V_р = \frac{Q_{смакс}}{2 \cdot n^{`} \cdot h_п \cdot b} = \frac{0{,}62}{2 \cdot 46 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}016} = 0{,}49 \text{ м/с}.$$

9. Втрата напору в решітці

$$h_p = \beta \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^{4/3} \cdot \frac{V_p^2}{2 \cdot g} \cdot K \cdot \sin\alpha = 2{,}42 \cdot \left(\frac{8}{16}\right)^{4/3} \cdot \frac{0{,}49^2}{2 \cdot 9{,}81} \cdot 3 \cdot 0{,}866 = 0{,}03 \text{ м.}$$

10. Загальний підпір в решітці рівний трикратній втраті напору (при забрудненнях)

$$h_3 = 3 \cdot h_p = 3 \cdot 0{,}03 = 0{,}09 \text{ м.}$$

11. Кількість відходів, які знімаються з решіток, при ширині просвітів 16…20 мм передбачається 8 л/рік (0,008 м^3/рік) на 1 людину. Прийнявши норму водовідведення q_b=0,25 м^3/об (91,25 м^3/рік), можна знайти число жителів, яких зможуть обслуговувати дані решітки:

$$N_{ж} = \frac{Q_д}{q_b} = \frac{50000}{0{,}25} = 200000 \text{ жителів.}$$

12. Кількість затриманих забруднень в рік становить

$$W_p = N_{ж} \cdot 0{,}008 = 200000 \cdot 0{,}008 = 1600 \text{ м}^3\text{/рік}$$

$$\text{або } W_д = \frac{W_p}{365} = \frac{1600}{365} = 4{,}38 \text{ м}^3\text{/добу.}$$

13. При їх густині ρ = 750 кг/м^3 маса забруднень буде

$$M = W_д \cdot \rho = 4{,}38 \cdot 750 = 3285 \text{ кг/добу.}$$

При визначенні кількості затриманих забруднень, які утворились при митті автомобілів, необхідно знати середню кількість забруднень від одного автомобіля, кількість автомобілів, що обслуговується за добу, та продуктивність мийних машин.

3.6.2 Усереднювачі

Концентрація забруднень в стічних водах може сильно коливатися в часі. Ці коливання обумовлені технологічним процесом і можуть бути: циклічними, довільними, залповими. Впливають також вид і кількість завислих речовин.

Для поліпшення роботи очисних споруд проводиться усереднення витрат і концентрації забруднень стічних вод в контактних чи проточних усереднювачах. При невеликих витратах і періодичному водоскиді використовуються контактні усереднювачі. Частіше застосовуються проточні усереднювачі, які, залежно від характеру змішування води, бувають: багатоканальні, з механічним перемішуванням стічних вод та барботажні.

В багатоканальних усереднювачах усереднення відбувається за рахунок диференціювання потоку, який при вході ділиться на декілька струменів, протікаючих по каналах різної довжини. Внаслідок цього у збірному лотку змішуються струмені води різної концентрації. Такі усереднювачі рекомендується використовувати для усереднення стічних вод з невеликою кількістю завислих речовин в стічній воді. Їх об'єм $\mathbf{V_o}$,м^3 розраховують за формулою:

$$\mathbf{V_o = Q_г \cdot t_з \cdot K / 2 \ ,} \qquad \textbf{(3.30)}$$

де $\mathbf{Q_г}$ – витрата стічних вод, м^3/г;

$\mathbf{t_з}$ – тривалість залпового водоскиду, г;

К – коефіцієнт усереднення, що визначається за формулою:

$$\mathbf{K = \frac{(C_{макс} - C_{ср})}{(C_{доп} - C_{ср})}}, \qquad \textbf{(3.31)}$$

$\mathbf{C_{макс}}$ – максимальна концентрація забруднень в залповому водоскиді, мг/л;

$\mathbf{C_{ср}}$ – середня концентрація забруднень в стічних водах, мг/л, г/м^3;

$\mathbf{C_{доп}}$ – допустима концентрація забруднень, мг/л.

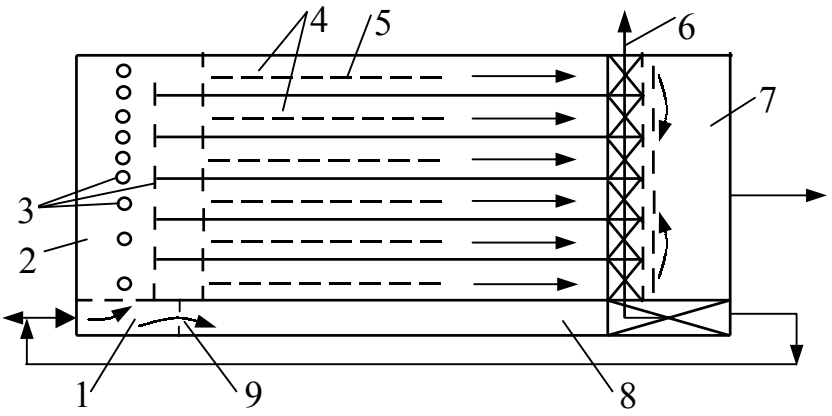


Рисунок 3.5 **- Схема багатоканального усереднювача**
1 - приймальна камера; 2 - розподільний лоток; 3 - дані випуски і бічний водозлив; 4 - канали; 5 - система гідрозмиву; 6 - видалення осаду гідроелеваторами; 7 - камера усереднених вод; 8 - акумулювальна ємність; 9 - водозлив

В усереднювачах з механічним перемішуванням стічних вод усереднення проводиться спеціальними мішалками або циркуляцією води в резервуарах, яка створюється наносами. Такі усереднювачі використовується для усереднення стічних вод з вмістом завислих речовин більше 500 мг/л.

В барботажних усереднювачах змішування води відбувається барботуванням її повітрям. Вони використовуються для усереднення стічних вод з вмістом завислих речовин до 500 мг/л. Об'єм усереднювачів з перемішувальними пристроями при залповому водоскиді знаходиться за формулою:

$$\text{при } \mathbf{K<5} \qquad \mathbf{V_o = \frac{1{,}3 \cdot Q_д \cdot t_з}{\ln K/(K-1)}}; \qquad \textbf{(3.32)}$$

$$\text{при } \mathbf{K \geq 5} \qquad \mathbf{V_o = 1{,}3 \cdot Q_д \cdot t_з \cdot K}. \qquad \textbf{(3.33)}$$

Об'єм усереднювачів з переміщувальними пристроями при циклічних коливаннях знаходиться за формулами:

$$\text{При } \mathbf{K < 5} \qquad \mathbf{V_o = 0{,}21 \cdot Q_д \cdot t_K \cdot \sqrt{K^2 - 1}}; \qquad \textbf{(3.34)}$$

При $\mathbf{K \geq 5}$ $\quad \mathbf{V_o = 0{,}21 \cdot Q_д \cdot t_K}$, **(3.35)**

де $\mathbf{t_K}$ – період циклу коливання, г .

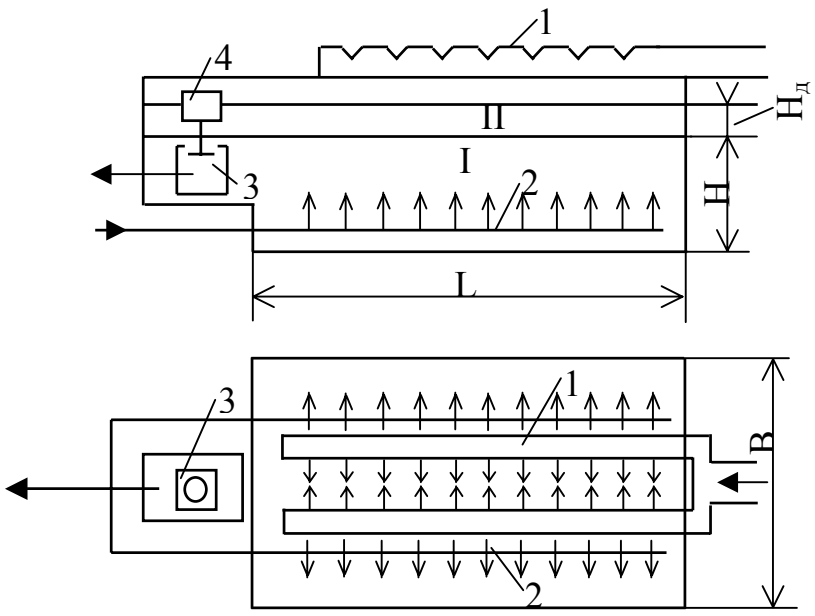


Рисунок 3.6 **- Схема усереднювача з повітряним барботером:**
I – об'єм для усереднення за концентрацією; II – об'єм для усереднення за витратами; III - випускна камера; 1 - подавальний розподільний лоток; 2 - барботер; 3 - випускний пристрій; 4 - поплавок

Усереднювачі розміщують після відстійників або ж обладнують їх відстійною частиною. Кількість усереднювачів чи їх відділень повинна бути не менша двох, причому всі повинні бути робочими.

Приклад 3.6. Знайти об'єм і розміри в плані багатоканального усереднювача при залповому водоскиді стічних вод протягом $t_з = 0{,}5$ год. Витрати стічних вод постійні: $Q_г = 80$ м^3/г. Концентрація забруднень $C_{макс}$= = 450 мг/л; $C_{ср} = 85$ мг/л; допустима концентрація забруднень $C_{доп}$ = = 140 мг/л.

Рішення:

1. Знаходимо коефіцієнт усереднювача

$$K = \frac{(C_{макс} - C_{ср})}{(C_{доп} - C_{ср})} = \frac{(450 - 85)}{(140 - 85)} = 6{,}64$$

2. Розраховуємо об'єм усереднювача

$$V_o = Q_г \cdot t_з \cdot K / 2 = 80 \cdot 0{,}5 \cdot 6{,}64 / 2 = 132{,}8 \text{ м}^3$$

3. Проектуємо прямокутний усереднювач з двома відділеннями n=2, глибиною H_o=1,5 м. Площа кожного відділення буде:

$$F = V_o / (n \cdot H_o) = 132{,}8 / (2 \cdot 1{,}5) = 44{,}27 \text{ м}^2$$

4. В плані розміри споруд приймаємо L_o х B_o= 5,53 х 8 м. По ширині кожне відділення ділимо на 4 канали шириною в = 2 м. Для усунення стратифікації в каналах установлюється до одному барботеру, тому що $B/H_o = 2/1{,}5 = 1{,}33 \prec 2$.

Приклад 3.7. Визначити об'єм і розміри усереднювача.

Дано: витрати стічних вод $Q_г$ = 215 м^3/г, вміст завислих речовин у воді менше 500 мг/л, допустима концентрація забруднень $C_{доп}$ = 350 г/м^3, зміна концентрації стічних вод характеризується рис. 3.7.

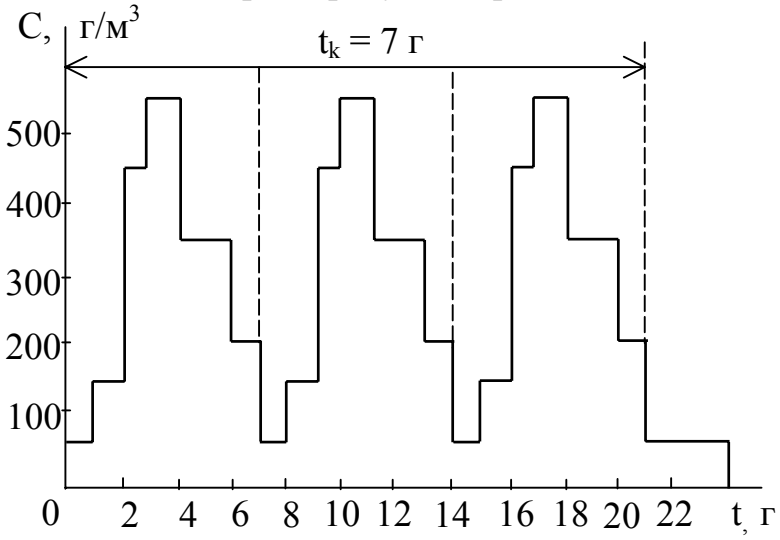


Рисунок 3.7 - **Зміна концентрації забруднення води по годинах доби**

Рішення:

1. З рис. 3.7 видно, що зміна концентрації забруднень відбувається циклічно. Період циклу $t_К$ = 7 год. Проектуємо усереднювач барботажного типу.

2. Середня концентрація забруднень

$$C_{ср} = \frac{\sum_{1}^{t_К} Q_г C}{\sum_{1}^{t_К} Q_г} = \frac{215/50 + 150 + 450 + 550 \cdot 2 + 350 + 200}{7 \cdot 215} = 328{,}6 \text{ г/м}^3.$$

3. Знаходимо коефіцієнт усереднювача

$$K = \frac{(C_{макс} - C_{ср})}{(C_{доп} - C_{ср})} = \frac{(550 - 328{,}6)}{(350 - 328{,}6)} = 10{,}3.$$

4. Об'єм усереднювача буде рівний

$$V_o = 0{,}21 \cdot 215 \cdot 7 \cdot 10{,}3 = 3255 \text{ м}^3.$$

5. Проектуємо прямокутний в плані усереднювач з двома відділеннями глибиною H_o = 3 м. Площа кожного відділення буде

$$F = V_o/(n \cdot H_o) = 3255/(2 \cdot 3) = 542{,}5 \text{ м}^2.$$

6. При ширині кожного відділення b = 20 м їх довжина буде

$$L_o = F_o / b = 542{,}5 / 20 = 27{,}12 \text{ м.}$$

7. Встановлюємо барботери в чотири ряди при відстанях 2,5 м від стінок і 5 м між барботерами.

3.6.3 Піскоуловлювачі

Найпростішими і стародавніми спорудами, що працюють за принципом відстоювання, є піскоуловлювачі. Вони використовуються для затримки нерозчинних домішок (переважно піску) при продуктивності очисних споруд понад 100 м^3/доб, що полегшує роботу наступних послідовно з'єднаних очисних споруд. Разом з мінеральними домішками в піскоуловлювачах відстоюються речовини органічного походження, гідравлічна крупність яких близька до гідравлічної крупності піску. Кількісне співвідношення між затриманими мінеральними і органічними речовинами залежить від категорії стічних вод та умов експлуатації піскоуловлювачів. При очищенні побутових стічних вод піскоуловлювачі затримують частинки діаметром 0,25 мм і більше. Кількість органічних речовин в затриманій масі складає 15... 20%.

Залежно від напрямку основного потоку стічної води піскоуловлювачі бувають (рис. 3.8):

горизонтальні, в яких вода рухається в горизонтальному напрямку, з прямолінійним чи круговим рухом;

вертикальні, в яких вода рухається вертикально вверх;

аераційні і тангенціальні з гвинтовим (поступально-обертальним) рухом води.

Горизонтальні та аераційні піскоуловлювачі використовуються при витратах води більше 10 000 м^3/добу. Тангенціальні піскоуловлювачі рекомендується застосовувати при витратах води до 50 000 м^3/доб. Вертикальні піскоуловлювачі працюють неефективно і використовуються у виняткових випадках.

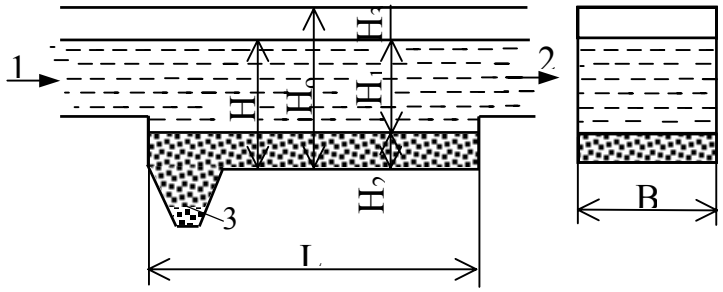
При проектуванні піскоуловлювачів необхідно приймати загальні розрахункові параметри для піскоуловлювачів різних типів по табл. 3.6.

Видалення затриманого піску з піскоуловлювачів необхідно передбачати: вручну – при об'ємі його до 0,1 м^3/доб; механічним чи гідравлічним методом – при об'ємі його більше 0,1 м^3/доб.

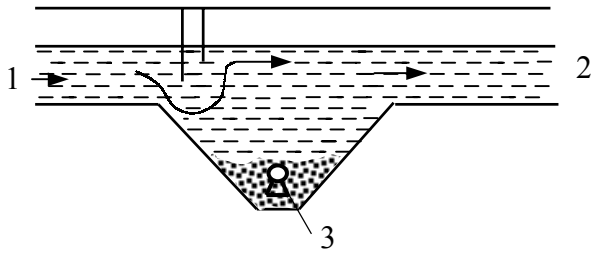
Загальні вимоги до різних типів піскоуловлювачів:

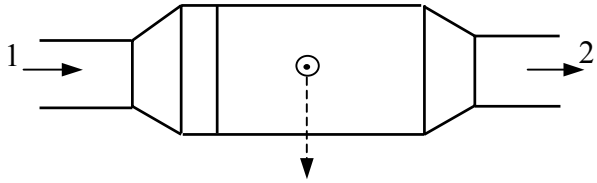
1. Для горизонтальних піскоуловлювачів тривалість протікання стічних вод при максимальному притоці – не менше 30 с.

