

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища

В.Є. Колесник, Ю.В. Бучавий

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
для здобувачів ступеня магістра
освітньо-професійної програми «Екологія» зі спеціальності E2 Екологія
та освітньо-наукової програми «Ресурсозбереження в гірничо-металургійному
комплексі» зі спеціальності G2 Технології захисту навколишнього середовища

Дніпро
НТУ «ДП»
2026

Системний аналіз якості навколишнього середовища [Електронний ресурс]: методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для здобувачів ступеня магістра освітньо-професійної програми «Екологія» зі спеціальності E2 Екологія та освітньо-наукової програми «Ресурсозбереження в гірничо-металургійному комплексі» зі спеціальності G2 Технології захисту навколишнього середовища/ уклад.: В.Є. Колесник, Ю.В. Бучавий ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2026. – 83 с.

Укладачі:

В.Є. Колесник, д-р техн. наук, проф.

Ю.В. Бучавий, канд. біол. наук, доц.

Затверджено науково-методичними комісіями зі спеціальностей E2 Екологія (протокол № 12 від 06.07.2026) та G2 Технології захисту навколишнього середовища (протокол № 15 від 28.08.2026) за поданням кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища (протокол № 12 від 29.06.2026).

Подано теоретичні відомості за відповідними темами лекційного курсу, варіанти лабораторних завдань з рекомендаціями до їх виконання, контрольні питання, список використаної та рекомендованої літератури.

Орієнтовано на забезпечення навчального процесу здобувачів ступеня магістра освітньо-професійної програми «Екологія» зі спеціальності E2 Екологія та ступеня магістра освітньо-наукової програми «Ресурсозбереження в гірничо-металургійному комплексі» зі спеціальності G2 Технології захисту навколишнього середовища стосовно набуття практичних навичок у засвоєнні дисципліни «Системний аналіз якості навколишнього середовища»

Відповідальний за випуск завідувач кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища О. О. Борисовська, канд. техн. наук, доц.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Методичні рекомендації до виконання циклу лабораторних робіт базуються на основних теоретичних положеннях лекційного курсу «Системний аналіз якості навколишнього середовища» стосовно головних його компонентів: атмосферного повітря, водного середовища, ґрантів, літосфери і біоти.

Порядок виконання робіт викладено за типовою схемою: тема, мета лабораторної роботи, результати навчання, що очікуються при її виконанні (згідно з робочою програмою дисципліни) завдання, подання відповідних теоретичних положень, окремі завдання для самостійного виконання та питання для самоконтролю з дисципліни.

Мета лабораторних робіт: підготовка студентів-магістрів як майбутніх фахівців до вирішення завдань підвищення якості навколишнього середовища та екологічної безпеки техногенних об'єктів або природоохоронних чи виробничих технологій шляхом їх системного аналізу; набуття навичок проведення обчислювальних експериментів на математичних моделях з оцінюванням якості компонентів довкілля, що знижується за рахунок викидів екологічно небезпечних речовин в атмосферу, скидів їх у поверхневі водойми та в результаті міграції у ґранти, а також з визначенням рівня екологічної безпеки об'єктів, екологічного ризику для здоров'я населення й техногенного навантаження на навколишнє середовище за впливом на довкілля виробничої діяльності промислових підприємств або виробничих і природоохоронних технологій, що впроваджуються.

Поставлена мета досягається послідовним вирішенням певних типових завдань по кожній лабораторній роботі:

- ознайомлення з теоретичними положеннями, моделями обчислювальних експериментів і методами системного аналізу якості певних об'єктів;
- ознайомлення з порядком проведення обчислювальних експериментів і розрахунків певних показників якості компонентів довкілля за ступенем їх забруднення або ризику для здоров'я населення, рівнів екологічної безпеки чи техногенного навантаження;
- проведення обчислювального експерименту на певних моделях і розрахунків відповідних показників за вихідними даними, отриманими в результаті безпосередніх замірів на об'єктах або з апріорі підготовлених баз даних за варіантами.

В результаті виконання циклу лабораторних робіт студенти-магістри повинні набути конкретні практичні навички з:

- вибору методик й моделей системного аналізу, проведення системних досліджень для оцінювання якості повітряного й водного середовищ, а також ґрунтів різного призначення;
- застосування певних алгоритмів й технологій проведення системних досліджень якості атмосферного повітря, води поверхневих водойм і водотоків та ґрунтів сільськогосподарського призначення і населених пунктів;
- володіння методикою комплексного оцінювання ступеню екологічної небезпеки промислових об'єктів або підприємств, у тому числі підприємств

гірничо-металургійного комплексу;

- володіння методикою оцінювання рівнів екологічної безпеки територій, прилеглих до промислових об'єктів, з використанням геоінформаційних моделей та візуалізацією оцінок на електронних картах розташування підприємств, включаючи підприємства гірничо-металургійного комплексу;

- виявлення взаємозв'язку природних компонентів (екосистем) з навколишнім середовищем на структурному й поведінковому рівнях;

- оцінювання показників якості навколишнього середовища та застосування відповідних методів, методик і математичних моделей системного аналізу;

- вибору моніторингових показників навколишнього середовища та визначення стресорів, що визначають якість навколишнього середовища;

- системного аналізу потенційного антропогенного впливу на навколишнє середовище, промислових об'єктів або підприємств, в тому числі підприємств гірничо-металургійного комплексу;

- запровадження заходів, технічних рішень та технологій екологічного спрямування з наступним прогнозним оцінюванням якості навколишнього середовища експертними методами.

ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН ТА ІНШИХ ТЕХНОГЕННИХ ЧИННИКІВ НА ЯКІСТЬ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЙОГО КОМПОНЕНТИ

Підвищення якості довкілля в цілому за рівнем забруднення його компонентів екологічно небезпечними речовинами у техногенно-навантажених регіонах потребує регулярного оцінювання рівнів екологічної безпеки функціонування промислових підприємств і об'єктів, а також різних технологій (в тому числі і нових), що застосовуються у виробництві або спрямуванні на покращення екологічної ситуації на прилеглих до техногенних об'єктів територіях.

Для ідентифікації видів і джерел екологічної безпеки та подальшого оцінювання рівнів або ступеню їх впливу на довкілля необхідне системне обстеження промислових об'єктів та відповідних чинників їх функціонування, що впливають на атмосферу, гідросферу, літосферу, ґрунти і біоту та на навколишнє середовище в цілому. Схема взаємозв'язку забруднення компонентів навколишнього середовища наведена на рис. 1.

Основними чинниками зниження якості компонентів навколишнього середовища та підвищення їх екологічної безпеки, як і певних природних і техногенних об'єктів, виступає забруднення повітря, води й ґрунту, зокрема при роботі підприємств промислової галузі: металургії, енергетики, хімічної промисловості, а також виробництва будівельних матеріалів та сільськогосподарської продукції, які широко представлені в багатьох містах України.

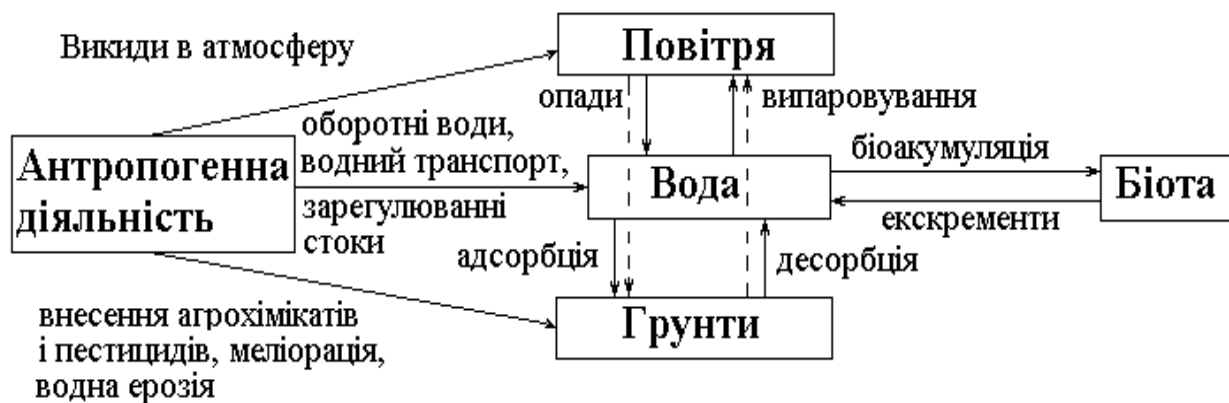


Рис. 1.1. Взаємний зв'язок якості повітря води й ґрунту з антропогенною діяльністю та біотою

Внесок у забруднення повітря роблять викиди автотранспорту, численні енергетичні установки, а також викиди інших нетипових джерел. Так, в атмосферу потрапляють речовини, що випаровуються із поверхні води й ґрунту.

Воду забруднюють водний транспорт, не достатньо очищені оборотні води, зарегульованні стоки, а також біота (екскрементами) і процеси взаємодії з повітрям (через опади) і ґрунтом (через десорбцію).

Забруднення ж ґрунту відбувається в результаті водної ерозії, внесення агрохімікатів і пестицидів, меліорації, а також через осідання забруднювачів з атмосферного повітря, опади та адсорбцію екологічно небезпечних речовин з водних об'єктів.

Критеріями впливовості на якісний стан перелічених вище компонентів довкілля, того чи іншого чинника можуть виступати такі їхні показники: інтенсивності, періодичність та наслідки.

Рівні або ступінь впливовості оцінюють як в абсолютних величинах, зокрема, за результатами виміру концентрацій екологічно небезпечних речовин (за допомогою приладів і лабораторних аналізів), так і у відносних, – у вигляді окремих чи комплексних індексів забруднення, з наступним порівнянням отриманих величин із їхніми гранично допустимими значеннями.

Також використовують індивідуальні та кумулятивні бальні оцінки якості довкілля або рівня екологічної безпеки виробничих чи інших техногенних процесів чи технологій що їх супроводжують.

Бальні оцінки, виражені у кількісній та якісній формі, часто використовують в експертних методах, під час візуальних обстежень об'єктів довкілля, а також при аналізі апріорних даних щодо стану аналогічних компонентів довкілля, взятих з наукових (літературних) джерел чи отриманих в результаті досліджень на моделях тощо.

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Виконання лабораторних робіт передбачає підготовку вихідних даних, які отримують попередньо за допомогою вимірювальних приладів на конкретних об'єктах або обраних зі спеціально підготовлених баз даних для певних об'єктів.

Лабораторні роботи 1 та 8 виконують на основі експертних методів системного аналізу. При цьому лабораторна робота 1 передбачає проведення колективного експертного аналізу та оцінювання ефективності пропозицій, спрямованих на вирішення проблемного завдання екологічного характеру або технологічного, спрямованого на захист довкілля, по завершенню якого кожний учасник (студент-магістр) готує індивідуальний звіт. Лабораторна робота 8 виконується шляхом розрахунків за апріорними даними певних кількісних експертних показників з наступним оцінюванням якості довкілля або технологій та рівня їх екологічної безпеки за кількісно-якісною диференційованою шкалою та побудовою відповідних наочних діаграм Парето.

Решта лабораторних робіт виконується як обчислювальні експерименти, з використанням або практично отриманих, або апріорі підготовленими даних, на запропонованих комп'ютерних моделях з оцінкою фактичного рівня або класу якості певного об'єкта за різними диференційованими шкалами.

При необхідності (або за бажанням студента-магістра) обчислювальний експеримент повторюється, але зі зміненими вихідними даними, що прогнозуються після рекомендованого впровадження певних заходів або технічних чи технологічних рішень, спрямованих на покращення якості та рівня екологічної безпеки досліджуваного об'єкта навколишнього середовища або виробництва чи технології.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Тема: Застосування експертного методу «мозкового штурму» під час розроблення заходів та засобів з підвищення якості навколишнього середовища техногенних об'єктів.

Мета роботи: вирішення проблемних завдань підвищення якості навколишнього середовища або рівня екологічної безпеки техногенних об'єктів чи технологій із застосуванням системного аналізу експертним методом «мозкового штурму».

Матеріали та обладнання: обладнання – диктофон, комп'ютер, оскільки лабораторна робота потребує фіксації будь-яких пропозицій під час колективного експертного аналізу та обговорювання заходів та засобів вирішення певного проблемного завдання.

Виконання роботи передбачає наступні **результати навчання:**

- ❖ Знати показники якості навколишнього середовища, як системи, методологію системного аналізу та загальні методи й моделі системного аналізу в екології
- ❖ Пропонувати технічні рішення екологічного спрямування та оцінювати якість навколишнього середовища експертними методами
- ❖ Вибирати методи й моделі системного аналізу, проводити системні дослідження якості повітряного й водного середовищ, а також якості ґрунтів різного призначення

Завдання лабораторної роботи:

1. Ознайомитися з умовами використання експертних оцінок при системному аналізі.
2. Засвоїти основні стадії експертного опитування.
3. Ознайомитися з етапами експертного методу «мозкового штурму» та взяти участь у його практичній колективній реалізації.

Теоретичний огляд експертного методу «мозкового штурму» для визначення якості навколишнього середовища техногенних об'єктів.

Використання експертних оцінок спирається на досвід, знання та інтуїцію фахівців у певній проблемній галузі, тобто експертів. Отже експертні оцінки – це результати організованої роботи експертів та обробки їхніх думок, виражені в кількісній та/або якісній формі, необхідній для підготовки й прийняття рішень.

Для одержання експертних оцінок створюють робочу групу, що організовує діяльність експертів для оперативного прийняття рішень, об'єднаних (формально або по суті) в експертну комісію (ЕК).

Зазвичай виділяють наступні стадії експертного оцінювання:

- 1) формулювання особою, що приймає рішення (ОПР) стосовно забезпечення якості певного об'єкта та мети експертного опитування;
- 2) підбір ОПР основного складу робочої групи (керівника й секретаря);
- 3) розробка робочою групою та затвердження ОПР технічного завдання на проведення експертного опитування;

4) розробка докладного сценарію проведення, збору та аналізу експертних думок (оцінок), включаючи слова, умовні градації, числа, ранжирування, розбивку або інші види об'єктів нечислової природи, а також конкретні математичні методи (обчислення медіани, статистичний аналіз);

5) підбір експертів за їх компетентністю;

6) формування експертної комісії зі складанням договорів про умови роботи експертів та її оплати, затвердження складу експертної комісії ОПР;

7) проведення збору експертної інформації;

8) аналіз експертної інформації;

9) при застосуванні процедури в три тури – повторення двох попередніх етапів, тобто 7 та 8;

10) інтерпретація отриманих результатів і підготовка висновку для ОПР;

11) офіційне закінчення діяльності робочої групи (науковий і фінансовий звіти про експертне дослідження та оплата роботи експертів).

