

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра екології

С. С. Душкін

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять і самостійної роботи студентів

«МОНІТОРИНГ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ»

(Частина 2)

для студентів напряму підготовки
Е2 «Екологія»

Харків ХНАДУ 2026

УДК 504.064.2/.3

ББК

Методичні вказівки з дисципліни «Моніторинг, моделювання та прогнозування стану довкілля», частина 2 / укладач Душкін Станіслав Сергійович: Методичні вказівки. Харків: ХНАДУ, 2026. – 50 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно вимог освітньо-професійної програми «Екологія та охорона навколишнього середовища» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю Е2 Екологія під навчальне аудиторне навантаження 16 години (8 практичних занять).

Зміст практичних занять відповідає робочій програмі навчальної дисципліни ОК 21 «Моніторинг, моделювання та прогнозування стану довкілля» 2026 р.

Мова навчання – державна

Душкін С.С., 2026

ХНАДУ, 2026

ЗМІСТ

ПЗ. 1-3. Розрахунок впливу промпідприємства на атмосферу.....	4
ПЗ. 4-6. Розрахунок впливу промпідприємства на гідросферу.....	24
ПЗ. 7, 8. Розробка системи моніторингу навколишнього середовища у зоні впливу промпідприємства.....	38

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Тема: інвентаризація джерел викидів та характеристика забруднюючих речовин.

Мета: навчитись ідентифікувати джерела забруднення та формувати базу вихідних даних для розрахунків.

План заняття:

1. Аналіз техпроцесу: вибір конкретного підприємства (згідно з варіантом) та опис основних цехів.
2. Класифікація джерел: поділ джерел на організовані (труби, вентиляційні шахти) та неорганізовані (відкриті склади, кар'єри).
3. Формування таблиці викидів:
 - найменування речовини та її код;
 - клас небезпеки та значення ГДК (гранично допустима концентрація);
 - параметри викиду: висота (Н), діаметр (D), температура (Т) та швидкість виходу газоповітряної суміші (v).

Варіанти для виконання

1. Таблиця варіантів (вибір підприємства)

Варіант	Тип підприємства	Основна забруднююча речовина	Типове джерело
1, 6, 11	Теплоенергетика (Котельня)	Діоксид азоту, NO ₂	Димова труба (Н > 30 м)
2, 7, 12	Металообробка (Цех)	Пил абразивно-металевий	Циклон/Витяжка (Н = 10 – 12 м)
3, 8, 13	Виробництво будматеріалів	Пил цементний	Шахтна піч (Н = 20 – 25 м)
4, 9, 14	Деревообробка	Пил деревний	Пневмотранспорт (Н = 8 – 15 м)
5, 10, 15	Харчова промисловість	Пил зерновий	Зерносушарка (Н = 15 – 30 м)

Примітка:

- висота труби (Н): обирається з таблиці вище залежно від масштабу заводу.
- температура (Т):
 - для котелень та печей: 100 – 200 °С;
 - для механічної обробки (пил): дорівнює температурі повітря в цеху (20 – 25 °С).
- швидкість (v): для ефективного розсіювання зазвичай приймається в межах 8 – 15 м/с.
- маса викиду (М): зазвичай коливається від 0.01 до 2.0 г/с (залежно від токсичності речовини).

Завдання: Заповніть форму-паспорт вашого джерела за зразком:

Паспорт джерела №0001:

1. Назва підприємства:
2. Речовина: (наприклад, діоксид азоту)
3. ГДК (знайти в інтернеті або довіднику): мг/м^3
4. Клас небезпеки (1, 2, 3 або 4): _____
5. Геометрія: $H = \text{___ м}$, $D = \text{___ м}$.
6. Динаміка: $v = \text{___ м/с}$, $T = \text{___ } ^\circ\text{C}$.

Аналіз техпроцесу

Перш ніж рахувати, треба зрозуміти, звідки береться викид (у курсовій роботі ви повинні описати ланцюжок: Сировина $\rightarrow$ Обладнання $\rightarrow$ Викид).

Наприклад:

– для котельні: паливо (вугілля/газ) згорає в топці котла $\rightarrow$ утворюються димові гази (NO_2 , SO_2 ? сажа) $\rightarrow$ вони потрапляють у систему очистки (фільтри) $\rightarrow$ виходять через димову трубу;

– для деревообробки: деревина подається на циркулярну пилку $\rightarrow$ утворюється тирса $\rightarrow$ система аспірації (вентилятор) затягує пил $\rightarrow$ через циклон повітря викидається назовні.

Завдання: Опишіть у 3-5 реченнях, який саме процес на вашому підприємстві створює забруднення.

Класифікація джерел

Всі джерела на вашому об'єкті треба розділити на два типи. Це критично важливо для вибору формул розрахунку:

1. Організовані джерела: мають чітко визначене гирло (отвір), наприклад, димова труба, вентиляційна шахта, свічка випалювання; записуємо: висоту, діаметр, швидкість газу;

2. Неорганізовані джерела: викид іде безпосередньо від поверхні або через не герметичність обладнання, наприклад, відкритий склад вугілля, кар'єр, вікна цеху (де немає витяжки), заправні пістолети на АЗС; записуємо: площу джерела ($S, \text{м}^2$) та висоту (H , зазвичай 2-5 м).

Формування таблиці викидів

На основі аналізу ви складаєте таблицю, яка стане «фундаментом» всієї розрахункової частини (наскрізної теми практичних занять , курсової роботи).

Таблиця 1. Характеристика джерел та речовин

№ джерела	Тип джерела	Забруднююча речовина	Код речовини	ГДК (мг/м^3)	Клас небезпеки	Потужність викиду (М, г/с)
0001	Організоване	Діоксид азоту	0301	0.2	2	0.45
0002	Організоване	Оксид вуглецю	0337	5.0	4	1.20
6001	Неорганізоване	Пил вугільний	2904	0.5	3	0.08

Примітка: код – це чотиризначне число (наприклад, 0301 для NO_2); ГДК – це норматив. Для житлової зони беремо максимально разову ГДК. Якщо

речовина дуже отруйна (клас 1), ГДК буде маленьким (0.001), якщо малонебезпечна (клас 4), ГДК буде великим (5.0).

Завдання для самостійної роботи:

1. На основі обраного підприємства скласти схему техпроцесу.
2. Визначити, які джерела будуть організованими (труби), а які – ні.
3. Сформувати таблицю, куди внести мінімум 3 різні речовини.

Контрольні питання:

1. Які чинні законодавчі та нормативно-правові акти в Україні регламентують обов'язковість проведення інвентаризації джерел викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря, і які правові та фінансові наслідки передбачені для суб'єктів господарювання за відсутність затвердженого звіту з інвентаризації?

2. Яким чином здійснюється системний аналіз технологічного процесу промислового підприємства з метою виявлення всіх потенційних точок утворення забруднювальних речовин, і як саме ланцюжок «Сировина → Обладнання → Викид» відображає матеріальний баланс виробництва?

3. Дайте екологічну та інженерну характеристику відмінностей між організованими та неорганізованими джерелами викидів, опишіть особливості формування газоповітряної суміші в кожному з них та обґрунтуйте, чому цей поділ є критично важливим для вибору математичних моделей розсіювання домішок.

4. Які існують специфічні інженерно-геометричні та термодинамічні параметри джерела викиду, і як саме кожен із цих чинників впливає на ефективність розсіювання забруднювальних речовин в атмосфері?

5. На основі аналізу специфіки котелень та теплоенергетичних установок детально опишіть хімізм утворення діоксиду азоту (NO_2) при спалюванні різних видів палива, а також охарактеризуйте параметри функціонування димових труб як класичних організованих висотних джерел викиду.

6. Які особливості утворення, дисперсного складу та просторового поширення абразивно-металевого пилу в цехах металообробки, та які принципи роботи очисного обладнання обумовлюють параметри формування викидів через організовані джерела середньої висоти?

7. Проаналізуйте технологічні процеси виробництва будівельних матеріалів (зокрема у шахтних печах) як джерела генерації цементного пилу, опишіть фізико-хімічні властивості цього поллютанта та обґрунтуйте специфіку нормування його геометричних і динамічних параметрів.

8. Які екологічні та експлуатаційні особливості мають системи пневмотранспорту й аспірації на деревообробних підприємствах, яким чином утворення деревного пилу інтегрується в паспорт джерела викиду, і як розраховується маса його надходження в атмосферу?

9. Дайте екологічну характеристику підприємствам харчової промисловості як специфічним джерелам виділення зернового пилу, та поясніть вплив значної висоти викиду на площу формування приземних концентрацій у житловій забудові.

10. У чому полягає біологічний та токсикологічний зміст поділу забруднювальних речовин на чотири класи небезпеки, і яким чином клас небезпеки хімічної сполуки корелює з величиною її гранично допустимої концентрації (ГДК) в атмосферному повітрі населених місць?

11. Яка екологічна різниця між максимально разовою та середньодобовою ГДК забруднювальних речовин, і чому при інвентаризації джерел та оцінці впливу одиничних потужних викидів на межі житлової зони за еталон приймається саме максимально разова ГДК?

12. Яке нормативно-методичне значення має чотиризначне кодування забруднювальних речовин (наприклад, код 0301 для NO_2) в загальнодержавній системі обліку, екологічного моніторингу та формування баз даних екологічного податку?

13. Опишіть методологію складання та структурування технічного паспорта джерела викиду, обґрунтуйте необхідність точної фіксації координат, лінійних розмірів та аеродинамічних характеристик газового потоку для подальшого розрахунку полів приземних концентрацій.

14. Які існують прямі (інструментально-лабораторні) та опосередковані (технологічні, розрахунково-балансові) методи визначення потужності викиду (M , г/с) забруднювальних речовин, і в яких випадках нормативно дозволяється використання розрахункових питомих показників?

15. Яким чином результати інвентаризації джерел викидів та сформована за її підсумками зведена характеристика речовин використовуються при розробці документів для отримання дозволу на викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

Тема: розрахунок розсіювання викидів забруднюючих речовин в атмосфері (за методикою ОНД-86 та з урахуванням сучасних підходів).

Мета заняття: набуття студентами практичних навичок розрахунку розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, визначення максимальної приземної концентрації та зон найбільшого впливу стаціонарних джерел викидів.

У процесі виконання заняття студент повинен:

- засвоїти фізичну суть процесу атмосферного розсіювання;
- навчитися застосовувати нормативну методику ОНД-86 для інженерних розрахунків;
- вміти визначати критичні метеорологічні умови, за яких концентрації є максимальними;
- отримати розрахункові значення, необхідні для подальшої оцінки екологічної небезпеки та обґрунтування СЗЗ.

Результати практичного заняття використовуються як розрахунковий підрозділ курсової роботи (1.2) та мають бути логічно пов'язані з інвентаризаційними даними, отриманими на ПР №1.

Нормативно-методична база та умови застосування методики ОНД-86

ОНД-86 – це нормативна методика розрахунку концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, що містяться у викидах підприємств (Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий) затверджена 4 серпня 1986 р. ГОСКОМГИДРОМЕТОМ СРСР. Документ визначає процедуру визначення максимальних приземних концентрацій та їх розподілу поблизу джерел викидів за несприятливих метеорологічних умов.

Методика ОНД-86, попри свій вік, залишається основним методичним документом для проведення розрахунків розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі в Україні. У той час як у РФ цей документ формально замінили іншими нормативами (серія МРР), в Україні він зберігає свою актуальність як перевірений та практично придатний інструмент:

- програмна база: Алгоритми ОНД-86 лежать в основі професійного програмного забезпечення, що пройшло сертифікацію та валідацію в українських державних органах (наприклад, серія програм «ЕОЛ»);
- державна експертиза: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України та експертні установи приймають розрахунки розсіювання для звітів з ОВД (Оцінка впливу на довкілля), виконані саме за цією методикою;
- методична база: ОНД-86 містить вичерпні посібники та приклади, що дозволяють стандартизувати розрахунки для різних типів джерел викидів.

Оскільки ОНД-86 є нормативним документом минулого періоду, який офіційно діє в частині, що не суперечить законодавству України, його часто використовують у зв'язці з новими наказами:

1. [Наказ Міндовкілля №448](#) – Про затвердження Методики розрахунку викидів забруднюючих речовин (хоча це специфічна методика, вона працює в загальній системі інвентаризації).
2. [Закон України «Про охорону атмосферного повітря»](#) – Базовий закон, що регулює вимоги до викидів.
3. [Портал «ЕкоСистема»](#) – Єдина екологічна платформа України, де подаються звіти ОВД, розраховані за принципами ОНД-86.
4. [ЕОЛ-Плюс \(Опис програмного комплексу\)](#) – Приклад програмного забезпечення, що використовує методику ОНД-86 в Україні.

Сфера застосування методики ОНД-86

Методика ОНД-86 призначена для:

- розрахунку разових концентрацій забруднюючих речовин в атмосфері, що утворюються від стаціонарних джерел (труб, газоходів, вентиляцій) у локальній зоні впливу;
- оцінки максимальних приземних концентрацій (20–30-хвилинні значення при несприятливих метеоумовах);
- вирішення завдань розроблення нормативів викидів (ПДВ) та оцінювання екологічної безпеки джерел.

Методика не поширюється на великі відстані (понад ~100 км) від джерела та не враховує окремі складні метеорологічні та рельєфні ефекти у деталях, як сучасні газо-дифузійні моделі.

Застосування в Україні

В Україні розрахунки розсіювання за ОНД-86 часто є нормативною основою у звітних та проектних документах, пов'язаних із:

- оцінкою впливу викидів на атмосферне повітря при розробці природоохоронної документації (ОВНС, розділи охорони атмосферного повітря);
- обґрунтуванні санітарно-захисних зон (СЗЗ);
- встановленні гранично допустимих викидів (ПДВ) для стаціонарних джерел.

Основні обмеження та важливі моменти

Методика розрахована на принаймні один організований джерело із заданими параметрами (висота, температура, швидкість викиду).