2. Для аераційних піскоуловлювачів: інтенсивність аерації – 3... 5 м^3/м^2.г; поперечний нахил дна (до піскового лотка) – 0,2...0,4; встановлення аераторів із дірчастих труб на глибині 0,7 Н; відношення ширини до глибини відділення В: Н = 1,5.



а)





б)

Рисунок 3.8 **- Схеми горизонтального (а) і вертикального (б) піскоуловлювачів:** 1 - подача стічних вод; 2 - відведення очищеної води; 3 - видалення пульпи (осаду)

3. Для тангенціальних піскоуловлювачів: навантаження – 110 $м^3/м^2$.г при максимальному притоці; глибина - рівна половині діаметра; діаметр - не більше 6 м; впуск води - по дотичній на всій розрахунковій висоті.

4. Необхідно брати не менше 2 піскоуловлювачів або їх відділень, причому всі вони повинні бути робочими.

5. Для піскоуловлювачів необхідно приймати: кількість затриманого піску 0,02/2 10^{-5} $м^3$/(люд*доб) на 1 люд/доб, вміст піску в осаді 60%, густину 1,5 $т/м^3$; в аераційних піскоуловлювачах , відповідно: 0,03 л/люд доб; 90...95%; 1,5 $т/м^3$.

6. Швидкість руху стічних вод $\mathbf{V_p}$ для горизонтальних піскоуловлювачів приймається 0,3 м/с при максимальному притоці та 0,15 м/с мінімальному; для аераційних 0,008 – 0,12 м/с при максимальному притоці.

7. Розрахункова глибина піскоуловлювача $\mathbf{H_p}$ приймається: для горизонтальних піскоуловлювачів 0,25...2,0, аераційних - половині загальної глибини $\mathbf{H_o}$, яку рекомендовано приймати від 0,7 до 3,5 м.

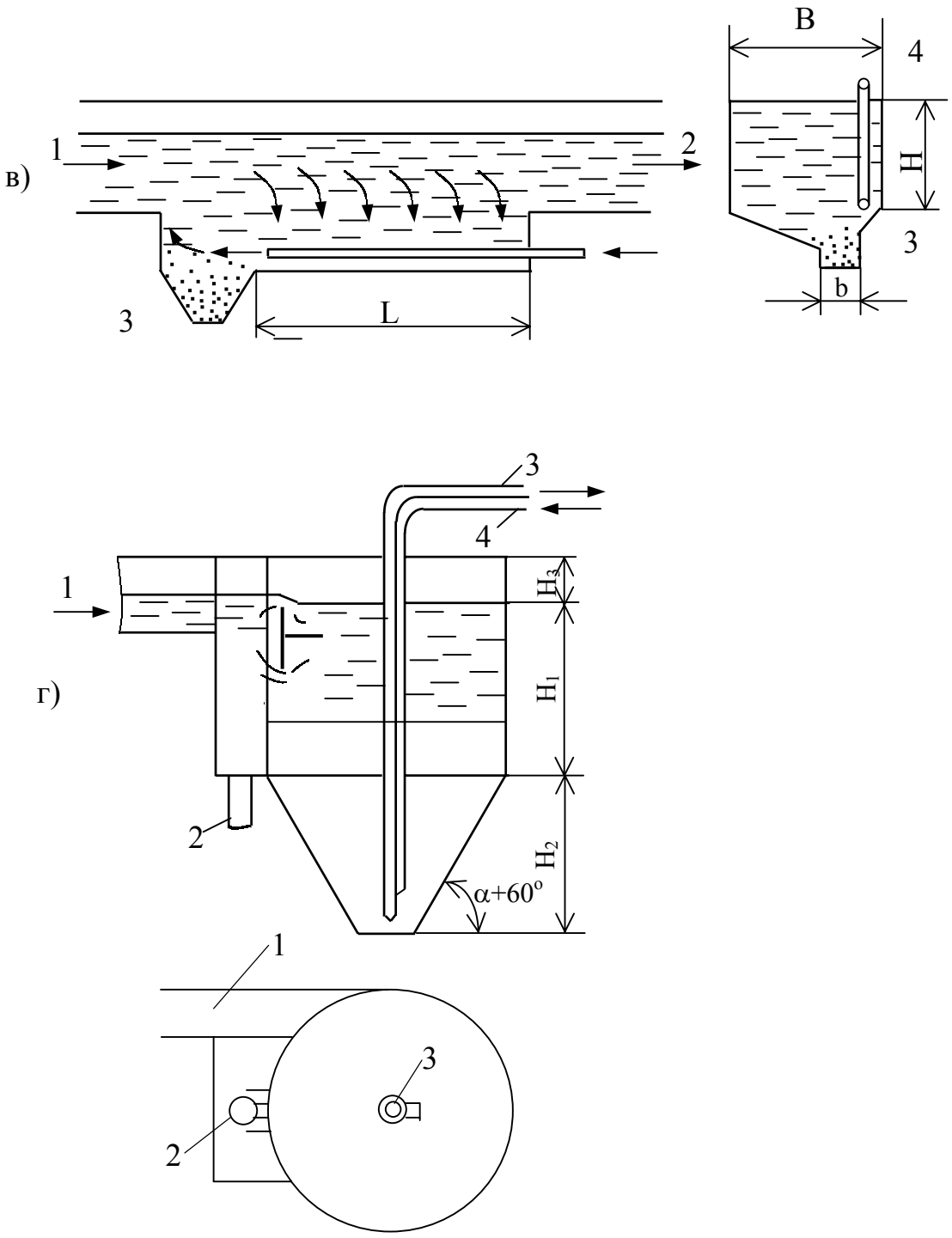


Рисунок 3.9 **- Основні схеми піскоуловлювачів: в) аераційна, г) тангенціальна;**

1 - подача стічних вод; 2 - відведення води;
3 - видалення пульпи; 4 - повітровід;

Таблиця 3.6 - **Загальні розрахункові параметри піскоуловлювачів**

Піскоуловлювач	Гідравлічна крупність піску **Uo**, мм/с	Швидкість руху стічних вод **Vp**, м/с при потоці		Глибина **H**, м	Кількість затриманого піску, л/люд. добу	Вологість піску, %	Вміст піску в осаді, %
		мін.	макс				
Горизонтальний	18,7…24,2	0,15	0,3	0,5…2	0,02	60	55…60
Аераційний	13,2…18,7	-	0,08	0,7	0,03	-	90…95
Тангенціальний	18,7…24,2	-		0,5Д	0,02	60	70…75

8. Гідравлічна крупність піску приймається для горизонтальних піскоуловлювачів 18...24, для аераційних - 18 мм/с.

При розрахунку горизонтальних і аераційних піскоуловлювачів спочатку знаходять площу поперечного перерізу $\mathbf{F_n}$, м^2 одного відділення:

$$\mathbf{F_n = Q_c / V_p \cdot n}, \qquad \textbf{(3.36)}$$

де $\mathbf{Q_c}$ – максимальна витрата стічних вод, м^3/с;

$\mathbf{V_p}$ – швидкість руху води, м/с;

n - кількість піскоуловлювачів чи їх відділень, приймається не менше двох.

Довжина піскоуловлювача $\mathbf{L_n}$, м, знаходиться за формулою:

$$\mathbf{L_n = K_s \cdot \frac{1000 \cdot H_n}{U_o} \cdot V_p}, \qquad \textbf{(3.37)}$$

де $\mathbf{H_n}$ – глибина проточної частини піскоуловлювача , м;

$\mathbf{U_o}$ – гідравлічна крупність піску, мм/с;

$\mathbf{K_S}$ – коефіцієнт, який враховує вплив турбулентності та інших факторів на роботу піскоуловлювачів, приймається за табл. 3.7.

Таблиця 3.7 - **Значення коефіцієнта K_S**

Діаметр частинок піску, мм	Гідравлічна крупність піску $\mathbf{H_o}$, мм/с	Тип піскоуловлювачів			
		горизонтальні	аераційні		
			$\mathbf{B_n/H_n=1}$	$\mathbf{B_n/H_n=1,25}$	$\mathbf{B_n/H_n=1,5}$
0,15	13,2	-	2,62	2,5	2,39
0,2	18,7	1,7	2,43	2,25	2,08
0,25	24,2	1,3	-	-	-

При інших розрахункових параметрах значення коефіцієнта можна знайти за формулою:

$$K_S = \frac{U_o}{\sqrt{U_o^2 - \omega_b^2}}, \qquad (3.38)$$

де ω_b - вертикальна турбулентна складова швидкості,

$$\omega_b = 0{,}05 \cdot V_p .$$

Для горизонтальних піскоуловлювачів необхідно приймати: V_p = = 0,3 м/с; розрахунковий діаметр частинок піску 0,2...0,25 мм; тривалість руху стічних вод не менше 30 с. Оптимальна швидкість V_p = 0,3 м/с повинна бути постійною, що досягається додатковими пристроями. Рекомендована тривалість руху стічних вод 30...50 с.

Для підтримування в піскоуловлювачі постійної швидкості потоку на вихідному каналі влаштовують широкий незатоплюваний водозлив, розміри якого знаходять за такими формулами:

перепад P_3, м, між дном піскоуловлювача і порогом водозливу

$$P_3 = \frac{h_{макс} - K^{2\backslash 3} \cdot h_{min}}{K^{2\backslash 3} - 1}, \qquad (3.39)$$

де **К** – відношення максимальних і мінімальних витрат $q_{макс}$/ $q_{мін}$, м/с;

$h_{макс}$, $h_{мін}$ – глибина води в піскоуловлювачі, м, відповідно, при витратах $q_{макс}$ і $q_{мін}$ і розрахунковій швидкості 0,3 м/с;

ширина b_3, м, водозливу

$$b_3 = \frac{q_{макс}}{m \cdot \sqrt{2g} \cdot (P_з + h_{макс})^{3/2}}, \qquad (3.40)$$

де **m** – коефіцієнт витрат водозливу, залежний від умов бічного тиску і рівний 0,35…0,38.

Видалення піску з піскоуловлювачів повинно бути механізовано. Для згрібання піску в бункер в горизонтальних піскоуловлювачах передбачається скребковий механізм з електроприводом. В аераційних піскоуловлювачах для видалення піску використовується гідромеханічна система, що змиває пісок в сторону гідроелеватора для вивантаження.

Для забезпечення змиву піску швидкість змивної води V_n, м/с в лотку повинна бути

$$V_n = 10 \cdot \frac{d_{екв}^{1,31}}{\mu^{0,54}} \cdot (0{,}7 \cdot e + 0{,}17), \qquad (3.41)$$

де $d_{екв} = \frac{100}{\sum P_i \cdot d_к}$ - еквівалентний діаметр зерен піску, $d_{екв}$ = 0,05 см;

P_i – процентний вміст (за масою) фракцій піску з середнім діаметром $d_к$;

μ – динамічний коефіцієнт в’язкості, г/см с;

$\mathbf{e = (h - h_o)h_o}$ - відносне розширення піску при змиві, приймається рівним 0,1; де $\mathbf{h_o}$, $\mathbf{h}$ – висота шару осаду в лотку до і після подавання промивної води.

Загальні витрати води $\mathbf{Q_{зм}}$, м^3/с для змиву

$$\mathbf{Q_{зм} = V`\cdot b \cdot l} \qquad \mathbf{(3.42)}$$

де **b, l** - ширина і довжина змивного лотка, м; **b** приймається рівним 0,5 м;

V` = 0,0065 м/с – вихідна швидкість змивної води в лотку.

Для забезпечення необхідної рівномірності розподілення води по довжині змивного трубопроводу воду в нього необхідно подавати під напором $\mathbf{H_o}$, який знаходиться за формулою:

$$\mathbf{H_o = 5{,}6 \cdot h_o + 5{,}4 \cdot V_{тр}^2 / 2 \cdot g,} \qquad \mathbf{(3.43)}$$

де $\mathbf{V_{тр}}$ – швидкість води на початку трубопроводу, м/с.

Діаметр трубопроводу $\mathbf{d_{тр}}$, знаходять за формулою , м

$$\mathbf{d_{тр} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{зм}}{\pi \cdot V_{тр}}}\ .} \qquad \mathbf{(3.44)}$$

Діаметр вихідного отвору сприсків $\mathbf{d_{спр}}$, м розраховуємо за формулою

$$\mathbf{d_{спр} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{зм}}{\pi \cdot n \cdot \mu_1 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_o}}},} \qquad \mathbf{(3.45)}$$

де **n** – кількість сприсків на змивному трубопроводі;

$\mathbf{\mu_1}$ – коефіцієнт розходу сприсків, приймається рівним 0,82.

Приклад 3.8. Розрахувати горизонтальний піскоуловлювач.

Дано: продуктивність очисної станції $Q_д$=2500 м^3/доб, швидкість руху стічних вод $V_р$=0,3 м/с, коефіцієнт нерівномірності $К_н$=1,35.

Рішення:

1. Секундні витрати на очисну станцію при секундах на добу $t_{сдоб} = 24 \cdot 3600$

$$Q_с = \frac{Q_д}{t_{сдоб}} = \frac{25000}{24 \cdot 3600} = 0{,}29$$

2. Максимальні секундні витрати з урахуванням коефіцієнта нерівномірності

$$Q_{смакс} = Q_с \cdot К_н = 0{,}29 \cdot 1{,}35 = 0{,}39\ м^3/с$$

3. Приймаємо 2 робочих відділення піскоуловлювача. Площа перерізу кожного відділення

$$F_n = Q_{смакс} / V_р \cdot n = 0{,}39 / 0{,}3 \cdot 2 = 0{,}65\ м^2$$

4. Приймаємо переріз піскоуловлювача (рис. 3.8,а):

H_1=0,8 м; H_2=0,7 м; H_3=0,1 м; B= 0,81 м

5. Довжина піскоуловлювача при діаметрі частинок піску 0,2 мм і гідравлічній крупності 18,7 мм/с й коефіцієнті K_S=1,7 (табл. 3.7)

$$L_n = K_s \cdot \frac{1000 \cdot H_n}{U_o} \cdot V_p = 1{,}7 \cdot \frac{1000 \cdot 0{,}8}{18{,}7} \cdot 0{,}3 = 21{,}8\,\text{м}.$$

Для підтримування постійної швидкості на вихідному каналі запроектуємо водозлив без донного виступу.

Приклад 3.9. Розрахувати аераційний піскоуловлювач для очисної станції продуктивністю Qд = 20 000 м^3/добу і коефіцієнтом нерівномірності $K_н$ = 1,38.

Рішення:

1. Максимальна секундна витрата стічних вод

$$Q_{смакс} = \frac{Q_д}{24 \cdot 3600} \cdot K_н = \frac{20000 \cdot 1{,}38}{24 \cdot 3600} = 0{,}32\ \text{м}^3/\text{с}.$$

2. Приймаємо 2 відділення піскоуловлювача з швидкістю руху води в них V_p = 0,1м/с
3. Площа поперечного перерізу кожного відділення

$$F_n^{`} = Q_{смакс} / V_p \cdot n = 0{,}32 / 0{,}1 \cdot 2 = 1{,}6\ \text{м}^2$$

4. Мінімальний діаметр частинок піску, які затримуються піскоуловлювачем, приймемо d = 0,2 мм, гідравлічну крупність Uo = 18,7 мм/с.

5. Приймаємо розміри відділення: ширину B_n = 1,5 м, глибину H_n = 1 м, тоді відношення B_n/H_n = 1,5. Коефіцієнт, який враховує вплив турбулентності, K_s=2,08 (табл.3.7). Розрахункова глибина проточної частини h_n=H/2=1/2=0,5 м.

6. Довжина піскоуловлювача

$$L_n = \frac{K_s \cdot h_n}{U_o} \cdot V_p = \frac{2{,}08 \cdot 0{,}5}{0{,}0187} \cdot 0{,}1 = 5{,}56\ \text{м}$$

7. Довжина піскового лотка і змивного трубопроводу

$$l = L_n - D_б = 5{,}56 - 1{,}5 = 4{,}06\ \text{м},$$

де $D_б$ – діаметр бункера, в якому розміщений гідроелеватор.

8. Для розрахунку змивного трубопроводу необхідно знати об'єм осаду на добу на одну машину і на всі машини, на одну людину і на всіх жителів. Так, при числі жителів 20 000 і кількості затриманих осадів на одну людину 0,02 л/добу загальні витрати осаду

$$W = 20000 \cdot 0{,}02 / 1000 = 0{,}4\ \text{м}^3/\text{добу}.$$

9. При надходженні в бункер 20% всього осаду в пісковому лотку одного відділення піскоуловлювача залишиться осаду (при вивантаженні 3 рази на добу).

$$W^{`} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{W}{3} - \frac{W \cdot 20}{3 \cdot 100} \right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{0{,}4}{3} - \frac{0{,}4 \cdot 20}{3 \cdot 100} = 0{,}053\ \text{м}^3/\text{добу}.$$

10. Висота шару осаду в лотку

$$h_o = W/1 \cdot b = 0{,}053/4{,}06 \cdot 0{,}5 = 0{,}026 \text{ м.}$$

11. Глибина піскового лотка

$$h_p = 1{,}5 \cdot h_o \cdot (e+1) = 1{,}5 \cdot 0{,}026 \cdot (0{,}1+1) = 0{,}043 \text{ м,}$$

де e = 0,1 – відносне розширення піску.