Метод «мозкового штурму» розрахований на колективне обговорення проблеми у вигляді наради у наступній послідовності.

1. Призначається людина (ведучий), що веде нараду й стежить за дотриманням правил цього методу.

2. Визначаються учасники (учасник) наради, що фіксують висловлення експертів.

3. Учасників наради детально інформують про проблему, яку необхідно вирішити.

Метод передбачає вирішення проблеми або проблемного завдання в 3-х етапах.

Етап 1. Збір можливих варіантів рішення проблеми. На цьому етапі кожен учасник наради зобов'язаний запропонувати одне або кілька рішень проблеми. Слово надається учасникам, починаючи від «юнга» і закінчуючи «капітаном» (тобто опитування учасників проводиться по мірі зростання їх досвіду). Ведучий наради стежить за тим, щоб ніяка пропозиція, якою б вона не здавалася абсурдною, не піддавалася б критиці присутніми. Всі пропозиції повинні включатися в підсумковий список способів рішення проблеми. Пропозиції експертів, що надійшли, фіксують у письмовій формі (секретарем).

Етап 2. Ведучий і фахівець із проблеми класифікують пропозиції експертів, не опускаючи жодного з них. Висловлені пропозиції фіксуються письмово в кількості екземплярів по числу експертів, що потрібно для проведення наступної наради. Ці екземпляри надають експертам перед наступним засіданням для аналізу, критичних зауважень й оцінки ефективності.

Етап 3. На завершальній нараді детально обговорюють представлені пропозиції, оцінюють їх ефективність і доцільність. Приймають найбільш прийнятне рішення

Практична реалізація.

Лабораторна робота у вигляді колективного експертного обговорення та аналізу проблемного завдання за методом «мозкового штурму» передбачає реалізацію усіх 3-х етапів на протязі 2-х академічних годин. Ведучім (ОПР)

виступає викладач. Секретаря обирають з числа студентів-магістрів

Теми для «мозкового штурму» викладач обирає самостійно з типових для дисципліни або проблемних для певних територій чи об'єктів за пропозиціями студентів-магістрів, що почали працювати над кваліфікаційними роботами (2–3 теми). Викладач формулює суть проблеми або проблемного завдання.

На етапі 1 проводиться опитування студентів-магістрів (як експертів), зазвичай по черзі, оскільки їх досвід приблизно однаковий; ведучий разом з тим, хто пропонує коротко (у декілька слів) формулюють суть кожної пропозиції (числом не менше, ніж число студентів-учасників). Секретар фіксує (бажано на диктофоні) та вносить стисло формулу пропозиції до пронумерованого переліку пропозицій на аркуші паперу, з наведенням ПІБ автора. (25 хв.).

На етапі 2 викладач разом зі студентами класифікують пропозиції за їх видом: метод, організаційний захід, спосіб, пристрій, технологія. (10 хв.).

На етапі 3 викладач зачитує пропозиції зі сформованого переліку, бажаючи студенти-магістри беруть участь в обговоренні кожної пропозиції стосовно можливості їх реалізувати на практиці та очікуваного екологічного, економічного, соціального ефекту від її реалізації, надаючи приблизну кількісну оцінку за 10-бальною шкалою, якій відповідає якісна: 8–10 балів – значний ефект; 4–7 балів – помірний ефект; 1–3 бали – незначний ефект. Після обговорення обирають 3 найкращих за сумою балів пропозиції (45 хв.)

Звітність.

Кожний студент-магістр самостійно заповнює *Форму звіту*, що подається до захисту у вигляді комп'ютерного файлу. Комп'ютерний файл за прізвищем студента, розміщується в поточній базі на диску кафедральної ПЕОМ.

Приклад оформлення звіту:

ЗВІТ

Студента/ки гр.____, _____ ПІБ _____ з лабораторної роботи 1 за темою: «Застосування експертного методу «мозкового штурму» для визначення якості навколишнього середовища техногенних об'єктів».

Мета роботи: вирішення проблемних завдань підвищення якості навколишнього середовища або рівня екологічної безпеки техногенних об'єктів чи технологій із застосуванням системного аналізу експертним методом «мозкового штурму»

Результати експертного обговорення проблемних завдань за обраними темами методом «мозкового штурму» та найкращі запропоновані пропозиції з оцінюванням їх ефективності наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати застосування експертного методу «мозкового штурму»

Тема(и) «мозкового штурму» (зразок)	Суть проблеми (зразок)	Найкращі пропозиції	Якісно- кількісна оцінка ефекту пропозиції
1. Зменшення впливу вихлопних газів автономних бензинових електрогенераторів на якість атмосферного повітря	Бензогенератори розміщують поблизу людських помешкань (на подвір'ях будинків, квартирних балконах, поблизу тимчасових укриттів). Під час їх тривалої роботи, особливо у мало вітряну погоду відбувається інтенсивне загазування атмосферного повітря оксидами азоту, чадним газом та іншими домішками, що являють небезпеку для людей.	1. 2. 3. ...	
2.Локалізація дощових і побутових стоків з ділянок міських та приміських садових товариств	В результаті агрохімічної обробки рослин стічні води з садових ділянок містять екологічно небезпечні речовини. До них додаються некеровані безконтрольні скиди води, забрудненої побутовими відходами мешканців. Утворені стоки поступово мігрують у яружно-балочну мережу та у малі й великі річки, забруднюючи ці водойми не менше, ніж промислово побутові скиди міст	1. 2. 3.	
3.Зниження пилоутворення на міських урбанізованих територіях	На великих грантових площадках, будівельних майданчиках, автомагістралях і прилеглих до них тротуарів осідає значна кількість, я потрібно або прибирати, або закріплювати для попередження здіймання вітром в атмосферу.	1. 2. 3.	

Висновки. Студенти-магістри надають їх самостійно по кожній темі у вигляді найкращих запропонованих в результаті «мозкового штурму» рішень або пропозицій з коротким викладенням їх суті та очікуваного ефекту від впровадження.

Контрольні питання

1. У чому полягає сутність метода експертної оцінки та коли його доцільно застосовувати?
2. Які оцінки можуть надавати експерти?
3. Охарактеризуйте етапи методу «мозкового штурму».

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Тема: Системна оцінка якості атмосферного повітря за концентрацією в ньому екологічно небезпечних домішок та величиною розрахованих індексів забруднення.

Мета роботи: опанування різних методів оцінювання та інтерпретації якості атмосферного повітря за рівнем його забруднення екологічно небезпечними домішками.

Матеріали та обладнання: газоаналізатор (4 в 1) НТ-1805, детектор пилу у повітрі SR-516A, *MS Excel* та база даних концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі на певних підприємствах чи об'єктах,

Виконання роботи передбачає наступні результати навчання:

- ❖ Проводити аналіз потенційного антропогенного впливу на навколишнє середовище
- ❖ Вибирати методи й моделі системного аналізу, проводити системні дослідження якості повітряного й водного середовищ, а також якості ґрунтів різного призначення
- ❖ Знати алгоритми й технології проведення системних досліджень якості атмосферного повітря, води поверхневих водойм і водотоків та ґрунтів різного призначення

Завдання роботи:

1. Ознайомитися з основними існуючими методами та методиками оцінки якості атмосферного повітря за даними концентрацій в ньому екологічно небезпечних домішок;

2. Підготувати масив вихідних даних щодо концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі (щонайменше 30 результатів замірів концентрації до 4 забруднюючих речовин), виміряних портативним газоаналізатором НТ-1805 або отриманих (як альтернатив) з баз моніторингових даних із відкритих джерел (на сайті Департаменту екологічної політики Дніпровської міськради або КП «Центр екологічного моніторингу» ДОР);

3. З використанням певних моделей визначити в програмному середовищі *MS Excel* для кожної забруднювальної речовини наступні величини:

- середнє арифметичне, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації та максимальне значення концентрації за період спостережень;
- комплексний індекс забруднення атмосфери та індекс якості повітря;
- визначити індекси та коефіцієнти безпеки домішок за методологією ВООЗ, а також відповідні показники ризику прояву гострих рефлексних та неспецифічних хронічних ефектів для населення;
- надати прогноз наслідків для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря.

Теоретичний огляд підходів до систематизації даних про якість атмосферного повітря на основі концентрацій забруднюючих речовин

Для оцінки ступеня забруднення атмосфери порівнюють вміст забруднюючих речовин в повітрі з їх граничнодопустимими концентраціями (ГДК). Для речовин, що впливають на здоров'я людини, прийняті два нормативи ГДК:

- середньодобові концентрації (ГДК_{сд}), що не завдають шкоди при необмеженому впливі;
- максимальні концентрації з разових (ГДК_{мр}), тобто такі, що не викликають рефлекторних реакцій у людини, як то: чихання, кашель, сверблячка й т. п., при 20-ти хвилинному впливі цих речовин.

Середнє арифметичне значення концентрації речовини визначають за формулою 2.1:

$$q_c = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n}, \text{ мг/м}^3 \quad (2.1)$$

де q_c – середньодобові, середньомісячні або середньорічні концентрації речовини q_i , які обчислюються за даними постів спостереження; n – кількість разових концентрацій за відповідний період (зазвичай за 20 хвилинний період осереднення),.

Середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань від середнього арифметичного, за формулою 2.2:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_c)^2}{(n-1)}}, \text{ мг/м}^3 \quad (2.2)$$

Високі значення цього показника вказують на наявність суттєво мінливого джерела забруднення атмосфери, внесок якого змінюється залежно до умов навколишнього середовища, наприклад, зміною напрямку або швидкості вітру, інтенсивності викидів тощо.

Коефіцієнт варіації, що вказує на ступінь зміни концентрації шкідливої речовини відносно її середнього значення, формула 2.3:

$$V = \frac{\sigma}{q_c} \cdot 100, \% \quad (2.3)$$

де q_c – середня концентрація. Варіювання вважається слабким для значень цього показника менше 10%, середнім від 10% до 25%, значним – при значеннях більше 25%.

При оцінюванні максимальної концентрації з разових (ГДК_{мр}), обчислюють відповідні максимальні значення концентрації q_m з добових,

місячних, річних або багаторічних даних за формулою 2.4:

$$q_M = \frac{1}{L} \sum_1^L q_M \quad (2.4)$$

де L – кількість досліджуваних населених пунктів.

Максимальну концентрацію визначають із ряд їх значень за наперед заданою вірогідністю її перевищення (P , %), вважаючи значення в ряду логарифмічно нормального розподілені, за формулою 2.5:

$$q_M^P = q_c \cdot e^{\frac{z \sqrt{\ln(1+V^2)}}{\sqrt{1+V^2}}} \quad (2.5)$$

де q_c – середня концентрація; при $P=0,1\%$, $z=3,08$; $P=1\%$, $z=2,33$; $P=5\%$, $z=1,65$.

Індекс забруднення атмосфери (ІЗА) – відносний безрозмірний показник, що кількісно характеризує рівень забруднення атмосфери окремою добавкою. Він дозволяє порівнювати між собою рівні забруднення атмосфери різними забруднюючими речовинами з урахуванням класу їх небезпеки, що враховує різницю в швидкості збільшення рівня небезпеки речовини з ростом перевищення її концентрації ГДК, формула 2.6:

$$IZA = \left(\frac{q_i}{ГДК_i} \right)^{C_i} \quad 2.6$$

де C_i – константа, яка визначена відносно рівня небезпеки діоксиду сірки, приймає такі значення: 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 відповідно, для 1, 2, 3, і 4-го класів небезпеки речовини (дозволяє перевести ступінь небезпеки i -ої речовини до ступеня небезпеки двооксиду сірки). При нормуванні якості атмосферного повітря, безпечними вважається ІЗА, що мають значення менше або дорівнюють одиниці.

Комплексний індекс забруднення атмосфери міста (КІЗА) – кількісна характеристика рівня забруднення атмосфери, що утворюється комплексом речовин, формула 2.7:

$$KIZA = \sum_{i=1}^n IZA_i \quad 2.7$$

де n – кількість шкідливих речовин в атмосфері.

Не існує єдиної стандартизованої шкали за якою нормуються рівні забрудненості атмосфери за показником КІЗА. За однією з цих шкал визначено чотири категорії якості повітря, залежно від рівня забруднення. Так, рівень забруднення вважається низьким при значеннях ІЗА менше 5, підвищеним – при ІЗА від 5 до 8, високим – при ІЗА від 8 до 13, і дуже високим – при ІЗА >13. У випадку, коли кількість забруднюючих речовин, що контролюються на постах спостереження є різною, доцільно застосовувати шкалу, наведену в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря за показником КІЗА

Рівень забруднення атмосферного повітря	Кількість забруднюючих речовин			
	2–3	4–9	10–20	більш 20
I – допустимий	2	3	4	5
II – слабо забруднений	2,14	3,1–6	4,1–8	5,1–10
III – помірно забруднений	4,1–8	6,1–12	8,1–16	10,1–20
IV – сильно забруднений	8,1–16	12,1–24	16,1–32	20,1–40
V – дуже сильно забруднений	>16	>24	>32	>40

Зауваження. Оцінка якості повітря за показниками ГДК або розрахованими ІЗА є зручною для нормування забруднюючих речовин на певній території відповідно до діючих стандартів України. Проте такий підхід не дозволяє прогнозувати наслідки для здоров'я населення у разі перевищення значень ГДК, оскільки ГДК являє собою максимальну гранично безпечну концентрацію певної забруднюючої речовини, яка при разовій (або тривалій) експозиції не призводить до негативних наслідків для здоров'я людини.

Сьогодні в багатьох країнах ЄС для інформування населення про якісний стан атмосфери використовуються дещо інший підхід щодо визначення індексів забруднення повітря API (від англ. *Air Pollution Index*) та індекс якості повітря AQI (від англ. *Air Quality Index*) відповідно з нормованими за стандартами ЄС показниками. Розрахунок показника API проводиться на основі формули 2.8:

$$API = (BPhi - BPlow) * (Cp - IClow) / (IChi - IClow) + BPlow \quad (2.8)$$

де API – індекс забруднення повітря; *BPhi* – високий показник AQI, відповідний концентрації забруднюючої речовини. *BPlow* – низький показник AQI, відповідний концентрації забруднюючої речовини; *IChi* – високий показник значення концентрації вмісту забруднюючих речовин; *IClow* – низький показник значення концентрації вмісту забруднюючих речовин; *Cp* – концентрація вмісту забруднюючої речовини.