Концентрації визначаються для приземного шару повітря (~2 м).

Для груп джерел передбачено сумарне визначення концентрацій та можливість обліку фону.

При відсутності фактичних спостережень допускається облік фонових забруднень через розрахункові підходи.

Методика не враховує повністю всі атмосферні стани (класи стійкості, шерохватість) так само, як сучасні моделі (CALPUFF, AERMOD), але дає інженерний оцінний розрахунок.

В Україні немає прямого екземпляра ОНД-86 як офіційного державного документа, затвердженого місцевою нормотворчістю. Проте практика використання ОНД-86 закріплюється через:

- вимоги розрахунків у проектних документах;

- включення методики в програми типу «ЕОЛ-плюс»;
- використання у звітності ОВНС та підтвердженнях відповідності СЗЗ.

Розрахункова частина

Для розрахунку використовується стандартна модель. Суть така: дим виходить гарячим і летить вгору, але вітер його притискає до землі та розсіює – треба знайти найгірший варіант (найвищу концентрацію).

Для цього використовуються такі показники:

- 1) A – коефіцієнт стратифікації атмосфери: залежить від регіону, для України зазвичай $A = 160$ або 200 (чим вище значення, тим гірші умови для самоочищення повітря).
- 2) F – коефіцієнт осідання: якщо це газ – $F = 1$; якщо це пил – F може бути 2 або 3 (бо пил важчий і падає швидше).
- 3) m та n – безрозмірні коефіцієнти, що враховують умови виходу газів з труби (наскільки «легко» диму виходити).
- 4) η – коефіцієнт рельєфу: якщо місцевість рівна, він дорівнює 1.

Алгоритм розрахунку

Крок 1. Визначення об'єму газоповітряної суміші (V_1) – це скільки всього «повітря + диму» вилітає з труби за секунду:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v$$

де, D – діаметр труби, v – швидкість (з ПН №1).

Крок 2. Розрахунок максимальної концентрації (C_m):

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}$$

де: M – викид (г/с); H – висота труби (м); ΔT – різниця між температурою диму і вулиці (наприклад $120^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 100^\circ\text{C}$).

Крок 3. Визначення відстані максимуму (X_m): це точка на карті, де буде «найбрудніше». Зазвичай це відстань у 10-40 висот труби

$$X_m = \frac{5-d}{4} \cdot d \cdot H$$

Коефіцієнт d розраховується окремо залежно від швидкості виходу газів.

ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКУ

Вихідні дані:

- Підприємство: Котельня.
- Речовина: Діоксид азоту (NO_2).
- Викид (M): 0,5 г/с.
- Висота труби (H) 30 м.
- Діаметр (D): 0,8 м.
- Швидкість газу (v): 10 м/с.
- Температура газу (T_1) 150°C .
- Температура повітря (T_2) 20°C .

Крок 1. Визначення витрати димових газів

Спочатку рахуємо, скільки всього суміші виходить із труби за секунду:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \cdot 10 = 5,02 \text{ м}^3/\text{с}$$

Крок 2. Визначення різниці температур

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 150 - 20 = 130 \text{ }^\circ\text{C}$$

Крок 3. Розрахунок максимальної приземної концентрації (C_m)

Це головна формула ОНД 86. Вона показує найбільшу кількість бруду в 1 м³ повітря біля землі.

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} = \frac{200 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{30^2 \cdot 8,67} = 0,0128 \text{ мг/м}^3$$

Крок 4. Визначення відстані досягнення максимуму (X_m)

На якій відстані від труби цей дим «впаде» на землю з максимальною силою?

$$X_m = \frac{5 - d}{4} \cdot d \cdot H$$

Для нашого випадку (спрощено при небезпечній швидкості) приймемо допоміжний коефіцієнт $d = 2,5$.

$$X_m = \frac{5 - 2,5}{4} \cdot 2,5 \cdot 30 = 46,8$$

Крок 5. Оцінка результатів

Тепер порівнюємо отримане C_m із ГДК для діоксиду азоту (0, 2 мг/м³):
0,0128 мг/м³ < 0,2 мг/м³

Висновок: концентрація забруднюючої речовини в 15,6 рази менша за норму. Проектне рішення безпечне для населення.

Контрольні питання:

1. Яким є правовий та нормативно-методичний статус радянської методики ОНД-86 у сучасній системі екологічного нормування та моніторингу атмосферного повітря України, і через які державні інструменти та екологічні платформи закріплюється її практичне застосування?

2. Які базові вимоги та обмеження висуває методика ОНД-86 до геометричних і термодинамічних параметрів стаціонарного джерела викидів, та для якого саме шару атмосферного повітря розраховуються кінцеві значення приземних концентрацій домішок?

3. Проаналізуйте фізичну та метеорологічну суть процесу атмосферного розсіювання газоповітряної суміші, що виходить із висотного організованого джерела, та опишіть баланс сил між тепловим підйомом димових газів і притисною дією вітру.

4. Дайте теоретичне обґрунтування коефіцієнта стратифікації атмосфери (А), поясніть його екологічний зміст, географічну диференціацію та вплив його величини на здатність атмосферного повітря до самоочищення в різних регіонах України.

5. Який фізико-хімічний та аеродинамічний зміст має коефіцієнт осідання забруднювальної речовини (F), від яких параметрів дисперсності домішок залежить його градація і чому для діоксиду азоту та вуглецю його значення кардинально відрізняється від значень для цементного чи вугільного пилу?

6. Розкрийте методику визначення та роль безрозмірних коефіцієнтів m та n у загальній математичній моделі ОНД-86, та поясніть, які саме умови виходу газоповітряної суміші з гирла труби вони покликані враховувати.

7. Як коефіцієнт рельєфу (η) впливає на трансформацію повітряних потоків та перенесення забруднювальних речовин, у яких межах варіює цей показник і за яких умов екологічний інженер має право приймати його рівним одиниці?

8. Опишіть математичний алгоритм та фізичний зміст розрахунку секундного об'єму газоповітряної суміші (V_1), що вилітає з гирла джерела, та проаналізуйте ступінь впливу лінійних розмірів труби й швидкості газу на цей показник.

9. Проаналізуйте структуру базової інженерної формули ОНД-86 для обчислення максимальної приземної концентрації (C_m) та обґрунтуйте характер математичної залежності цієї концентрації від маси викиду та висоти джерела.

10. Яким чином температурний градієнт (ΔT) впливає на динаміку підйому факела викиду та підсумкову величину приземного забруднення?

11. Дайте теоретичне обґрунтування поняттю «відстань досягнення максимуму приземної концентрації (X_m)», опишіть математичну залежність цієї відстані від небезпечної швидкості вітру та висоти труби, а також вкажіть типовий діапазон її віддаленості від джерела.

12. Які метеорологічні умови відповідно до методики ОНД-86 класифікуються як «несприятливі», протягом якого часового інтервалу відбувається усереднення розрахункових разових концентрацій і чому саме ці параметри закладаються в основу екологічного проектування?

13. Яким чином методика ОНД-86 розв'язує інженерні завдання спільного розсіювання домішок від групи стаціонарних джерел, та які існують нормативні підходи до врахування існуючого фонового забруднення досліджуваної території?

14. Опишіть алгоритм порівняльного аналізу розрахованої максимальної приземної концентрації (C_m) із санітарно-гігієнічними нормативами (ГДК), та вкажіть, які саме управлінські, проектні чи екологічні висновки формуються на основі отриманого кратного співвідношення.

15. Проаналізуйте методичні обмеження ОНД-86 порівняно з сучасними закордонними тривимірними газодифузійними моделями (такими як AERMOD або CALPUFF), та обґрунтуйте, для вирішення яких екологічних завдань (ОВД, встановлення ПДВ, обґрунтування СЗЗ) вона залишається достатнім інструментом в Україні.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

Тема: оцінка екологічної небезпеки та обґрунтування розміру санітарно-захисної зони (СЗЗ).

Мета заняття: набуття студентами практичних навичок оцінювання екологічної небезпеки стаціонарних джерел викидів шляхом порівняння розрахованих приземних концентрацій із нормативами якості атмосферного повітря та обґрунтування розміру санітарно-захисної зони підприємства з урахуванням ефекту сумачії забруднюючих речовин і метеорологічних умов.

У процесі виконання заняття студент повинен:

- засвоїти поняття санітарно-захисної зони та її функціональне призначення;
- навчитися оцінювати відповідність розрахованих концентрацій нормативним вимогам;
- вміти враховувати ефект сумачії дії кількох речовин;
- визначати необхідний розмір СЗЗ відповідно до класу небезпеки підприємства;
- формувати обґрунтовані висновки щодо екологічної безпеки об'єкта.

1. Теоретичні основи встановлення санітарно-захисної зони

1.1. Поняття санітарно-захисної зони

Санітарно-захисна зона (СЗЗ) – це територія, що відокремлює промисловий майданчик підприємства від житлової забудови та інших об'єктів постійного перебування населення з метою зменшення впливу шкідливих факторів (хімічних, фізичних, біологічних).

Основне призначення СЗЗ:

- забезпечення нормативної якості атмосферного повітря на межі житлової забудови;
- зниження ризику негативного впливу на здоров'я населення;
- формування буферної території між джерелом впливу та житловою зоною.

У межах СЗЗ забороняється розміщення:

- житлових будинків;
- дитячих дошкільних закладів;
- закладів освіти;
- лікувальних установ.

1.2. Нормативне регулювання встановлення СЗЗ

Встановлення розміру СЗЗ здійснюється відповідно до:

- ДСП 173-96 «Санітарні правила планування та забудови населених пунктів»;
- Закон України «Про охорону атмосферного повітря»;
- державних гігієнічних нормативів гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць.

Розмір СЗЗ залежить від класу небезпеки підприємства:

Клас небезпеки підприємства	Орієнтовний розмір СЗЗ
I клас	1000 м
II клас	500 м
III клас	300 м

IV клас	100 м
V клас	50 м

Фактичний розмір СЗЗ може коригуватися за результатами розрахунків розсіювання та з урахуванням рози вітрів.

2. Оцінка екологічної небезпеки: загальні підходи

Оцінка екологічної небезпеки базується на результатах ПЗ №2, де були визначені максимальні приземні концентрації забруднюючих речовин (C_m).

Подальший аналіз включає:

1. Порівняння розрахованих концентрацій із відповідними ГДК.
2. Визначення кратності перевищення.
3. Урахування ефекту сумачії речовин односпрямованої дії.
4. Обґрунтування необхідного розміру СЗЗ.

Крок 1. Облік ефекту сумачії забруднюючих речовин

У випадку одночасної присутності в атмосферному повітрі декількох речовин односпрямованої дії (наприклад, NO_2 та SO_2), необхідно враховувати їх комбінований вплив.

Розрахунок проводиться за формулою:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1$$

де: $C_1, C_2 \dots C_n$ – розраховані максимальні приземні концентрації речовин (mg/m^3);

$ГДК_1, ГДК_2 \dots ГДК_n$ – відповідні гранично допустимі концентрації.

Інтерпретація результату:

- якщо сума ≤ 1 – норматив не перевищено;
- якщо сума > 1 – спостерігається перевищення допустимого рівня впливу, навіть якщо кожна речовина окремо не перевищує ГДК.

△ ефект сумачії враховується лише для речовин, що мають однаковий механізм токсичної дії.

Крок 2. Перевірка відповідності нормативам

Для кожної речовини визначається кратність перевищення:

$$K = \frac{C_m}{ГДК}$$

де: K – коефіцієнт кратності;

C_m – максимальна приземна концентрація;

ГДК – нормативне значення.

Аналіз результатів:

- $K \leq 1$ – норматив дотримано;
- $1 < K \leq 2$ – помірне перевищення;
- $K > 2$ – істотне перевищення, необхідне коригування СЗЗ або природоохоронні заходи.

Результати доцільно оформити у вигляді таблиці:

Речовина	$C_m, mg/m^3$	ГДК, mg/m^3	K	Висновок
----------	---------------	---------------	---	----------

Крок 3. Обґрунтування розміру санітарно-захисної зони

1. Визначити нормативний розмір СЗЗ відповідно до класу небезпеки підприємства (див. табл. 1).
2. Проаналізувати, на якій відстані від джерела концентрація зменшується до рівня ГДК.
3. Порівняти отриману відстань із нормативним розміром СЗЗ.

Можливі ситуації:

Якщо зона перевищення ГДК знаходиться в межах нормативної СЗЗ – розмір зони вважається достатнім;

Якщо перевищення виходить за межі нормативної СЗЗ – необхідно збільшити розмір СЗЗ або передбачити заходи зниження викидів (очисні споруди, підвищення труби, зменшення масової витрати).

Крок 4. Урахування рози вітрів

Оцінка розсіювання повинна враховувати переважаючі напрямки вітру.

Студент повинен:

- визначити домінуючий напрямок вітру для регіону;
- встановити, у якому напрямку формується зона максимального впливу;
- обґрунтувати доцільність розміщення житлової забудови з підвітряного боку.

Якщо максимальні концентрації формуються у напрямку житлової забудови – це підстава для перегляду розміру СЗЗ.

Крок 5. Формування висновків

У висновках необхідно:

1. Вказати, чи перевищуються нормативи якості повітря.
2. Проаналізувати наявність або відсутність ефекту сумачії.
3. Обґрунтувати достатність або недостатність нормативної СЗЗ.

Короткий алгоритм побудови рози вітрів (до завдання)

1. Збір даних: Візьміть таблицю спостережень за напрямом вітру.
2. Групування за напрямками: Розбийте всі спостереження на 8 (або 16) стандартних напрямів (Пн, Пн-Сх, Сх, ...) і визначте кількість випадків кожного напрямку.
3. Обчислення частоти: Обчисліть частку (або кількість) вітрів для кожного напрямку.
4. Побудова діаграми: На полі з полярною координатою (коло, поділене на сектори відповідно до напрямів) відкладіть для кожного напрямку довжину, пропорційну частоті вітру з цього напрямку.
5. Аналіз отриманої діаграми: Найдовші «спиці» вказують на домінуючі напрямки вітру – це важливо при оцінці екологічного впливу (розсіювання забруднювачів).