З конструктивних міркувань (для забезпечення нормального розміщення змивного трубопроводу) розміри лотка приймемо: ширину 0,5 м; максимальну висоту шару осаду (на початку лотка) $h_{макс}$=0,1 м; глибину 0,15 м.

12. Для розрахунку необхідної підйомної швидкості в лотку приймаємо: еквівалентний діаметр зерен піску $d_{екв}$=0,05 см; динамічний коефіцієнт в'язкості при температурі стічної води 28˚С μ=0,0084 г/см с.

Підйомна швидкість

$$V_n = 10 \cdot \frac{d_{екв}^{1,31}}{\mu^{0,54}} \cdot (0{,}7e + 0{,}17) = 10 \cdot \frac{0{,}05^{0,31}}{0{,}0084^{0,54}} \cdot (0{,}7 \cdot 0{,}1 + 0{,}17) = 0{,}63 \text{ см/с .}$$

13. Загальні витрати промивної води в лотку

$$Q_{зм} = V`\cdot b \cdot l = 0{,}0065 \cdot 0{,}5 \cdot 4{,}06 = 0{,}013 \text{ м}^3/\text{с .}$$

14. При необхідній швидкості води в змивному трубопроводі V_p=3 м/с його діаметр буде рівний

$$d_{тр} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{зм}}{\pi \cdot V_м}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}013}{3{,}14 \cdot 3}} = 0{,}0743 \text{ м .}$$

Приймаємо діаметр трубопроводу 0,08 м. Тоді фактична швидкість руху води на його початку

$$V_ф = 4 \cdot Q_{зм} / \pi \cdot d_{тр.ф}^2 = \frac{4 \cdot 0{,}013}{3{,}14 \cdot 0{,}08^2} = 2{,}6 \text{ м/с .}$$

15. Напір на початку трубопроводу

$$H_o = 5{,}6 \cdot h_o + 5{,}4 \cdot V_{тр}^2 / 2 \cdot g = 5{,}6 \cdot 0{,}1 + 5{,}4 \cdot 2{,}6^2 / 2 \cdot 9{,}81 = 2{,}41 \text{ м .}$$

16. Кількість сприсків в трубопроводі (при відстані між ними) z = 0,5м

$$n = 2 \cdot l / z = 2 \cdot 4{,}06 / 0{,}5 = 16 .$$

17. Діаметр отворів сприсків, мм

$$d_{спр} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{зм}}{\pi \cdot n \cdot \mu_1 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_o}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}013}{3{,}14 \cdot 16 \cdot 0{,}82 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}41}}} = 0{,}0135 = 13{,}5 \text{ мм.}$$

Приклад 3.10. Розрахувати тангенціальний піскоуловлювач очисної станції продуктивністю $Q_д$ = 8000 м^3/доб. Годинний коефіцієнт нерівномірності $К_н$=1,6.

Рішення:

1. Середні годинні витрати на очисну станцію

$$Q_г = Q_д \cdot К_н / 24 = 8000 \cdot 1{,}6 / 24 = 533{,}3 \text{ м}^3/\text{г.}$$

2. Приймаємо два відділення піскоуловлювача, а навантаження на 1 м^2 площі q = 110 м^3/м^2 за 1 год. Площу кожного відділення тангенціального піскоуловлювача знаходимо за формулою

$$F_n = Q_г / n \cdot g = 533{,}3 / 2 \cdot 110 = 2{,}42 \text{ м}^2.$$

3. Діаметр кожного відділення буде

$$D = \sqrt{(4 \cdot F)/\pi} = \sqrt{(4 \cdot 2{,}42)/3{,}14} = 1{,}76 \text{ м}.$$

4. Глибину піскоуловлювача приймаємо рівну половині діаметра

$$H_n = D/2 = 1{,}76/2 = 0{,}88 \text{ м}.$$

5. Для відкладання осаду служить конусна основа піскоуловлювача. Висота її

$$H_г = \sqrt{D^2 - H_n^2} = \sqrt{1{,}76^2 - (0{,}88)^2} = 1{,}52 \text{ м}.$$

6. Об'єм конусної частини

$$V_{кон} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H_г}{3 \cdot 4} = \frac{3{,}14 \cdot 1{,}76^2 \cdot 1{,}52}{3 \cdot 4} = 1{,}23 \text{ м}^3.$$

7. При нормі водовідведення $q_д$ = 250 л/(люд. добу) приведена кількість жителів

$$N_{пр} = Q_д \cdot 1000 / q_д = 8000 \cdot 1000 / 250 = 32000 \text{ люд.}$$

8. Об'єм затриманого осаду за добу буде (при кількості затриманого осаду 0,02 л/(люд. добу).

$$W_д = N_{пр} \cdot 0{,}02 / 1000 = 32000 \cdot 0{,}02 / 1000 = 0{,}64 \text{ м}^3.$$

9. Заповнення конусної частини піскоуловлювача буде відбуватися за період

$$t = V_{кон} / W_д = 1{,}23 / 0{,}64 = 1{,}92 \text{ доб.}$$

Осад доцільно вивантажувати 1 раз на добу ерліфтом.

3.6.4 Відстійники

Відстійники застосовують для попереднього очищення стічних вод, якщо за місцевими умовами необхідне їх біологічне очищення, або як самостійну споруду, якщо за санітарними умовами цілком достатньо виділити із стічних вод тільки механічні домішки.

В залежності від призначення відстійники бувають первинні, що встановлюються до споруд біологічної обробки стічних вод, та вторинні, які встановлюються після цих споруд.

За конструктивними ознаками відстійники підрозділяють на:

- горизонтальні (рис. 3.10) - вода рухається горизонтально уздовж відстійника;
- вертикальні (рис. 3.11) - вода рухається знизу вверх;
- радіальні (рис. 3.12) - вода рухається від центра до периферії;

- спеціальні (для виділення важких домішок, для виділення легких домішок тощо).

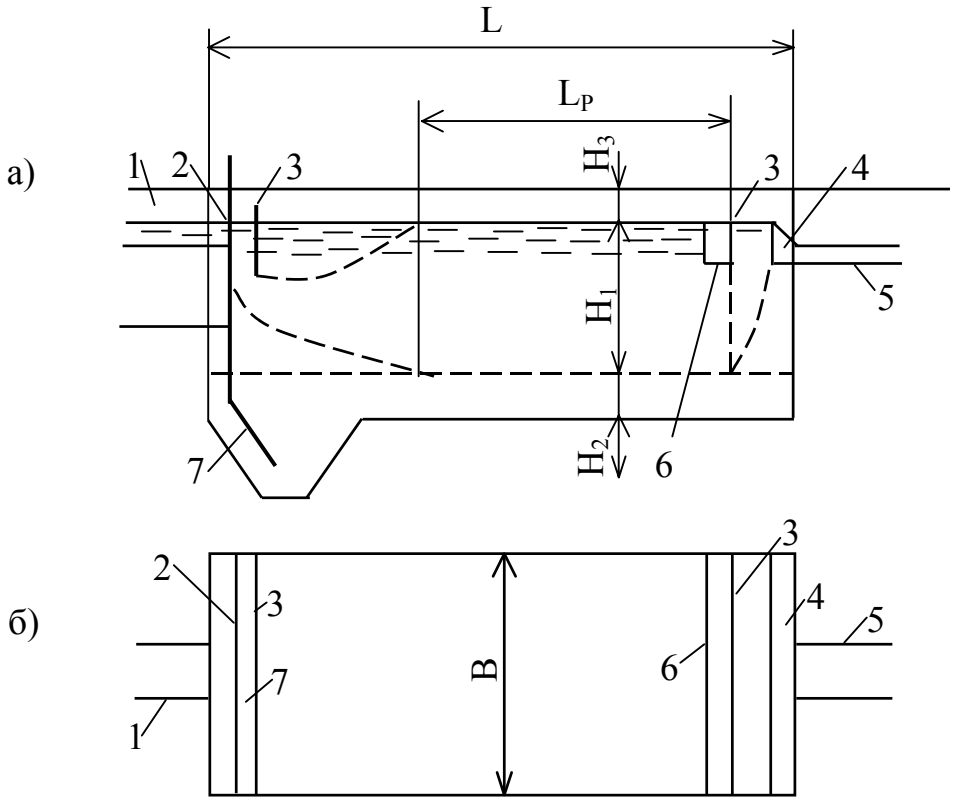


Рисунок 3.10 - **Схема горизонтального відстійника:**
а) - розріз; б) - план; 1 - підвідний лоток; 2 - розподільний лоток;
3 - напівзанурені дошки; 4 - збірний лоток; 5 - відвідний лоток;
6 - лоток для збирання і видалення плаваючих речовин;
7 - трубопровід для видалення осаду

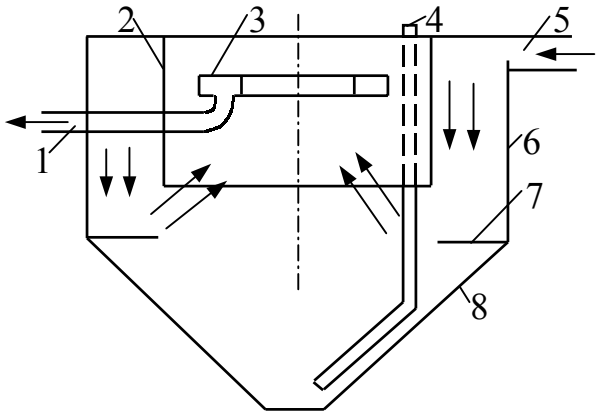


Рисунок 3.11 - **Схема вертикального відстійника:**
1 - вихід очищеної роди; 2 - перегородка; 3 - водозбірник очищеної води;
4 - трубопровід для видалення осаду; 5 - трубопровід для стічної води;
6 - корпус відстійника; 7 - відбивне кільце; 8 – шламозбірник

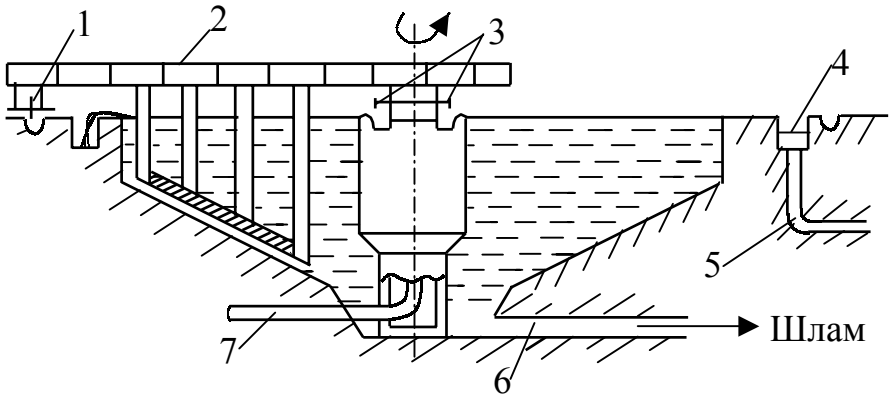


Рисунок 3.12 **- Схема радіального відстійника:**
1 - котки містка обслуговування; 2 - місток обслуговування;
3 - котки містка обслуговування; 4 - жолоб для стоку очищеної води;
5 - трубопровід для видалення очищеної води; 6 - канал для видалення шламу; 7 - трубопровід для подачі забрудненої води у відстійник

Тип відстійників необхідно вибирати з урахуванням продуктивності станцій очищення стічних вод, а саме: до 20 000 м^3/доб – вертикальні, більше 15 000 м^3/доб - горизонтальні; більше 20 000 м^3/доб - радіальні; до 30 000 м^3/доб - освітлювачі-перегнивачі; до 10 000 м^3/доб – двоярусні. Число відстійників необхідно приймати: первинних - не менше двох; вторинних - не менше трьох за умови, що всі вони робочі. При мінімальній кількості розрахунковий об’єм відстійника збільшують в 1,2....1,3 разу.

Відстійники, крім вторинних, після біологічного очищення розраховують за кінетикою випадіння завислих речовин з врахуванням необхідного об’єкта освітлення (табл. 3.8).

Загальні вимоги при проектуванні відстійників:

Для горизонтальних відстійників: відношення L/H від 8 до 20; кут нахилу стін приямків відстійників не менше 50˚; нахил днища не менше 0,005; висота нейтрального шару на 0,3 м вища днища (на виході з відстійника), для вторинних відстійників – 0,3 м і глибина шару мулу на 0,3…0,5 м; скребки для збирання осаду і пристрій для випорожнювання відстійника.

Для радіальних відстійників: середня швидкість руху стічних вод $\mathbf{V_p}$ = 5…10 мм/с; відношення діаметра відстійника до глибини проточної частини від 6 до 12; глибина проточної частини - 1,5...5 м; діаметр не менше 18 м; висота нейтрального шару 0,3 м і глибина шару $\mathbf{H_2}$ мулу 0,3...0,5 м від дна на виході з відстійника; пристрій для випорожнювання відстійника; нахил днища до мулового приямка не менше 0,05.

Для вертикальних відстійників: розрахункова висота зони осадження **H** = 2,7...3,8 м, для вторинних - не менше 1,5 м; діаметр 4...9 м; центральна труба довжиною, рівною розрахунковій висоті зони осадження, з розтрубом і нерухомим відбивним щитом знизу; діаметр розтруба і його висота рівні 1,35 діаметра центральної труби; діаметр відбивного щита 1,3 діамет-

ра розтруба воронки. Кут нахилу поверхні відбивного щита до горизонту – 17°; висота шару між низом відбивного щита і поверхнею осаду 0,3 м; швидкість руху води в центральній трубі не більше 30 мм/с; швидкість руху стічних вод в щілині між нижньою кромкою центральної труби і поверхнею відбивного щита в первинних відстійниках не більше 20 мм/с, у вторинних – 15 мм/с; нахил стінок днища не менше 50°.

Таблиця 3.8 **- Тривалість відстоювання в циліндрі глибиною 500 мм (h), с**

Ефект освітлення	Коагулювальні зависи типу зависів побутових стічних вод n = 0,25				Дрібнодисперсні мінеральні зависи з питомою вагою 2…3 гм/см^3 n = 0,4				Структурні важкі зависи з питомою вагою 5…6 гс/см^3 n = 0,6		
	Концентрація, мг/л										
	100	200	300	500	500	1000	2000	3000	200	300	400
20	600	300	-	-	150	140	100	40	-	-	-
30	900	540	320	260	180	150	120	50	-	-	-
40	1320	650	450	390	200	180	150	60	75	60	45
50	900	900	640	450	240	200	180	80	120	90	60
60	3800	1200	970	680	280	240	200	100	180	120	75
70	-	3600	2600	1830	360	280	230	130	390	180	130
80	-	-	-	5260	1920	690	570	370	3000	580	380
90	-	-	-	-	-	2230	1470	1080	-	-	-
100	-	-	-	-	-	-	3600	1850	-	-	-

Примітки: 1. Тривалість відстоювання приведена при температурі води 20°С. 2. Для проміжних значень концентрацій завислих речовин і ефекту освітлення тривалість відстоювання визначається лінійною інтерполяцією.

Розрахунок первинних відстійників робиться за такими формулами:

а) розміри відстійників:

довжина $\mathbf{L_{вг}}$, горизонтальних, м

$$\mathbf{L_{вг} = V \cdot H_1 / K \cdot (U_o - \omega_в)}, \qquad \mathbf{(3.46)}$$

радіус $\mathbf{R_в}$ вертикальних, радіальних і з обертовими збірно-розподільними пристроями, м

$$\mathbf{R_в = \sqrt{\frac{Q_г}{3{,}6 \cdot \pi \cdot K \cdot U_o}}}, \qquad \mathbf{(3.47)}$$

де **V** – середня розрахункова швидкість в проточній частині відстійника, приймається рівною 5…10 мм/с;

$\mathbf{H_1}$ – глибина проточної частини, м;

К – коефіцієнт: 0,5 – для горизонтальних відстійників; 0,45 – для радіальних; 0,35 – для вертикальних; 0,85 – для відстійників з обертовими збірно-розподільними пристроями;

$\mathbf{U_o}$ – гідравлічна крупність частинок зависі, мм/с;

$\mathbf{Q_г}$ – годинна витрата стічних вод, $м^3$/год;

$\boldsymbol{\omega_в}$ – вертикальна турбулентна складова швидкості руху стічних вод.

При $\boldsymbol{\omega_в}$= 0,05 $\boldsymbol{\omega_в}$ не враховується, тому що $\boldsymbol{\omega_в} << \mathbf{V}$.

Умовну гідравлічну крупність $\mathbf{U_o}$, мм/с, знаходимо за формулою

$$\mathbf{U_o = \frac{1000 \cdot K \cdot H_1}{\alpha \cdot t \cdot \left(\frac{K \cdot H_1}{h} \right)^n}}, \qquad \textbf{(3.48)}$$

де **α** – коефіцієнт, що враховує вплив температури води на її в'язкість:

Таблиця 3.9 - **Значення коефіцієнта, що враховує вплив температури на в'язкість**

˚С	60	50	40	30	20	15	10	5	0
α	0,45	0,55	0,66	0,8	1	1,4	1,3	1,5	1,8

t – тривалість відстоювання в циліндрі з шаром води відповідно заданому ефекту освітлення **К** (табл. 3.8);

n – коефіцієнт, залежний від властивостей зависі (табл. 3.8).