Розрахунок значення API виконується на основі показників концентрації кожної окремо взятої забруднюючої речовини за шкалою від 0 до 500. Визначення значень API виконується на підставі табл. 2, яка відображає відповідність границь значень концентрацій головних забруднюючих речовин певним межам індексу забруднення (API) для кожного з 6-ти діапазонів, на які

розбита уся шкала. Граничні значення цієї області є контрольними точками «КТ» (контрольні точки). Залежно від визначення концентрацій речовин визначається значення показника API. Складена табл. 2.2 у відповідності з європейськими рекомендаціями, де скориговані значення API виглядають наступним чином:

- значення API до 50, тобто до половини від безпечного значення, відповідають сприятливій екологічній ситуації для навколишнього середовища й ідеальним умовам для здоров'я населення;
 - значення 51...100 – безпечні значення навколишнього середовища та здоров'я населення;
 - значення 101...200 – виникає небезпека для чутливої групи населення;
 - 201...300 – виникає небезпека для більшості людей;
 - значення більше за 300 потрібне організованого оповіщення населення про загрозу від забруднення атмосфери та запровадження термінових заходів.
- Проміжні значення API визначають шляхом лінійної апроксимації, табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Відповідність границь значень концентрацій забруднюючих речовин межам індексу забруднення – API для 6-ти діапазонів його шкали

Граничні концентрації для забруднюючих речовин, мкг/м ³							Межі API
Зважені речовини PM _{2.5} , добовий	Зважені речовини PM ₁₀ , добовий	CO, 30-хв.	NO _x , 30-хв.	NO ₂ , 1-год	SO ₂ , 1-год.	O ₃ , 8-год.	
0–18,5	0–65	0–26	0–250	0–53	0–67	0–35	0–50
18,6–37,5	66–130	27–52	251–500	54–106	68–134	36–71	51–100
38–84	131–215	53–78	501–750	107–160	135–163	72–97	101–200
84,5–130	216–300	79–104	751–1000	161–213	164–191	98–117	201–300
130,5–165	301–355	105–130	1001–1200	214–260	192–253	118–155	301–400
165,5–200	356–430	131–156	1201–1400	261–316	254–303	156–188	401–500

Маючи значення API, доцільно для оцінювання небезпеки від забруднення атмосфери визначати індекс якості повітря AQI за формулою 2.9:

$$AQI = 100 - API \quad (2.9)$$

За формулою 2.9 виконується розрахунок індексу для кожної забруднюючої речовини. Якщо індекс забруднення повітря отримує більш низьке значення, рівень ризику для стану здоров'я підвищується. Найнижчий індекс всіх п'яти забруднюючих речовин, рівень концентрації яких вимірюється на станції моніторингу, й визначає значення індексу, що публікується на карті показників якості повітря. Згідно з цією формулою, якщо за концентраціями забруднюючих речовин розраховано значення API вище 100, то показник якості повітря AQI матиме негативні значення, що саме і вказує на небезпеку для стану здоров'я населення. Цей індекс являє собою безрозмірне число, значення якого змінюється у діапазоні від – 400 до +100, залежно від рівня забруднення. Отримані значення індексу трансформують у якісний показник рівня забруднення повітря: низький, помірний, високий і дуже високий з відповідною

кольоровою (світлофорною) позначкою небезпеки, табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Рівень забруднення повітря в залежності від індексу якості

Кольорова позначка рівня забруднення	Якісний рівень забруднення повітря	Індекс якості повітря, AQI
Зелений	Низький	100 ... 0
Жовтий	Середній	– 1...–100
Червоний	Високий	–101... –200
Коричневий	Дуже високий	–201 ... –400

Індекси якості повітря, що знаходяться в діапазоні 100...0, вважаються безпечними, тобто рівень забруднення низький, колір – зелений. Значення індексу «0» відповідає межі безпечного/незабрудненого повітря. При негативних значеннях якості повітря вважається небезпечною для здоров'я певної категорії населення в громаді, яке чутливе до зміни цього індексу, зокрема діти. Коли ж індекс опускається до позначки – 200, то рівень забруднення загрожуватиме всій громаді.

Для країни ЄС діє стандартний перелік забруднюючих речовин, за якими визначається Індекс якості: озон (O_3), двооксид сірки (SO_2), двооксид азоту (NO_2), оксид азоту (NO), окис вуглецю (CO), зважені речовини PM_{10} та $PM_{2,5}$. Індекс розраховується за даними кожної станції моніторингу окремо залежно від концентрації указаних речовин в атмосфері. Перелік та обґрунтування негативного впливу головних забруднювачів атмосфери викладено у рекомендаціях ВООЗ.

Перевагою надання інформації про стан атмосферного повітря у вигляді API та AQI є сумісність зі стандартами країн ЄС, зокрема Директиви 2008/50/ЄС, що дозволяє проводити порівняльний аналіз стану атмосферного повітря міст України та країн ЄС. Іншою перевагою оцінки якості атмосфери за цими індексами є те, що за зазначеною методологією не обов'язково мати єдиний перелік забруднюючих речовин, що контролюються на постах спостереження, оскільки якість атмосфери визначається за однією забруднюючою речовиною, що має найнижчі значення AQI. Окрім того, ці індекси порівняно з ГДК або ІЗА є більш інформативними щодо визначення небезпеки для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря.

Відповідно до наведеного вище підходу для розрахунку індексу забруднення повітря міста з високим рівнем техногенного навантаження на атмосферне повітря (наприклад Дніпро), необхідні наступні показники, табл. 2.4.

Іншим підходом щодо застосування даних моніторингу є оприлюднення інформації про ризики для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря, згідно відповідної методології ВООЗ. Дану методологію затверджено за наказом МОЗ України від 13.04.2007 р. №184, проте досі відбувається її адаптація та імплементація в системі моніторингу атмосферного повітря.

Таблиця 2.4 – Забруднюючі речовини та періоди розрахунку індексу забруднення повітря

№	Забруднююча речовина	Період часу (експозиція) оцінювання значень концентрацій речовин для визначення індексів API або AQI
1	Озон (O ₃)	8-годинне значення(змінне)
2	Двооксид сірки (SO ₂)	Останнє годинне значення
3	Двооксид азоту (NO ₂)	Останнє годинне значення
4	Оксиди азоту (NO _x)	Останнє 30-хвилинне значення
5	Оксид вуглецю(CO)	30-хвилинне значення
6	Зважені речовини (PM _{2.5})	Добове змінне значення (за останню добу)
7	Зважені речовини (PM ₁₀)	Добове змінне значення (за останню добу)

Згідно зазначеної методології для характеристики ризику розвитку не канцерогенних ефектів вважається, чим вища актуальна доза – AD забруднювача відносно референтної – RfD , тим більша імовірність їх проявлення, однак оцінити цю імовірність при такому методичному підході неможливо. У зв'язку з цим, кінцевими характеристиками оцінки експозиції на основі референтних доз є коефіцієнти ($HQ=AD/RfD$) та їх сумарні величини при наявності комплексу забруднювачів (індекси небезпеки HI). Якщо референтна доза не перевищена, то ніяких регулюючих втручань не потрібно. У випадку, коли AD для певної речовини перевищує RfD , виникає небезпека, величину якої можна оцінити лише за допомогою аналізу залежності «доза-відповідь» та спектра шкідливих ефектів.

Для інгалаційного надходження забруднювача, якщо цього не потребують спеціальні задачі дослідження, немає необхідності розраховувати актуальну дозу, а розрахунок коефіцієнта небезпеки HQ_i i -тої речовини здійснюється за формулою 2.10:

$$HQ_i = C_i / RfC \quad (2.10)$$

де C_i – фактичний рівень впливу i -тої речовини, мг/м³; RfC – безпечний рівень або відповідний з двох зазначених вище видів ГДК цієї речовини, мг/м³, за умов короткотривалого (гострого), і тривалого впливу хімічної речовини. При цьому період осереднення експозиції і відповідних безпечних рівнів впливу має бути аналогічним.

Характеристику ризику розвитку не канцерогенних ефектів за комбінованого впливу хімічних речовин проводять на основі розрахунку індексу небезпеки за формулою 2.11:

$$HI = \sum HQ_i \quad (2.11)$$

де HQ_i – коефіцієнти небезпеки для окремих компонентів суміші хімічних речовин, що впливають на здоров'я населення.

Особливості застосування зазначеної методології для моніторингу атмосферного повітря полягають у тому, що для розрахунку HQ_i та HQ_i потрібні значення про осереднені за тривалий період концентрації забруднюючих речовин, які можуть бути отримані лише із використанням високоточних газоаналізаторів безперервної дії. Значення референтних концентрацій для деяких речовин співпадають зі значеннями ГДК_{сд} та ОБРВ (орієнтовно безпечний рівень впливу) що визначаються за діючими в Україні стандартами.

Для перерахунку коефіцієнтів та індексів небезпеки у показники ризику прояву гострих рефлексорних ефектів у населення зазвичай користаються рівняннями що враховують клас небезпеки забруднюючої речовини:

$$1 \text{ клас } Prob = -9,15 + 11,66 * \log(Ci / ГДК_{м.р}) \quad (2.12)$$

$$2 \text{ клас } Prob = -5,51 + 7,49 * \log(Ci / ГДК_{м.р}) \quad (2.13)$$

$$3 \text{ клас } Prob = -2,35 + 3,73 * \log(Ci / ГДК_{м.р}) \quad (2.14)$$

$$4 \text{ клас } Prob = -1,41 + 2,33 * \log(Ci / ГДК_{м.р}) \quad (2.15)$$

де Ci – концентрація речовини, яку зазнає населення; $ГДК_{м.р}$ – максимально-разова гранично допустима концентрація; $Prob$ – величина, пов'язана з ризиком за законом нормального розподілу. При цьому пробіті ($Prob$) і ймовірність ($Risk$) пов'язані табличним інтегралом, формула 2.16:

$$Risk = (1/V(2\pi)) \cdot \int_{-\infty}^{Prob} e^{-t^2/2} dt \quad (2.16)$$

Ризик неспецифічних хронічних ефектів при забрудненні атмосферного повітря оцінюють за формулою 2.17:

$$Risk = 1 - \exp(\log(0,84) * (C / ГДК_{с.д.})^b / k_3) \quad (2.17)$$

де $Risk$ – ймовірність розвитку токсичних ефектів при хронічній інтоксикації; C – осереднена концентрація речовини, яку зазнає населення; $ГДК_{с.д.}$ – середньодобова гранично допустима концентрація; k_3 – коефіцієнт запасу (змінюється відповідно до класу небезпеки речовини: 1-й клас 7,5; 2-й клас 6,0; 3-й клас 4,5; 4-й клас 3); b – коефіцієнт впливу класу небезпеки речовини: 1-й клас 2,35; 2-й клас 1,28; 3-й клас 1,0 и 4-й клас 0,87.

Прогнозування наслідків для здоров'я населення за значеннями ризику прояву хронічних ефектів може бути оцінено за допомогою наступної шкали, табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Прогнозування наслідків для здоров'я населення за значеннями ризику прояву хронічних ефектів

Значення <i>Risk (R)</i>	Критерій ризику	Прогноз наслідків для здоров'я населення
$R < 0,05$	Прийнятний	Відсутні несприятливі медико-екологічні тенденції
$0,05 < R < 0,16$	Задовільний	Виникає тенденція до зростання неспецифічної патології
$0,16 < R < 0,5$	Незадовільний	Виникає достовірна тенденція до зростання неспецифічної патології при появі одиничних випадків специфічної патології
$R > 0,5$	Небезпечний	Виникає достовірна тенденція до зростання неспецифічної патології при появі одиничних випадків специфічної патології, а також тенденція до збільшення смертності населення

Перевагою застосування даної методології є можливість визначати критичні органи та системи організму людини які зазнають негативного впливу від дії концентрації певної речовини із урахуванням поєднаної дії декількох забруднюючих речовин, а також прогнозування наслідків для здоров'я населення при тривалій експозиції й ризику прояву хронічних ефектів.

Контрольні запитання

1. Яка сьогодні використовують методологічні підходи до оцінки якості атмосферного повітря?
2. Яким чином здійснюється гігієнічна оцінка рівня атмосферного повітря за показником КІЗА?
3. У чому полягають переваги та недоліки використання комплексного індексу забруднення атмосфери (КІЗА) та індексу якості атмосфери (AQI).
4. За якими забруднювальними речовинами в атмосферному повітрі проводяться спостереження в Україні та країнах ЄС?
5. Який період спостережень потрібен для оцінки ризиків неспецифічних хронічних ефектів у населення від забруднення атмосферного повітря?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Тема: Аналіз розсіювання екологічно небезпечних речовин в атмосфері від стаціонарних промислових джерел.

Мета роботи: системний аналіз забруднення атмосфери від джерел певного промислового підприємства на прилеглий території на основі обчислювального експерименту з використанням стандартизованих моделей комп'ютерного програмного комплексу *Еол-2000*.

Матеріали та обладнання: програмний комплекс *Еол-2000*.

Виконання роботи передбачає наступні **результати навчання:**

❖ Розумітися на методах збору і аналізу геопросторових даних про стан довкілля та сучасному програмному забезпеченні для роботи з геоінформаційними системами.

❖ Вибирати методи й моделі системного аналізу, проводити системні дослідження якості повітряного й водного середовищ, а також якості ґрунтів різного призначення.

❖ Володіти методикою оцінювання екологічної небезпеки промислових об'єктів з використанням геоінформаційних моделей та візуалізацією на електронних картах.

Завдання роботи:

1. Одержати аерофотознімок території розміщення промислового підприємства й виконати його координатну прив'язку до розрахункового модуля програми *Еол-2000*.

2. Оконтурити на аерофотознімку промислову площадку підприємства, побудувати контур її санітарно-захисної зони (СЗЗ) , нанести джерела забруднення атмосфери, оконтурити в окремому шарі житлову забудову.

3. Сформуванати базу даних джерел забруднення атмосфери забруднюючих речовин, ввести у програму актуальні метеорологічні показники й потрібні для розрахунку розсіювання дані по підприємству.

4. Увести геометричні параметри промислової площадки та її СЗЗ, обчислити в *Еол-2000* величини ізоліній поля концентрацій забруднення атмосфери, обумовленого певними викидами підприємства, та експортувати основні результати обчислювальних експериментів до загального звіту з лабораторної роботи в *MS Word*.