<https://www.youtube.com/watch?v=OGsVki5quuM&t=14s> Побудова рози ветрів

Вихідні дані для виконання ПЗ №3

- (річні дані повторюваності напрямів вітру, %);
- Усі варіанти працюють з 8-секторною розою вітрів:
- Пн | Пн-Сх | Сх | Пд-Сх | Пд | Пд-Зх | Зх | Пн-Зх
- Сума по кожному варіанту = 100 %

ВАРІАНТ 1

Клас небезпеки: II

Речовини: SO₂, NO₂См (мг/м³):SO₂ = 0,38NO₂ = 0,085ГДК (мг/м³):SO₂ = 0,50NO₂ = 0,085

Роза вітрів (%):

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
8	10	14	18	16	14	12	8

ВАРІАНТ 2

Клас: III

Речовини: CO, NO₂

См:

CO = 3,8

NO₂ = 0,06

ГДК:

CO = 5,0

NO₂ = 0,085

Роза вітрів:

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
6	8	12	20	18	16	12	8

ВАРІАНТ 3

Клас: I

Речовини: SO₂, PM₁₀

См:

SO₂ = 0,72PM₁₀ = 0,18

ГДК:

SO₂ = 0,50PM₁₀ = 0,15

Роза:

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
4	6	10	22	20	18	12	8

ВАРІАНТ 4

Клас: IV

Речовини: NO₂, O₃

См:

NO₂ = 0,09O₃ = 0,14

ГДК:

NO₂ = 0,085O₃ = 0,16

Роза:

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-3х	3х	Пн-3х
10	12	14	16	14	12	12	10

ВАРІАНТ 5

Клас: III

Речовини: PM_{2.5}, CO

См:

PM_{2.5} = 0,045

CO = 4,2

ГДК:

PM_{2.5} = 0,035

CO = 5,0

Роза:

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-3х	3х	Пн-3х
7	9	13	19	17	15	12	8

ВАРІАНТ 6

Клас: II

Речовини: SO₂, CO

См:

SO₂ = 0,41

CO = 4,6

ГДК:

SO₂ = 0,50

CO = 5,0

Роза:

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-3х	3х	Пн-3х
5	8	11	21	19	17	11	8

ВАРІАНТ 7

Клас: V

Речовини: NO₂, PM₁₀

См:

NO₂ = 0,07

$$PM_{10} = 0,13$$

ГДК:

$$NO_2 = 0,085$$

$$PM_{10} = 0,15$$

Роза:

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
12	14	16	14	12	10	12	10

ВАРІАНТ 8

Клас: I

Речовини: SO_2 , NO_2 , PM_{10}

См:

$$SO_2 = 0,63$$

$$NO_2 = 0,11$$

$$PM_{10} = 0,19$$

ГДК:

$$SO_2 = 0,50$$

$$NO_2 = 0,085$$

$$PM_{10} = 0,15$$

Роза:

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
3	5	9	24	22	18	11	8

ВАРІАНТ 9

Клас: II

Речовини: SO_2 , NO_2

См:

$$SO_2 = 0,52$$

$$NO_2 = 0,082$$

ГДК:

$$SO_2 = 0,50$$

$$NO_2 = 0,085$$

Роза:

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
6	7	15	23	19	14	10	6

ВАРІАНТ 10

Клас: III

Речовини: CO , O_3

См:

$$CO = 4,7$$

$$O_3 = 0,18$$

ГДК:

$$CO = 5,0$$

$O_3 = 0,16$

Роза:

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
9	11	15	17	16	14	10	8

ВАРІАНТ 11

Клас небезпеки: II

Речовини: SO_2 , NO_2

См (mg/m^3):

$SO_2 = 0,44$

$NO_2 = 0,089$

ГДК (mg/m^3):

$SO_2 = 0,50$

$NO_2 = 0,085$

Роза вітрів (%):

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
9	9	15	17	15	15	12	8

ВАРІАНТ 12

Клас: III

Речовини: CO , NO_2

См:

$CO = 3,85$

$NO_2 = 0,09$

ГДК:

$CO = 5,0$

$NO_2 = 0,085$

Роза вітрів:

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
7	7	14	18	18	16	10	10

ВАРІАНТ 13

Клас: I

Речовини: SO_2 , PM_{10}

См:

$SO_2 = 0,78$

$PM_{10} = 0,16$

ГДК:

$SO_2 = 0,50$

$PM_{10} = 0,15$

Роза:

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
5	5	10	21	21	18	11	9

ВАРІАНТ 14

Клас: IV

Речовини: NO₂, O₃

См:

NO₂ = 0,05O₃ = 0,11

ГДК:

NO₂ = 0,085O₃ = 0,16

Роза:

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
11	12	14	15	14	12	11	11

ВАРІАНТ 15

Клас: III

Речовини: PM_{2.5}, CO

См:

PM_{2.5} = 0,035

CO = 5,2

ГДК:

PM_{2.5} = 0,035

CO = 5,0

Роза:

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
9	9	13	17	17	15	10	10

1. Розрахувати кратність перевищення: $K = C_m / ГДК$
2. Якщо ≥ 2 речовини односпрямованої дії – визначити сумарний індекс.
3. Побудувати розу вітрів (полярна діаграма).
4. Визначити домінуючий напрям.
5. Побудувати схему СЗЗ:

Приклад виконання розрахункової роботи

Вихідні дані:

Клас небезпеки підприємства: II

Нормативна СЗЗ: 500 м

Речовини: SO₂, NO₂

Розраховані максимальні приземні концентрації (з ПЗ №2):

SO₂ = 0,44 мг/м³NO₂ = 0,095 мг/м³

ГДК (разова):

SO₂ = 0,50 мг/м³NO₂ = 0,085 мг/м³

Роза:

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
5	7	12	24	20	16	10	6

1. Визначення кратності перевищення

$$K = C_m / \text{ГДК}$$

Для SO₂:

$$K = 0,44 / 0,50 = 0,88 \quad K = 0,44 / 0,50 = 0,88 \quad K = 0,44 / 0,50 = 0,88$$

Норматив не перевищено.

Для NO₂:

$$K = 0,095 / 0,085 = 1,12 \quad K = 0,095 / 0,085 = 1,12 \quad K = 0,095 / 0,085 = 1,12$$

Є перевищення.

2. Розрахунок сумарного індексу

SO₂ та NO₂ – речовини односпрямованої дії (вплив на органи дихання).

$$\frac{0,44}{0,50} + \frac{0,095}{0,085}$$

$$0,88 + 1,12 = 2,00$$

Сумарний індекс дорівнює 2,0 (більше 1,0)

Висновок: спостерігається значне перевищення комбінованого впливу.

3. Річна повторюваність напрямів вітру (%)

Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
5	7	12	24	20	16	10	6

Аналіз:

Домінуючий напрям – Пд-Сх (24%)

Другий за частотою – Пд (20%)

Отже, найбільше розповсюдження забруднення очікується у північно-західному напрямку від підприємства.

4. Обґрунтування розміру СЗЗ

Нормативна СЗЗ для II класу – 500 м.

За результатами розрахунків (ПЗ №2) ізолінія ГДК для NO₂ досягається на відстані 620 м у напрямку Пд-Сх.

Оскільки 620 м > 500 м, нормативна СЗЗ є недостатньою.

З урахуванням домінуючого напрямку вітру доцільно:

- збільшити СЗЗ у напрямку Пд-Сх до 650 м;
- залишити 500 м в інших напрямках.

Таким чином, СЗЗ набуває асиметричної форми.

5. Графічне оформлення

1. Масштаб: 1 см = 100 м

2. У центрі – джерело викиду

3. Будується коло радіусом 500 м (нормативна зона)

4. У напрямку Пд-Сх відкладається 650 м
5. Проводиться коригована межа СЗЗ

6. Підсумковий висновок

1. Для NO_2 встановлено перевищення ГДК.
2. Сукупний вплив SO_2 та NO_2 перевищує норматив ($\Sigma > 1$).
3. Нормативна СЗЗ 500 м є недостатньою.
4. Рекомендовано збільшити зону до 650 м у напрямку домінуючих вітрів.
5. Доцільно передбачити додаткові заходи очищення викидів.

Контрольні питання для самостійної роботи

1. Розкрийте поняття санітарно-захисної зони як території, що відокремлює промисловий майданчик від житлової забудови. Опишіть її основне призначення та перерахуйте об'єкти, розміщення яких заборонено в межах СЗЗ.

2. Проаналізуйте законодавчу базу України, на основі якої здійснюється розрахунок та обґрунтування СЗЗ.

3. Надайте характеристику п'яти класам небезпеки підприємств та відповідним їм орієнтовним розмірам СЗЗ (від 50 до 1000 м). Поясніть, які чинники можуть впливати на коригування цих розмірів.

4. Опишіть алгоритм аналізу приземних концентрацій забруднюючих речовин (C_m). Розкрийте сутність порівняння розрахованих даних із ГДК та визначення кратності перевищення (K).

5. Обґрунтуйте необхідність урахування комбінованого впливу декількох речовин (наприклад, NO_2 та SO_2). Наведіть формулу розрахунку сумарного індексу та поясніть інтерпретацію результату, коли сума часток перевищує одиницю.

6. Опишіть градацію оцінки результатів за коефіцієнтом кратності (K): від дотримання нормативу до істотного перевищення, що вимагає коригування СЗЗ.

7. Поясніть логіку прийняття рішення щодо розміру зони: у яких випадках нормативна СЗЗ вважається достатньою, а коли виникає необхідність її збільшення або впровадження очисних споруд.

8. Обґрунтуйте роль панівних напрямків вітру у формуванні зони максимального впливу підприємства та доцільність розміщення житлової забудови з підвітряного боку.

9. Опишіть етапи збору даних, групування за румбами та побудови полярної діаграми для визначення домінуючих напрямків вітру в регіоні.

10. Опишіть алгоритм формування висновку щодо екологічної безпеки підприємства, спираючись на результати розрахунків та аналіз нормативних вимог.

11. Яким чином у вітчизняному екологічному законодавстві та містобудівній практиці визначається правовий режим території санітарно-захисної зони, та які категорії об'єктів (житлові будинки, лікувально-

профілактичні заклади, дитячі майданчики, об'єкти харчової промисловості) за чинними нормативами ДСП 173-96 категорично заборонено розміщувати в її межах?

12. Яка нормативно-методологічна послідовність та критерії використовуються при обґрунтуванні зменшення або збільшення орієнтовних розмірів санітарно-захисної зони для промислових підприємств на основі порівняльного аналізу розрахункових ізоліній ГДК та базових нормативних меж?

13. На основі яких екологічних, кліматологічних та аеродинамічних чинників здійснюється розрахунок та побудова «рози вітрів», і як саме її конфігурація та переважаючі напрямки вітру впливають на трансформацію геометричної форми нормативної СЗЗ із кругової на асиметричну?

14. Опишіть інженерний алгоритм дій та організаційно-технічні заходи, які має розробити та запропонувати еколог у випадку, якщо зона перевищення ГДК виходить за межі нормативної СЗЗ.

15. Яка роль відводиться санітарно-захисній зоні підприємства в процедурі Оцінки впливу на довкілля (ОВД) та при встановленні нормативів гранично допустимих викидів (ГДВ), і яким чином результати моделювання полів приземних концентрацій та ефекту сумації впливають на прийняття управлінських екологічних рішень?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

Тема: характеристика об'єкта водовідведення та розрахунок кратності розбавлення

Мета: навчити студентів збирати вихідні дані про гідрологічний режим водного об'єкта та проводити розрахунок здатності річки до розбавлення стічних вод, що є першим етапом оцінки впливу підприємства на гідросферу.

План заняття:

Аналіз гідрологічних характеристик: Збір даних про розрахункову витрату води в річці (Q , $\text{м}^3/\text{с}$), швидкість течії (v , $\text{м}/\text{с}$) та глибину річки в місці випуску.

Визначення витрати стічних вод: Розрахунок фактичного об'єму стічних вод підприємства (q , $\text{м}^3/\text{с}$) на основі технологічної схеми.

Розрахунок коефіцієнта змішування: Визначення ступеня змішування стічних вод з річковою водою за методом Фролова-Родзиллера.

Визначення кратності розбавлення: Обчислення загальної кратності розбавлення стічних вод у контрольному створі.

1. Аналіз гідрологічних характеристик:

Збір даних про розрахункову витрату води в річці (Q , $\text{м}^3/\text{с}$), швидкість течії (v , $\text{м}/\text{с}$) та глибину річки в місці випуску.

Аналіз гідрологічних характеристик є основою для проектування гідротехнічних споруд, управління водними ресурсами та прогнозування природних явищ (паводків, засух).

До основних параметрів аналізу належать: рівень води (H , см), витрата води (Q , $\text{м}^3/\text{с}$), річковий стік - сумарна кількість води за певний період (місяць, сезон, рік), швидкість течії (v , $\text{м}/\text{с}$), температурний та льодовий режим: Терміни замерзання, товщина льоду та тривалість льодоставу.

Етапи проведення аналізу:

- Збір даних: Використання архівних матеріалів гідрологічних щорічників та даних спостережень на гідропостах.

- Статистична обробка: Побудова кривих розподілу ймовірностей (наприклад, визначення витрати води, яка буває раз на 100 років — 1% забезпеченість).

- Побудова гідрографа: Графік зміни витрат води протягом року, що дозволяє виділити фази водного режиму:

- Повінь (Водопілля): Тривале збільшення водності навесні.

- Паводки: Короткочасні підйоми рівня через зливи.

- Межень: Періоди найнижчого рівня води (літня та зимова).