Значення $\mathbf{(K \cdot H_1 / h)^n}$ для відстійників різних типів визначаємо з табл. 3.10.

Таблиця 3.10 - **Значення $\mathbf{(K \cdot H_1 / h)^n}$**

Висота відстійника, H_L, м	Тип відстійника			
	Вертикальний	Радіальний	Горизонтальний	З обертовими розподільними пристроями
1	-	-	-	1,14
1,5	-	1,08	1,11	1,27
2	1,11	1,16	1.19	-
3	1,21	1,29	1,32	-
4	1,29	1,35	1,41	-
5	-	1,46	1,5	-

Після визначення довжини та радіуса для горизонтальних і вертикальних відстійників необхідно перевірити фактичну швидкість $\mathbf{V_ф}$, м/с в проточній частині відстійника за формулами:

для горизонтального відстійника

$$\mathbf{V_ф = Q_г /(3{,}6 \cdot H_1 \cdot B)}, \qquad \textbf{(3.49)}$$

де **В** – ширина відстійника, приймається (2…5) **Н**, м

для радіального відстійника

$$\mathbf{V_ф = Q_г /(3{,}6 \cdot \pi \cdot R \cdot H_1)} \qquad \textbf{(3.50)}$$

В разі відмінності швидкості **V** і $\mathbf{V_ф}$ – уточнити величини $\mathbf{L_{вг}}$ і $\mathbf{R_в}$.

Основні розрахункові параметри відстійників необхідно приймати за табл. 3.11.

Таблиця 3.11 **- Основні розрахункові параметри відстійників**

Тип відстійника	Коефіцієнт використання об'єму **К**	Робоча глибина відстійника $\mathbf{H_1}$, м	Ширина **В**, м	Швидкість робочого потоку **V**, мм/с	Нахил дна до мулового приямка
Горизонтальний	0,5	1,5-4	2Н-5Н	5-10	0,005-0,5
Радіальний	0,45	1,5-5	-	5-10	0,005-0,5
Вертикальний	0,35	2,7-3,8	-	-	-
З обертовими збірно-розподільними пристроями	0,85	0,8-1,2	-	-	0,05-

Для відстійників з обертовими збірно-розподільними пристроями приймаємо: висоту нейтрального шару 0,5…0,6 м; глибину шару осаду 0,3…0,4 м; швидкість $\mathbf{V_T}$=0; пристрою для випорожнювання, згрібання і видалення осаду. Крім цього, враховується форма перегородки, яка розділяє розподільний і водоприймальний лоток. Форма цієї перегородки може бути виражена через змінну ширину $\mathbf{B_п}$ розподільного лотка

$$\mathbf{B_п = m \cdot \sqrt{R_п^2 - l_п^2}} \ , \qquad \textbf{(3.51)}$$

де **m** – 1/11; 1/12;

l – віддалення розрахункового отвору від центра відстійника;

$$\mathbf{R_п = 0{,}5 \cdot D_в - b_з}\ \textbf{, м} \qquad \textbf{(3.52)}$$

де **D** – діаметр відстійника, м;

$\mathbf{b_з}$ – зазор між стінкою і фермою ($\mathbf{b_з}$ = 0,1….0,15 м).

Кількість струменеспрямовних лопатей $\mathbf{n_п}$ визначається конструктивно при дотриманні такого співвідношення:

$$\mathbf{2 \cdot z_л - (2 \cdot n_п + 1) = L_п}$$

де $\mathbf{z_л}$ = 0,1…0,125 м.

Число лопатей $\mathbf{n_п}$ не треба приймати більше 24 шт.

Висота водозливу $\mathbf{h_{вз}}$ розраховується за формулою:

$$\mathbf{h_{вз} = 1{,}24 \cdot \frac{Q_в}{R_в^2}}\ \textbf{, м,} \qquad \textbf{(3.53)}$$

де **Q** – продуктивність відстійника, $м^3/г$;

$\mathbf{R_в}$ – радіус відстійника, м.

Період обертів **T**, с, водорозподільного пристрою знаходиться за формулою

$$\mathbf{T = \frac{1000 \cdot H_в \cdot K_в}{U_o}}. \qquad \textbf{(3.54)}$$

Приклад 3.11. Розрахувати відстійник з обертовим збірно-розподільним пристроєм для очищення міських стічних вод.

Дано: витрати стічних вод $Q_д$ = 80 000 $м^3$/доб, коефіцієнт нерівномірності $К_н$=1,2; початкова концентрація C_n = 300 мг/л; ефективність освітлення ε = 60%; розрахункова температура води 20˚С, густина осаду 2,6 $г/см^3$.

Рішення:

1. Задаються діаметром відстійника $D_в$=24 м, в якому висота відстоювання H_1=1 м.

2. При розрахунковій температурі стічної води 20˚С коефіцієнт α=1, $(K \cdot H_1 / h)^n$=1,14 (табл.3.9).

3. Для забезпечення необхідного ефекту освітлення ε = 60%, тривалість освітлення t=970 с при n=0,25 (табл.3.8), коефіцієнт К=0,85.

4. Знаходять гідравлічну крупність частинок завісі:

$$U_o = \frac{1000 \cdot K \cdot H_1}{\alpha \cdot t \cdot \left(\frac{K \cdot H_1}{h}\right)^n} = \frac{1000 \cdot 0{,}85 \cdot 1}{1 \cdot 970 \cdot 1{,}14} = 0{,}76 \text{ мм/с}.$$

5. Продуктивність одного відстійника

$$Q_г^{`} = 2{,}8 \cdot K \cdot (D_в^2 - d_{в.п.}^2) U_o = 2{,}8 \cdot 0{,}85 \cdot (24^2 - 1^2) \cdot 0{,}76 = 1040 \, м^3/г,$$

де $d_{в.п.}$ – діаметр впускного патрубка.

6. Знаходять період обертів водорозподільного пристрою

$$T = \frac{1000 \cdot H_в \cdot K_в}{U_o} = 1000 \cdot 1 \cdot 0{,}85 / 0{,}76 = 1118{,}4 = 18{,}6 \text{ хв}.$$

7.Обчислюють радіус розподільного лотка

$$R_п = 0{,}5 \cdot D - b_з = 0{,}5 \cdot 24 - 0{,}15 = 11{,}85 \text{ м}.$$

8. Розраховують ширину розподільного лотка і висоту водозливу.

Для зручності результати розрахунку зводимо в таблицю:

$\mathbf{R_п}$, м	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\mathbf{B_п}$, м	0,973	0,955	0,929	0,895	0,851	0,796	0,728	0,642	0,529	0,367	0,
$\mathbf{h_{вз}}$, м	0,030	0,039	0,047	0,055	0,062	0,069	0,075	0,081	0,087	0,093	0,097

9. Розраховують кількість відстійників, необхідних для очищення стічних вод

$$N = \frac{Q_д \cdot К_н}{24 \cdot Q_г'} = \frac{80000 \cdot 1,2}{24 \cdot 1040} = 3,85.$$

Встановлюють 4 відстійника.

10. Маса зловленого осаду за добу

$$\sigma_д = С_п \cdot \varepsilon \cdot К_н \cdot Q_д / 1000 \cdot 1000 = 300 \cdot 0,6 \cdot 1,2 \cdot 80000 / 1000 \cdot 1000 = 17,3 \text{ т/добу;}$$

за зміну $\sigma_з = \sigma_д / 3 = 17,3 / 3 = 5,76$ т/зміну.

11. Проектують пристрій для згрібання і видалення осаду. Доцільно осад вивантажувати 1 раз в зміну.

Приклад 3.12. Знайти розміри горизонтального відстійника для очищення виробничих вод.

Дано: витрати стічних вод $Q_д$ = 5000 м^3/добу, коефіцієнт годинної нерівномірності $К_н$=1,2, початкова концентрація завислих частинок $С_п$ = =1800 мг/л; кінцева концентрація $С_в$ =200 мг/л. Швидкість осадження завислих частинок в стані спокою характеризуються графіком (рис.3.13).

Вологість осаду Р = 75%, а густина його ρ=1,8 т/м^3.

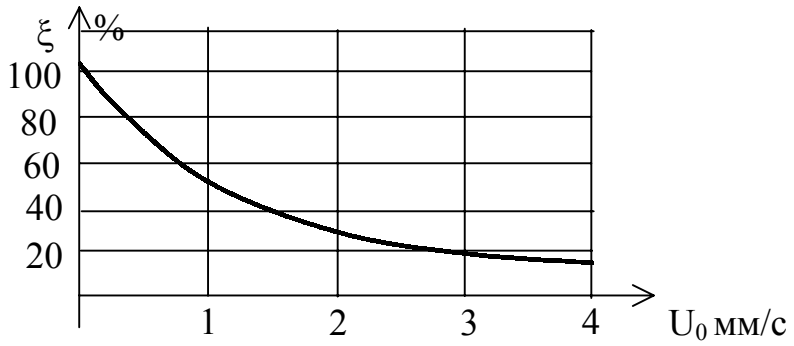


Рисунок 3.13 - **Співвідношення кількості частинок різної гідравлічної крупності**

Рішення:

1. Розрахункові витрати стічних вод на відстійник

$$Q_с = \frac{Q_д}{24 \cdot 3600} \cdot К_н = \frac{5000}{24 \cdot 3600} \cdot 1,2 = 0,069 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Приймають відстійник з двох відділень, тоді витрати на одне відділення

$$Q_с^1 = Q_с / 2 = 0,069 / 2 = 0,0345 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3. Необхідний ефект освітлення

$$\varepsilon = \frac{(С_п - С_в)}{С_п} \cdot 100 = \frac{1800 - 200}{1800} \cdot 100 = 89\%.$$

4.Приймаємо згідно з нормами проектування:

глибину проточної частини H_1=1,5 м;

швидкість стічної води в ній V_p=6 мм/с;

вертикальну складову швидкості руху води ω = 0,01 мм/с;

коефіцієнт К=0,5.

Тривалість відстоювання при n=0,4 і ефекті освітлення 89% , t=1530 с; коефіцієнт α при температурі стічної води 90˚С = 1.

5. Гідравлічна крупність частинок зависі

$$U_o = \frac{1000 \cdot K \cdot H_1}{\alpha \cdot t \cdot \left(\frac{K \cdot H_1}{h}\right)^n} = \frac{1000 \cdot 0{,}55 \cdot 1{,}5}{1 \cdot 1530 \cdot 1{,}11} = 0{,}44 \text{ мм/с.}$$

6. Довжина горизонтального відстійника

$$L_в = V_в \cdot H_1 / к \cdot U_o = 6 \cdot 1{,}5 / 0{,}5 \cdot 0{,}44 = 41 \text{ м.}$$

7. Ширина відділень відстійника

$$B_в = Q_c / n \cdot V \cdot H_1 = 0{,}069 / 2 \cdot 0{,}006 \cdot 1{,}5 = 3{,}8 \text{ м.}$$

Рекомендована ширина повинна бути (2…5)H_1. В даному випадку умова виконується, тобто B = 2,53H_1.

8. Первинні відстійники обладнують пристроями для механічного видалення осаду. Об'єм мулевої камери необхідно приймати за кількістю осаду, що випадає за 8 год.

Маса зловленого осаду за добу:

$$M = C_n \cdot \varepsilon \cdot к \cdot Q_д / 1000 \cdot 1000 = (1800 \cdot 0{,}89 \cdot 1{,}2 \cdot 500) / 1000 \cdot 1000 = 9{,}6 \text{ т/добу.}$$

де К – коефіцієнт, що враховує збільшення об'єму осаду за рахунок великих фракцій осаду (рівний 1,1…1,2).

За зміну: $M_{зм}$ = 9,6/3 = 3,2 т/зміну.

9. Об'єм осаду за 8 годин

$$W_з = 100 \cdot M_{зм} / (100 - P) \cdot \rho = 100 \cdot 3{,}2 / (100 - 75) \cdot 1{,}8 = 7 \text{ м}^3.$$

10. Для нагромадження осаду на початку споруди проектують бункер у вигляді перевернутої зрізаної піраміди з розмірами верхньої основи S_1 = 3х2 м, нижньої S_2 = 1х0,5 м. Висоту піраміди приймають h = 2,0 м. Об'єм одного відділення

$$V_в = 1/3 \cdot h \cdot (S_1 + \sqrt{S_1 \cdot S_2}) = 1/3 \cdot 2/3 \cdot 2 + \sqrt{3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0{,}5} + 1 \cdot 0{,}5 = 5{,}48 \text{ м}^3.$$

11. В основі відстійника також проектують ємність для нагромадження осаду. Висоту її в кінці споруди приймають 0.2 м. При нахилі дна L = 0,005 висота на початку споруди

$$h_{ос} = 0{,}2 + L_в \cdot 0{,}005 = 0{,}2 + 41 \cdot 0{,}005 = 0{,}4 \text{ м.}$$

12. Об'єм частини відділення для осаду в основі одного відділення

$$V_{ос} = B \cdot L \cdot (h_{ос} + 0{,}2) / 2 = 3{,}8 \cdot 42 \cdot (0{,}4 + 0{,}2) / 2 = 48{,}0 \text{ м}^3.$$

13. Загальний об'єм осадових частин одного відділення

$$V_з = V_в + V_{ос} = 5{,}18 + 48 = 53{,}18\ м^3.$$

14. Таким чином, осадові частини відстійника будуть заповнюватися за

$$2 \cdot V_з / W_з \cdot 3 = 2 \cdot 53{,}18 / 7 \cdot 3 = 5\ діб.$$

Враховуючи нерівномірність розподілення осаду по площі відстійника, його доцільно вивантажувати один раз на добу.

Приклад 3.13. Розрахувати вертикальний відстійник для очищення стічних вод.

Дано: витрати стічних вод $Q_д$ = 8000 м^3/добу, коефіцієнт годинної нерівномірності $К_н$=1,3, вміст завислих речовин у воді $С_п$ = 300 мг/л; необхідний коефіцієнт освітлення ε = 40%; коефіцієнт К=0,35; швидкість руху води в центральній трубі $V_{тр}$ = 15 мм/с; вологість осаду Р = 95%; густина його ρ=1 т/м^3.

Рішення:

1. Середні секундні витрати на відстійник

$$Q_с = \frac{Q_д}{t_{сдоб}} = \frac{8000}{24 \cdot 3600} = 0{,}092\ м^3/с.$$

2. Максимальні секундні витрати з урахуванням коефіцієнта нерівномірності

$$Q_{смакс} = Q_с \cdot К_н = 0{,}092 \cdot 1{,}3 = 0{,}12\ м^3/с.$$

3. Розрахункова висота зони осаджування H_1=2,8 м.

4. При середній місячній температурі стічних вод 10˚С коефіцієнт α=1,3, тоді $(K \cdot H_1 / h)^n$=1,19 (табл.3.9).

5. Для забезпечення ефекту освітлення води ε = 40% тривалість відстоювання t = 450 с при n = 0,25 (табл.3.8).

6. Гідравлічна крупність частинок зависі:

$$U_o = \frac{1000 \cdot K \cdot H_1}{\alpha \cdot t \cdot \left(\frac{K \cdot H_1}{h}\right)^n} = \frac{1000 \cdot 0{,}35 \cdot 2{,}8}{1{,}3 \cdot 450 \cdot 1{,}19} = 1{,}4\ мм/с.$$

7. Приймають 6 секцій відстійника. Площа однієї секції

$$F_с = Q_{смакс} / n \cdot K \cdot U_o + Q_{смакс} / n \cdot V_{тр} = 0{,}12/6 \cdot 0{,}35 \cdot 0{,}0014 + 0{,}12/6 \cdot 0{,}03 = 41{,}5 м^2$$

(друга складова – площа центральної трубки $f_{ц.тр.}$).

8. Діаметр секції $D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 41{,}5}{3{,}14}} = 7{,}25$ м.

9. Діаметр центральної труби

$$d_{ц.тр} = \sqrt{\frac{4 \cdot f_{ц.тр}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.66}{3{,}14}} = 0{,}91 м.$$

Тоді діаметр розтруба $d_р = d_{ц.тр} \cdot 1{,}35 = 0{,}91 \cdot 1{,}35 = 1{,}23$ м.