5. Проаналізувати результати обчислювального експерименту з відповідними висновками у наступній послідовності:

- виявити найбільш небезпечніше джерело забруднення атмосфери;
- виявити речовину з найбільшою приземною концентрацією;
- охарактеризувати розподіл приземних концентрацій за територією СЗЗ і житлової забудови;
- рекомендувати заходи щодо зниження рівнів забруднення атмосфери від найбільш небезпечного джерела.

6. Виконати прогностичний обчислювальний експеримент в *Еол-2000* щодо рівня забруднення атмосфери, очікуваного для значень викидів після запровадження рекомендованих у п.5 заходів або засобів та охарактеризувати рівні перенесення забруднення за територією СЗЗ й у зону житлової забудови.

Загальна характеристика Еол-2000 як програмного середовища для обчислювальних експериментів

Еол-2000 – автоматизована система розрахунку розсіювання викидів шкідливих речовин в атмосферному повітрі, очікуваного від промислових підприємств, що проектується або діють (відновлюють дію після реконструкцій) Програмне забезпечення системи реалізує стандартизовану розрахункову методику ОНД-86, «Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств».

Еол-2000 дозволяє розраховувати півні значення ізоліній концентрації

поля забруднення від точкового джерела викиду екологічно небезпечних речовин з круглим та прямокутним устям труби, двох видів площинного джерела (джерела, що складається із сукупності окремих точкових джерел, розміщених близько один від одного, з однаковими значеннями конструкційних та технологічних характеристик та джерела у вигляді ставка-відстійника). Також є можливість обчислень, що проводяться з урахуванням фонових (існуючих) концентрацій.

Вбудовані у програму засоби створення й редагування топографічної основи в географічній системі координат дозволяють прив'язати растрові зображення із програми *Google Earth Pro*; будувати санітарно-захисні (буферні) зони; працювати із джерелами викиду, фоновими постами, розрахунковими площадками й точками безпосередньо на карті місцевості.

Вихідні дані. Варіанти вихідних даних для проведення обчислювальних експериментів наведені в доданих нижче табл. 3.1 і табл. 3.2. Номери варіантів відповідають порядковому номеру студента в списку академічної групи.

Аерофотознімки районів розташування підприємств з програм *Google Earth*, *SasPlanet* та інших видає викладач в електронному виді або студент одержує їх самостійно. Кожен аерофотознімок потребує чіткого зображення джерел забруднень і прилеглої території та мусить містити масштабну лінійку.

На кожному аерофотознімку викладач робить помітки джерел забруднень (2-а точкових, лінійний і майданний). Характеристики джерел й обсяги викидів забруднювачів наведені в табл. 1, а дані про метеорологічні показники й кліматичні умови на території розташування підприємства у відповідних населених пунктах наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.1 – Промислові підприємства: обсяги й параметри викидів

Номер варіанта	Назва підприємства	Розміщення	Типи джерел	Обсяги викидів речовин (код забруднювача), т/рік				Параметри джерел			
				Тверді речовини(2902)	NO (304)	SO ₂ (330)	CO (337)	Висота, м	Діаметр (розмір),м Швидкість ППВС*	Витрата м ³ /з	Температура, °З
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ПрАТ «Дніпровський металургійний завод»	Дніпро	Точ.	5439	447	665	3195	200	6	120	180
			Лін.	340	370	85	290	2	1*	15	25
			Точ.*	490	45	80	470	20	2x3	30	120
			Площ.	3475				2			25
2	ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»	Кам'янське	Точ.	16741	4329	10789	70685	180	5	90	200
			Лін.	360	570	75	490	8	4*	12	25
			Точ.*	760	400	690	4870	30	1x4	30	120
			Площ.	3475				2			25
3	ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ»	Дніпро	Точ.	245	2681	439	6832	120	4,5	90	150
			Лін.	340	370	85	290	12	2*	15	25
			Точ.*	490	45	80	470	20	2x3	30	120
			Площ.	3475				2			25
5	ПАТ «Нікопольський південнотрубний завод»	Нікополь	Точ.	296	489	408	1051	90	4,5	80	120
			Лін.	340	370	85	290	2	1*	15	25
			Точ.*	490	45	80	470	20	2x3	30	120
			Площ.	3475				2			25
6	ВАТ «Міттал Стіл Кривий Ріг»	Кривий Ріг	Точ.	37244	6989	7979	82626	120	6	80	160
			Лін.	340	370	85	290	2	1*	15	25

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	БАТ «Міттал Стіл Кривий Ріг»		Точ.*	490	45	80	470	20	2х3	30	120
			Площ.	3475				2			25
8	ПрАТ «Кам'янський коксохімічний завод»	Кам'янське	Точ.	99	213	436	366	150	5	80	150
			Лін.	340	370	85	290	10	3*	15	25
			Точ.*	490	45	80	470	20	2х3	30	120
			Площ.	3475				2			25
9	АТ «Нікопольський завод феросплавів»	Нікополь	Точ.	943	511	242	21140	105	6	100	130
			Лін.	340	370	85	290	2	1*	15	25
			Точ.*	490	45	80	470	20	2х3	30	120
			Площ.	3475				2			25
10	БАТ "Новомосковський трубний завод"	Самар	Точ.	782	492	407	4095	200	6	120	150
			Лін.	340	370	85	290	2	1*	15	25
			Точ.*	490	45	80	470	20	2х3	30	120
			Площ.	3475				2			25
13	ПО ПМГУ ПІВНГЗК	Кривий Ріг	Точ.	10248	1864	6764	84307	120	4,5	80	130
			Лін.	340	370	85	290	2	1*	15	25
			Точ.*	490	45	80	470	20	2х3	30	120
			Площ.	3475				2			25
14	БАТ «Південний ГЗК»	Кривий Ріг	Точ.	7204	1043	2321	1309	120	4,5	90	130
			Лін.	340	370	85	290	2	1*	15	25
			Точ.*	490	45	80	470	20	2х3	30	120
			Площ.	3475				2			25
15	БАТ «Інгулецький ГЗК»	Інгулець	Точ.	12670	1999	9059	145524	120	4,5	80	130
			Лін.	340	370	85	290	9	2*	15	25
			Точ.*	490	45	80	470	20	2х3	30	120
			Площ.	3475				2			25

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16	ВАТ «Центральний ГЗК»	Кривий Ріг	Точ.	2654	385	57	821	120	4,5	70	120
			Лін.	340	370	85	290	2	1*	15	25
			Точ.*	490	45	80	470	20	2x3	30	120
			Площ.	3475				2			25
17	АТ «Покровський ГЗК»	Покров	Точ.	64	252	276	9315	120	4,5	80	150
			Лін.	340	370	85	290	2	1*	15	25
			Точ.*	490	45	80	470	20	2x3	30	120
			Площ.	3475				2			25
18	АТ «Марганецький ГЗК»	Марганець	Точ.	1380	678	2071	19472	120	4,5	80	130
			Лін.	340	370	85	290	2	1*	15	25
			Точ.*	490	45	80	470	20	2x3	30	120
			Площ.	3475				2			25
19	Філія «Вільногірський гірничо-металургійний комбінат» АТ «ОГХК»	Вільногірськ	Точ.	1075	2181	796	2461	105	4	70	120
			Лін.	340	370	85	290	2	1*	15	25
			Точ.*	490	45	80	470	20	2x3	30	120
			Площ.	3475				2			25
20	ДП «Східний гірничо-збагачувальний комбінат»	Жовті Води	Точ.	2092	4902	3963	8931	105	4	75	120
			Лін.	340	370	85	290	2	1*	15	25
			Точ.*	490	45	80	470	20	2x3	30	120
			Площ.	3475				2			25
21	ВП «ДТЕК Криворізька ТЕС»	Зеленодольск	Точ.	18193	9980	114049	769	180	6	120	160
			Лін.	340	370	85	290	2	1*	15	25
			Точ.*	490	45	80	470	20	2x3	30	120
			Площ.	3475				2			25

Таблиця 3.2 – Метеорологічна характеристика міст Дніпропетровської області

Місто	Мінімальна Температура, 3°	Максимальна Температура, 3°	Швидкість вітру, м/з	Коефіцієнт стратифікації	Площа, кв. км.	Широта	Довгота	Повтор вітрів по румбах							
								Північ	Північний схід	Схід	Південний схід	Південь	Південний захід	Захід	Північний захід
1. Вільногірськ	-5,7	21,0	4,9	190	10	48,5	34,0	17,8	12,6	14,1	12,0	11,1	10,4	12,8	9,2
2. Кам'янське	-5,6	21,4	4,8	190	140	48,5	34,7	17,8	12,6	14,1	12,0	11,1	10,4	12,8	9,2
3. Дніпро	-5,5	21,3	4,7	190	380	48,5	35,0	17,8	12,6	14,1	12,0	11,1	10,4	12,8	9,2
4. Жовті Води	-5,3	21,0	4,5	190	30	48,3	33,5	17,8	12,6	14,1	12,0	11,1	10,4	12,8	9,2
5. Зеленодольск	-4,6	21,9	4,4	200	5	47,5	33,6	15,4	16,1	15,2	10,3	9,8	10,3	11,5	11,4
6. Інгулець	-4,8	21,7	4,5	200	10	47,7	33,2	15,4	16,1	15,2	10,3	9,8	10,3	11,5	11,4
7. Кривий Ріг	-5,0	21,1	4,3	190	430	48,0	33,4	15,4	16,1	15,2	10,3	9,8	10,3	11,5	11,4
8. Марганець	-4,9	21,6	4,1	190	40	47,6	34,6	15,4	16,1	15,2	10,3	9,8	10,3	11,5	11,4
9. Нікополь	-4,8	21,8	4,9	190	50	47,5	34,4	15,4	16,1	15,2	10,3	9,8	10,3	11,5	11,4
10. Самар	-5,6	21,2	4,6	200	40	48,6	35,2	17,8	12,6	14,1	12,0	11,1	10,4	12,8	9,2
11. Покров	-4,7	21,8	4,8	190	30	47,6	34,0	15,4	16,1	15,2	10,3	9,8	10,3	11,5	11,4
12. Павлоград	-5,6	21,2	4,4	200	60	48,5	36,0	17,8	12,6	14,1	12,0	11,1	10,4	12,8	9,2

Етапи практичного виконання роботи

1. Формування аерофотознімку території дослідження та його геопросторових даних з програми *Google Earth* й *SasPlanet*

В *Google Earth* одержати зображення можна через скріншот (натиснувши клавиші *Ctrl+PrtSc*). Потім вставити його через буфер обміну в який-небудь графічний редактор (*Paint*, *Photoshop*) з наступним збереженням у файл із розширенням *.jpg*. Перед одержанням аерофотознімка необхідно відобразити масштабну лінійку (див. вкладку *Вид*). Далі за допомогою елементів навігації й масштабу зорієнтувати район розміщення підприємства строго на північ без панорамного нахилу. На масштабній лінійці, розташованій в лівому нижньому куті, зазначена її довжина в метрах, а її довжина в пікселях залежить від розв'язної здатності екрана в момент скріншоту (рис. 3.1).



Рис. 3.1 – Приклад застосування масштабної лінійки

Довжина масштабної лінійки завжди дорівнює чверті ширині аерофотознімку, отже, якщо ширина аерофотознімку дорівнює 1600 пікселей, то довжина лінійки: $1600/4 = 400$ пікселей. Відповідно, при метричній довжині масштабної лінійки 1200 метрів, 1 піксель зображення буде відповідати метричній величині: $1200/400 = 3$ метри реальної території. При такому масштабі аерофотознімок розміром 1600x1200 пікселів буде мати довжину зображеної на ньому території $1600 \cdot 3 = 4800$ м, і ширину $1200 \cdot 3 = 3600$ м. Про розміри зображення у пікселях можна довідатися, виділивши його в провіднику натисканням правої кнопки миші й викликавши пункт контекстного меню *Властивості*.

Отримання аерофотознімків з програми *SasPlanet* має ряд переваг: зображення виходять ідеально центрованим при цьому можна автоматично створити файл прив'язки для роботи із цим зображенням у різних ГІС-застосунках (*ArcGIS*, *MapInfo*). Для отримання зображення та створення файлу прив'язки в *SasPlanet* потрібно зробити наступні кроки:

1) Вибрати джерело і шари карт, з яких необхідно отримувати зображення, а саме: в меню **Джерело** виставити інтернет і кеш, а в меню **Карти** – *Bing\BingMaps* – супутник, в меню **Шари** – *Wikimapia*.

2) За допомогою курсору миші знайти район розміщення потрібного підприємства (шар *Wikimapia* слугує підказкою для відображення назв населених пунктів та інших об'єктів при наведенні на них курсору миші). Масштаб карти змінюють колесом прокрутки.

3) Промисловий майданчик підприємства розмістити у центрі і масштабувати так, щоб захопити прилеглу до нього територію із СЗЗ. Для отримання «чистого» аерофотознімку слід відключити шар *Wikimapia* та інші допоміжні шари.

4) У меню операції вибирати: *Операції з виділеною областю \ Прямокутна область* (або обрати параметр за розміром екрану). Після чого, утримуючи ліву кнопку миші, виділити цікаву нам область екрану. Рекомендується скористатися відповідною піктограмою для роботи з виділеною областю, приклад якої наведений на рис. 3.2.