Для розрахунку впливу підприємства на річку необхідно систематизувати дані про гідрологічний режим водного об'єкта та параметри стічних вод (згідно варіантом).

Гідрологічні параметри річки (приклад для розрахунку):

Розрахункова витрата води в річці (Q) – 15,0м³/с;

Швидкість течії (v) – 0,4м/с;

Середня глибина (H) – 2,5м;

Відстань від випуску до контрольного створу (L) – 500м;

Тип випуску – береговий.

Параметри стічних вод підприємства (q): Витрата стічних вод розраховується на основі чисельності персоналу та норм водоспоживання. Прийемо для прикладу q=0,025м³/с.

Розрахунок коефіцієнта змішування (γ)

Коефіцієнт змішування показує, яка частина річкової води встигає перемішатися зі стічними водами в розрахунковому створі. Розрахунок проводиться за методом Фролова-Родзиллера. Метод базується на визначенні коефіцієнта змішування (γ), який показує, яка частина річкової води бере участь у розбавленні стічних вод у конкретному створі.

Спочатку визначаємо коефіцієнт турбулентної дифузії (D (E), коеф., що визначає здатність цих вихорів переносити забруднюючу речовину від місця випуску до берегів та вглиб.):

$$D = \frac{g \cdot v \cdot H}{200 \cdot C^2}$$

де g – прискорення вільного падіння; C – коефіцієнт Шезі.

– коеф. Шезі по ф-ле Маннінга

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}$$

де: n – коефіцієнт шорсткості (залежить від типу дна: пісок, бетон, каміння);

R – гідравлічний радіус (для широких річок приблизно дорівнює середній глибині H);

– за ф-лою Павловського

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y$$

Де показник степеня у залежить від шорсткості та радіуса:

- y=1.3√n (якщо R<1 м);

- y=1.5√n (якщо R>1 м).

– Визначення «по факту» (Гідрометричний спосіб). Якщо ви проводите реальні вимірювання на річці, C можна знайти через швидкість течії (v) та ухил річки (I):

$$C = \frac{v}{\sqrt{R \cdot I}}$$

Далі розраховуємо основний показник – коефіцієнт змішування:

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \cdot \sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{q} \cdot e^{-\alpha \cdot \sqrt[3]{L}}}$$

де: L – відстань від випуску до розрахункового створу (по фарватеру), м;

q – витрата стічних вод, м³/с;

Q – витрата води в річці, $\text{м}^3/\text{с}$;

e – основа натурального логарифма (≈ 2.718);

a – коефіцієнт, що враховує гідравлічні умови змішування.

$$a = \phi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{q}}$$

де, ϕ – коеф. звивистості – відношення відстані по фарватеру до відстані по прямій. Чим більш звивиста річка, тим інтенсивніше перемішування.

ξ – коеф. місця випуску:

$\xi=1$ – якщо випуск біля берега.

$\xi=1.5$ – якщо випуск на середині річки (русловий випуск), що значно прискорює змішування.

D – коеф. турбулентної дифузії.

Фізичний зміст результату

Якщо $\gamma=0.2$, це означає, що лише 20% річкової води бере участь у розбавленні ваших стоків у даному створі. Решта 80% води протікають «повз» брудну пляму, не взаємодіючи з нею.

Чим далі розрахунковий створ (L) від труби, тим більшим стає γ .

На великій відстані (десятки кілометрів) γ наближається до 1, що означає стан повного змішування.

Для чого це потрібно?

Цей коефіцієнт дозволяє точно розрахувати концентрацію забруднення в контрольному створі. Наприклад, якщо створ знаходиться за 500 метрів від заводу (де зазвичай розташована межа санітарної зони або рибогосподарський пост), саме значення γ покаже, чи не перевищує там вміст речовин норми ГДК.

Визначення загальної кратності розбавлення (n)

Кратність розбавлення – це показник, який демонструє, у скільки разів зменшиться концентрація забруднюючої речовини при змішуванні стічних вод із річковою водою.

Формула загальної кратності розбавлення:

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q}$$

Приклад розрахунку:

Якщо після підстановки всіх гідравлічних коефіцієнтів ми отримали $\gamma=0,45$ (тобто 45% річкової води бере участь у змішуванні), то:

$$n = \frac{0,45 \cdot 15,0 + 0,025}{0,025} = 271$$

Це означає, що початкова концентрація забруднювача в стічній воді зменшиться в 271 раз до моменту досягнення контрольного створу.

Отримане значення кратності розбавлення (n) є фундаментальним для наступного кроку – розрахунку ГДС (гранично допустимого скиду). Чим більша кратність розбавлення, тим вищу концентрацію забруднювача

підприємство може «дозволити» собі скидати без порушення нормативів ГДК у річці.

2. Визначення витрати стічних вод: Розрахунок фактичного об'єму стічних вод підприємства (q , $\text{м}^3/\text{с}$) на основі технологічної схеми.

Витрата q береться не «зі стелі», а на основі технологічного регламенту підприємства. Основними джерелами є:

- Баланс водоспоживання та водовідведення: Документ, де розписано, скільки води прийшло на підприємство і куди вона пішла (на продукт, на випаровування, у каналізацію).

- Показники лічильників: Якщо підприємство вже працює.

- Проектна потужність: Для нових об'єктів.

Технологічні служби часто надають дані у $\text{м}^3/\text{добу}$ або $\text{м}^3/\text{годину}$. Для гідрологічних розрахунків їх обов'язково потрібно перевести у $\text{м}^3/\text{с}$:

Стічні води рідко скидаються рівномірно. Для розрахунку впливу на річку важливо розуміти:

- Середньогодинна витрата: Для загальної оцінки.

- Максимальна секундна витрата: Саме її зазвичай використовують для розрахунку «найгіршого сценарію» (максимального забруднення), щоб гарантувати екологічну безпеку в пікові години роботи заводу.

Якщо витрата стічних вод дуже мала порівняно з річкою ($q \ll Q$), то перемішування відбувається швидше, а якщо q порівнянне з Q (наприклад, скид у малу річку), зона забруднення може розтягнутися на десятки кілометрів.

Задача. Визначити здатність річки до розбавлення стічних вод підприємства у контрольному створі. Для розрахунку використовуйте метод Фролова-Родзиллера. Прийміть коефіцієнт звивистості $\phi=1.1$ та коефіцієнт шорсткості $n=0.030$ для всіх варіантів.

Варіант	Витрата річки Q , $\text{м}^3/\text{с}$	Швидкість v , $\text{м}/\text{с}$	Глибина H , м	Відстань L , м	Тип випуску, ξ	Витрата стоків q , $\text{м}^3/\text{с}$
1	12.0	0.35	2.0	400	Береговий, ($\xi = 1$)	0.015
2	25.0	0.50	3.5	600	Русловий ($\xi = 1,5$)	0.040
3	8.0	0.25	1.5	300	Береговий ($\xi = 1$)	0.010
4	45.0	0.70	5.0	1000	Русловий ($\xi = 1,5$)	0.120
5	28.0	0.545	3.8	550	Береговий ($\xi = 1$)	0.025
6	5.5	0.20	1.2	250	Береговий ($\xi = 1$)	0.008
7	30.0	0.55	4.0	750	Русловий ($\xi = 1,5$)	0.060

8	14.5	0.40	2.2	450	Береговий ($\xi = 1$)	0.020
9	60.0	0.80	6.0	1200	Русловий ($\xi = 1,5$)	0.200
10	10.0	0.30	1.8	350	Береговий ($\xi = 1$)	0.012
11	22.0	0.48	3.2	550	Русловий ($\xi = 1,5$)	0.035
12	35.0	0.60	4.5	800	Береговий ($\xi = 1$)	0.075
13	7.0	0.22	1.4	280	Береговий ($\xi = 1$)	0.009
14	50.0	0.75	5.5	1100	Русловий ($\xi = 1,5$)	0.150
15	16.5	0.42	2.6	480	Береговий ($\xi = 1$)	0.022

Приклад розрахунку

Вихідні дані

Згідно з гідрологічними параметрами та характеристиками стічних вод

- Розрахункова витрата води в річці (Q) = 16.0 м³/с.
- Швидкість течії (v) = 0.45 м/с.
- Середня глибина (H) = 2.8 м.
- Відстань до контрольного створу (L) = 500 м.
- Тип випуску: береговий ($\xi = 1$).
- Витрата стічних вод (q) = 0.025 м³/с.
- Коефіцієнт шорсткості (n) = 0.030 (прийнято для розрахунку).
- Коефіцієнт звивистості (ϕ) = 1,1.

Покроковий розрахунок

Крок А: Визначення коефіцієнта Шезі (C)

За формулою Маннінга, оскільки $H > 1$ м, гідравлічний радіус $R \approx H$:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6} = \frac{1}{0.030} \cdot 2.8^{1/6} \approx 33.33 \cdot 1.187 = 39.56$$

Крок Б: Визначення коефіцієнта турбулентної дифузії (D)

Використовуємо формулу, де $g = 9.81$ м/с²:

$$D = \frac{g \cdot v \cdot H}{200 \cdot C^2} = \frac{9.81 \cdot 0.45 \cdot 2.8}{200 \cdot 39.56^2} = \frac{12.36}{312978} \approx 0.0000395$$

Крок В: Визначення коефіцієнта гідравлічних умов змішування (a)

$$a = \phi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{q}} = 1.1 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{0.0000395}{0.025}} \approx 1.1 \cdot \sqrt[3]{0.00158} \approx 1.1 \cdot 0.116 = 0.1276$$

Крок Г: Визначення коефіцієнта змішування (γ)

$$\gamma = \frac{1 - e^{-a \cdot \sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{q} \cdot e^{-a \cdot \sqrt[3]{L}}}$$

1. Обчислимо експоненту: $\sqrt[3]{500} \approx 7.937$; $a \cdot \sqrt[3]{L} = 0.1276 \cdot 7.937 \approx 1.013$.

2. $e^{-1.013} \approx 0.363$.

3. $\gamma = \frac{1-0.363}{1+\frac{18.0}{0.025} \cdot 0.363} = \frac{0.637}{1+720 \cdot 0.363} = \frac{0.637}{262.36} \approx 0.0024$

Крок Д: Розрахунок загальної кратності розбавлення (п)

Показує, у скільки разів зменшиться концентрація забруднювача:

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q} = \frac{0.0024 \cdot 18.0 + 0.025}{0.025} = \frac{0.0432 + 0.025}{0.025} = \frac{0.0682}{0.025} = 2.73$$

Висновок: в результаті розрахунку встановлено, що кратність розбавлення стічних вод у контрольному створі становить 2.73. Це означає, що початкова концентрація забруднюючих речовин у стічній воді зменшиться лише у 2.73 рази до моменту досягнення створу. Таке низьке значення пояснюється близькою відстанню (500 м) та береговим типом випуску. Отримане число n буде використано для подальшого розрахунку ГДС.

Контрольні запитання

1. Яка основна мета проведення аналізу гідрологічних характеристик річки?
2. Перелічіть основні фази водного режиму річки, що виділяються на гідрографі.
3. Чим відрізняється «повінь» від «паводку» з точки зору гідрології?
4. Що таке «межень» і які її види існують?
5. Які джерела даних використовуються для збору інформації про гідрологічний режим?
6. Який фізичний зміст має коефіцієнт турбулентної дифузії D?
7. Від яких параметрів річки залежить коефіцієнт Шезі C?
8. Як тип випуску (береговий чи русловий) впливає на інтенсивність змішування?
9. Що показує коефіцієнт змішування γ ?
10. Чому при розрахунках екологічної безпеки важливо використовувати «максимальну секундну витрату» стічних вод?
11. Яке значення має коефіцієнт γ у створі повного змішування?
12. Що таке «кратність розбавлення» і в яких одиницях вона вимірюється?
13. Як відстань до контрольного створу L впливає на значення коефіцієнта змішування?
14. На основі яких документів визначається витрата стічних вод підприємства q?
15. Чому для малих річок зона забруднення може бути значно довшою, ніж для великих?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5

Тема: нормування скидів: Розрахунок гранично допустимих скидів (ГДС)

Мета: набуття практичних навичок щодо розрахунку нормативів ГДС для забруднюючих речовин, що скидаються у поверхневий водний об'єкт, з урахуванням ефекту самоочищення.

План заняття:

1. Ідентифікація пріоритетних забруднювачів: Оцінка концентрацій нафтопродуктів, завислих речовин та кислот у стічних водах підприємства.
2. Аналіз фоновому стану річки: Визначення фонові концентрації забруднюючих речовин (C_{ϕ}) вище за течією від місця випуску.
3. Розрахунок нормативу ГДС: Обчислення допустимої концентрації речовин у стічних водах ($C_{гдс}$), при якій у контрольному створі буде забезпечено дотримання ГДК для водойм відповідної категорії користування.
4. Оцінка показників кисневого режиму: Розрахунок впливу БСК та температури на процеси самоочищення водойми.

Теоретичні відомості до практичного заняття

1. Поняття ГДС та його роль у природоохоронному законодавстві

Гранично допустимий скид (ГДС) – це науково обґрунтована межа маси забруднюючої речовини, яку підприємству дозволено скидати у водойму за одиницю часу (г/с або т/рік).

Основна мета: забезпечити таку якість води, щоб у контрольному створі (зазвичай 500 м нижче за течією) концентрація речовин не перевищувала встановлені державою ГДК (гранично допустимі концентрації).

ГДС розраховується окремо для кожного випуску стічних вод і для кожної речовини зокрема.

2. Категорії водокористування

Величина ГДС напряму залежить від того, для чого використовується річка. В Україні виділяють дві основні категорії:

- господарсько-питне та культурно-побутове: норми спрямовані на захист здоров'я людини.
- рибогосподарське: норми часто набагато суворіші, оскільки враховують чутливість риб та планктону до токсинів (наприклад, ГДК нафтопродуктів тут лише 0,05 мг/л).