10. Висота щілини $h_щ$ між нижньою кромкою центральної труби і поверхнею відбивного щита при швидкості руху в ній $V_щ$=0,02 м/с .

$$h_щ = Q_{смакс} / n \cdot \pi \cdot d_р \cdot V_щ = 0{,}12 / 6 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}23 \cdot 0{,}02 = 0{,}26 \text{ м}.$$

11. Висоту шару між низом відбивного щита і поверхнею осаду приймають $h_{ос} = 0{,}3$ м. Загальна висота циліндричної частини при висоті борту відстійника $h_{борт} = 0{,}5$ м.

$$H_ц = H_1 + h_щ + h_{ос} + h_{борт} = 2{,}8 + 0{,}26 + 0{,}3 + 0{,}5 = 3{,}86 \text{ м}.$$

12. Кут нахилу стінок конусної частини до горизонту приймають 60˚. Тоді висота конусної частини

$$h_к = \sqrt{D^2 - D^2 / 4} = D \cdot \sqrt{3} / 2 = 7{,}25 \cdot \sqrt{3} / 2 = 6{,}3 \text{ м}.$$

13. Об'єм конусної частини

$$V_{кон} = 1/3 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot h_к = 1/3 \cdot 3{,}14 \cdot \frac{7{,}25^2}{2} \cdot 6{,}3 = 86{,}6 \text{ м}^3.$$

14. Маса затриманого осаду за добу

$$M = C_п \cdot \varepsilon \cdot К \cdot Q_д / 1000 \cdot 1000 = 300 \cdot 0{,}4 \cdot 1{,}2 \cdot 8000 / 1000 \cdot 1000 = 1{,}15 \text{ т}.$$

15. Об'єм уловлюваного осаду всіма секціями відстійника

$$W = \frac{100 \cdot M}{(100 - P) \cdot \rho} = \frac{100 \cdot 1{,}15}{(100 - 95) \cdot 1} = 23 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

16. Осадова частина відстійників буде заповнюватися осадом за

$$t = n \cdot V_{кон} / W = 6 \cdot 95{,}7 / 23 = 25 \text{ діб}.$$

Для попередження загнивання осаду його необхідно вивантажувати не рідше одного разу за дві доби.

Приклад 3.14. Запроектувати типові радіальні відстійники для очищення стічних вод.

Дано: витрати стічних вод $Q_д$ = 120 000 м^3/добу, вміст завислих речовин у стічній воді C_n = 180 мг/л, в освітленій воді $C_в$ = 100 мг/л. Годинний коефіцієнт нерівномірності $К_н$ = 1,47.

Рішення:

1. Необхідний коефіцієнт освітлення

$$\varepsilon = (C_n - C_в) \cdot 100 / C_n = (180 - 100) \cdot 100 / 180 = 44{,}4 \text{ \%}.$$

2. Максимальні секундні витрати стічних вод на очисну станцію

$$Q_{смакс} = (Q_с \cdot К_н) / 24 \cdot 3600 = (120000 \cdot 1{,}47) / 24 \cdot 3600 = 2{,}042 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3. Приймаємо висоту проточної частини відстійника H_1 = 3,0 м, середню швидкість руху води на половині радіусу $V_{ср}$ = 8 мм/с. Вертикальна турбулентна складова швидкості руху стічних вод $\omega_в$ = 0,03 мм/с. При серед-

ньомісячній температурі стічних вод 10˚С коефіцієнт α = 1,3, при глибині проточної частини H_1 = 3,0 м, тоді $(K \cdot H_1 / h)^n$=1,29 (табл.3.10). Для забезпечення необхідного ефекту освітлення тривалість відстоювання t = 800 с при n = 0,25 (табл.3.8). Коефіцієнт К = 0,45.

4. Гідравлічна крупність частинок зависі

$$U_o = \frac{1000 \cdot K \cdot H_1}{\alpha \cdot t \cdot \left(\frac{K \cdot H_1}{h}\right)^n} = \frac{1000 \cdot 0{,}45 \cdot 3}{1{,}3 \cdot 800 \cdot 1{,}29} = 1{,}006 \text{ мм/с.}$$

5. Необхідний об'єм зони відстоювання очисної станції

$$V_c = \frac{H_1 \cdot Q_{смакс}}{к \cdot (U_o - \omega_в)} = \frac{3 \cdot 2{,}042}{0{,}45 \cdot (0{,}001006 - 0{,}00003)} = 13934 \text{ м}^3.$$

6. Приймаємо 10 відстійників з розмірами: D = 24 м; глибина відстійника з осадовою частиною біля зовнішньої стінки $H_г$ = 3,4 м; глибина проточної частини $H`_1$ = 3,1 м; об'єм зони відстоювання Vв = 1400 м^3; об'єм зони для накопичення осаду 210 м^3.

7. Теоретична тривалість освітлення води при максимальних витратах

$$t = n \cdot V_в / Q_{смакс} = 10 \cdot 1400 / 2{,}042 = 685 \text{ с} = 1{,}9 \text{ г.}$$

3.7 Хімічне очищення вод

При вмісті у стоках мінеральної солі, кислот, лугу, оксидів в концентраціях, що перевищують ГДК, необхідна нейтралізація стоків. Для видалення таких домішок застосовують в основному хімічні методи очищення шляхом введення в очищувану воду хімічних реагентів. Реагенти підбираються так, щоб у результаті хімічної реакції утворювались нерозчинні сполуки (з випадом в осад твердих частинок і видаленням в атмосферу утворених газів) чи токсичні іони перетворювались у малотоксичні речовини (наприклад, ціаніди у фероціаніди), або проходили процеси нейтралізації водневих і гідроксильних іонів. З хімічних методів обробки стічних вод найбільш поширені два види:

- нейтралізація кислотності або лужності води з доведенням показника pH до значень, близьких до 7. Це досягається додаванням у стічну воду, відповідно, лугу чи кислоти, наприклад

$$\mathbf{H_2SO_4 + Ca(OH)_2 = CaSO_4 + 2H_2 0} \qquad \textbf{(3.55)}$$

Витрати реагенту (у даному випадку $\mathbf{Ca(OH)_2}$) можна визначити за формулою

$$\mathbf{Q_p = C \cdot (M_g / M_p)}, \qquad \textbf{(3.56)}$$

де **С** – концентрація домішок у воді, кг/м^3;

$\mathbf{M_g}$ **і** $\mathbf{M_p}$ – відповідно, молекулярна маса домішки і реагенту, кг/моль;

- пом'якшення води методом катіонного обміну, який оснований на здатності деяких твердих нерозчинних речовин обмінювати катіони (Na^+, H^+), що входять до їх складу, на вміщені у воді катіони кальцію і магнію і таким чином виводити їх із розчину. Ці речовини називаються катіонітами. Пом'якшення води може йти, наприклад, за реакцією

$$CaSO_4 + 2NaR^K \Leftrightarrow CaR_2 + Na_2SO_4 \qquad (3.57)$$

де символом R^K позначений складний радикал катіоніта, який не піддається розчиненню у воді і виконує роль аніона. Найбільш поширеним катіонітом є сульфовугілля. З часом катіонітові фільтри потребують регенерації.

3.7.1 Фізико-хімічні, електротехнічні і біохімічні методи очищення стічних вод

Фізико-хімічні методи найбільш поширені при очищенні промислових стоків. При цьому використовуються методи флотації та екстракції .

Флотація використовується для видалення або добування із стічних вод нерозчинних, погано відстоюваних домішок (жирів, масел, смол, нафтопродуктів, гідрооксидів важких металів і ін.). Цим методом очищають стічні води підприємств целюлозно-паперової, машинобудівної, нафтопереробної, хімічної, харчової промисловості.

Основні переваги флотації: безперервність, висока швидкість і простота процесу; широкий діапазон її використання; високий ступінь очищення (до 98%); порівняно невеликі капітальні та експлуатаційні витрати. В основі процесів флотації лежить злипання частинок забруднювача з бульбашками тонкодиспергованого у воді повітря. Активізація цього процесу може бути досягнута введенням в очищувані стічні води реагентів-піноутворювачів. У залежності від способу обробки стічних вод і прийнятого методу утворення бульбашок розрізняють два основних види флотації: з виділенням повітря із розчину і механічне диспергування повітря; флотація з механічним диспергуванням повітря. Перший метод застосовується для очищення стічних вод з малими частинками забруднювача (шляхом утворення в них перенасиченого розчину повітря у воді). Другий метод виконується турбінами насосного типу (імпеллерами), які являють собою диск діаметром 600…700 мм. При його обертанні у розчині утворюється велика кількість вихрових потоків, складених із мілких повітряних бульбашок з частинками забруднювача; чим більша швидкість обертання, тим менші розміри такої бульбашки і тим вище ефективність очищення.

У практиці очищення стоків застосовується також хімічна флотація, коли у стічну воду для її обробки вводять реагенти (хлорне вапно з коагуляторами і ін.). При цьому виділяються гази (O_2, CO_2, Cl_2); газові бульбашки прилипають до нерозчинених змулених частинок забруднювача і виносять їх у пінний шар.

Для видалення із стічних вод іонів рідких металів застосовується іонна флотація: у стічну воду (у флотаційній камері) вводять бульбашки повітря і речовину-збирач (поверхнево-активні речовини – ПАР), який утворює іони, маючи заряд, протилежний заряду виділюваного іона (металу). Піна руйнується і з неї видаляються сконцентровані іони металу.

При очищенні побутових стічних вод для ущільнювання осаду із первинних відстійників застосовують біологічну флотацію. При цьому осад, який знаходиться у спеціальній ємності, підігрівається паром до 35…55°С декілька діб і в результаті діяльності мікроорганізмів з нього виділяються бульбашки газів, котрі виносять частинки осаду у пінний шар, де вони ущільнюються і знешкоджуються. За 5…6 діб досягається зниження вологості осаду на 80% і цим значно спрощується його обробка.

Адсорбційне очищення широко застосовується для глибокого очищення стічних вод від розчинених органічних речовин (як друга стадія після біохімічного очищення). Найчастіше цей метод застосовується для очищення стоків від фенолів, пестицидів, барвників, ПАР і ін. У ролі адсорбентів використовують вугілля, золу, шлаки, тирсу і ін. Мілкозернисті адсорбенти мають розміри частинок 0,25…0,40 мм, а високодисперсне вугілля – менше 40 мкм. Ефективність адсорбційного очищення досягає 80...95%. Процес очищення йде при інтенсивному змішуванні адсорбенту з водою при фільтруванні води через шар адсорбенту.

Іонообмінне очищення застосовується для видалення зі стічної води металів, сполук миш’яку, фосфору, ціаністих сполук і радіоактивних речовин. В основі процесу очищення лежить взаємодія розчину з твердою фазою, яка має властивості обмінювати вміщені у ній іони на інші іони, котрі є у розчині. Речовини, що складають тверду фазу (іоніти), практично нерозчинні у воді. Використовують як природні іоніти (польові шпати і ін.), так і одержані штучно (смоли). Робочий цикл процесу включає чотири стадії: іонообмін, відмивання іоніту від механічних домішок, регенерація розчину і відмивання іоніту від регенерувального розчину.

Екстракція – спосіб очищення, при якому стічну воду змішують з органічним розчинником, екстрагентом – речовиною, у якій розчиняється основна маса забруднювача (наприклад, для вловлювання фенолу додають у стоки бензол). Густина екстрагента менша густини стоку і в результаті цього при подачі знизу він, підіймаючись вверх по стічній рідині, з’єднується з забруднювачем і вилучається, а очищена від забруднення рідина відводиться знизу.

Зворотний осмос, гіпофільтрація і ультрафільтрація – це процеси фільтрування розчинів через напівпроникні мембрани, пори яких пропускають молекули води, але є непроникними для солей і молекул органічних сполук. Ці методи широко використовуються дня знесолення води у системах водопідготовки ТЕЦ, очищення промислових і міських стічних вод. Процес очищення проходить на базі тонких плівок-мембран, виготовлених із полімерних матеріалів (ацетатцелюлози, пористого скла, поліетилену і ін.).

Для очищення стічних вод від газів, що погано пахнуть, (аміаку, сірководню й ін.) застосовують метод аерації, тобто продування через них повітря в апаратах різної конструкції. Найбільш поширеною є конструкція дезодоратора у вигляді тарілчастої колони каскадного типу. Стічна вода розтікається у вигляді плівки по тарілках, що на них проходить її контакт з повітрям, яке потім разом з вилученою речовиною (забруднювачем) подається у насадкову колону, зрошувану розчином лугу.

Біохімічні методи очищення промислових і господарчо-побутових стоків основані на здатності мікроорганізмів використовувати розчинені в них органічні речовини і деякі неорганічні (наприклад, $\mathbf{H_2S}$, $\mathbf{NH_3}$ і др.) для живлення у своїй життєдіяльності (органічні речовини є для них джерелом вуглецю). Основною характеристикою стічних вод при біохімічному очищенні є показник БПК (біохімічна потреба у кисні), тобто його кількість, витрачена при біохімічних процесах окислення органічних речовин за означений проміжок часу (2, 5, 6, 10, 20 діб) в мг $\mathbf{O_2}$ на одиницю речовини (наприклад, $БПК_5$ – біохімічна потреба кисню за 5 діб).

Застосовуються два методи біохімічного очищення:

- аеробний, оснований на використанні аеробних груп мікроорганізмів (для їх життєдіяльності необхідний постійний приплив кисню і температура 20...40° С), які культивуються в активному мулі або біоплівці;
- анаеробний, який протікає без доступу кисню (використовується для знешкодження осадів).

Активний мул складається із живих організмів (бактерії, черв'яки, комахи й ін.) і твердого субстрату, який в загальній масі активного мулу сягає до 40% і являє собою залишки водорості та водних організмів. Кількість мулу визначається швидкістю його осадження і ступенем очищуваної рідини. Біоплівка росте на наповнювачі біофільтра, має вигляд слизових відкладень товщиною 1...3 мм і складається з бактерій, грибків, дріжджів і інших організмів. Вона виконує ті ж функції, що і активний мул, тобто адсорбує і переробляє органічні речовини, які знаходяться у стічних водах.

Аеробні процеси біохімічного очищення стічних вод можуть протікати як у природних умовах (на полях зрошення і фільтрації, біологічних ставах), так і в штучних спорудах – аеротенках і біофільтрах, де вони протікають значно швидше.

Поля зрошення – спеціально підготовлені земельні ділянки, які використовуються одночасно для агрокультурних цілей і очищення стоків (під дією сонця, повітря, життєдіяльності рослин і ґрунтової мікрофлори).

Біологічні стави – це 3…5-ступеневий каскад ставів, через які повільно протікає попередньо очищена від деяких забруднювачів стічна вода; вони забезпечують кінцеве біоочищення і загальне доочищення стоків у комплексі з іншими очисними спорудами.

Аеротенки – залізобетонні відкриті резервуари, обладнані пристроями для примусової аерації, через які повільно протікає аерована суміш стічної

води і активного мулу. Аерація забезпечує насичення води киснем і підтримку мулу у змуленому стані. Схема установки наведена на рис. 3.14. Стічна вода проходить через первинний відстійник 1, де осідають змулені частинки**,** і направляється у передаератор-підсилювач 2; сюди ж подається частина надлишкового мулу із вторинного відстійника 5.

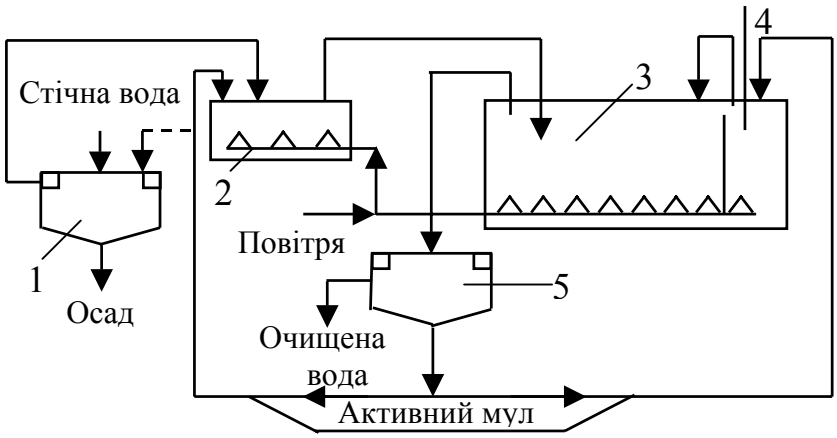


Рисунок 3.14 - **Схема біологічного очищення стічних вод в аеротенку:**
1 - первинний відстійник; 2 - передаератор-підсилювач; 3 - аеротенк;
4 - регенератор; 5 - вторинний відстійник

Від підсилювача вода надходить в аеротенк 3, через який проходить циркуляція активного мулу і де проходить два етапи біохімічних процесів: адсорбція поверхнею мулу органічних речовин (забруднювача), їх окислення і регенерація мулу. У регенераторі аеротенка, який займає 25% його об'єму, очищаються більш концентровані стічні води. Потім стічна вода з мулом надходить у вторинний відстійник, де мул відділяється від води. Більша частина його повертається в аеротенк, а надлишок повертається у передаератор.

Біофільтри являють собою цегельні або залізобетонні споруди круглої, квадратної, прямокутної або восьмикутної форми, у корпусі яких розміщене фільтрувальне завантаження. Вони обладнуються розподільними пристроями для стічної води і повітря, забезпечуючи рівномірне зрошення завантаження. Через днище, обладнане дренажем, відводиться очищена вода і надходить необхідне для окислювального процесу повітря. Матеріалом фільтрувального завантаження (звичайно покритого плівкою із мікроорганізмів) є кам'яне вугілля, кокс, гравій, щебінь, керамзит, котельний шлак.

Процес очищення з допомогою біофільтрів полягає у тому, що просвітлена у первинних відстійниках вода надходить (самопливом або під напором) у розподільні пристрої, які періодично випускають воду на поверхню біофільтра. Проходячи через завантаження біофільтра, забруднена вода залишає у ній змулені і колоїдні органічні речовини, які утворюють біоплівку, густо населену мікроорганізмами, окислювальні органічні речовини, використовуючи їх як джерело живлення і енергії. Таким чином, із стічних

вод видаляються органічні речовини і у біофільтрі збільшується маса активної біологічної плівки. Відпрацьована плівка вимивається проточною стічною водою і виноситься за границі біофільтра. Після проходження біофільтра вода через дренажні отвори у його дні надходить на друге суцільне дно і по відвідних лотках стікає у вторинні відстійники, де від очищеної води відділяється плівка. Ступінь очищення у біофільтрі дуже високий і сягає за БПК 90% і більше.