5)

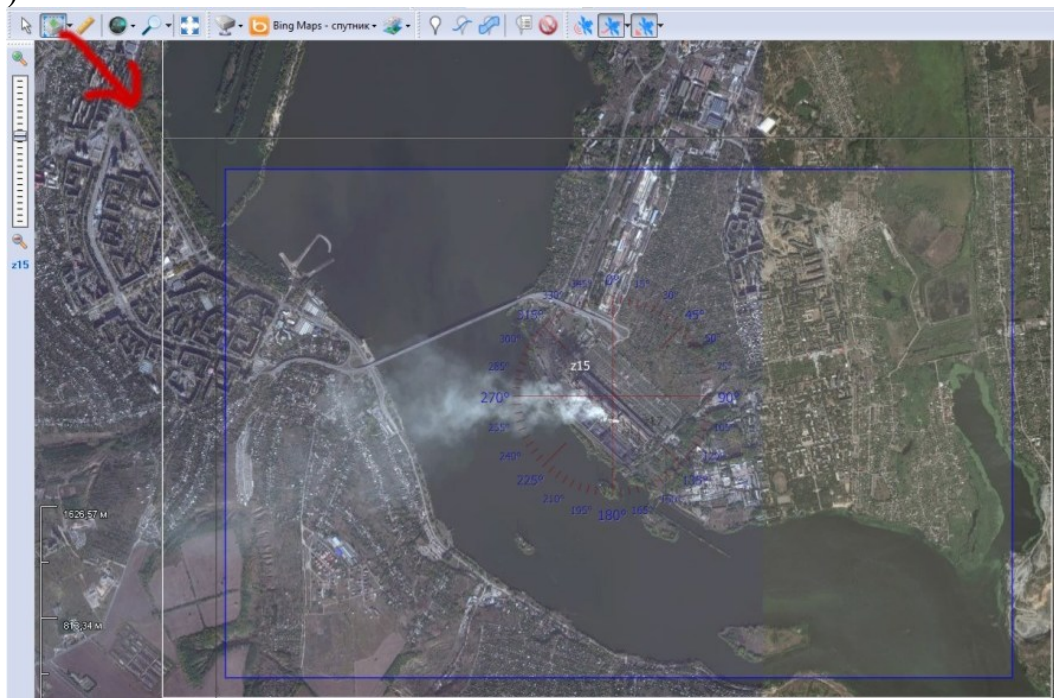


Рис. 3.2 – Локалізація області досліджуваної території

5). У вікні, що з'явилося, пропонується завантажити зображення виділеної території з серверу по частинах (за тайлами). Для отримання більш детальних зображень рекомендується виставляти масштаб тайлів більший, ніж масштаб області виділення. У вікні можна також побачити розмір майбутнього зображення у пікселях. На практиці оптимальним є масштаб від 15 до 18, при цьому розмір аерофотознімку повинен бути не більше 8192x8192 пікселів. Далі зняти галочку з параметру *Закрити вікно після старту*, і натиснути кнопку *Почати* у вікні налаштування параметрів завантаження аерофотознімку (рис. 3.3)

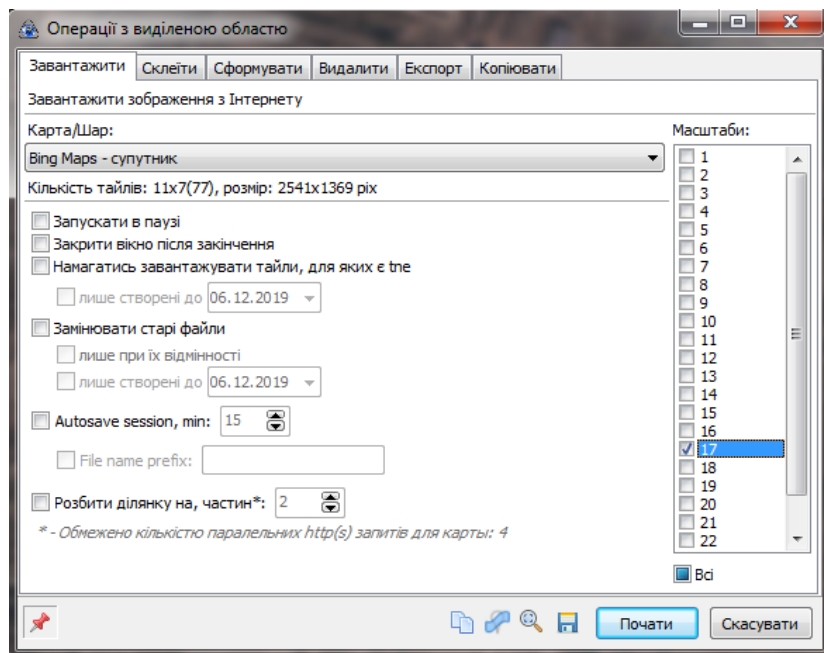


Рис. 3.3 – Налаштування параметрів для завантаження аерофотознімку

6). Після завантаження файлів необхідно з них сформувати єдиний аерофотознімок. Для цього треба перейти до пункту *Склеїти* і виставити такий же масштаб, що і у завантажених раніше тайлів. Проекцію бажано обрати *WGS84/EPSSG3395*. Рекомендується вказати ім'я файлу за назвою підприємства, формат зображень *.jpg*, та відмітити формати додаткових файлів прив'язки, після чого натиснути кнопку *Почати*. (рис. 3.4.)

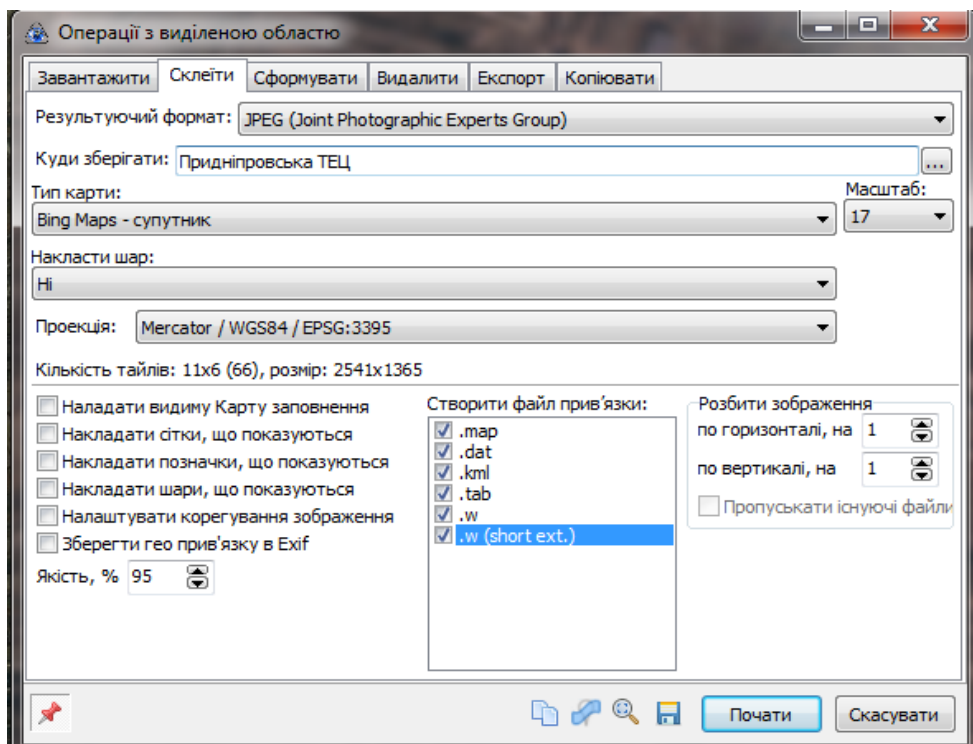


Рис. 3.4 – Налаштування параметрів для збереження аерофотознімку та файлу прив'язки до нього

Якщо усі операції були виконані вірно, то крім самого зображення аерофотознімку буде сформовано також файл прив'язки з розширенням *.jpgw*. Його можна відкрити за допомогою блокноту, де значення, вказане у першому рядку буде відповідати кількості метрів в одному пікселі зображення. Таким чином, можна обчислити метричний розмір території (у метрах)ї, яку покриває даний аерофотознімок. Для зображень у форматі *.jpg* файл прив'язки буде мати розширення *.jpgw* (рис. 3.5).

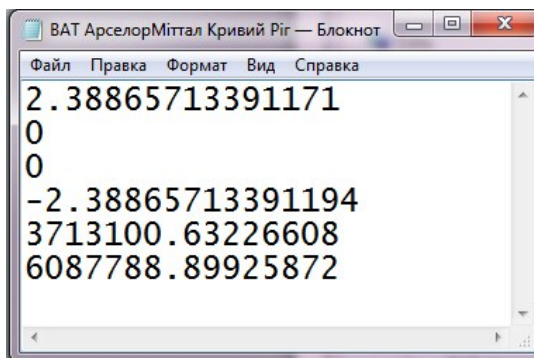


Рис. 3.5 – Приклад прив'язки зображення у форматі *.jpgw*

Як бачимо у прикладі, відкритий через блокнот файл прив'язки містить у першому рядку значення кількість метрів в 1 пікселі (дещо більше 2,3 м). Якщо помножити цю величину на розміри зображення в пікселях одержимо розмір відображеної території в метрах (останні два рядки).

2. Прив'язка підготовленого зображення до програм обчислення показників забруднення атмосферного повітря

Для прив'язки отриманого зображення до обчислювальних програм виконують наступні дії:

Запустити програму й на вкладці – карта-схема наносимо лінію, використовуючи інструмент *Ламана*. У вікні Властивості вказуємо довжину цієї лінії, що в метрах дорівнює розміру знятої території на аерофотознімку. Інші значення вікна заповнити нулями, після чого підбирають потрібний масштаб і розміщують цю лінію по центру екрана (лінія мусить пр повністю)містилася. Потім викликати у верхньому правому куті програми піктограму рисунок, і у вікні, що з'явиться, вказати ім'я файлу аерофотознімку, а у параметрі *Масштаб* вказати на карті, поставивши галочку.

Після виставляння параметрів, натиснути кнопку *застосувати*. Після чого шляхом переміщення миші слід змінити розмір зображення так, щоб воно зрівнялося по довжині з нанесеною раніше лінією. Після чого натискаємо ліву кнопку миші.

У разі некоректної прив'язки викликаємо в правій частині екрана піктограму – *підроблена* й у вікні, що з'явиться, натиснути кнопку *застосувати*, після чого повторно виконати прив'язку зображення. Після коректної прив'язі зображення допоміжну лінію можна викликавши та видалити, натиснувши кнопку *Del*.

3. Формування бази джерел викидів та розрахунків параметрів забруднення атмосферного повітря

Спочатку рекомендується зберегти проєкт, указавши в імені файлу назву підприємства.

Для оконтурювання промислової ділянки вибрати в панелі інструментів шар промислової зони й інструмент *Багатокутник*.

Обводимо ділянку й замикаємо її контур подвійним клічем миші. Для подальшої побудови контуру СЗЗ наводимо курсор на промислову ділянку й викликаємо пункт меню *Створити буферну зону*. У вікні, що з'явиться, указати значення нормативної СЗЗ і натискаємо кнопку *Створити*.

Житлову забудову обводимо аналогічним способом, як і промислову зону, тільки вибираємо в меню шар *Житлова зона*.

Далі наносимо джерела забруднення атмосфери. Одне джерело із круглим устям уже перебуває в центрі карти, тому його можна перетягнути в місце реального розташування.

Для нанесення ж інших джерел забруднення потрібно викликати шар *Джерела* й вибрати інструмент (*крапка, ламана, полігон*), що відповідає геометричній формі джерела. Рекомендується також підписати нанесені джерела й об'єкти, вибравши шар *Написи* й інструмент *Текст*.

Після нанесення на карту джерел забруднення атмосфери виконати перехід на вкладку *Дані про викиди*, і заповнити відповідну таблицю, указавши в ній значення з табл.3.1.

Після заповнення таблиці параметрів джерел кнопкою + додати перелік забруднюючих речовин із вказівкою їхніх обсягів у т/рік і відповідно перераховані значення інтенсивності викиду в г/с.

Для додавання розрахункової площадки потрібно перейти на вкладку *Розрахунок забруднення атмосфери*, де викликаємо піктограму *Площі*, після чого натискаємо внизу екрана піктограму +.

Для коректування ж форми розрахункової площадки переходимо на вкладку – *Площадки* на карті й розтягуємо її до розмірів СЗЗ аерофотознімку.

Рекомендується виставити цілі значення довжини, ширини, а також кроку розрахункових вузлів на території площадки, загальна кількість яких повинне бути не більше 400.

Після коректування площадки потрібно перейти на вкладку *Розрахунок забруднення атмосфери* й ініціювати піктограму *Виконати розрахунок*. Одержати результати, перейти на вкладку *Формування звіту* й експортувати результати обчислень в *MS Word*.

Наступним етапом обчислювального експерименту є аналіз та опис ізоліній приземних концентрацій забруднювальних речовин шляхом зіставлення отриманих значень концентрацій за межами СЗЗ з нормативною таблицею забруднення атмосфери, табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Класифікація рівнів екологічної небезпеки по кратності перевищення ГДК забруднювача в атмосфері

Рівень забруднення	Ступінь небезпеки	Кратність перевищення ГДК	Відсоток випадків перевищення ГДК
Припустимий	Безпечний	< 1	0
Неприпустимий	Слабко небезпечний	> 1 – 2	> 0 – 4
Неприпустимий	Помірно небезпечний	> 2 – 4,4	> 4 – 10
Неприпустимий	Небезпечний	> 4,4 – 8	> 10 – 25
Неприпустимий	Дуже небезпечний	> 8	> 25

Приклад аналізу результатів визначення рівня і ступеня забруднення атмосферного повітря населених територій, прилеглих до підприємства

У результаті розрахунку й аналізу забруднення атмосфери від групи джерел АТ «Нікопольський завод феросплавів» зроблені наступні висновки.

1. Найбільш небезпечнішим джерелом забруднення атмосфери є труба мартенівського цеху №2, що являє собою стаціонарне, організоване, джерело гарячого викиду з круглим устям.

2. Найбільш небезпечна речовина за показником значень приземної концентрації є двооксид азоту, найбільший внесок якого робить джерело забруднення №2. Так, на території промислової ділянки максимум його концентрації при небезпечній швидкості вітру 0,5 м/с сягає значень до 10 ГДК.

3. На території СЗЗ концентрація двооксиду азоту перевищує норму в 3 – 5 разів, а за її межами це значення в деяких населених пунктах досягає 1,5–2 ГДК, рівень якої є неприпустимим, а ступінь небезпеки – слабка небезпечний. Тому виникає необхідність у застосуванні заходів або засобів зниження викидів двооксиду азоту з указанного джерела..

4. Зважаючи на те, що головним джерелом забруднення атмосфери є труба мартенівського цеху, рекомендується підвищити ефективність очистки викиду газу з цього джерела шляхом додаткового встановлення скрубера.

5. Після визначення ефективності скрубера щодо зменшення величини викиду двооксиду азоту, можливо при необхідності обчислити прогнозні рівні розсіювання цього газу, починаючи з етапу 3 практичного виконання лабораторної роботи.

Контрольні запитання

1. Яка методика застосовується для оцінки параметрів забруднення атмосферного повітря від викидів промислових підприємств?

2. Які типи джерел забруднення атмосферного повітря існують для підприємств гірничо-металургійної галузі.

3. Яким чином можна охарактеризувати рівні екологічної небезпеки від забруднення атмосферного повітря?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Тема: Інтегральна оцінка якості природних поверхневих вод.

Мета роботи: визначення найбільш характерних показників стану природних поверхневих вод та формування інтегральної оцінки їхньої якості.

Матеріали та обладнання: база даних органолептичних та фізико-хімічних показників природних водойм; мутномір – TUB-430, рН-метр лабораторний – ТМ-40; кондуктометр/солемір – AD 32; універсальний оксиметр, рН-метр, кондуктометр, солемір – AZ-86031; набір реагентів для експрес-аналізу якості води: загальної та карбонатної жорсткості, фосфатів, хлоридів, нітратів.