3. Розрахункова база: Зв'язок із ПЗ №4

Для розрахунку ГДС ми використовуємо два ключові показники, отримані раніше:

- q (м³/с): витрата стічних вод підприємства.
- n (безрозмірна величина): кратність загального розбавлення.

Формула допустимої концентрації ($C_{гдс}$):

$$C_{гдс} = n \cdot (C_{гдк} - C_{\phi}) + C_{\phi}$$

де: $C_{гдк}$ – норматив для даної річки;

$C_{ф}$ – фонові концентрації (скільки бруду вже було в річці вище за завод).

5. Порядок розрахунку (Алгоритм)

1. Визначення пріоритетних речовин: нафта, сульфати, метали тощо.
2. Вибір контрольного створу: точка в річці, де ми перевіряємо дотримання закону.
3. Облік ефекту сумації: якщо в стоках є кілька речовин з однаковим механізмом дії (наприклад, різні метали), їх сумарна частка не повинна перевищувати 1.

План виконання роботи на занятті:

На основі отриманого в ПЗ №4 значення n , обрати свій варіант забруднюючої речовини.

- Визначити допустиму концентрацію $C_{гдс}$ за формулою змішування.
- Розрахувати масовий скид за секунду ($M = q \cdot C_{гдс}$).
- Перевірити кисневий режим водойми за показником БСК.
- Зробити висновок про необхідність додаткового очищення стоків на підприємстві.

Для розрахунку використовуйте значення кратності розбавлення (n), отримане у ПР №4 для вашого варіанта.

Варіант	Забруднююча речовина	ГДК ($C_{гдк}$), мг/л	Фонові ($C_{ф}$), мг/л	Категорія водойми
1	Нафтопродукти	0.05	0.012	Рибогосподарська
2	Сульфати	100.0	45.0	Госп-побутова
3	Хлориди	300.0	120.0	Рибогосподарська
4	Азот амонійний	0.5	0.15	Рибогосподарська
5	Мідь (Cu)	0.001	0.0004	Рибогосподарська
6	Завислі речовини	10.75*	10.0	Госп-питна
7	Цинк (Zn)	0.01	0.003	Рибогосподарська
8	Феноли	0.001	0.0002	Рибогосподарська
9	СПАР	0.5	0.1	Госп-побутова
10	Залізо загальне	0.1	0.04	Рибогосподарська
11	Нітрати	45.0	15.0	Госп-питна
12	Фосфати	2.14	0.8	Рибогосподарська
13	Марганець	0.01	0.002	Рибогосподарська
14	Нітрити	0.08	0.02	Рибогосподарська
15	Магній	40.0	18.0	Госп-побутова

Примітка: Для завислих речовин ГДК часто розраховується як "фонова + 0.25 (або 0.75) мг/л". У варіанті №6 вказано кінцеве значення.

Приклад виконання розрахунку

Вихідні дані:

Речовина: Нікель (Ni).

ГДК ($C_{гдк}$) = 0.01 мг/л (рибогосподарські норми).

Фонова концентрація ($C_{ф}$) = 0.004 мг/л.

Витрата стічних вод (q) = 0.025 м³/с (з ПР №4).

Кратність розбавлення (n) = 2.58 (результат розрахунку ПР №4).

Хід розв'язання:

Крок 1. Розрахунок гранично допустимої концентрації у стічних водах:

$$C_{гдс} = n \cdot (C_{гдк} - C_{ф}) + C_{ф}$$

$$C_{гдс} = 2.58 \cdot (0.01 - 0.004) + 0.004 = 0.01948$$

Крок 2. Визначення масового показника ГДС (г/с):

$$M_{гдс} = q \cdot C_{гдс} = 0.025 \cdot 0.01948 = 0.000487 \text{ г/с}$$

Крок 3. Перерахунок у добовий та річний скид:

$$\text{Добовий: } 0.000487 \cdot 3600 \cdot 24 = 42.07 \text{ г/добу.}$$

$$\text{Річний: } 42.07 \cdot 365 / 1000 = 0.015 \text{ кг/рік.}$$

Крок 4. Оцінка кисневого режиму (БСК):

Якщо речовина органічна, враховуємо самоочищення за час добігання t (год)

Для БСК певного при $t = 5$ год та константі $k = 0.1$:

$$C_{гдс(бск)} = n \cdot (C_{гдк} \cdot 10^{kt} - C_{ф}) + C_{ф}$$

Контрольні запитання

1. У чому полягає відмінність між поняттями ГДК та ГДС?
2. Як зміна категорії водойми (наприклад, з рибогосподарської на господарсько-питну) вплине на величину ГДС?
3. Чому при $C_{ф} > C_{гдк}$ розрахунок ГДС за стандартною формулою стає неможливим? Які рішення приймаються в такому разі?
4. Яким чином на ГДС впливає відстань до контрольного створу L ?
5. Поясніть фізичний зміст формули $C_{гдс} = n(C_{гдк} - C_{ф}) + C_{ф}$.
6. Які органи в Україні затверджують розроблені нормативи ГДС?
7. Як враховується температура води при розрахунку показників кисневого режиму (БСК)?
8. Що таке ефект сумації забруднюючих речовин і для яких груп сполук він застосовується?
9. Як зміниться ГДС підприємства, якщо воно впровадить систему оборотного водопостачання (зменшить q)?
10. Чому для завислих речовин використовується принцип «фон плюс добавка», а не жорстке фіксоване значення?
11. Що таке коефіцієнт змішування (n або γ) у розрахунках ГДС і від яких гідрологічних факторів він залежить?
12. Яким чином тип випуску стічних вод (зосереджений, розсереджений чи русловий) впливає на умови змішування та величину ГДС?
13. Для якого гідрологічного режиму річки (водності) зазвичай розраховуються нормативи ГДС і чому?
14. Які санкції або правові наслідки чекають на підприємство в Україні у разі перевищення встановлених лімітів ГДС?
15. Як розраховується ГДС для підприємств, які скидають свої стічні води не безпосередньо у водойму, а у міську каналізаційну мережу (систему водовідведення)?

Практична робота № 6

Тема: проектування пунктів спостереження за якістю вод у зоні впливу підприємства

Мета: навчити студентів обґрунтовувати розташування пунктів моніторингу гідросфери у зоні впливу підприємства для забезпечення контролю за дотриманням нормативів ГДС.

План заняття:

1. Визначення меж зони впливу: Встановлення відстані від місця випуску до створу повного змішування.
2. Проектування мережі спостережень: Вибір місць розташування фонових (вище випуску) та контрольних (нижче за течією) створів згідно з ДСТУ.
3. Обґрунтування регламенту спостережень: Визначення переліку показників для контролю та періодичності відбору проб (сезонність, паводки тощо).
4. Оформлення графічного матеріалу: Нанесення схеми випусків та пунктів моніторингу на ситуаційний план району розміщення підприємства.

1. Теоретичні основи визначення зони змішування стічних вод

1.1. Поняття зони змішування та її значення

Зона змішування – це ділянка водного об'єкта, в межах якої відбувається процес розбавлення стічних вод природними водами до встановлених нормативних показників якості.

У межах цієї зони допускається перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК), однак за її межами якість води повинна відповідати встановленим екологічним нормативам.

Довжина зони змішування залежить від:

- витрати води у річці (Q , м³/с);
- витрати стічних вод (q , м³/с);
- гідравлічних характеристик потоку;
- умов турбулентного перемішування;
- коефіцієнта змішування (γ).

1.2. Коефіцієнт змішування (γ)

Коефіцієнт змішування показує, яка частина потоку річки бере участь у розбавленні стічних вод.

$$\gamma = \frac{Q_{\text{еф}}}{Q}$$

де: γ – коефіцієнт змішування;

$Q_{\text{еф}}$ – ефективна витрата води, що бере участь у змішуванні, м³/с;

Q – повна витрата річки, м³/с.

Значення γ змінюється в межах: $0 < \gamma \leq 1$

1.3. Довжина зони змішування

Довжина зони змішування визначає відстань від місця випуску стічних вод до створу, де концентрації забруднюючих речовин досягають допустимих значень.

У спрощеному вигляді для інженерних розрахунків використовується залежність:

$$L = \frac{v \cdot B^2}{E}$$

де: L – довжина зони змішування, м;

v – швидкість течії, м/с;

B – ширина річки, м;

E – коефіцієнт турбулентної дифузії, м²/с.

1.4. Спрощене визначення коефіцієнта турбулентної дифузії

Для практичних розрахунків допускається використання емпіричної залежності: $E = 0,6 v h$, де h – середня глибина річки, м.

1.5. Умова повного змішування

Повне змішування вважається досягнутим, якщо $C \leq C_{\text{доп}}$

де: C – концентрація забруднюючої речовини після змішування;

$C_{\text{доп}}$ – гранично допустима концентрація.

1.6. Визначення концентрації після змішування

Концентрація після змішування визначається з урахуванням розбавлення:

$$C = \frac{q \cdot C_{\text{ст}} + \gamma Q \cdot C_0}{q + \gamma Q}$$

де: C – концентрація у контрольному створі;

$C_{\text{ст}}$ – концентрація у стічних водах;

C_0 – фонові концентрація.

1.7. Алгоритм визначення зони змішування

Розрахунок виконується у такій послідовності:

1. Визначити гідрологічні характеристики річки (Q , v , h , B).
2. Визначити витрату стічних вод (q).
3. Обчислити коефіцієнт турбулентної дифузії (E).
4. Розрахувати довжину зони змішування (L).
5. Визначити коефіцієнт змішування (γ).
6. Розрахувати концентрацію забруднюючих речовин у контрольному створі.
7. Порівняти отримані значення з нормативами (ГДК).

2. Розрахунок параметрів зони змішування (приклад розрахунку)

2.1. Вихідні дані для розрахунку

Таблиця 2.1 – Вихідні дані

Показник	Позначення	Значення	Одиниці
Витрата річки	Q	25	м ³ /с
Витрата стічних вод	q	0,02	м ³ /с
Швидкість течії	v	0,6	м/с

Середня глибина	h	2,5	м
Ширина річки	B	18	м
Концентрація у стоках (БСК ₅)	C _{st}	180	мг/л
Фонова концентрація	C ₀	3	мг/л
ГДК	C _{доп}	6	мг/л

2.2. Розрахунок коефіцієнту турбулентної дифузії

$$E = 0,6 \cdot v \cdot h$$

$$E = 0,6 \cdot 0,6 \cdot 2,5 = 0,9 \text{ м}^2/\text{с}$$

2.3. Розрахунок довжини зони змішування

$$L = \frac{v \cdot B^2}{E}$$

$$L = \frac{0,6 \cdot 18^2}{0,9}$$

$$L = \frac{0,6 \cdot 324}{0,9} = \frac{194,4}{0,9} = 216 \text{ м}$$

2.4. Визначення коефіцієнту змішування

Оскільки довжина змішування менша за нормативну контрольну відстань (500 м), приймаємо $\gamma = 1$.

2.5. Розрахунок концентрації після змішування

$$C = \frac{q \cdot C_{\text{ст}} + \gamma Q \cdot C_0}{q + \gamma Q}$$

$$C = \frac{0,02 \cdot 180 + 1 \cdot 25 \cdot 3}{0,02 + 25}$$

$$C = \frac{3,6 + 75}{25,02} = \frac{78,6}{25,02} \approx 3,14 \text{ мг/л}$$

2.6. Перевірка на відповідність ГДК

$$3,14 < 6$$

Висновок: у контрольному створі якість води відповідає нормативним вимогам.

3. Побудова схеми зони змішування

3.1. Загальні положення

Схема зони змішування є графічним відображенням процесу розбавлення стічних вод у водному об'єкті та використовується для:

- візуалізації довжини зони змішування (L);
- визначення контрольних створів;
- оцінки впливу скиду на водний об'єкт;

- обґрунтування відповідності нормативним вимогам.

3.2. Вихідні параметри для побудови

Для побудови схеми використовуються розраховані значення:

- довжина зони змішування: $L=216$ м
- швидкість течії: $v=0,6$ м/с
- ширина річки: $B=18$ м
- контрольна відстань: $L_{\text{контр}} = 500$ м

3.3. Масштаб побудови

Для зручності графічного відображення приймається масштаб: 1:5000 (1 см=50 м)

3.4. Послідовність побудови схеми

Побудова виконується у такій послідовності:

- Провести вісь річки у вигляді прямої лінії.
- Позначити напрямок течії (стрілкою).
- Визначити точку випуску стічних вод.
- Відкласти вниз за течією довжину зони змішування: $L=216$ м $\Rightarrow$ 4,32 см
- Позначити межу повного змішування.
- Відкласти контрольний створ: 500 м $\Rightarrow$ 10 см
- Позначити контрольний створ та підписати його.

3.5. Позначення на схемі

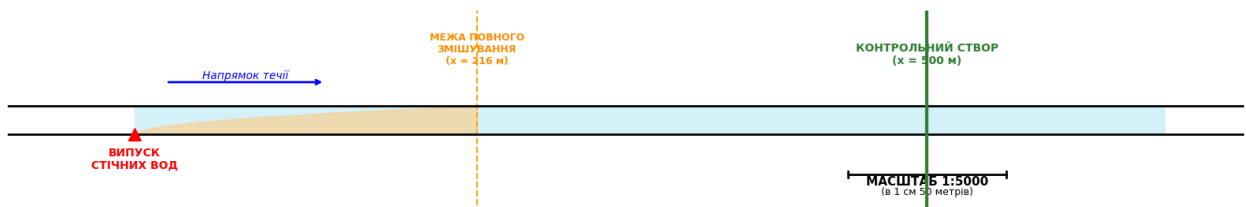
На схемі обов'язково зазначаються:

- місце випуску стічних вод;
- напрямок течії;
- зона змішування (L);
- контрольний створ (500 м);
- масштаб;
- основні розрахункові параметри.