Для інтенсифікації окислювальних процесів використовуються аеробіофільтри, у яких застосовується інтенсивне продування знизу вгору повітрям, що значно підвищує ефективність і продуктивність даного процесу. Ще більш ефективним засобом є застосування для аерації стічних вод технічного кисню. Цей процес проводять у закритих апаратах (окситенках) і називається він біоосадженням.

Електрохімічні методи очищення стічних вод основані на пропусканні через них постійного електричного струму високої напруги при подачі його через занурені у воду електроди. При цьому речовини, які знаходяться у воді, повністю розкладаються з виділенням $\mathbf{CO_2}$ і води або утворюються більш прості і нетоксичні (їх можна видалити іншим методом). Як аноди використовують електролітично нерозчинні матеріали (графіт, магнетит і ін.), а катодів – молібден, нержавіючу сталь і інші метали. Для підвищення електропровідності вод і зниження витрат електроенергії до стічної води додають кухонну сіль.

Електрокоагуляція застосовується для очищення стічних вод при малому вмісту колоїдних частинок і низькій стійкості забруднень, а також тоді, коли стічні води вміщують високостійкі забруднення.

Електрофлотація використовується для очищення стічних вод від замулених частинок і проводиться за допомогою бульбашок газу, які утворюються при електролізі води: на аноді бульбашки кисню, на катоді – водню. При малих об'ємах очищуваних стічних вод (до 15 $м^3$/год) установки мають одну камеру, а при більших – дві камери.

Електродіаліз широко застосовується для опріснення солоних вод і оснований на розділенні іонізованих речовин під дією електрорушійної сили, яка утворюється у розчині по обидва боки спеціальних мембран, які ділять об'єм електродіалізатора на три камери (в середню заливають розчин, а у бокові, де розміщені електроди, - чисту воду).

Охорона підземних вод полягає у забезпеченні їх раціонального використання, усуненні джерел забруднення, перехваті забруднених вод захисним водозабором, відкачуванні забруднених підземних вод.

Для збереження річок необхідні охоронні зони, у яких встановлюється спеціальний режим усунення забруднення, замулення тощо. В залежності від довжини річки ширина водоохоронної зони встановлюється 100… 300 м. У ній забороняється використання мінеральних добрив і отрутохімікатів, скид стічних вод і сміття, будівництво підприємств. Для річок повинен бути водогосподарський паспорт.

3.8 Нормування і основні положення контролю забруднення водних об'єктів

Згідно з нормативними документами про охорону вод всі водні об’єкти (річки, озера, стави, штучні канали, водоймища) діляться на категорії в залежності від характеру їх використання:

I - господарсько-питного водопостачання населення і підприємств харчової промисловості;

II - культурно-побутового призначення (для купання, спорту і відпочинку населення);

III - рибогосподарського призначення, для збережених і відтворення цінних видів риб, які мають високу чутливість до кисню;

IV - рибогосподарського призначення для інших видів риб.

Для кожної із цих категорій встановлені відповідні нормативи на якість води у місцях водокористування.

Водні об’єкти вважаються забрудненими, якщо показники складу і властивості води у них змінились під прямим або непрямим впливом виробничої діяльності і побутового використання населенням і стали повністю або частково непридатними для одного із видів водокористування. Критеріями забрудненості води є зміна її органолептичних властивостей (кольору, запаху, присмаку) і поява в ній шкідливих для людини і інших живих організмів речовин, а також - підвищення її температури до таких значень, коли це змінює умови для нормальної життєдіяльності організмів.

Правилами і Нормами визначені випадки, коли у водоймище (або водотік) забороняється скид стічних вод. Так, заборонені скиди стічних вод у водні об’єкти, об’явлені заповідними. Забороняється також скид стічних вод, якщо в них в цінні відходи, сировина, напівпродукти і продукти виробництва у кількостях, які перевищують нормативи технологічних втрат. Заборонений скид стічних вод і в тих випадках, коли за рахунок раціоналізації виробництва, утворення схем безвідходної (маловідходної) технології ці скиди можуть бути ліквідовані.

Якість води прісноводних об'єктів у місцях водокористування повинна відповідати таким основним вимогам:

3.8.1 Вміст змулених речовин і плаваючих домішок

Промислові і господарчо-побутові стоки не повинні збільшувати природну концентрацію змулених речовин у воді більше, ніж на 0,25 мг/л для водних об’єктів I і III категорій і на 0,75 мг/л для II і IV категорій. Забороняються скиди завісі (суспензії) із швидкістю випадання в осад більше 0,2 мм/с (для водосховищ) і більше 0,4 мм/с (для проточних водоймищ). На поверхні водоймища не повинні з’являтися плаваючі плівки і плями нафтопродуктів та інших домішок.

3.8.2 Органолептичні характеристики

Вода не повинна переймати від стоків запахи, присмаки і забарвлення зверх допустимої інтенсивності і передавати їх м'ясу риб.

3.8.3 Температура

У результаті скидання гарячих стоків вода у водних об'єктах I і II категорій не повинна нагріватися більше ніж на 3°С в порівнянні із середньомісячною температурою води найжаркішого місяця року за останні 10 років. Для водойм III і IV категорій встановлюється не тільки перевищення температури над природною, але і максимальне її значення у залежності від виду риб, які вирощуються у водоймищі.

3.8.4 Вміст розчиненого кисню і біохімічна потреба у кисні

У пробі, відібраній до 12 год. дня, вміст розчиненого кисню не повинен бути для водоймищ I і II категорій менше 4 мг/л у будь-який період року. Для водоймищ III і IV категорій ця цифра не повинна бути менше 6 мг/л, і лише у зимовий період для водоймищ IV категорії допускається її зниження до 4 мг/л. Біохімічна потреба води у кисні (БПК) як показник забруднення водоймища органічними забруднювачами не повинна перевищувати для водоймищ I, III і IV категорій 3 мг/л і для II категорії 6 мг/л.

3.8.5 Кислотно-лужна реакція

Для всіх чотирьох категорій водоймищ показник pH не повинен виходити за межі значень 6,5...8,5.

3.8.6 Мінеральний склад

Для водоймищ I категорії мінералізація за сухим залишком не повинна перевищувати 1000 мг/л, у тому числі хлоридів 350 кг/л і сульфатів 500 мг/л. Для II, Ш і IV категорій водоймищ даний показник не нормується.

3.8.7 Вміст хворобонебезпечних мікроорганізмів

У водоймищах I і II категорій вода не повинна вміщувати збудників захворювань. Стічні води, в яких є хворобонебезпечні мікроорганізми, повинні піддаватися знезаражуванню після відповідного очищення.

3.8.8 Вміст токсичних речовин

Даний показник нормується ГДК, розроблених у двох варіантах, - гігієнічні (для водоймищ I і II категорій) і рибогосподарські (для III і IV категорій). Гігієнічні ГДК базуються на підпорогових концентраціях речовин, при яких не спостерігається скільки-небудь помітної зміни функціонального стану організму людини, яка визначається сучасними методами. Рибогосподарські ГДК – це такі концентрації шкідливих речовин, які за умови їх постійної наявності у воді водного об'єкта не викликають загибелі риб і їх кормових організмів, не погіршують товарних якостей риби, не

обумовлюють поступову заміну одних (більш цінних) на інші (менш цінні) породи риб і їх кормових організмів, тобто не погіршують рибогосподарської цінності водного об'єкта.

Якщо у водний об'єкт одночасно надходять декілька речовин з однаковим лімітним показником шкідливості (речовини однонаправленої дії), то повинна виконуватися умова

$$\sum_{i=1}^{n} C_i/(ГДК)_i \le 1, \qquad (3.58)$$

де C_i – фактична концентрація **i**-ої речовини у контрольному створі, мг/л;

$(ГДК)_i$ - граничнодопустима концентрація тієї ж **i**-ої речовини, мг/л.

Вимоги до умов скидання стічних вод у водні об'єкти поширюються на всі випуски промислових і господарсько-побутових стічних вод. Контроль якості води полягає у перевірці виконання встановлених норм за показниками, які офіційно затверджені для даного підприємства (організації).

При порушенні нормативних законодавств з охорони і використання водних ресурсів на винних посадових осіб накладаються штрафи, вживаються інші заходи адміністративного, дисциплінарного, матеріального і кримінального характеру відповідальності.

3.9 Приклади розрахунку очищення стічних вод

Приклад 3.15. Визначити необхідний ступінь очищення стічних вод, якщо відомо витрати вод річки $Q_в = 20$ м^3/с, в яку скидаються стічні води в кількості $q_в = 0{,}4$ м^3/с; концентрація завислих речовин в стічних водах C_n=250 мг/л; ділянка водоймища, в яке скидаються стічні води, відноситься до II категорії питного і культурно-побутового водокористування; концентрація завислих речовин в річці до спускання стічних вод С=5 мг/л; коефіцієнт змішування $\alpha = 0{,}75$.

Рішення:

1. Для даної ділянки водоймища допустиме збільшення вмісту завислих речовин Р = 0,75 мг/л.

2. Знаходимо граничнодопустимий вміст завислих речовин в стічних водах:

$$m = C \cdot \left(\frac{a \cdot Q_в}{q_в} \right) + C = 0{,}75/0{,}75 \cdot 20(0{,}4 + 1) + 5 = 33{,}875 \text{ мг/л}.$$

3. Розраховуємо необхідний ступінь очищення стічних вод

$$\varepsilon = (C_n - 100) \cdot 100/C_n = (250 - 33{,}875) \cdot 100/250 = 86{,}45\%.$$

Приклад 3.16. Витрати води в річці рівні $Q_b = 60$ м^3/с, кількість стічних вод, які надходять в річку, - $q_b = 2$ м^3/с. Коефіцієнт зміщування а = 0,4. Вміст розчиненого кисню в природній воді до місця скидання стічних вод $O_p = 8{,}5$ мг/л. Визначити, який ступінь очищення стічних вод за вмістом

розчиненого кисню, якщо $БПК_{ПОВН.}$ стічної води $L_n = 380$ мг/л, а $БПК_{ПОВН.}$ в розрахунковому створі $L^p_{повн.} = 3$ мг/л.

Рішення:

1. Розрахунковий створ водоймища за видом водокористування відноситься до джерел для питних і культурно-побутових цілей II категорії, тому ГДК розчиненого кисню розраховується за формулою

$$L_{ст} = \frac{a \cdot Q_b}{0{,}4 \cdot q_b}\left(O_p - 0{,}4 \cdot L_p - O\right) + \frac{O}{0{,}4} = \frac{0{,}4 \cdot 60}{0{,}4 \cdot 2}(8{,}5 - 0{,}4 \cdot 3 - 4) - \frac{4}{0{,}4} = 89\ мг/л$$

2. Знаходимо необхідний ступінь очищення стічних вод

$\varepsilon = (C_n - m) \cdot 100 / C = (380 - 89) \cdot 100 / 380 = 76{,}6\%$.

Приклад 3.17. Яка повинна бути температура стічних вод перед скиданням у водоймище, якщо максимальна літня температура природної води до місця скидання стічної рівна $T_{МАКС.}$=17˚С, а кратність розбавлення стоків n = 20?

Рішення:

Температура стічної води, яка скидається у водоймище, повинна бути

$$T_{ст} \le n \cdot T_{доп} + T_{макс} = 20 \cdot 3 + 17 = 77\,^{\circ}C.$$

Приклад 3.18. Визначити концентрації забруднень в побутових стічних водах при нормі водовідведення $q_д$ = 250 л на одну людину за добу.

Рішення:

Розрахунки у даному прикладі і далі проводимо згідно з відповідними рекомендаціями .

Підставляючи в формулу

$$L_{20} = \frac{q_ж \cdot 1000}{q_д}$$

норми забруднюючих воду речовин на одного жителя одержуємо такі концентрації забруднень, мг/л ($г/м^3$).

Показник	$q_ж$, г/добу
Завислі речовини	260
$БПК_{ПОВН.}$ неосвітленої води	300
$БПК_{ПОВН.}$ освітленої води	160
Азоталюмінієві солі	32
Фосфати P_2O_5	13,2
Хлориди С	36
Поверхнево-активні речовини (ПАР)	10

Стічна вода з концентрацією завислих речовин і $БПК_{ПОВН.}$ більше 250 г/л може бути віднесена до розряду концентрованих стоків.

Приклад 3.19. Розрахувати граничнодопустиме скидання (ГДС) стічних вод промислового підприємства у водоймище першої категорії з такими вихідними даними:

- концентрація змулених речовин у річці за виміром СБС до скидання стічних вод $C_з = 42$ мг/л (42 мг/дм^3);
- фактична концентрація змулених речовин у стічних водах $C_{ст} = 33$ мг/л (33 мг/дм^3);
- кількість стічної води підприємства $q_в = 18{,}75$ м^3/год;
- повна біохімічна потреба води у кисню $БПК_п$=250 мг O_2/л (250 мг/дм^3);
- мінеральний склад стічної води за сухим залишком $C_{м.з.}$=1300 мг/л, у тому числі за хлоридами $C_{хл}$=470 мг/л, за сульфатами $C_{сф}$=370 мг/л.

Рішення:

1. Визначаємо ГДК змулених речовин у стічній воді:

а) для водоймищ I категорії $C_{ст} \le C_з + 0{,}25$ (мг/л);

б) для водоймищ II категорії $C_т \le C_з + 0{,}75$ (мг/л);

в) для всіх видів водокористування, якщо у водному об'єкті є більше 30 мг/л природних мінеральних змулених речовин, $C_{ст} \le 1{,}05 \cdot C_з$ (мг/л).

У даному випадку водний об'єкт I категорії:

$$C_{ст} \le C_з + 0{,}25 = 42 + 0{,}25 = 42{,}25 \text{ мг/л} = 42{,}25 \text{ г/м}^3.$$

2. Оскільки замірена концентрація змулених речовин у водоймищі ($C_з$=42 мг/л) більша фактичної концентрації змулених речовин у стічній воді ($C_{ст}$=33 мг/л), визначаємо ГДС для змулених речовин за фактичним складом:

$$ГДС_з = q_в \cdot C_{ст} = 18{,}75 \cdot 33 = 618{,}75 \text{ г/год}$$

$$\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \cdot \frac{\text{г}}{\text{м}^3} = \frac{\text{г}}{\text{год}}$$

3. У стічній воді мінеральний склад за сухим залишком $C_{м.з.}$= = 1300 мг/л при $C_{ГДК}$ = 1000 мг/л і за хлоридами $C_{ХЛ}$ = 470 мг/л при $C_{ГДК}$ = = 350 мг/л перевищує допустимі норми, а за сульфатами $C_{СФ}$ = 370 мг/л при $C_{ГДК}$ = 500 мг/л менше допустимої норми, тому ГДС розраховуємо за меншими величинами:

$$ГДС_{м.з.} = q_в \cdot C_{ст} = 18{,}75 \cdot 1000 = 18750 \text{ г/год};$$

$$ГДС_{хл} = q_в \cdot C_{ст} = 18{,}75 \cdot 350 = 6462{,}8 \text{ г/год};$$

$$ГДС_{сф} = q_в \cdot C_{ст} = 18{,}75 \cdot 370 = 6937{,}5 \text{ г/год}.$$

4. Розраховуємо ГДС за $БПК_П$:

$БПК_{ПОВНА}$ у стічній воді не повинен перевищувати для водоймищ I категорії 3 мг O_2/л, а фактично складає 250 мг/л, тобто розрахунок ГДС ведеться за ГДК:

$$ГДС_{БПК_П} = q_в \cdot C_{ст} = 18{,}75 \cdot 3 = 56{,}25 \text{ г/год.}$$

Таке значне зменшення скидання стічних вод за $БПК_п$ можливе тільки при обладнанні локального очищення стічних вод.

Приклад 3.20. Скид стічних вод промислового підприємства передбачається у межах населеного пункту у річку, яка використовується для нецентралізованого господарсько-питного водопостачання. Розрахувати ГДС за забруднювальними викидами у стічній воді шкідливих речовин (заліза, нікелю, хрому) при таких вихідних даних:

- кількість стічних вод $q_в$=2,4 м^3/год;
- вміст змулених речовин $C_з$=20 мг/л;
- показник $БПК_п$=52 мг/л;
- мінеральний склад стічної води за сухим залишком $C_{С.З.}$=272 мг/л, у тому числі за хлоридами $C_{ХЛ}$=80 мг/л, за сульфатами $C_{СФ}$=177 мг/л, залізом C_{Fe}=1,2 мг/л, нікелем C_{Ni}=22,2 мг/л і хромом C_{Cr}=2,4 мг/л.