У результаті виконання роботи очікуються наступні **результати навчання:**

❖ Знати показники якості навколишнього середовища, як системи, методологію системного аналізу та загальні методи й моделі системного аналізу в екології.

❖ Вибирати методи й моделі системного аналізу, проводити системні дослідження якості повітряного й водного середовищ, а також якості ґрунтів різного призначення.

❖ Знати алгоритми й технології проведення системних досліджень якості атмосферного повітря, води поверхневих водойм і водотоків та ґрунтів різного призначення.

Завдання роботи:

1. Визначити загально-санітарний індекс якості води (ІЯВ).
2. Визначити гідрохімічний показник забруднення води (ГЗВ) токсичними металами.
3. Визначити екологічний стан водойми за визначеною величиною інтегрального індексу екологічного стану (ІЕЕС).

Загальні теоретичні положення

Якість води природних водних об'єктів оцінюють за фізико-хімічними, біологічними та мікробіологічними показниками, аналіз яких та зіставлення дає можливість встановити відповідність або невідповідність водойм та водотоків стандартизованим нормам відповідно до чинних законодавчих документів і актів. Так, згідно з ДЕСТ 17.1.1.01-77 «Охорона природи. Гідросфера. Використання та охорона вод.

Основні терміни та визначення», під якістю води загалом розуміють характеристику її складу та властивостей, що визначає її придатність для конкретних видів водокористування, при цьому критерії якості містять ознаки, за якими проводять інтегральну оцінку екологічної якості води.

Нормування якості води полягає у встановленні для води сукупності допустимих значень показників її складу і властивостей, у межах яких надійно забезпечуються здоров'я населення, сприятливі умови водокористування та екологічне благополуччя водного об'єкта.

Класифікація водних об'єктів виконується за ступенем забрудненості води. Нижче наведені найбільш часто використовувані оціночними показники або характеристики води.

1. Органолептичні показники: кольоровість; запах; каламутність;
2. Мікробіологічні характеристики: загальне мікробіологічне число; бактерії та групи кишкової палички;
3. Гідрохімічні характеристики за:
 - карбонатною системою (рН; розчинений кисень; лужність; жорсткість);
 - вмістом розчинних солей (хлориди; сульфати; фториди; натрій; калій);
 - наявністю органічних речовин (перманганатна окиснюваність; біхроматна окиснюваність, хімічне споживання кисню – ХСК; біологічне споживання кисню – БСК);
 - вмістом біогенних елементів (азот та амоній, нітрати, нітрити; фосфати);
4. Наявна кількість токсичних металів (залізо, марганець, цинк, мідь, свинець, кадмій, миш'як, нікель, хром, кобальт, стронцій, літій);
5. Вміст синтетичних органічних сполук (СПАР; нафтопродукти).

Згідно з метою у цій лабораторній роботі визначаються комплексні показники води водойм господарсько-питного та культурно-побутового водокористування, зокрема:

- загально-санітарний індекс якості води – ІЯВ, що враховує органолептичні показники та основні гідрохімічні характеристики;
- гідрохімічний індекс забруднення води – ІЗВ, що враховує вміст токсичних металів.

Показником, за яким можна судити про екологічну якість природних вод, є інтегральний індекс екологічного стану (ІЕЕС), що окрім наведених вище індексів зазвичай додатково враховує значення ГДК (норматив) забруднюючої речовин у воді, мг/дм³ та клас їх небезпеки (токсичність). Взагалі ж вибір певних критеріїв оцінки якості вод має ґрунтуватися на пріоритеті вимог того водокористування, чії норми жорсткіші. Наприклад, якщо водний об'єкт призначений одночасно для питного і рибогосподарського використання, то до оцінки якості вод можуть висуватися суворіші вимоги (рибогосподарські та екологічні).

Етапи роботи.

1. Оцінка якості води за загально-санітарним індексом якості води (ІЯВ)

Відповідно до ДСТУ 17.1.1.01-77, для визначення ІЯВ спочатку за результатами хімічного аналізу води проводять бальну оцінку показників забруднення за табл. 1, а далі виконують розрахунок за формулою 4.1:

$$ІЯВ = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \omega_i \text{ (за умови } \sum \gamma_i = 1 \text{)}, \quad (4.1)$$

де γ_i – вага показника, що входить до загально-санітарного ІЯВ; ω_i – бали (від 1 до 5), які присвоюють кожному показнику, що входить до загально-санітарного ІЯВ; n – загальне число показників, що входять до ІЯВ.

Таблиця 4.1 – Бальна оцінка показників забруднення для обчислення ІЯВ

Показники	Вага (γ)	Бал (ω)				
		5	4	3	2	1
Колі-індекс	0,18	0–100	101–1000	10^3 – 10^5	10^5 – 10^7	$>10^7$
Запах, бали	0,13	0	1–2	3	4	5
БСК ₅ , мгО/л ²	0,12	<1	1,0–2,0	2,1–4	4,1–10	>10
рН	0,10	6,5<рН<8	6<рН<6,5, 8<рН<8,5	5<рН<6, 8,5<рН<9,5	4<рН<5, 9,5<рН<10	рН<4, рН>10
Розчинений кисень, мгО/л ²	0,09	>8	8–6	6–4	4–2	<2
Кольоровість, град	0,09	<20	21–30	31–40	41–50	>50
Завислі речовини, мг/л	0,08	<10	10–20	21–50	51–100	>100
Загальна мінералізація, мг/л	0,08	<500	500–1000	1001–1500	1501–2000	>2000
Хлориди, мг/л	0,07	<200	200–350	351–500	501–700	>700
Сульфати, мг/л	0,06	<250	250–500	501–700	701–1000	>1000

Якісний стан води залежно від величини ІЯВ класифікується за табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Класифікація якості води залежно від значення ІЯВ

Якісний стан води	Значення ІЯВ	Клас якості води
Дуже чиста	5,0	1
Чиста	4,1–4,9	2
Помірно забруднена	2,6–4,0	3
Забруднена	1,6–2,5	4
Брудна	$\leq 1,5$	5

2. Оцінка якості води за інтегральним показником – гідрохімічним індексом забрудненості вод (ІЗВ)

Особливість гідрохімічних показників полягає в тому, що вони пов'язані з наявністю у воді розчинених хімічних речовин, які зазвичай не можуть бути оцінені за допомогою органів чуття. Тому рекомендується використовувати гідрохімічний індекс забруднення води (ІЗВ), який найчастіше використовується для оцінки якості водних об'єктів. Цей індекс є типовим адитивним показником і являє собою середню частку перевищення ГДК за строго лімітованим числом інгредієнтів і обчислюється за формулою 4.2:

$$IЗВ = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК_i}, \quad (4.2)$$

де C_i – концентрація i -ої забруднювальної речовини у воді, мг/дм³; n – число показників, що використовуються для розрахунку індексу, $n=6$; $ГДК_i$ – гранично допустима концентрація i -ої забруднювальної речовини у воді, мг/дм³.

ІЗВ, як правило, розраховують за **шістьма** показниками ($n=6$), які можна вважати гідрохімічними, до того ж мають найбільші значення концентрацій у

воді, незалежно від того перевищують вони ГДК чи ні. Відповідно до значень ІЗВ, **клас якості води** оцінюють за шкалою, наведеною в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Класифікація якості води залежно від значення ІЗВ

Якість води	Значення ІЗВ	Клас якості води
Дуже чисті	до 0,2	I
Чисті	0,2–1,0	II
Помірно забруднені	1,0–2,0	III
Забруднені	2,0–4,0	IV
Брудні	4,0–6,0	V
Дуже брудні	6,0–10,0	VI
Надзвичайно брудні	>10,0	VII

При цьому вимагається, щоб індекси забруднення води (ІЗВ) порівнювали для водних об'єктів однієї біогеохімічної провінції та схожого типу, для однієї або тієї самої водотоки (за течією, в часі тощо), а також з урахуванням фактичної водності поточного року. Така класифікація досить умовна, хоча використовується для інтегральної оцінки якості поверхневих вод.

3. Оцінка якості води за інтегральним індексом екологічного стану (ІЕС)

Нині відсутня єдина, достатньо повна і збалансована комплексна методика оцінки якості води. Тому пропонується використовувати інтегральний індекс екологічного стану (ІЕС), який дає інтегральну оцінку якості води, зокрема за 4-ма показниками та обчислюється за формулою 4.3:

$$ІЕС = \frac{1}{n_b} \cdot \sum_{i=1}^{n_b} b_i, \quad (4.3)$$

де n_b – кількість показників, що використовуються у розрахунку ($n_b = 4$); b_i – бали (від 1 до 4), що привласнюються кожному показнику згідно з табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Градації показників для їхньої бальної оцінки

№ п/п	Показник	Бал (b)			
		1	2	3	4
1	Значення ГДК (норматив) забруднюючої речовини, мг/л	<0,01	0,01–0,1	0,11–1,0	>1,0
2	Клас небезпеки забруднюючої речовини	1	2	3	4
3	ІЯВ, бали	1,6	1,6–2,5	2,6–4,0	>4,0
4	ІЗВ, бали	>4,0	2,1–4,0	1,0–2,0	<1,0

У табл. 4.4 наведені межі діапазонів для визначення балів за кожним окремим показником, до яких входять значення ГДК, клас небезпеки забруднюючої речовини та комплексні показники, розраховані вище.

В результаті, на підставі розрахункового значення ІЕС здійснюється

системна оцінка класу якості води, що відповідає її екологічному стану, табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Класифікація якості води залежно від значення індексу ПЕС

Клас якості води	Рівні порушення	Екологічний стан	Діапазон ПЕС
I	Б	екологічне лихо	$\leq 1,69$
II	К	екологічна криза	1,70–2,39
III	Р	напружена екологічна ситуація	2,40–2,99
IV	Н	відносне екологічне благополуччя	$\geq 3,0$

Межа між III і IV класами відповідає допустимому екологічному навантаженню (ПЕН), під яким розуміють антропогенне навантаження (що складається з окремих однорідних або різнорідних впливів), що не змінює якості навколишнього природного середовища або змінює його в допустимих межах, забезпечуючи збереження або підвищення продуктивності угруповання (його структурно-функціональної цілісності). Ця межа має характер перспективного нормативу, який може бути досягнутий до певного терміну, тобто через заздалегідь обумовлений час дозволяє перейти в категорію поточних нормативів.

Межа між II і III класами відповідає гранично допустимому екологічному навантаженню (ГДЕН) – максимальній інтенсивності комплексної та комбінованої дії всієї сукупності антропогенних чинників на угруповання, що не призводить до виходу екосистеми за межі екологічного резерву. Має характер поточного нормативу, допустимого для оцінки впливу на співтовариство в даному регіоні протягом заздалегідь обумовленого часу. Відповідає напруженій екологічній обстановці.

Межа між I і II класами відповідає критичному екологічному навантаженню, тобто інтенсивності антропогенних чинників у навколишньому середовищі, що спричиняють статистично достовірні зміни в показниках структурно-функціональної організації популяції або угруповання, які виходять за межі адаптаційних можливостей біосистеми, що історично сформувалася в конкретних умовах мінливого довкілля.

Катастрофічній екологічній обстановці (екологічному лиху) відповідає антропогенне навантаження, що спричиняє стійкий, необоротний негативний вплив на природні популяції, який супроводжується їхньою загибеллю.

Отримані дані (ПЕС) є основою для ухвалення рішення в галузі природоохоронної діяльності та вироблення першочергових заходів з ліквідації екологічного неблагополуччя.

Вихідні дані для завдання

Значення показників для визначення величини ІЯВ наведено в табл. 4.6.

Дані хімічного аналізу води за вмістом у ній токсичних металів і довідкові дані для визначення величини ІЗВ наведено в табл. 4.7 та 4.8.

Таблиця 4.6 – Дані для розрахунку загально-санітарного індексу якості води

Варіант	Показники									
	Копі-індекс	Запах, бали	БСК ₅ , мг О ₂ /л ²	рН	Розчинений кисень, мг/л	Кольоровість, град	Завислі речовини, мг/л	Загальна мінералізація, мг/л	Хлориди, мг/л	Сульфати, мг/л
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	1500	2	6	4	1	30	30	600	500	900
2.	10 ⁷	5	8	8	9	25	15	1700	650	500
3.	95	3	3	6,5	7	35	25	120	420	200
4.	10 ⁵	4	1	7	5	55	60	280	60	480
5.	15000	5	2	5,5	6	15	35	360	800	1200
6.	350	2	1	3,5	2	40	15	1500	360	70
7.	10 ⁶	3	4	8	5	20	20	900	200	380
8.	10 ⁸	4	9	11	8	30	80	330	450	320
9.	2900	1	6	5	6	45	90	2300	120	900
10.	12000	2	2	7,5	7	50	120	80	90	420

Таблиця 4.7 – Вміст катіонів токсичних металів у воді за результатами її хімічного аналізу

Варіант	Концентрація С, мг/л								
	Al ³⁺	As ³⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	Hg ²⁺	Mn ²⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
1	0,4	0,02	3	0,8	0,0005	0,4	0,2	0,1	8
2	0,03	0,02	1,0	0,2	0,001	0,07	0,16	0,70	0,1
3	1	0,8	2	0,5	0,001	0,3	0,2	0,5	10
4	0,3	0,01	0,7	0,2	0,0005	0,05	0,1	0,2	3
5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,0002	0,05	0,2	0,7	2
6	1	0,05	2	1	0,003	0,4	0,05	0,1	4
7	0,2	0,2	3	0,05	0,005	0,05	0,2	0,1	1
8	0,5	0,01	1	0,2	0,002	0,3	0,05	0,5	8
9	0,5	0,02	2	0,2	0,0001	0,5	0,1	0,2	2
10	0,3	0,1	0,5	2	0,001	0,2	0,1	0,1	3

Таблиця 4.8 – ГДК і клас небезпеки катіонів металів у воді

Показник	Метали								
	Al ³⁺	As ³⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	Hg ²⁺	Mn ²⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
ГДКв, мг/л	0,5	0,05	1	0,3	0,0005	0,1	0,1	0,3	5
Клас небезпеки	2	2	3	3	1	3	3	2	3

Приклад практичного визначення інтегральної оцінки екологічного стану природних вод

Етап 1. Оцінюємо якість води за загально-санітарним індексом якості води (ІЯВ) за формулою (1). Виконуємо в такій послідовності.

1. Визначаємо бали ω_i , що присвоюються кожному показнику, що входить до загально-санітарного індексу якості води, використовуючи табл. 4.1 та 4.6.