3.6. Висновок до графічної частини

Побудована схема підтверджує результати аналітичних розрахунків та дозволяє зробити висновок про допустимість скиду стічних вод у даних умовах.

СХЕМА ЗОНИ ЗМІШУВАННЯ ТА ПУНКТИВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВОД



Контрольні запитання

1. Чому фоновий створ не можна розташовувати в безпосередній близькості до випуску?
2. Яка нормативна відстань до контрольного створу для рибогосподарських водойм?

3. Чим відрізняється «створ» від «пункту спостереження»?
4. Які гідрологічні умови річки вимагають частішого відбору проб?
5. Як ширина річки впливає на кількість вертикалей (точок відбору) в одному створі?
6. Що таке «зона забруднення»?
7. Які прилади використовуються для експрес-контролю якості води на місці?
8. Яке значення має температура води при відборі проб на БСК?
9. Чому результати моніторингу можуть відрізнятися від розрахункових даних ГДС?
10. Які законодавчі акти України регулюють правила моніторингу поверхневих вод?
11. Як врахувати вплив інших підприємств, що розташовані вище за течією?
12. Що таке регламент спостережень і ким він затверджується?
13. Навіщо відбирати проби під час льодоставу?
14. Як позначити пункти моніторингу на ситуаційному плані?
15. Яка відповідальність підприємства за відсутність постів спостереження?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №7

Тема: розробка системи моніторингу навколишнього середовища у зоні впливу підприємства

Мета роботи: навчитися самостійно розраховувати параметри мережі спостереження за станом атмосферного повітря та будувати схеми розміщення постів контролю залежно від характеристик джерела викидів та чисельності населення.

Завдання: необхідно визначити кількість та місця розташування постів спостережень за станом атмосферного повітря району дослідження.

Пости спостереження за забрудненням атмосферного повітря бувають стаціонарні, маршрутні та пересувні:

– стаціонарні – призначені для безперервної реєстрації вмісту забруднюючих речовин або регулярного відбору проб повітря для подальшого аналізу;

– маршрутні – призначені для регулярного відбору проб у фіксованих точках за допомогою пересувного обладнання, що рухається за певним графіком;

– пересувні (підфакельні) – використовуються для відбору проб безпосередньо під димовим факелом підприємства з метою визначення зони максимального забруднення.

Кількість стаціонарних постів визначають залежно від чисельності населення (табл. 1).

Таблиця 1 – Залежність кількості стаціонарних постів спостереження від чисельності населення

Кількість населення, тис. осіб	<50	50– 100	100– 200	200– 500	500– 1000	1000– 2000	>2000
Кількість постів, шт.	1	2	3	3–5	5–10	10–15	15–50

Маршрутні пости розміщують в точках перетину концентричних кіл з радіальними лініями, що вказують напрямки світу (рис. 1).

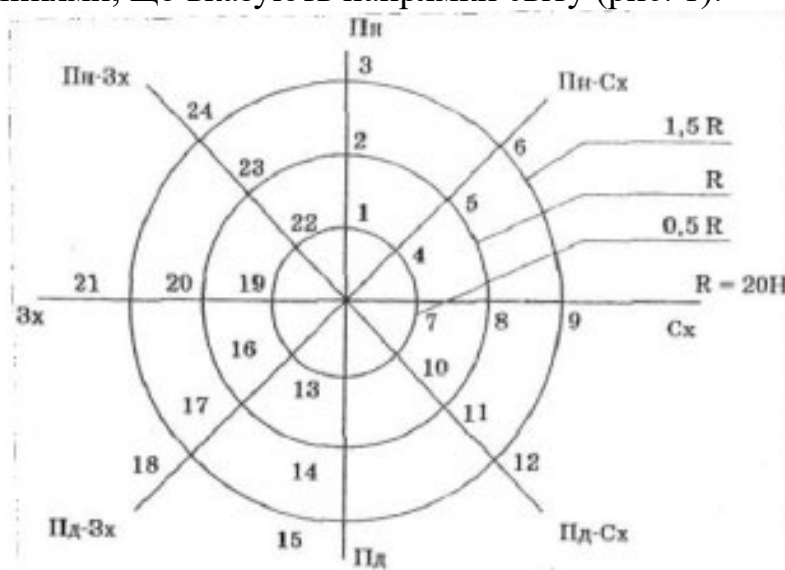


Рисунок 1 – Схема розташування маршрутних постів спостереження

Концентричні кола мають такі радіуси: $0,5 R$; R ; $1,5R$.

Радіус концентричного кола розраховують, виходячи з наступної формули:

$$R=20 \cdot H, \quad (1)$$

де H – висота джерела викиду, м.

Відбір проб на під факельних постах проводять за напрямком вітру в точках перетину переважаючого напрямку з колами радіусами: 0,2; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 15; 20 км, на межі санітарної зони та на межі санітарної зони +200 м, а також на відстані формування максимальних концентрацій. На кожному колі, по обидві сторони від осі факела, на відстані $1/25 R$ кола, встановлюють ще 2 пости спостереження.

Точки відбору проб на пересувних постах спостереження показують графічно (рис. 2).

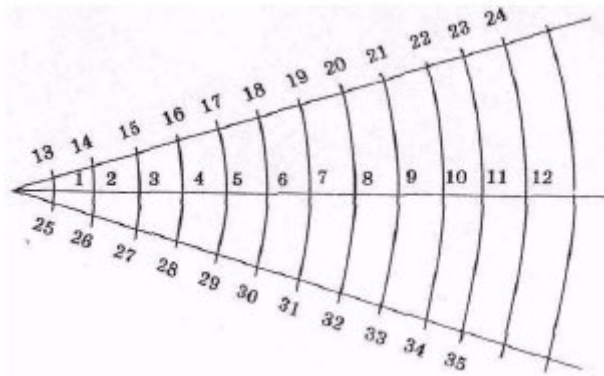


Рисунок 2 – Розміщення точок відбору проб при спостереженнях на пересувних постах

приклад розв'язання типового завдання

Вихідні дані:

Населення міста: 350 тис. осіб.

Висота димової труби підприємства (H): 80 м.

Напрямок вітру: Східний.

Хід роботи:

1. Визначення кількості стаціонарних постів:

Для населення 350 тис. осіб (категорія 200–500 тис., табл. 1) необхідно встановити від 3 до 5 стаціонарних постів.

2. Розрахунок радіусів для побудови схеми:

Базовий радіус: $R = 20H = 20 \cdot 80 = 1600$ м.

Радіус 1: $0,5R = 0,5 \cdot 1600 = 800$ м;

Радіус 2: $1,0R = 1 \cdot 1600 = 1600$ м;

Радіус 3: $1,5R = 1,5 \cdot 1600 = 2400$ м.

3. Побудова схеми розташування маршрутних постів спостереження

Студент має накреслити три кола (800м, 1600м, 2400м) та провести 8 радіальних променів, що відповідають румбам: Пн (Північ), Пд (Південь), Сх

(Схід), Зх (Захід), Пн-Сх, Пн-Зх, Пд-Сх, Пд-Зх. У точках перетину (всього 24 точки) проставляються номери постів спостереження (рис.3, перероблений рис. 1).

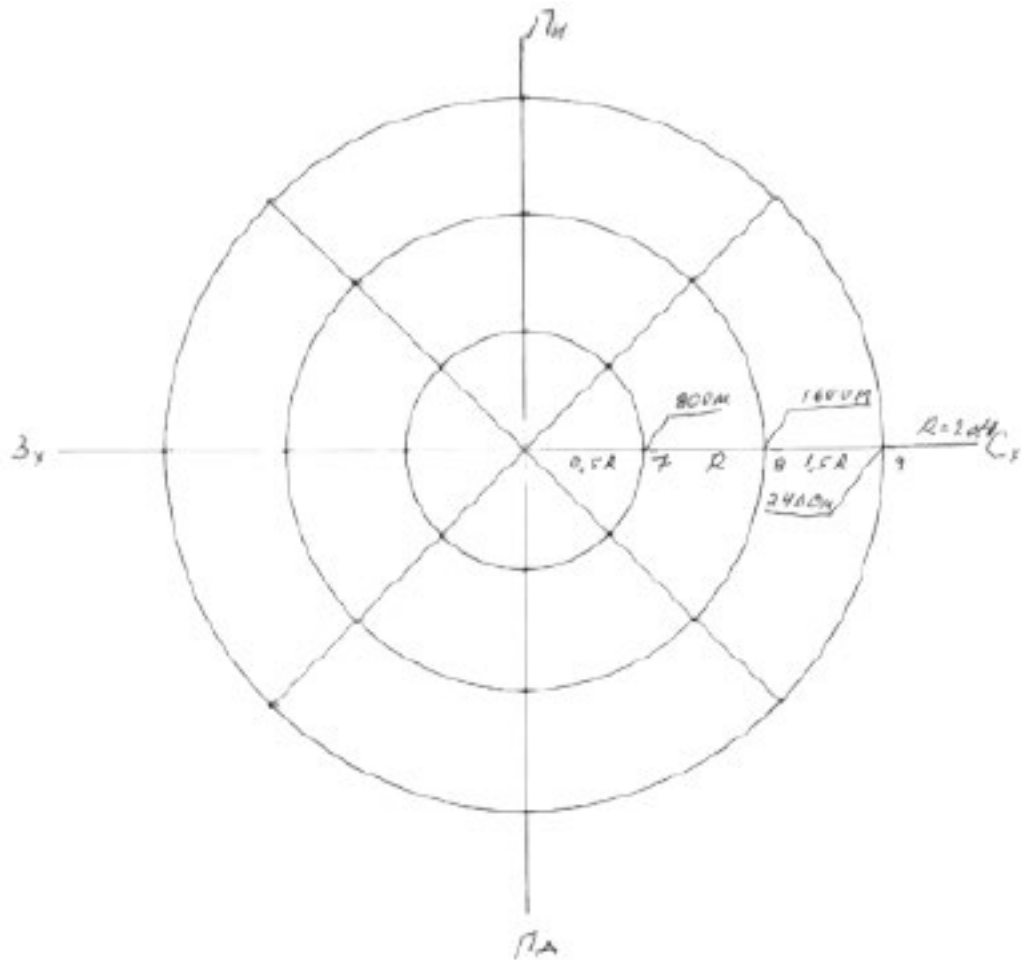


Рисунок 3 – Схема розташування маршрутних постів спостереження:
7(1) – 800 м; 8(2) – 1600 м; 9(3) – 2400 м

4. Організація підфакельних спостережень

Відбір проб проводиться за напрямком вітру (під димовим шлейфом).

Точки відбору розташовують на наступних відстанях від джерела:

- фіксовані відстані: 0,2; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 15 та 20 км;
- спеціальні точки: на межі санітарно-захисної зони (СЗЗ), на відстані СЗЗ + 200 м, а також у точці формування максимальної концентрації забруднювача (R).
- додаткові точки: на кожному колі, по обидві сторони від основної осі факела на відстані $1/25 R$, встановлюють ще 2 пости (рис.4, перероблений рис. 2).

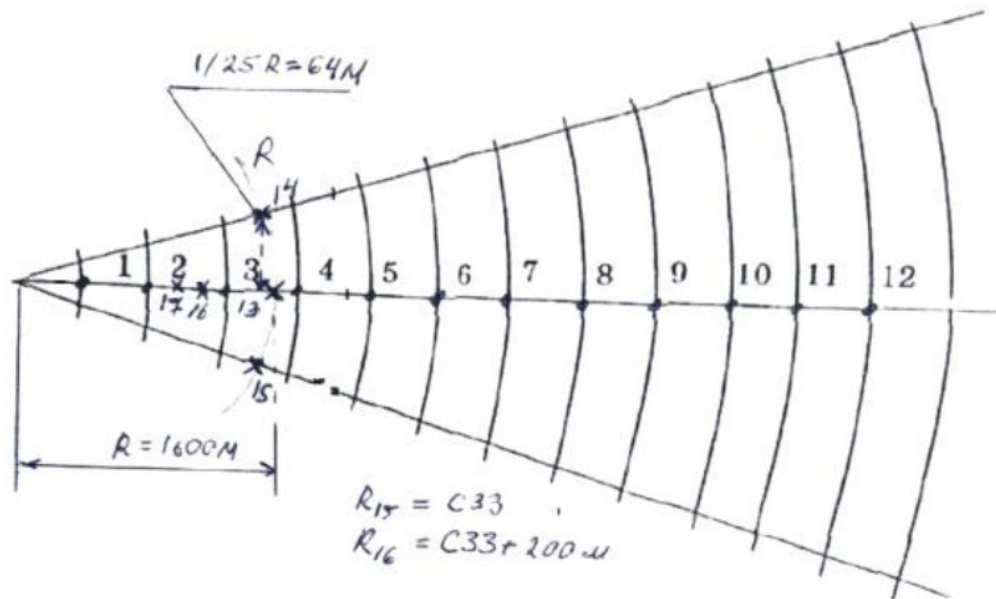


Рисунок 4 – Розміщення точок відбору проб при спостереженнях на пересувних постах

Для знаходження т. 16 і 17 беремо дані з Пз 3(3) – уточнена СЗЗ за напрямом вітра 650 м (т. 17). Т. 16 це $650 + 200 = 850$ м (рис.5 – модифікований рис 2 ти рис. 4).