Рішення:

1. Розрахуємо ГДС за фактичним складом змулених речовин у стічній воді:

$$ГДС_з = q_в \cdot C_з = 2{,}4 \cdot 20 = 48 \text{ г/год}$$

$$C_З = 20 \text{ мг/л} = 20 \text{ мг/дм}^3 = 20 \text{ г/м}^3$$

2. Згідно з даними аналізу стічної води мінеральний склад за сухим залишком а також за вмістом хлоридів і сульфатів не перевищує ГДК (відповідно 1000, 350 і 500 мг/л), а тому ГДС встановлюється у таких розмірах:

$$ГДС_{с.з.} = q_в \cdot C_{с.з.} = 2{,}4 \cdot 272 = 652{,}8 \text{ г/год;}$$

$$ГДС_{хл} = q_в \cdot C_{хл} = 2{,}4 \cdot 80 = 192 \text{ г/год;}$$

$$ГДС_{сф} = q_в \cdot C_{сф} = 2{,}4 \cdot 177 = 424{,}8 \text{ г/год.}$$

3. Враховуючи І категорію водокористування, $БПК_П$ не повинен перевищувати 3 мг O_2/л, а за даними аналізу стічних вод $БПК_П$ = 52 O_2/л, що вказує на необхідність більш ефективного очищення стічних вод. Тому розраховуємо ГДС для цього показника за ГДК:

$$ГДС_{БПК_п} = q_в \cdot C_{ГДК} = 2{,}4 \cdot 3 = 7{,}2 \text{ г/годину.}$$

4. Виконуємо перевірку виконання умови:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \ldots + \frac{C_n}{ПДК_n} \le 1$$

для шкідливих речовин у стічній воді:

$$\frac{1{,}2}{0{,}5} + \frac{22{,}2}{0{,}1} + \frac{2{,}4}{0{,}1} = 2{,}4 + 222 + 24 = 248{,}4 \succ\succ 1$$ - умова не виконується.

Для виконання цієї обов'язкової умови необхідно забезпечити більш тонке очищення для кожного із компонентів стічної води. Для цього визначаємо граничне значення у стічній воді концентрацій заліза, нікелю і хрому, при яких дана умова виконується:

C_{Fe} = 0,1 мг/л (при ГДК – 0,5 мг/л);

C_{Ni} = 0,05 мг/л (при ГДК – 0,1 мг/л);

C_{Cr} = 0,03 мг/л (при ГДК – 0,1 мг/л);

тобто $$\frac{0,1}{0,5}+\frac{0,05}{0,1}+\frac{0,03}{0,1}=1$$

5. На основі встановлених граничних (допустимих) концентрацій забруднювальних компонентів у стічній воді визначаємо ГДС:

$$ГДС_{Fe} = q_в \cdot C_{Fe} = 2,4 \cdot 0,1 = 0,24 \text{ г/годину;}$$

$$ГДС_{Ni} = q_в \cdot C_{Ni} = 2,4 \cdot 0,05 = 0,12 \text{ г/год;}$$

$$ГДС_{Cr} = q_в \cdot C_{Cr} = 2,4 \cdot 0,03 = 0,072 \text{ г/год.}$$

Приклад 3.21. Розрахувати нафтоуловлювач для очищення промислових стічних вод автопідприємства (АТП) з вмістом нафтопродуктів за такими вихідними даними:

- середня кількість стічних вод $q_в$= 8000 м^3/добу;
- годинний коефіцієнт нерівномірності $К_г$=1,2;
- вміст нафтопродуктів у забрудненій стічній воді (до очищення) C_1=180мг/л;
- потрібний вміст нафтопродуктів в очищеній воді не більше C_2=20 мг/л.

Рішення:

1. Визначаємо максимальну(секундну) кількість стічних вод на нафтоулолювач:

$$q_{макс} = q_в \cdot К_г = \frac{8000 \cdot 1,2}{24 \cdot 3600} = 0,11 \text{ м}^3/\text{с.}$$

2. Згідно з експлуатаційними інструкціями і нормами приймаємо розрахункові параметри:

- глибина горизонтального відстійника Н = 2 м;
- розрахункова швидкість руху забрудненої води у нафтоуловлювачі V=0,009 м/с (береться у межах 0,005...0,01);
- гідравлічна крупність або швидкість випливання частинок нафти (масла) U_o=3 мм/с (для частинок діаметром 50-100 мкм U_o=1…4 мм/с);
- коефіцієнт К, залежний від типу відстійників (для горизонтальних відстійників К=0,5);

- кількість секцій нафтоуловлювача n=2 (для зручності ремонту, очищення від мулу).

3. Розраховуємо розміри нафтоуловлювача:

- ширина секції

$$B = \frac{q_{макс}}{n \cdot H \cdot V} = \frac{0,11}{2 \cdot 2 \cdot 0,009} = 3 \text{ м};$$

- довжина

$$L = \frac{V \cdot H}{K \cdot U_o} = \frac{0,009 \cdot 2}{0,5 \cdot 0,003} = 12 \text{ м};$$

4. Ефективність очищення стічної води:

$$\varepsilon = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100\% = \frac{180 - 20}{180} \cdot 100\% = 89\%.$$

ГДК для нафти багатосірчаної $C_{ГДК}$=0,3 мг/л, тобто залишок C_2=20 мг/л після очищення значно перевищує ГДК.

5. Визначимо необхідну ефективність очищення стічної води від нафтопродуктів для зменшення забруднень за ГДК:

$$\varepsilon = \frac{C_1 - C_{ГДК}}{C_1} \cdot 100\% = \frac{(180 - 0,3)}{180} \cdot 100\% = 99,9\%$$

6. Розраховуємо кількість нафтопродуктів, яка вловлюється за кожну добу при ефективності очищення 89%:

$$Q_y = \frac{C_1 \cdot \varepsilon \cdot K \cdot q_в}{1000 \cdot 1000} = \frac{180 \cdot 0,89 \cdot 0,5 \cdot 8000}{1000 \cdot 1000} = 0,64 \text{ т/добу}$$

Приклад 3.22. Проектується глибинний зосереджений випуск стічних вод в проточне водоймище при швидкості течії V =0,02 м/с, середній глибині в місці випуску H = 30 м, розрахунковій витраті стічних вод Q_0 = 0,32 м^3/с. Розрахунковий випуск розміщений на відстані L = 500 м. Визначити найменше розчинення на заданій відстані.

Рішення:

1. Приймаючи швидкість витоку стічних вод V = 2,5 м/с визначаємо діаметр випуску:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_0}{3,14 \cdot V_0}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,32}{3,14 \cdot 2,5}} = 0,404 \text{ м} = 0,4 \text{ м},$$

тоді швидкість витоку стічних вод

$$V_0 = \frac{4 \cdot Q_0}{\pi d_0^2} = \frac{4 \cdot 0,32}{3,14 \cdot 0,16} = 2,55 \text{ м/с}$$

2. Визначаємо параметр P:

$$P = \frac{V_П}{0{,}000015 \cdot V_0 + V_П};$$

де P - параметр, що враховує проточність водойми і навантаження стічних вод для нього;

$V_П$ — швидкість течії потоку, м/с

$$P = \frac{0{,}02}{0{,}000015 \cdot 2{,}55 + 0{,}02} = 0{,}997.$$

3. Визначаємо параметр S:

$$S = 0{,}875 + \frac{0{,}325 \cdot H}{360 + \frac{V_П}{V_0} \cdot 10^5};$$

де H - середня глибина, м

$$S = 0{,}875 + \frac{0{,}325 \cdot 30}{360 + \frac{0{,}02}{2{,}55} \cdot 10^5} = 0{,}884.$$

4. Найменше розчинення на заданій відстані:

$$n = A\left(\frac{0{,}2 \cdot L}{d_0}\right) P \cdot S;$$

де A - параметр, що визначає зміну розчинення для зосередженого випуску, A = 1,0.

$$n = 1{,}0\left(\frac{0{,}2 \cdot 500}{0{,}4}\right) 0{,}997 \cdot 0{,}884 = 220.$$

Приклад 3.23. Визначити необхідний ступінь очистки стічних вод, якщо в розрахунковому перерізі водокористування загальна кратність розчинення n = 20. Склад скиду характеризується такими концентраціями:

за завислими речовинами $G_{СТ}^{взв} = 250$ мг/л;

за БСК $L_{СТ}^{БСІ} = 300$ мг/л.

Природна вода має такі концентрації:

$G_в^0 = 15$ мг/л;

за БСК $L_{доп}^{взв} = 1{,}5$ мг/л,

за розчиненим киснем $G_в^{0\ =} 8$ мг/л.

Середня температура води в літній період 15°C. Тривалість протікання води від місця випуску до розрахункового перерізу t = 0,25 доби.

Для розрахункового перерізу потрібно забезпечити значення ПДК:

$G_{доп}^{взв} = 0{,}75$ мг/л,

$L_{доп}^{БСК} = 2$ мг/л.

$G_{доп}^{0} = 4$ мг/л.

Рішення:

1. Вміст завислих речовин в очищених стічних водах перед скиданням у водойму знаходимо за формулою:

$$G_0^{взв} = G_в^{взв} + n \cdot G_{доп}^{взв},$$

де $G_0^{взв}$ - концентрація завислих речовин у воді водойми до скидання;

$G_{доп}^{взв}$ - допустиме збільшення вмісту речовин у водоймі після скидання;

n - кратність розбавлення

$$G_0^{взв} = 15 + 20 \cdot 0{,}75 = 30 \text{ мг/л}.$$

2. Необхідний ступінь очистки завислих речовин:

$$E_{взв} = \frac{G_{СТ}^{взв} - G_0^{взв}}{G_{СТ}^{взв}} \cdot 100;$$

де $G_{СТ}^{взв}$ - концентрація стоку за завислими речовинами;

$$E_{взв} = \frac{250 - 30}{250} \cdot 100 = 88{,}2\%$$

3. Визначаємо ступінь очищення за БСК суміші стічних вод і води водойми

$$L_{БСК} = \frac{n-1}{10^{-k_1 t}}\left(L_{доп}^{БСК} - L_в^{БСК} \cdot 10^{-k't}\right) + \frac{L_{доп}^{БСК}}{10^{-k_1 t}};$$

де $L_{доп}^{БСК}$ - граничнодопустиме значення БСК суміші стоків і води;

$L_в^{БСК}$ - БСК водойми до скидання;

k_1, k^1 — константи швидкості розчинення кисню стоками і водою ($k_1 = 0{,}08$, $k^1 = 0$);

t - тривалість протікання води від випуску до необхідного перерізу;

$$L_{БСК} = \frac{20-1}{10^{-0{,}08 \cdot 0{,}25}}(2 - 1{,}5) + \frac{2}{10^{-0{,}08 \cdot 0{,}25}} = 12{,}07 \text{ мг/л}.$$

Ступінь очищення

$$E_{БСК} = \frac{300 - 12{,}07}{300} \cdot 100 = 95{,}8\%.$$

4. Обчислюємо граничне значення БСК в очищених водах за вмістом розчиненого кисню:

$$L_0 = \frac{n-1}{0{,}4}\left(G_0^{в} - 0{,}4L_{в}^{БСК} - G_0^{доп}\right) - \frac{G_{доп}^0}{0{,}4};$$

$$L_0 = \frac{20-1}{0{,}4}\left(8{,}0 - 0{,}4 \cdot 1{,}5 - 4{,}0\right) - \frac{4}{0{,}4} = 173 \text{ мг/л},$$

де $G_0^{в}$ — вміст розчиненого кисню у воді;

$G_{доп}^0$ — граничнодопустима концентрація розчиненого кисню.

Ступінь очищення

$$E_{БСК}^0 = \frac{300-173}{300} \cdot 100 = 42{,}7\%.$$

Розрахунки показують, що стічні води перед скиданням потрібно очистити з $E_{БСК}$ = 95,8%. Ефективність очищення за завислими речовинами $E_{ВЗВ} \geq 88{,}2\%$.

Приклад 3.24. Розрахувати граничнодопустиме скидання (ГДС) стічних вод промислового підприємства у водойму I категорії для таких вихідних даних:

- $C_В$ = 42 мг/дм^3 (концентрація завислих речовин у ріці за вимірами СЭС до скидання стічних вод);
- $C_{СТВ}$ = 33 мг/л (33 г/м^3) – фактична концентрація зважених речовин у стічних водах підприємства (за даними аналізу);
- кількість стічної води підприємства $q_{ст}$ = 18,75 м^3/рік;
- повна біохімічна потреба води в кисні

$$БПК_П = 250 \text{ мг ПРО2/л (250 мг } O_2/\text{дм}^3);$$

- мінеральний склад стічної води за сухим залишком 1300 мг/л, за хлоридами – 470 мг/л, за сульфатами – 370 мг/дм^3.

Рішення:

1. Визначаємо граничнодопустиму концентрацію зважених речовин у стічній воді, що не повинна перевищувати

$$C_{СТ} = C_В + 0{,}25 = 42 + 0{,}25 = 42{,}25 \text{мг/л} = 42{,}25 \text{ г/м}^3.$$

2. Оскільки обмірювана фактична концентрація зважених речовин у водоймі ($C_В$ = 42 мг/дм^3) менше фактичної концентрації $C_{СТв}$ у стічній воді, визначаємо ГДС для зважених речовин за фактичним складом:

$$ГДС = q_{ст} \cdot C_{СТВ} = 18{,}75 \cdot 33 = 618{,}75 \text{ г/год}.$$

3. У стічній воді мінеральний склад за сухим залишком і за вмістом хлоридів перевищує припустимі ПДК (відповідно, 1000 і 350 мг/л), тому ГДС розраховуємо з урахуванням ПДК:

$$ГДС = 18{,}75 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 1000 \text{ г/м}^3 = 18750 \text{ г/год};$$

(для мінерального складу по ПДК);

$$ГДС = 18{,}75 \text{ м}^3 \cdot 350 \text{ г/м}^3 = 6462{,}8 \text{ г/год};$$

(для хлоридів за ПДК).

Розрахунок ГДС для сульфатів виконуємо за фактичним складом (370 мг/дм^3), оскільки їхній вміст не перевищує ПДК (500 мг/дм^3):

$$ГДС = 18{,}75 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 370 \text{ г/м}^3 = 6937{,}5 \text{ г/год.}$$

$БПК_{ПОВН}$ у стічній воді не повинне перевищувати ПДК для водойм, рівне 3 мг O_2/дм^3, а фактично складає 250 мг O_2/дм^3. Тому розраховуємо ГДС для цього показника з урахуванням ПДК:

$$ГДС = 18{,}75 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 3 \text{ г/м}^3 = 56{,}25 \text{ г/год.}$$

Таке істотне зменшення скидання стічних вод за $БПК_{ПОВН}$ можливе лише при оснащенні підприємства технологією локального очищення стічних вод.

Приклад 3.25. Скидання стічних вод промислового підприємства передбачається в межах населеного пункту в річку, що використовується для нецентралізованого господарсько-питного водопостачання. Розрахувати ГДС за забруднювальнимм викидами у стічній воді шкідливих речовин (заліза, нікелю, хрому) при таких вихідних даних:

- водоспоживання В = 600 м^3/год;
- витрата стічних вод $q_{ст}$ = 2,4 м^3/год;
- аналіз складу стічних вод (мг/м^3):

  вміст завислих речовин $C_{Вф}$ = 20;

  показник $БПК_{ПОВН}$ =52;

  мінеральний склад за сухим залишком – 272, у тому числі:

  хлоридів – 80, сульфатів – 177, заліза (III) – 1,2;

  нікелю (II) – 22,2 мг/дм^3; хрому – 2,4 мг/дм^3.

Рішення:

1. Розраховуємо ГДС за фактичним складом завислих речовин у стічній воді

$$ГДС = q_{ст} \cdot C_{Вф} = 2{,}4 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 20 \text{ г/м}^3 = 48 \text{ г/год.}$$

2. За даними аналізу стічної води мінеральний склад за сухим залишком, а також за вмістом хлоридів і сульфатів не перевищує ПДК (відповідно, 1000, 350 і 500 мг/л), а тому ГДС встановлюється:

для мінеральних речовин за сухим залишком

$$ГДС = 2{,}4 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 272 \text{ г/м}^3 = 652{,}8 \text{ г/год, у т.ч.:}$$

для хлоридів $ГДС = 2{,}4 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 80 \text{ г/м}^3 = 192 \text{ г/год;}$

для сульфатів $ГДС = 2{,}4 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 177 \text{ м/м}^3 = 424{,}8 \text{ г/год.}$

3. З огляду на І категорію водокористування, $БПК_{ПОВН}$ у стічній воді не повинна перевищувати 3 мг O_2/дм^3, а за даними аналізу стічних вод підприємства $БПК_{ПОВН}$ = 52 мг O_2/дм^3, що вказує на необхідність більш ефективного очищення стічних вод. Тому ГДС для цього показника ($БПК_{ПОВН}$) розраховуємо з урахуванням ПДК:

$$ГДС = 2{,}4 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 3 \text{ г/м}^3 = 7{,}2 \text{ г/год.}$$

4. Для дотримання ПДК враховуємо, що залізо (III), нікель (II), хром (VI) відносяться до санітарно-токсикологічного ЛПВ; визначаємо виконання умови:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \ldots + \frac{C_n}{ГДК_n} \le 1, \text{ тобто}$$

$$\frac{1,2}{0,5} + \frac{22,2}{0,1} + \frac{2,4}{0,1} = 2,4 + 222 + 24 = 248,4$$

(сума значно перевищує одиницю).