2. Розраховуємо загально-санітарний ІЯВ за формулою (4.1).

3. Результати інтегральної оцінки індексу якості вод (ІЯВ):

Показники	Вага (γ)	Значення показника	Бал (ω)	$\gamma \cdot \omega$
Колі-індекс	0,18	10000000	1	0.18
Запах, бали	0,13	5	1	0.13
БСК ₅ , мг О /л ₂	0,12	8	2	0.24
рН	0,10	8	4	0.4
Розчинений кисень, мг О /л ₂	0,09	9	5	0.45
Кольоровість, град	0,09	25	4	0.36
Завислі речовини, мг/л	0,08	15	4	0.32
Загальна мінералізація, мг/л	0,08	1700	2	0.16
Хлориди, мг/л	0,07	650	2	0.14
Сульфати, мг/л	0,06	500	4	0.24
-				Σ ІЯВ=2.62

4. Встановлюємо якісний стан води залежно від значення Σ ІЯВ, використовуючи дані табл. 2. Отже клас якості води – 3, «Помірно забруднена»

Етап 2. Оцінюємо якість води за гідрохімічним індексом забрудненості вод (ІЗВ) за формулою (4.2)

Оцінку на цьому етапі виконуємо в такій послідовності:

1. Розраховуємо кратність перевищення ($C/ГДК_{ii}$) для зазначених забруднювальних речовин, використовуючи дані табл. 4.7 та 4.8.

2. Обираємо з табл. 4.7 шість забруднювачів, що мають найбільшу кратність перевищення відносно ГДК, наведеного в табл. 8.

3. Розраховуємо ІЗВ для обраних шести катіонів забруднювачів за формулою 4.2 та подаємо результати у табличному вигляді:

Метали	Фактична концентрація забруднюючої речовини C_i , мг/л	ГДК _i , мг/л	Величина $C/ПДК_{ii}$ (кратність перевищення)	Компоненти для розрахунку ІЗВ
Al ³⁺	0,03	0,5	0,06	
As ³⁺	0,02	0,05	0,4	
Cu ²⁺	1	1	1	1
Fe ³⁺	0,2	0,3	0,66667	0,66667
Hg ²⁺	0,001	0,0005	2	2
Mn ²⁺	0,07	0,1	0,7	0,7
Ni ²⁺	0,16	0,1	1,6	1,6
Pb ²⁺	0,7	0,3	2,33333	2,33333
Zn ²⁺	0,1	1	0,1	
-				$\frac{\Sigma IZB}{6} = 1.383$

5. Встановлюємо якісний стан води залежно від розрахованої величини $\frac{\Sigma I3B}{6}$, використовуючи дані табл. 3. В результаті, за показником ІЗВ клас якості води склав – 3, «Помірно забруднена»

Етап 3. Визначаємо інтегральний індекс екологічного стану (ПЕС) природних вод за формулою 4.3.

Оцінку виконуємо в такій послідовності.

1. Проводимо бальну оцінку величин ГДК_i і класу небезпеки токсичних речовин, використовуючи дані табл. 4.4 та 4.8. Розраховуємо середні значення балів. Результати оформляємо у вигляді таблиці:

Метали	ГДК _i , мг/л	Бали (b)	Клас небезпеки	Бали (b)
Al ³⁺	0,5	3	2	2
As ³⁺	0,05	2	2	2
Cu ²⁺	1	3	3	3
Fe ³⁺	0,3	3	3	3
Hg ²⁺	0,0005	1	1	1
Mn ²⁺	0,1	2	3	3
Ni ²⁺	0,1	2	3	3
Pb ²⁺	0,3	3	2	2
Zn ²⁺	1	3	3	3
-		2,44	-	2,4

Отримані середні значення балів заносимо в рядки 1 і 2 стовпця 3 таблиці, наведеної нижче в пункті 4.

2. Проводимо бальну оцінку розрахованих раніше значень ІЯВ і ІЗВ за допомогою табл. 4.4.

Отримані середні значення балів заносимо в рядки 3 і 4 стовпця 3 таблиці, наведеної нижче.

3. Розраховуємо інтегральний індекс екологічного стану (ПЕС) за формулою 4.3.

4. Результати розрахунків подаємо у вигляді таблиці:

Показники	Величина показника	Бали (b)
ГДК _i , мг/л	—	2.44
Клас небезпеки	—	2.4
ІКВ, бали	2.62	3
ІЗВ, бали	1.38	3
-		ПЕС=2.22

5. За розрахованим значенням інтегрального індексу екологічного стану (ПЕС=) оцінюємо якість води, використовуючи табл. 5.

Висновки: у результаті виконаних розрахунків отримаємо:

Клас якості води	2
Рівень порушення	К
Екологічний стан	«екологічна криза»

Контрольні питання:

1. Які показники необхідні для загально-санітарної оцінки якості води ?
2. Які показники необхідні для розрахунку гідрохімічного індексу забруднення води?
3. Яке обладнання необхідно для оцінки зразків води за фізико-хімічними показниками?
4. У чому полягає процедура розрахунку інтегрального індексу екологічного стану водойми?
5. Яким чином інтерпретується інтегральний індекс екологічного стану поверхневих водойм?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Тема: Системний аналіз якості стічної води за гідрохімічними показниками.

Мета роботи: визначення класу якості стічної води за рівнем її забруднення, визначеного за гідрохімічними показниками на основі розрахунку питомого комбінаторного індексу (ПКІЗ).

Матеріали та обладнання: база даних гідрохімічних показників, мутномір TUB-430, рН-метр лабораторний ТМ-40, кондуктометр солемір AD 32, оксиметр/рН-метр/кондуктометр/солемір AZ-86031, набір реагентів для експрес-аналізу якості води: загальної та карбонатної жорсткості, фосфатів, хлоридів, нітратів.

У результаті виконання роботи очікуються наступні **результати навчання:**

- ❖ Проводити аналіз потенційного антропогенного впливу на навколишнє середовище
- ❖ Вибирати методи й моделі системного аналізу, проводити системні дослідження якості повітряного й водного середовищ, а також якості ґрунтів різного призначення
- ❖ Знати алгоритми й технології проведення системних досліджень якості атмосферного повітря, води поверхневих водойм і водотоків та ґрунтів різного призначення

Завдання роботи:

1. Ознайомитися з системою формалізованих показників комплексної оцінки якості водотоків за гідрохімічними показниками.
2. За певними гідрохімічними показниками стічної води поетапно розрахувати проміжні формалізовані показники її якості та визначити на їх основі питомий комбінаторний індекс забруднення (ПКІЗ) води .
3. Оцінити клас і розряд якості стічної на основі визначених формалізованих гідрохімічних показників та зробити висновок за результатами системного аналізу оцінки якості стічної води.

Загальні теоретичні положення методу оцінки якості стічної води

Для оцінки якості поверхневих вод (ріки, водотоку або скидної води) й ступеню їх забруднення використовуються сполучення диференційованого та комплексного методів аналізу результатів режимних спостережень за їх станом. Основою диференційованого методу є оцінка якості води по окремих забруднюючим речовинам за статистичними даними спостережень. Методичною ж основою комплексного методу є однозначна оцінка ступеня забруднення води за сукупністю забруднюючих речовин:

- для будь-якого водного об'єкта в точці відбору проб води;
- за будь-який певний проміжок часу;
- по будь-якому набору гідрохімічних показників.

Як нормативи для оцінки якості води використовують ГДК екологічно небезпечних речовин, установлених для води рибогосподарських водойм, а також водних об'єктів господарсько-питного та культурно-побутового водокористування. Для речовин, відсутніх у нормативних документах, у якості ГДК умовно приймається величина 0,01 мг/дм³.

Першим складовим елементом методу комплексної оцінки є рівень забруднення води в конкретному пункті спостережень, а наступним – частота виявлення концентрацій, що перевищують нормативи. Сполучення даних про рівень і частоту дозволяє одержати комплексні характеристики, умовно відповідні «часткам» забруднення, внесеним кожним інгредієнтом і показником забруднення в загальну якість води. (Внесок окремих забруднюючих речовин у загальне забруднення води може визначатися або високими концентраціями протягом короткого проміжку часу, або низькими концентраціями протягом тривалого періоду, або іншими можливими комбінаціями розглянутих факторів).

Система формалізованих показників оцінки якості води включає:

- проміжні формалізовані показники, що визначаються за певними за період спостереження рівнями гідрохімічного забруднення води;
- питомий комбінаторний індекс забруднення води (ПКІЗ води);
- клас якості води.

Значення ПКІЗ води можуть змінюватися від 1 до 16 в міру росту забруднення та дозволяють розділяти поверхневі води на 5 класів: 1-й клас – умовно чиста; 2-й клас – слабо забруднена; 3-й клас – забруднена; 4-й клас – брудна; 5-й клас – екстремально брудна.

У розрахунку комплексних показників використовують тільки офіційно нормовані інгредієнти чи показники складу та властивостей води. Нижня межа їх кількості визначається мінімальним числом, достатнім для характеристики якості досліджуваної води за всіма показниками її безпеки (шкідливості/токсичності) що лімітують. Верхня межа – не встановлюється.

Загальне число інгредієнтів або показників, що враховують, складає від 10 до 25, а достатність обсягу вихідної інформації визначається потрібною точністю оцінки. По кожному інгредієнту, що враховують, зазвичай проводиться перевірка даних на «характерність», і «типовість».

Концентрації, що відповідають високому та екстремально високому

забрудненню включають у розрахунки за умови надійності одержання даних. В лабораторній роботі число інгредієнтів та показників, що враховують, є постійною величиною і складає 8.

Мінімальна кількість проб – 4 протягом року або одна у квартал (у гідрологічну фазу); максимальна кількість проб не обмежується. Зазвичай на промислових підприємствах проби стічної води відбирають і аналізують раз на місяць, отже за рік матимемо 12 проб. Така кількість проб і передбачена в лабораторній роботі.

Етапи комплексної оцінки якості води за питомим комбінаторним індексом забруднення (ПКІЗ) води

Етап 1. По кожній забруднюючій речовині визначають повторюваність (частоту) випадків наднормативного забруднення, тобто число виявлених концентрацій, що перевищують ГДК, віднесених до загальної кількості аналітичних проб. Визначається у процентах за формулою 5.1:

$$\alpha_i = \frac{N_{ГДК_i}}{N_i} \cdot 100\%, \quad (5.1)$$

де $N_{ГДК_i}$ – число результатів аналізу i -ої забруднюючої речовини за розглянутий проміжок часу, протягом якого її вміст перевищував відповідну ГДК; N_i – загальне число результатів хімічного аналізу, отриманих за розглянутий проміжок часу по i -ій речовині.

Наприклад, якщо в 3-х з 12 проб по аналізованому показнику спостерігалось перевищення ГДК, то $\alpha_i = (3/12) \cdot 100 = 25\%$. За розрахованою величиною за табл. 1 визначають характер забруднення води й частковий оцінний бал його повторюваності S_{α_i} (табл. 5.1.)

Таблиця 5.1 – Класифікація води за повторюваністю випадків забруднення- α_i

Повторюваність α_i , %	Характеристика забруднення води	Частковий оцінний бал S_{α_i}	Частка часткового оцінного бала, що доводиться на 1% повторюваності
1–10	Одинична	1–2	0,11
10–30	Нестійка	2–3	0,05
30–50	Стійка	3–4	0,05
50–100	Характерна	4	–

Примітка. Якщо α_i має проміжне значення, то визначення часткового оцінного балу виконують шляхом лінійної інтерполяції. Так, для $\alpha_i = 25\%$ він складе $S_{\alpha_i} = 2,75$.

Етап 2. Для кожної i -ої забруднюючої речовини визначають середнє значення кратності перевищення ГДК ($\bar{\beta}_i$), причому за результатами аналізу тільки тих проб, де спостерігається таке перевищення (проби, у яких фактична концентрація забруднюючої речовини є нижчою за ГДК, у розрахунок не

включають):

$$\overline{\beta}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i}{N_{ГДК_i}}, \quad (5.2)$$

де $\beta_i = \frac{C_i}{ГДК_i}$ – кратність перевищення ГДК i -ої речовини.

Для розчиненого у воді кисню окремо здійснюють визначення кратності перевищення нормативної концентрації (ГДК кисню) відносно його фактичної величини за формулою 5.3:

$$\beta_{O_2} = \frac{ГДК_{O_2}}{C_{O_2}}, \quad (5.3)$$

де C_{O_2} – концентрація розчиненого у воді кисню, мг/дм³.

За обчисленим за формулою 5.2 значенням $\overline{\beta}_i$ визначають рівень забруднення води, використовуючи табл. 5.2 з наступним визначенням другого часткового оцінного балу – S_{β_i} (табл. 5.2)

Таблиця 5.2 – Класифікація води за кратністю перевищення ГДК

Кратність перевищення ГДК	Рівень забруднення води	Частковий оцінний бал, S_{β_i}	Частка часткового оцінного бала, що доводиться на одиницю кратності перевищення ГДК
1-2	Низький	1-2	1,0
2-10	Середній	2-3	0,125
10-50	Високий	3-4	0,025
більше 50	Екстремально високий	4	0,025

Примітки. 1. Якщо кратність перевищення ГДК забруднювача ($\overline{\beta}_i$) має проміжне значення, то визначення часткового оцінного бала проводять із застосуванням лінійної інтерполяції, як і для S_{α_i} . Наприклад, якщо $\overline{\beta}_i = 18,7$, то відповідно до табл. 2., що відповідає цьому значенню бал перебуває між 3 (відповідає $\overline{\beta}_i = 10$) й 4 (відповідає $\overline{\beta}_i = 50$). Отже частка оцінного бала, що доводиться на одиницю $\overline{\beta}_i$, у цих межах становить 0,025 (табл. 3.2, останній стовпчик). Тому, щоб одержати значення бала для $\overline{\beta}_i = 18,7$, необхідно розрахувати $S_{\beta_i} = 3 + 8,7 \times 0,025 = 3,22$.

2. Для розчиненого у воді кисню використовують наступні умовні градації кратності рівня забруднення: 1-1,5 – низький; 1,5–2 – середній; 2–3 – високий; більше 3 – екстремально високий.

3. Якщо концентрація розчиненого у воді кисню в аналізованій пробі дорівнює 0, то для розрахунку умовно приймають її рівною 0,01 мг/дм³.