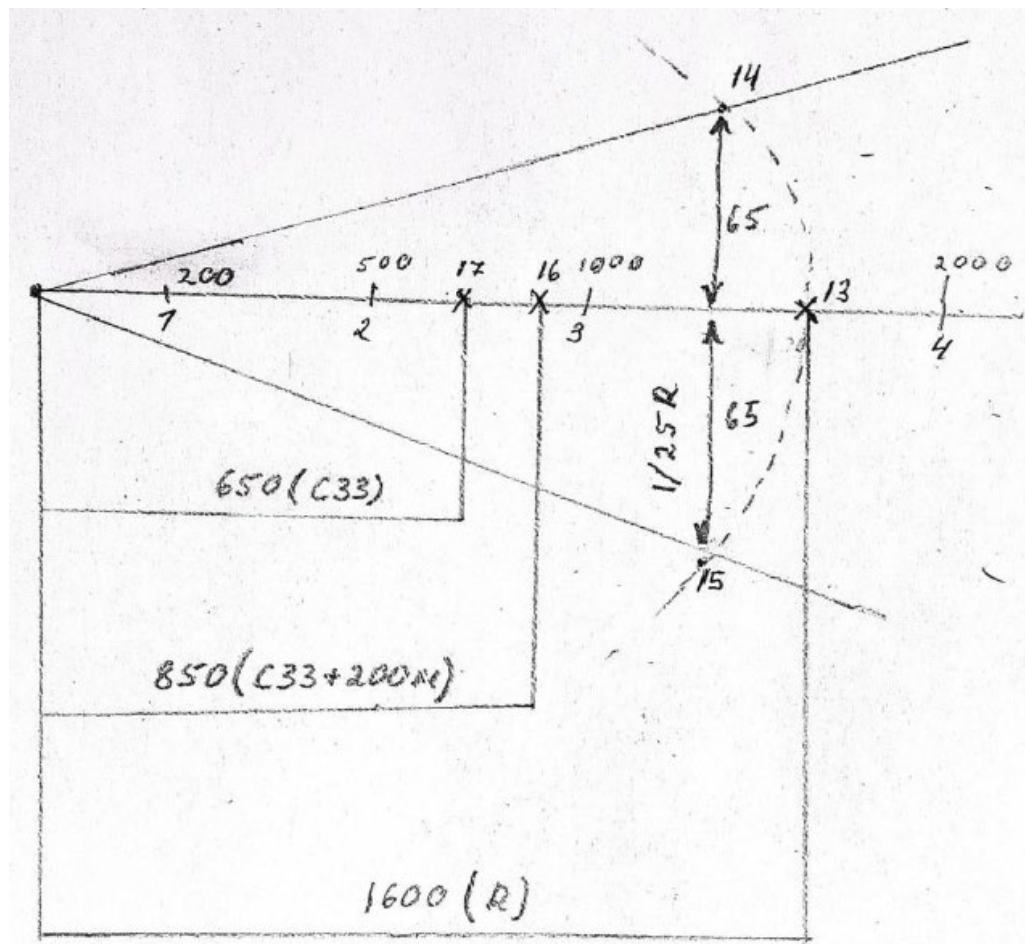


Рисунок 5 – Схема додаткових постов (т. 13-17)

Відповідь: Точка формування максимальної концентрації забруднювача ($C_{\text{макс}}$) розташовується на осі факела за напрямком переважаючого вітру, зазвичай на відстані базового радіуса $R=20H$, і фіксується системою з трьох постів: центрального на осі ($T_{13} = 1600$ м) та двох бічних ($T_{14, 15}$), зміщених перпендикулярно на $1/25R$ (64 м). Разом із цією точкою обов'язково встановлюються спеціальні пости на межі санітарно-захисної зони (СЗЗ) та на відстані $СЗЗ + 200$ м ($T_{17} = 650$ м; $T_{16} = 850$ м) для контролю нормативів у житловій забудові.

Завдання для самостійного виконання

- Варіант №1: Населення – 75 тис. осіб; $H = 45$ м; СЗЗ – 300 м; вітер – Пн.-Зх.
 Варіант №2: Населення – 125 тис. осіб; $H = 70$ м; СЗЗ – 400 м; вітер – Пд.
 Варіант №3: Населення – 60 тис. осіб; $H = 65$ м; СЗЗ – 200 м; вітер – Зх.
 Варіант №4: Населення – 430 тис. осіб; $H = 95$ м; СЗЗ – 800 м; вітер – Сх.
 Варіант №5: Населення – 1,23 млн. осіб; $H = 115$ м; СЗЗ – 1100 м; вітер – Пн.
 Варіант №6: Населення – 80 тис. осіб; $H = 40$ м; СЗЗ – 350 м; вітер – Пн.-Зх.
 Варіант №7: Населення – 95 тис. осіб; $H = 75$ м; СЗЗ – 420 м; вітер – Пд.
 Варіант №8: Населення – 65 тис. осіб; $H = 60$ м; СЗЗ – 250 м; вітер – Зх.
 Варіант №9: Населення – 130 тис. осіб; $H = 90$ м; СЗЗ – 750 м; вітер – Сх.
 Варіант №10: Населення – 1,04 млн. осіб; $H = 110$ м; СЗЗ – 1000 м; вітер – Пн.
 Варіант №11: Населення – 70 тис. осіб; $H = 35$ м; СЗЗ – 390 м; вітер – Пн.-Зх.
 Варіант №12: Населення – 120 тис. осіб; $H = 70$ м; СЗЗ – 420 м; вітер – Пд.
 Варіант №13: Населення – 90 тис. осіб; $H = 60$ м; СЗЗ – 240 м; вітер – Зх.
 Варіант №14: Населення – 230 тис. осіб; $H = 85$ м; СЗЗ – 600 м; вітер – Сх.
 Варіант №15: Населення – 600 тис. осіб; $H = 105$ м; СЗЗ – 810 м; вітер – Пн.

Контрольні питання:

1. Чим методично відрізняється вибір місця для стаціонарного поста від принципу розміщення підфакельної точки спостереження?
2. Як зміниться конфігурація вашої мережі моніторингу, якщо підприємство замінить одну високу трубу на кілька низьких джерел викидів тієї ж сумарної потужності?
3. Чому при розрахунку радіуса R враховується саме геометрична висота джерела, і як це впливає на точність визначення зони максимального забруднення?
4. Поясніть логіку використання саме трьох концентричних кіл для маршрутних постів: чому недостатньо одного кола на відстані R ?
5. Яким чином рельєф місцевості або наявність висотної забудови може змусити вас скоригувати теоретичну схему розміщення постів, розраховану за формулою $R=20H$?
6. Чому кількість стаціонарних постів жорстко прив'язана до чисельності населення, а не до обсягів викидів конкретного підприємства?

7. У яких випадках результати замірів на межі СЗЗ можуть бути важливішими для контролюючих органів, ніж заміри в точці максимальної концентрації?

8. Як ви обґрунтуєте необхідність встановлення постів на відстані СЗЗ + 200 метрів з точки зору захисту інтересів мешканців найближчих районів?

9. Поясніть фізичний зміст бічного зміщення постів на $1/25 R$: яку похибку в русі димового факела ми намагаємося цим нівелювати?

10. Чому для підфакельних спостережень використовується дискретна шкала відстаней (0,2; 0,5; 1... 20 км), а не рівномірний крок (наприклад, кожні 500 метрів)?

11. Як вплине переважаючий напрямок вітру (роза вітрів) на пріоритетність обслуговування постів, розташованих на різних румбах вашої схеми?

12. Які переваги дає поєднання маршрутних постів із пересувними під час проведення аварійного моніторингу при залповому викиді?

13. Чи можна вважати систему моніторингу за Рис. 1 достатньою, якщо підприємство працює в умовах частої штильової погоди (відсутності вітру)?

14. Як ви доведете репрезентативність обраної вами точки $C_{\text{макс}}$, якщо фактичні заміри показують вищі концентрації на меншій відстані від джерела?

15. Яким чином автоматизація постів спостереження може змінити необхідну кількість маршрутних точок, передбачену цією методикою?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №8

Тема: розробка системи моніторингу навколишнього середовища у зоні впливу промпідприємства. Проектування комплексного моніторингу суміжних середовищ (грунтів, поверхневих вод та біоти).

Мета: навчитися проектувати інтегровані системи спостереження за компонентами довкілля, що зазнають хронічного вторинного техногенного впливу; опанувати методику закладання геохімічних профілів, створів гідромоніторингу та біоіндикаційних майданчиків.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з теоретичними засадами трансляційного ландшафтно-геохімічного перенесення поллютантів та принципами організації комплексного екологічного моніторингу.
2. Записати вихідні дані індивідуального варіанта (радіус зони максимального підфакельного забруднення R із ПР №7, клас небезпеки підприємства, наявність та характеристики водного об'єкта).
3. Розрахувати координати та крок закладання ключових пробних майданчиків для геохімічного моніторингу ґрунтового покриття вздовж панівного вектора перенесення.
4. Визначити просторове положення гідрологічних створів спостереження (фоновий та контрольний) на водотоці у зоні впливу підприємства.
5. Розрахувати нормативну відстань від місця скиду стічних вод до контрольного створу з урахуванням повноти змішування водних мас.
6. Запроектувати систему біоіндикаційного моніторингу лісових чи лучних екосистем шляхом визначення точок закладки постійних пробних площ.
7. Скласти комплексну матрицю інтегрованого моніторингу суміжних середовищ із зазначенням контрольованих показників для кожного середовища.
8. Побудувати суміщену картосхему комплексного моніторингу підприємства, об'єднавши атмосферні пости (з ПЗ №7) з точками відбору проб ґрунту, води та біоти.
9. Сформулювати розгорнутий науково обґрунтований аналітичний висновок щодо створеної інтегрованої системи екологічного моніторингу.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1. Екологічна логіка моніторингу суміжних середовищ

Антропогенні емісії промислових підприємств після потрапляння в атмосферне повітря піддаються гравітаційному осіданню та вимиванню атмосферними опадами, внаслідок чого депонуються на підстильній поверхні. Це спричиняє вторинне хронічне забруднення суміжних консервативних середовищ – ґрунтів, поверхневих вод і рослинного покриття.

Моніторинг цих середовищ базується на ландшафтно-геохімічному підході. Замість радіальної сітки пости закладаються у вигляді лінійних геохімічних профілів уздовж вектора панівного вітру, оскільки саме в цьому напрямку формується зона максимального техногенного навантаження.

2. Математичний апарат проектування комплексних мереж

Моніторинг ґрунтового покриття. Точки відбору проб ґрунту закладаються на геохімічному профілі, прив'язаному до радіуса максимального атмосферного забруднення (R , м). Крок відбору та координати пробних майданчиків (S_{G1} – S_{G4} , м) розраховуються за формулами:

- (1) $S_{G1} = 0,5 \cdot R$
- (2) $S_{G2} = 1,0 \cdot R$ (епіцентр акумуляції)
- (3) $S_{G3} = 2,0 \cdot R$
- (4) $S_{G4} = 5,0 \cdot R$ (регіональний фон)

Моніторинг поверхневих вод. Організація спостережень на річках, куди підприємство здійснює скид зворотних вод, вимагає встановлення двох обов'язкових створів:

Фоновий створ ($L_{\text{фон}}$) – встановлюється вище за течією від місця скиду стічних вод для фіксації вихідного стану річки. Нормативна відстань становить від 500 до 1000 метрів вище за течією:

- (5) $L_{\text{фон}} = -1000$ м

Контрольний створ ($L_{\text{контр}}$) – встановлюється нижче за течією від місця скиду в точці повного змішування стічних вод із річковою водою. Відстань до контрольного створу для малих та середніх річок обчислюється як:

- (6) $L_{\text{контр}} = +500$ м від місця скиду, для великих річок ця відстань може збільшуватися до 1000–1500 метрів.

Біоіндикаційний моніторинг. Для оцінки біологічного відгуку фітоценозів постійні пробні площі (ППП) закладаються в точці максимального екологічного стресу ($1,0 \cdot R$) та на межі санітарно-захисної зони підприємства.

ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вихідні дані

Радіус максимального підфакельного забруднення атмосфери (з ПЗ №7): $R=1200$ м.

Панівний вектор віднесення факела: Південно-Західний (Пд-Зх).

Характеристика гідромережі: річка середньої величини, тече з Півночі на Південь повз промисловий майданчик. Місце скиду стічних вод має умовну координату $K_{\text{скид}} = 0$ м.

2. Розрахункова частина

Крок 1: Розрахунок точок відбору проб ґрунту (формули 1–4))

Геохімічний профіль прокладається за вектором Пд-Зх від димової труби:

- 1) Точка ґрунтового контролю №1: $S_{G1} = 0,5 \cdot 1200 = 600$ м
- 2) Точка ґрунтового контролю №2: $S_{G2} = 1,0 \cdot 1200 = 1200$ м (епіцентр)
- 3) Точка ґрунтового контролю №3: $S_{G3} = 2,0 \cdot 1200 = 2400$ м
- 4) Точка ґрунтового контролю №4 (Фон): $S_{G4} = 5,0 \cdot 1200 = 6000$ м

Крок 2: Проектування створів гідромоніторингу (формули 5, 6)
 Фоновий створ річки: 1000 м вище за течією (на Північ від точки скиду).
 Контрольний створ річки: 500 м нижче за течією (на Південь від точки скиду).

Крок 3: Визначення точок біоіндикаційного контролю

Закладка постійної пробної площі №1 (ППП-1) для фітомоніторингу: на відстані 1200 м (епіцентр падіння факела) на території лісового масиву.

Закладка постійної пробної площі №2 (ППП-2): на межі СЗЗ (500 м).

3. Комплексна матриця моніторингу та екологічний висновок

Таблиця 3 – Комплексна матриця інтегрованого моніторингу суміжних середовищ

Природне середовище	Координата точки / створу	Контрольовані показники	Періодичність контролю
Ґрунтовий покрив	Профіль Пд-Зх: 600, 1200, 2400 м; Фон: 6000 м	Важкі метали (Pb, Cd, Zn, Cu), бенз(а)пірен, рН ґрунту	1 раз на рік (осінь)
Поверхневі води	Створ №1: -1000 м (Пн); Створ №2: +500 м (Пд)	Завислі речовини, нафтопродукти, ХСК, БПК ₅ , сульфати	Щомісячно / щоквартально
Рослинність (Біота)	ППП-1: 1200 м (Пд-Зх); ППП-2: 500 м	Флуктуюча асиметрія листя, деформація хвої, вміст сірки в біомасі	1 раз на сезон (літо)

Екологічний висновок за результатами проектування:

Розроблена комплексна система моніторингу суміжних середовищ забезпечує наскрізний екологічний контроль у зоні впливу підприємства. Геохімічний профіль ґрунтового моніторингу довжиною 6000 метрів дозволяє відстежувати довгострокову кумуляцію важких металів у точці максимального підфакельного випадання (1200 м) та порівнювати її з чистим регіональним фоном. Організація гідрологічних створів за схемою «-1000 м / +500 м» гарантує точний облік маси скиду полютантів та оцінку самоочисної здатності водотоку. Впровадження біоіндикаційних майданчиків забезпечує фіксацію ранніх проявів техногенного стресу біоти, що трансформує мережу спостережень у цілісну систему інтегрованого екологічного моніторингу.