5. З техніко-економічних розумінь встановлюємо більш глибоке очищення для кожного з показників і знаходимо граничне значення в стічній воді концентрації заліза C_{Fe} = 0,1 мг/дм^3, нікелю C_{Ni} = 0,05 мг/дм^3, хрому C_{Cr} = 0,03 мг/дм^3, тоді сума складе:

$$\frac{0,1}{0,5} + \frac{0,05}{0,1} + \frac{0,03}{0,1} = 1$$

6. На підставі встановленої граничної концентрації забруднювальних речовин у стічній воді визначаємо ГДС для цих речовин:

для заліза ГДС = 2,4 м^3/год · 0,1 г/м^3 = 0,24 г/год;
для нікелю ГДС = 2,4 м^3/год · 0,05 г/м^3 = 0,12 г/год;
для хрому ГДС = 2,4 м^3/год · 0,03 г/м^3 = 0,072 г/год;

4 ЗАХИСТ ВІД РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Основні параметри радіаційного забруднення

Загрозою для людей є радіаційне забруднення навколишнього середовища. Для оцінювання радіаційної небезпеки випромінювання прийнята експозиційна доза рентген (мілі-, мікрорентген на годину) і еквівалентна доза – бер (біологічний еквівалент рентгена).

У залежності від умов випромінювання, характеру і місця находження його джерела застосовуються різні засоби і методи захисту від опромінювання: захист часом, відстанню, екрануванням джерел випромінювання і місць можливого знаходження людини, індивідуальні засоби захисту тощо.

Допустимий час знаходження персоналу у зоні іонізуючого випромінювання $t_{доп}$ (годин на тиждень) визначається за формулою:

$$\mathbf{t_{доп} = 100 / P} \qquad \mathbf{(4.1)}$$

де **100** – допустима потужність дози, мбер/тиждень або мР/годину;

P – розрахункова потужність дози, мбер/г або мР/г.

Експозиційну дозу на робочому місці **Де** (бер) можна розрахувати за формулою:

$$\mathbf{Де} = \frac{\mathbf{A \cdot K_{\gamma} \cdot t}}{\mathbf{R^2}}\ , \qquad \mathbf{(4.2)}$$

де **A** – активність джерела, мКі (мілікюрі);

Kγ – гамма-постійна ізотопу, **P** $см^2$/(година мКі);

t – час опромінювання, годин;

R – відстань від джерела до робочого місця, см.

Для захисту від рентгенівського і **γ**-випромінювання застосовують екрани із матеріалів з великим атомним номером (свинець, залізо), а для стаціонарних захисних установок – бетон, барібетон та інші матеріали. Товщину екрана **d** (см) для захисту від **γ**-– випромінювання можна розраховувати за формулою:

$$\mathbf{d} = \left(\mathbf{ln} \frac{\mathbf{P_н}}{\mathbf{P_{гдп}}} \right) \Big/ \mathbf{\mu}, \qquad \mathbf{(4.3)}$$

де $\mathbf{P_н}$ – розрахункова потужність дози, мР/г;

$\mathbf{P_{гдп}}$ – граничнодопустима потужність дози, мР/г;

μ – лінійний коефіцієнт ослаблення випромінювання, $см^{-1}$.

Згідно з нормами радіаційної безпеки встановлені допустимі рівні для зовнішнього опромінювання для осіб категорії А (професійні співробітники) – 5 бер/рік, категорії Б (особи, які знаходяться близько від джерел випромінювання) – 0,5 бер/рік; категорії В (населення регіону) – 0,1 бер/рік.

Безпека працюючих з радіоактивними речовинами забезпечується встановленням граничнодопустимих доз (ГДД) з врахуванням, що ні в якому разі доза, накопичена людиною віком до 30 років, не повинна перевищувати 12 ГДД. Для осіб категорії А ГДД опромінювання не повинна перевищувати ГДД, яка визначається за формулою:

$$\mathbf{Д \le 5 \cdot (N - 18)}, \qquad \mathbf{(4.4)}$$

де **Д** – доза, бер;

N – вік, років.

Правовою основою захисту атмосферного повітря від різних видів забруднень є державні закони, які передбачають не тільки контроль за виконанням відповідних законів і рішень, але і різні види відповідальності за їх порушення: громадянську, адміністративну, дисциплінарну, матеріальну, кримінальну.

4.2 Очищення радіоактивних стічних вод

Розвиток атомної енергетики і широке застосування ізотопів у народному господарстві призводить до утворення стічних вод, вміщуючих радіоактивні речовини.

Радіоактивні речовини за своєю біологічною небезпекою відносяться до категорії найбільш шкідливих речовин. Їх небезпека оцінюється перш за все характером радіоактивного випромінювання. Якщо альфа-промені, поглинені верхніми шарами шкіри, відносно малонебезпечні, то бета-промені викликають важкі опіки, а нейтронне й гамма-випромінювання проникають у важливі органи та порушують їх життєві функції.

Здатність радіоактивних елементів накопичуватися у донних відкладеннях, рослинах, організмах тварин і людей збільшує їх небезпеку.

Джерела забруднення води радіоактивними елементами такі:

- гірничі розробки для добування природної сировини;
- промивання руди;
- добування і збагачування урану;
- виготовлення тепловиділяючих елементів для реакторів і наступна регенерація вигорілих елементів;
- експлуатація ядерних реакторів;
- отримання, виділення і концентрування радіоактивних елементів, що утворюються у реакторах на радіохімічних заводах;
- використання радіоактивних ізотопів у промисловості й наукових підприємствах та медицині.

Радіоактивні ізотопи, які застосовуються у народному господарстві, у стічних водах складають біля 60...70 найменувань. Приблизно четверту частину з них складають короткоживучі, період піврозпаду яких вимірюється секундами і годинами, а решта - довгоживучі, їх період піврозпаду

обчислюється днями і багатьма роками. Характеристика основних ізотопів, які зустрічаються у водах, наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - **Характеристика радіоактивних ізотопів**

Ізотоп	Порядковий номер елемента	Характер випромінювання	Період півроспаду, д – днів, р – років	Гранично-допустимі концентрації, Кі/л
Тритій-3	1	β	12,4 р	$5\cdot10^{-6}$
Вуглець-14	6	β	5270 р	$1\cdot10^{-7}$
Фосфор-32	15	β	14.3 д	$1\cdot10^{-8}$
Кальцій-45	20	β	163 д	$5\cdot10^{-9}$
Хром-51	24	γ	27,8 д	$1\cdot10^{-6}$
Залізо-59	26	βγ	47,1 д	$1\cdot10^{-7}$
Кобальт-60	27	βγ	4,95 р	$5\cdot10^{-9}$
Цинк-65	30	βγ	250 д	$1\cdot10^{-7}$
Миш'як-76	33	βγ	1,1 д	$1\cdot10^{-7}$
Стронцій-69	38	β	53 д	$5\cdot10^{-9}$
Стронцій-90	38	β	19,9 р	$5\cdot10^{-10}$
Кадмій-109	48	γ	470 д	$5\cdot10^{-5}$
Кадмій-113	48	β	5,1 р	-
Кадмій-115	48	βγ	43 д	-
Йод-131	53	βγ	8,1 д	$5\cdot10^{-10}$
Цезій-134	55	βγ	2,3 р	$1\cdot10^{-7}$
Цезій-137	55	βγ	33 р	$1\cdot10^{-8}$
Барій-140	56	βγ	13,4 д	$5\cdot10^{-8}$
Церій-144	58	βγ	282 д	$1\cdot10^{-7}$
Полоній-210	84	βαγ	138 д $5\cdot10^{-11}$	
Радій-226	88	βγ	1590 р	$5\cdot10^{-11}$
Плутоній-239	94	βγ	$2,4\cdot10^{4}$р	-

Радіоактивні елементи, які знаходяться у воді, входять до складу розчинених речовин, або до складу колоїдів чи суспензій, що в деякій мірі і визначає способи очищення стічних вод.

Другим фактором, від якого залежить вибір способу очищення, є активність води. За активністю стічні води розділяють на високоактивні - активність більше 100 Кі/л, середньоактивні - $10^{-5}...10^{-4}$ Кі/л, неактивні – $10^{-7}...10^{-6}$ Кі/л.

Найбільш розповсюджені такі фізико-хімічні та біологічні способи очищення радіоактивних стічних вод:

- осаджування, при якому у воду вводиться стабільний ізотоп або його сіль. Після змішування чи після хімічних реакцій ізотопи осаджуються;

- коагулювання з осадженням, яке застосовується для очищення стічних вод, що вміщують радіоактивні колоїди. Наприклад, для видалення радіоактивного фосфору застосовують сірчанокислий алюміній або хлорне залізо;

- адсорбція радіоактивних речовин на сорбентах, які вводяться у воду з наступним їх осадженням;

- іонний обмін на іонітових фільтрах з одноразовим знесолюванням і пом'якшенням води;

- реагентне пом'якшення води з одноразовим видаленням радіоізотопів. Для пом'якшення води застосовують воду і вапно;

- випарювання - вода випаровується, а сухий залишок, що вміщує радіоактивні речовини, направляється на захоронення;

- біологічне очищення радіоактивних вод на аеротенках і біофільтрах.

Високоактивні стічні води знезаражуються способом випарювання або за допомогою реагентів.

Для очищення стічних вод з середньою активністю застосовуються осадження, коагулювання та іонний обмін.

Малоактивні стічні води очищаються будь-яким способом, але кожний із них ефективний тільки по відношенню до деяких ізотопів.

При відстоюванні чи фільтруванні стічні води звільняються тільки від ізотопів, які входять до складу нерозчинної фази. Додання коагулянтів дозволяє видаляти деякі розчинені і колоїдні радіоактивні речовини. На пластівцях гідроксиду алюмінію добре сорбується фосфор - 32 (96...97%), слабше - стронцій - 90 (50%); гідроксид заліза сорбує фосфор - 32 (99%), стронцій -90 (97%), церій, цирконій, ніобій (98%). Застосовують й інші коагулювальні та сорбувальні добавки - глини, металевий порох тощо.

Оброблення води содою і вапном приводить до звичайних реакцій пом'якшення, при цьому випадаючий в осад кальцій є хорошим носієм для стронція-89, стронція-90, фосфора-32. Багаторазове використання осаду підвищує ефективність витягування цих ізотопів до 99%.

Фосфатами і вапном осаджують стронцій, цинк та церій.

Для очищення стічних вод атомних електростанцій (АЕС) застосовується декілька спеціалізованих водоочисток (СВО), які обслуговують окремі технологічні схеми.

Наприклад, для АЕС з реакторами типу ВВЕР:

СВО-1 - очищення стічних вод реактора;

СВО-2 - очищення боровміщуючого концентрата;

СВО-3 - очищення витрачуваних вод (саншлюзи, санпральні тощо);

СЗО-4 - очищення вод басейна витримки;

СВО-5 - очищення вод котлів.

Принципова схема СВО-3, на яку затрачується основна кількість стічних вод, наведена на рис. 4.1.

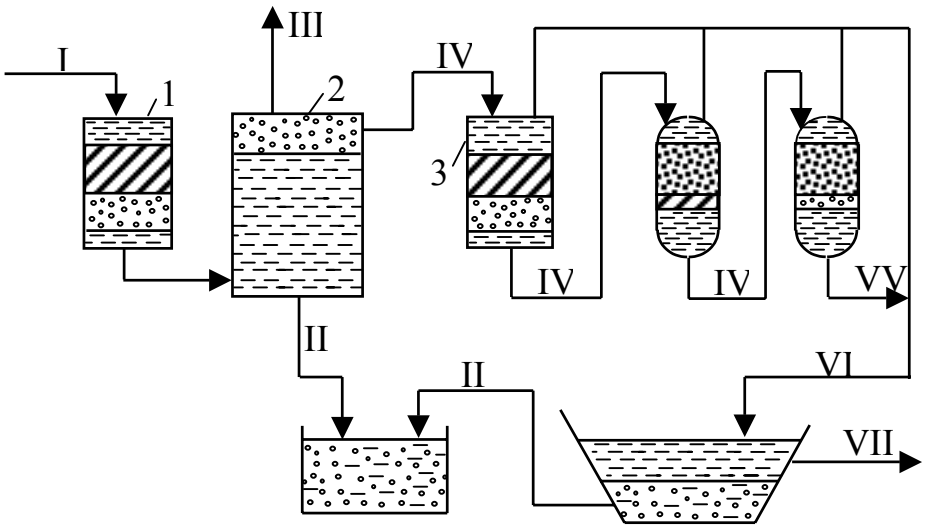


Рисунок 4.1 - **Принципова схема СВО-3**

Стічні води 1 надходять на фільтр 1 механічного очищення, де очищаються від грубодисперсних домішок, потім - у випарювальний апарат 2, в якому випаровуються і конденсуються. З випарювального апарата конденсат IV направляється на послідовне оброблення в механічний фільтр 3, катіонітовий 4 і ангонітовий 5 фільтри, після яких чистий конденсат V направляється в спецканалізацію. Кубові залишки II з випарювального апарата направляються в збірник рідких відходів 7, а гази III - на спеціальне очищення. Пульпа з фільтрів 3, 4 і 5 відводиться в збірник-відстійник пульпи 6, звідки освітлена вода VII повертається на повторне очищення, а кубові залишки - в збірник рідких відходів.

Всі елементи СВО-3 дубльовані.

Особливою проблемою при очищенні стічних вод є ліквідація твердих чи згущених радіоактивних відходів - осадів, залишків після випарювання, відпрацьованих сорбентів та іонообмінних матеріалів тощо, тому що в радіоактивному відношенні вони дуже небезпечні. Відходи поміщають у бетонні корозійностійкі контейнери або сплавляють разом з силікатами в блоки, які опускають в підземні бетонні резервуари, розташовані у віддаленій від житла місцевості. Деколи контейнери і блоки розташовують в старих гірничих виробках за умови, що там може бути організований радіометричний контроль.

Збереження концентратів рідких радіоактивних відходів (кубових залишків і пульп) в ємностях розглядається як тимчасова міра через можливість протікань і забруднення навколишнього середовища. Передбачається, що на всіх діючих і проектованих АЕС концентрати будуть переводитися в твердий стан. Тому головна вимога до концентратів, які направляються на тимчасове збереження, - відсутність великої кількості завислих речовин, які переходять в злежані донні відкладення, що затруднюють спорожнювання ємностей.

В програму робіт, які передбачають затвердіння радіоактивних відходів, входить:

- вибір оптимальних методів затвердіння в залежності від питомої активності, складу і об'ємів відходів;
- розроблення і дослідна перевірка технологічних процесів та надійного апаратурного забезпечення;
- створення споруд для тимчасового збереження затверділих відходів;
- вибір і вивчення геологічних формацій для захоронення затверділих відходів.

Приклад 4.1. Розрахувати відстань R (м) від джерела гамма-випромінювання, на якому радіоактивне опромінювання відповідає граничнодопустимому, якщо гамма-еквівалент ізотопу M = 250 мг екв., а час опромінювання t = 14 с.

Рішення:

1. Приймаємо нормативну граничнодопустиму дозу (ГДД) згідно з нормами радіаційної безпеки $Д_{гдд}$=0,1Р (тиждень/реагентів за тиждень).

2. Розраховуємо безпечну відстань від джерела опромінювання:

$$\mathbf{Д_{гдд} = \frac{Q \cdot K_\gamma \cdot t}{R^2 \cdot 10^4}}, \qquad \mathbf{Q = \frac{8{,}4 \cdot M}{K_\gamma}} \quad \textbf{або} \quad \mathbf{Д_{гдд} = \frac{8{,}4 \cdot M \cdot t}{R^2 \cdot 10^4}},$$

звідки

$$R_б = \sqrt{\frac{8{,}4 \cdot M \cdot t}{Д_{гдд} \cdot 10^4}} = \sqrt{\frac{8{,}4 \cdot 250 \cdot 14}{0{,}1 \cdot 10^4}} \approx 10{,}2 \text{ м}.$$

Література

1. Лялюк О.Г., Ратушняк Г.С. Моніторинг атмосферного повітря. – Вінниця: ВДТУ, 1998.- 94 с.
2. Ратушняк Г.С. Теоретичні основи технології очищення газових викидів. – Вінниця: ВДТУ, 2002.- 96 с.
3. Качан В.Н., Акинина А.Г. Теоретические основы очистки воздуха. – Макеевка и ДонГАСА, 2001.- 130 с.
4. Шпак Г. Моніторинг довкілля та інженерні методи охорони біосфери. – Львів: Львівська політехніка, 1997.- 234 с.
5. ОНД-86. Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, які містяться в викидах підприємств. – Л.: Гідрометеовидав., 1987.- 93 с.
6. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе: Справочник. – М.: Химия., 1991.- 368 с.
7. Кузнецов И.Е. и др. Оборудование для санитарной очистки газов: Справочник. – К.: Техника, 1989.- 304 с.
8. Сандуляк А.В. Новое в технике и технологии физических методов очистки жидкостей и газов. – К.: Выща школа, 1989.- 55 с.

Навчальне видання

Георгій Сергійович Ратушняк
Наталія Михайлівна Слободян

ІНЖЕНЕРНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ БІОСФЕРИ

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготовлено авторами

Редактор В.О. Дружиніна

Навчально-методичний відділ ВДТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВДТУ

Підписано до друку Гарнітура Times New Roman

Формат 29,7×42¼ Папір офсетний
Друк різографічний Ум. друк. арк.
Тираж прим.
Зам №

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького державного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95