Рисунок 1. Схема згенерована ІІІ на базі методичних вказівок

Рисунок 2. Приклад схеми для побудови власноруч на міліметрівці.

Для побудови розрахованих даних на міліметровому папері необхідно обрати правильний масштаб. Оскільки в прикладі максимальна відстань становить 2400 м (а фон 6000 м виноситься умовною стрілкою), оптимальним є масштаб в 1 см — 200 метрів (або 1:20000). Важливо: всі точки мають бути чітко підписані креслярським шрифтом із використанням індексів.

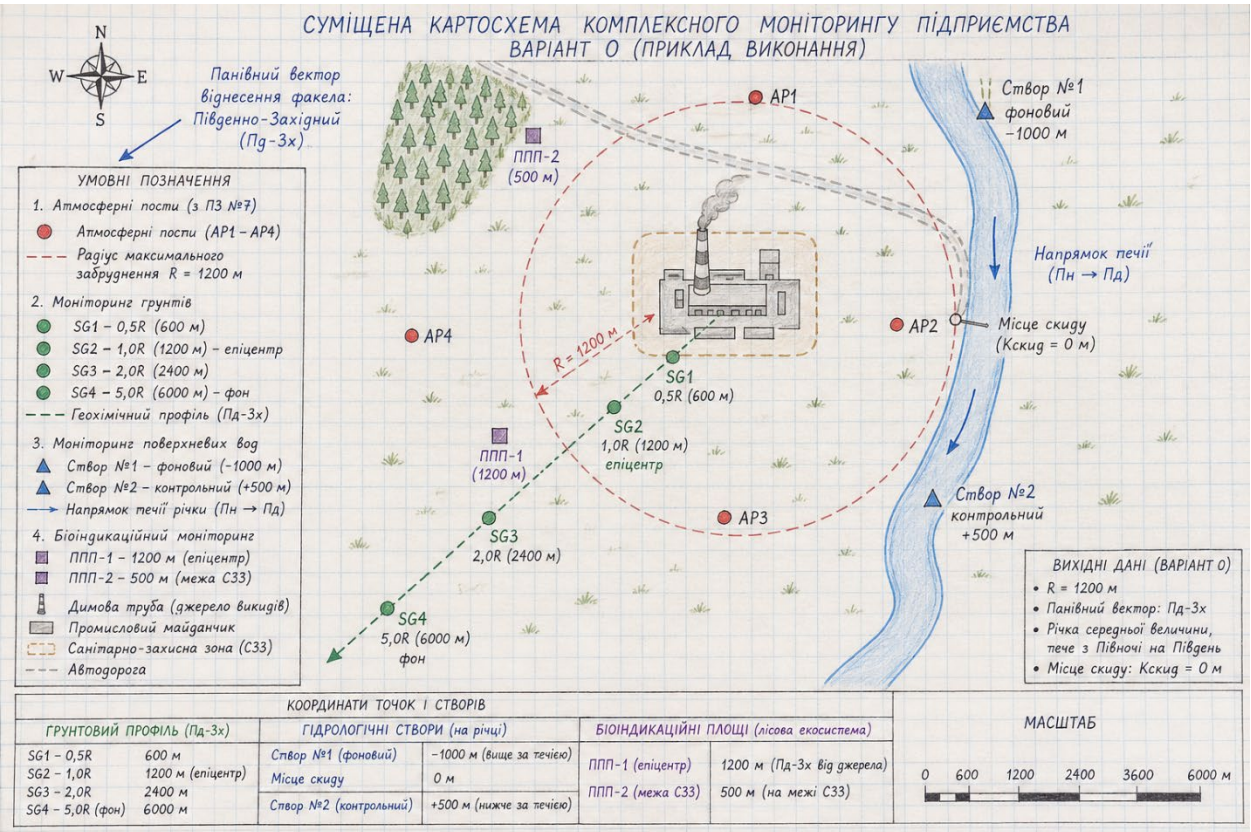


Рисунок 1 – Схема згенерована ШІ

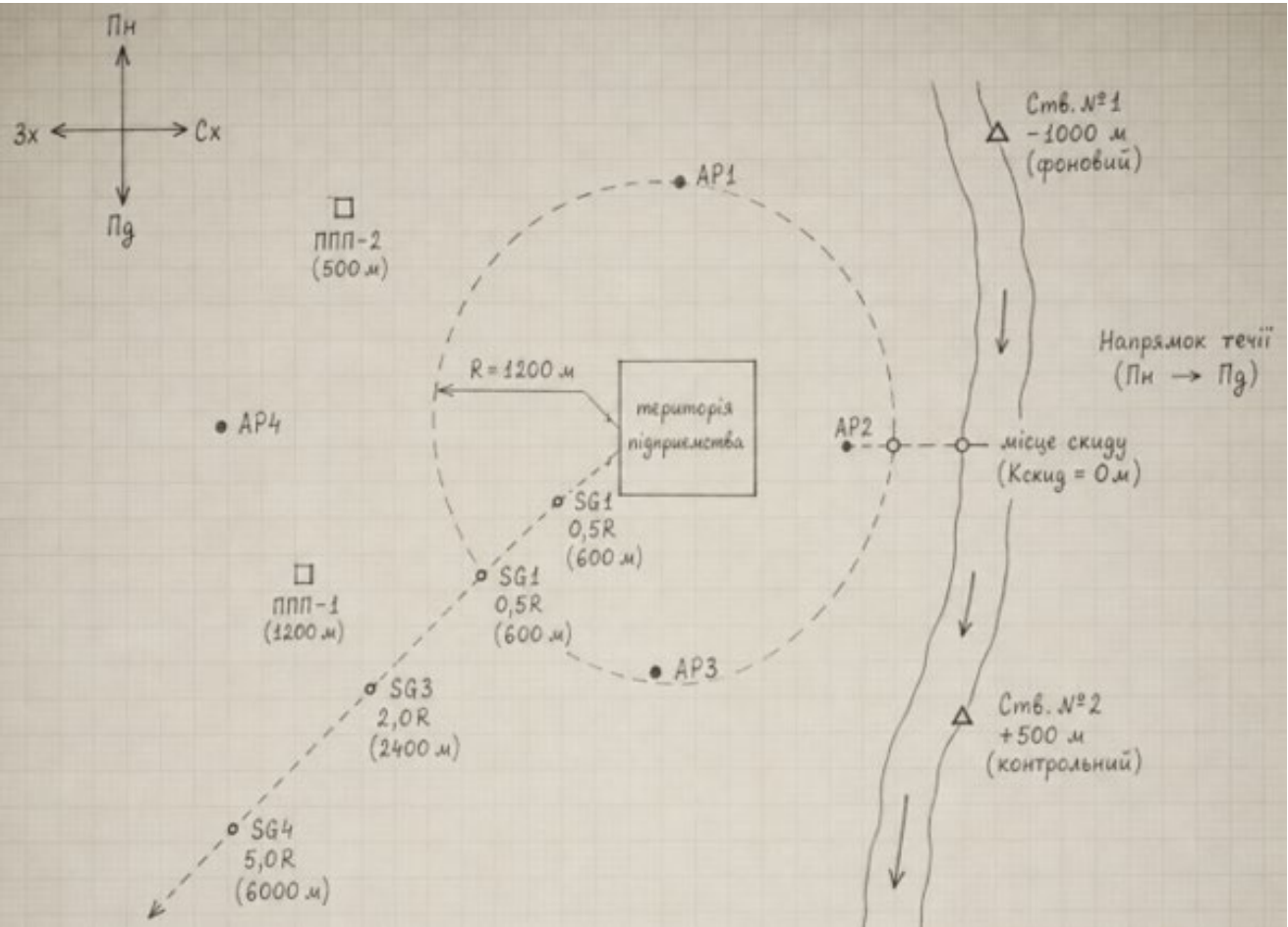


Рисунок 2 – Приклад схеми на міліметрівці

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ

Завдання 1. На основі радіуса максимального підфакельного забруднення (R), розрахованого у ПЗ №7 для свого індивідуального варіанта, виконати просторове проектування мережі комплексного моніторингу ґрунтів, поверхневих вод та біоти. Скласти комплексну матрицю спостережень та побудувати суміщену картосхему інтегрованого моніторингу.

Примітка: значення радіуса R приймається студентом із результатів виконання свого варіанта ПЗ №7

Варіант №1

Напрямок поширення геохімічного профілю ґрунтів: Південь (Пд). Характеристика гідромережі: мала річка, тече зі Сходу на Захід; місце скиду стічних вод розташоване на території промайданчика.

Варіант №2

Напрямок поширення геохімічного профілю ґрунтів: Захід (Зх). Характеристика гідромережі: середній за величиною канал, тече з Північного Заходу на Південний Схід.

Варіант №3

Напрямок поширення геохімічного профілю ґрунтів: Північний Схід (Пн-Сх). Характеристика гідромережі: гірська річка, тече з Півдня на Північ повз санітарну межу об'єкта.

Варіант №4

Напрямок поширення геохімічного профілю ґрунтів: Схід (Сх). Характеристика гідромережі: судноплавна річка, тече з Півночі на Південь; скид здійснюється через глибоководний випуск.

Варіант №6

Напрямок поширення геохімічного профілю ґрунтів: Північ (Пн). Характеристика гідромережі: мала річка, тече з Заходу на Схід повз промислову зону.

Варіант №7

Напрямок поширення геохімічного профілю ґрунтів: Південний Схід (Пд-Сх). Характеристика гідромережі: водосховище; скид стічних вод проводиться у прибережну захисну смугу.

Варіант №8

Напрямок поширення геохімічного профілю ґрунтів: Південний Захід (Пд-Зх). Характеристика гідромережі: річка середньої величини, тече з Північного Сходу на Південний Захід.

Варіант №9

Напрямок поширення геохімічного профілю ґрунтів: Захід (Зх). Характеристика гідромережі: меліоративний канал, тече зі Сходу на Захід повз межу СЗЗ.

Варіант №10

Напрямок поширення геохімічного профілю ґрунтів: Південь (Пд).
Характеристика гідромережі: мала річка, тече з Північного Сходу на Південний Захід.

Варіант №11

Напрямок поширення геохімічного профілю ґрунтів: Схід (Сх).
Характеристика гідромережі: велика річка, тече з Півночі на Південь;
контроль повного змішування ускладнений.

Варіант №12

Напрямок поширення геохімічного профілю ґрунтів: Північ (Пн).
Характеристика гідромережі: водотік урбанізованої території, тече з Південного Сходу на Північний Захід.

Варіант №13

Напрямок поширення геохімічного профілю ґрунтів: Північний Захід (Пн-Зх).
Характеристика гідромережі: річка, тече з Північного Заходу на Південний Схід.

Варіант №14

Напрямок поширення геохімічного профілю ґрунтів: Південний Схід (Пд-Сх).
Характеристика гідромережі: струмок, що протікає через балку у приміській зоні підприємства.

Варіант №15

Напрямок поширення геохімічного профілю ґрунтів: Південний Захід (Пд-Зх).
Характеристика гідромережі: технічна водойма-накопичувач та пов'язаний із нею струмок фільтрації.

Контрольні питання

1. Які існують основні ландшафтно-геохімічні закономірності міграції та акумуляції промислових ксенобіотиків у консервативних суміжних середовищах?
2. На основі яких екологічних та картографічних критеріїв обґрунтовується вибір вектору та напрямку прокладання ґрунтового геохімічного профілю?
3. Чому точка на відстані $1,0 \cdot R$ є епіцентром довгострокової акумуляції важких металів у верхньому гумусовому горизонті ґрунту?
4. Які нормативні вимоги висуваються до вибору глибини відбору проб ґрунту при проведенні моніторингу промислових майданчиків?
5. Яким чином визначається координата та лінійне положення регіональної фонові точки ґрунтового моніторингу ($5,0 \cdot R$)?
6. Опишіть правила та інженерні критерії встановлення фонові створу гідромоніторингу на річках, що зазнають впливу стічних вод.
7. Які фізичні, гідродинамічні та морфометричні чинники визначають відстань до контрольного створу повного змішування на водотоках?

8. У чому полягає суть біоіндикаційного контролю рослинності, і які морфометричні параметри фітоценозів фіксуються на постійних пробних площах?

9. Яким чином здійснюється об'єднання та суміщення схем атмосферного, ґрунтового та гідрологічного моніторингу в єдину картосхему об'єкта?

10. Які показники хімічного складу ґрунтового розчину є індикаторами критичного рівня хронічного аеротехногенного навантаження?

11. Опишіть періодичність та специфіку відбору проб поверхневих вод у контрольному створі під час періодів екстремальних гідрологічних режимів (повінь, межень).

12. Яку роль відіграє аналіз снігового покриву в межах комплексного моніторингу як індикатор зимового депонування промислових емісій?

13. Яким чином дані комплексного моніторингу суміжних середовищ використовуються для розрахунку еколого-економічних збитків від деградації ландшафтів?

14. У чому полягають переваги інтегрованої системи моніторингу перед ізольованим покомпонентним контролем окремих природних сфер?

15. Які сучасні ГІС-технології та методи дистанційного зондування Землі використовуються для просторової візуалізації даних комплексного моніторингу?