Етап 3. Визначають узагальнений оцінний бал S_i для кожної забруднюючої речовини як добуток двох отриманих часткових оціночних балів за формулою 5.4:

$$S_i = S_{\alpha_i} \cdot S_{\beta_i} . \quad (5.4)$$

Цей бал дає можливість урахувати одночасно рівні спостережуваних концентрацій та частоту виявлення випадків перевищення ГДК. Його значення, окремо по кожній забруднюючій речовині, може змінюватися від 1 до 16 по мірі збільшення забруднення води

Етап 4. Визначають комбінаторний індекс забруднення (КІЗ), як суму оцінних балів S_i) за формулою 5.5:

$$KIZ = \sum_{i=1}^{N_i} S_i , \quad (5.5)$$

де N_i – число забруднюючих речовин, що враховують в оцінці.

Етап 5. Визначають питомий комбінаторний індекс забруднення (ПКІЗ) води за формулою 5.6:

$$PKIZ = \frac{KIZ}{N_i} . \quad (5.6)$$

Зазначимо, що ПКІЗ також використовується для оцінки рівня забруднення та є досить зручною та показовою характеристикою. Його використання обов'язкове, якщо розрахунки проводилися за різним числом інгредієнтів – N_i .

Етап 6. Виділяють критичний показник забруднення (КПЗ) води, для якого величина $S_i \geq 9$, тобто коли спостерігається стійке або характерне чи типове забруднення, а якість води оцінюється як «дуже брудна» або «екстремально брудна». В такому разі для аналізу стану забруднення використовується число критичних показників забруднення (КПЗ) води – F .

Етап 7. Класифікують якість води за ступенем забруднення з урахуванням наступних даних: КІЗ (комбінаторного індексу забруднення води); числа КПЗ води (F); кількості врахованих показників забрудненості; коефіцієнта запасу (k), який визначають як 5.7:

$$k = 1 - 0,1 \cdot F , \quad (5.7)$$

де F – число КПЗ води.

Коефіцієнт k розраховують при $F \leq 5$ та уводять в градації класів якості води додатково до комбінаторного індексу забруднення (КІЗ) у випадку виявлення концентрацій, впритул наближених до високого або екстремально високого рівнів забруднення. Його значення зменшується зі збільшенням числа КПЗ (від 1 – при відсутності КПЗ до 0,9 – при одному КПЗ, при двох КПЗ до 0,8 і т.д.). Остаточне визначення класу якості води виконують за табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Класифікація якості води водотоків за значенням питомого комбінаторного індексу забруднення води

Клас і розряд	Характеристика стану забруднення води	Питомий комбінаторний індекс забруднення води (ПКІЗ)					
		без обліку КІЗ	залежно від числа що враховують КІЗ				
			F =1 (k=0,9)	F =2 (k=0,8)	F =3 (k=0,7)	F =4 (k=0,6)	F =5 (k=0,5)
1-й	Умовно чиста	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
2-й	Слабко забруднена	1-2	0,9-1,8	0,8-1,6	0,7-1,4	0,6-1,2	0,5-1,0
3-й	Забруднена	2-4	1,8-3,6	1,6-3,2	1,4-2,8	1,2-2,4	1,0-2,0
розряд «а»	забруднена	2-3	1,8-2,7	1,6-2,4	1,4-2,1	1,2-1,8	1,0-1,5
розряд «б»	дуже забруднена	3-4	2,7-3,6	2,4-3,2	2,1-2,8	1,8-2,4	1,5-2,0
4-й	Брудна	4-11	3,6-9,9	3,2-8,8	2,8-7,7	2,4-6,6	2,0-5,5
розряд «а»	брудна	4-6	3,6-5,4	3,2-4,8	2,8-4,2	2,4-3,6	2,0-3,0
розряд «б»	брудна	6-8	5,4-7,2	4,8-6,4	4,2-5,6	3,6-4,8	3,0-4,0
розряд «в»	дуже брудна	8-10	7,2-9,0	6,4-8,0	5,6-7,0	4,8-6,0	4,0-5,0
розряд «г»	дуже брудна	10-11	9,0-9,9	8,0-8,8	7,0-7,7	6,0-6,6	5,0-5,5
5-й	Екстремально брудна	більше 11	більше 9,9	більше 8,8	більше 7,7	більше 6,6	більше 5,5

Примітка. У випадку, коли $F \geq 6$ і $k \leq 0,4$, воду без розрахунків відносять до 5-того класу й оцінюють як «екстремально брудна».

Приклад оцінки якості стічної води гальванічного цеху за гідрохімічними показниками

Оцінка виконувалася на основі результатів гідрохімічного аналізу проб стічної води гальванічного цеху машинобудівного підприємства, відібраних щомісяця протягом року з визначенням питомого комбінаторного індексу забрудненості води. Для цього використані дані, отримані в результаті дослідження проб води, що наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Вихідні дані для розрахунку оцінки ступеню забрудненості стічної води гальванічного цеху за гідрохімічними показниками

Дата відбору проб	Значення показників хімічного складу і властивостей води, мг/дм ³						
	БПК ₅	SO ₄ ²⁻	Fe _{заг}	N _{NH4+}	Zn ²⁺	Cr ⁶⁺	Ni ²⁺
14.I	4,05	201,0	0,60	0,45	0,068	0,008	0,010
13.II	2,32	222,3	0,80	0,56	0,240	0,005	0,010
11.III	3,15	156,4	0,40	0,84	0,250	0,001	0,029
15.IV	2,25	145,7	0,50	0,27	0,090	0,009	0,008
12.V	2,30	150,7	1,00	0,67	0,150	0,010	0,018
09.VI	3,20	195,6	0,90	0,41	0,055	0,054	0,004
13.VII	6,45	196,1	2,50	0,57	0,190	0,012	0,005
12.VIII	6,10	198,4	1,23	0,59	0,020	0,016	0,004
10.IX	5,10	129,5	0,60	0,98	0,029	0,004	0,027
14.X	4,50	187,9	0,70	0,75	0,047	0,010	0,006
18.XI	2,10	298,1	0,60	0,28	0,078	0,007	0,008
16.XII	2,20	301,3	0,48	0,47	0,056	0,006	0,019

По кожній забруднюючій речовині визначалися проміжні функціональні показники та комбінаторний індекс забрудненості води (КІЗ), що послідовно заносилися в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Результати розрахунку комбінаторного індексу забрудненості води по кожній забруднюючій речовині

Показники забрудненості	N_i	$N_{ГДКі}$	$\alpha_i = \frac{N_{ГДКі}}{N_i} \cdot 100\%$	S_{α_i}	$\sum \beta_i = \sum_{i=1}^{N_{ГДКі}} \frac{C_i}{ГДК_i}$	$\bar{\beta}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i}{N_{ГДКі}}$	S_{β_i}	S_i
1	2	3	4	5	6	7	8	9
БПК ₅	12	12	100	4	21,84	1,82	1,82	7,28
SO ₄ ²⁻	12	12	100	4	23,88	1,99	1,99	7,96
Fe _{заг}	12	9	75	4	17,82	1,98	1,98	7,92
N _{NH4+}	12	7	58,33	4	9,94	1,42	1,42	5,68
Zn ²⁺	12	12	100	4	152,76	12,73	3,06	12,24
Cr ⁶⁺	12	11	91,67	4	141,02	12,82	3,07	12,28
Ni ²⁺	12	4	33,33	3,17	9,28	2,32	2,04	6,47
$KIZ = \sum_{i=1}^{N_i} S_i$								59,83

У стовпець 1 занесені 8 показників хімічного складу води, наведених в табл. III (варіантами вихідних даних наведених у табл. 5.7) або практично отримані показники, визначені за результатами аналізу проб води, взятих з певного реального джерела стічної води.

Потім у стовпець 2 заносять відповідне число виконаних аналізів (наприклад, якщо аналізи виконувалися 1 раз на місяць, то записуємо 12, а якщо є пропущені місяці по якійсь речовині, то цифра у відповідному рядку буде менше 12).

У стовпець 3 заносимо число (кількість) проб кожної забруднюючої речовини (показника), для якої є перевищення передбаченого нормативу або ГДК протягом 12 місяців (фактично число проб із перевищенням), при цьому ГДК визначають з додатку Д2 – «Критерії оцінки поверхневих вод для 16 показників або речовин», що зустрічаються у варіантах. Зазвичай $N_{ГДК}$ варіюється в межах від 3 до 5.

Далі у стовпець 4 вносимо результат визначення повторюваності випадків перевищення ГДК по кожній забруднюючій речовині, тобто показник за формулою (1), як $\alpha_i = \frac{N_{ГДКі}}{N_i} \cdot 100\%$ де N_i , $N_{ГДКі}$ вибирають з попередніх стовпчиків 2 та 3 табл. 5.5, відповідно до кожного з 7-и гідрохімічних показників стічної води. За даними цього стовпця за табл. 5.1 отримуємо можливість класифікувати стічну воду за повторюваності випадків забрудненості а певним з 7-ми показників.

Далі за значенням (α_i) відповідно до табл. 1. визначався частковий оцінний бал S_{α_i} для кожного інгредієнту чи показника у рядку. (Нагадуємо, що

визначення дробових значень балів S_{α_i} проводиться із застосуванням лінійної інтерполяції, як показано у примітці до табл. 5.1). Отримане значення заносимо у стовпець 5

У стовпець 6 вносимо сумарну кратність перевищення ГДК для тих проб, де було перевищення ГДК, тобто суму величин $\beta_i = \frac{C_i}{ГДК_i}$ по кожному з 8-и вихідних інгредієнтів або показників. (Нагадуємо, що для показника розчиненого у воді кисню – O_2 визначають кратність зниження вмісту кисню від рівня його ГДК, тобто за формулою $\beta_{O_2} = \frac{ГДК_{O_2}}{C_{O_2}}$, де C_{O_2} – фактична концентрація розчиненого у воді кисню, мг/дм³).

У стовпець 7 заносимо середнє значення кратності перевищення ГДК по кожній забруднюючій речовині (показнику), тобто вносимо результат ділення відповідного (в рядку) значення стовпця 6 на відповідне значення стовпця 3.

Далі за значеннями середньої кратності – $\bar{\beta}_i$ і даними табл. 5.2, визначаємо відповідний оцінний бал S_{β_i} по кожній забруднюючій речовині (інгредієнту або показнику) та заносимо у стовпець 8. Дані значень S_{β_i} стовпчика 8 дозволяють, відповідно до табл. 5.2. (другий стовпчик), визначити відповідний рівень забруднення стічної води за кратністю перевищення ГДК певним забруднювачем.

У останній стовпчик 9 заносимо добуток 5-го і 8-го стовпчиків по кожному рядку, тобто $S_i = S_{\alpha_i} \cdot S_{\beta_i}$ – узагальнені часткові оцінні бали по кожній забруднюючій речовині (показнику). За сумою елементів, внесених до стовпчика 9 визначаємо значення комбінаторного індексу забруднення (КІЗ) води, як суму узагальнених оцінних балів, тобто $КІЗ = \sum_{i=1}^{N_i} S_i = 59,83$.

Отримані в табл. 5.2 результати обчислювального експерименту дозволяють визначити питомий комбінаторний індекс забруднення води:

$$ПКІЗ = \frac{КІЗ}{N} = \frac{59,83}{7} = 8,54$$

За значеннями оцінних балів (S_i) і умови $S_i \geq 9$ визначаємо число F критичних показників забруднення (КПЗ), тобто кількість забруднюючих речовин або показників (з 7 наявних), для яких отримані значення $S_i \geq 9$. Так, для двох з 7 значень, $S_i \geq 9$, тому $F=2$. Отже визначаємо коефіцієнт запасу k , що розраховується при $F \leq 5$, як $k = 1 - 0,1 \cdot F = 1 - 0,1 \cdot 2 = 0,8$. В результаті, відповідно до табл. 3, стічну воду відносимо до класу 4, розряд г, «дуже брудна».

Висновок. Для більшості забруднюючих речовин протягом року характерна стійка забрудненість, що підтверджується найбільшими значеннями частинних оціночних балів за повторюваності випадків забрудненості $S_{\alpha} = 4$. Відповідно до табл. 5.1, класифікації води за повторюваності, забрудненість води по всіх розглянутих гідрохімічними показниками оцінюється як «характерна».

Рівень забрудненості стічної води цими інгредієнтами різний. За БСК₅, SO₄²⁻, Fe_{заг}, N_{NH4}⁺ спостерігався низький рівень забрудненості води (від 1 до 2). Значення приватних оціночних балів для цих інгредієнтів не перевищували 1,82; 1,99; 1,98; 1,42 відповідно.

За Ni²⁺ мав місце середній рівень забрудненості (від 2 до 3). Частинний оцінений бал для нього становить 2,04.

Для Zn²⁺; Cr⁶⁺ характерний високий рівень забрудненості (від 3 до 4). Приватні оціночні бали для цих інгредієнтів становили 3,06; 3,07 відповідно.

Загальні оціночні бали інгредієнтів Zn²⁺; Cr⁶⁺ складають 12,24 та 12,28 відповідно, що відносить їх до критичних показників забрудненості (КПЗ) води цього водного об'єкта, на які необхідно звернути особливу увагу при плануванні та здійсненні водоохоронних заходів. Таким чином, системний аналіз якості дослідженої стічної води гальванічного цеху за гідрохімічними показниками у розглянутий проміжок часу показав, що її слід віднести до 4 класу якості, розряд г – «дуже брудна». (табл. 5.3). Вихідні дані до розрахунку якості води за гідрохімічними показниками наведені у таблиці 5.6. Студент обирає варіант згідно його номеру в журналі академічної групи.

Таблиця 5.6 – Вихідні дані до розрахунку якості води за гідрохімічними показниками

Варіант 1

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	БСК ₅ *	Cl ⁻	Fe _{общ}	N _{NO3} ⁻	N _{NH4} ⁺	НП**	Cu ²⁺	Cr ⁶⁺
14.I	3,00	394,0	0,56	0,21	9,00	0,85	-	0,001
13.II	1,94	290,5	0,21	0,17	8,50	0,70	0,001	0,001
11.III	2,47	297,4	0,59	0,42	8,00	0,85	0,002	0,006
15.IV	2,27	340,8	0,67	0,45	9,00	0,98	0,001	0,004
12.V	2,56	388,2	0,15	0,46	10,0	0,95	-	0,008
09.VI	3,32	363,4	0,74	0,40	8,40	0,70	0,001	0,001
13.VII	5,65	265,7	0,60	0,21	8,50	0,75	0,001	0,001
12.VIII	5,30	266,6	0,19	0,26	9,50	0,85	0,006	0,010
10.IX	6,70	375,5	0,80	0,68	9,20	0,85	0,001	0,002
14.X	3,90	287,3	0,77	0,12	9,20	0,95	0,011	0,010
18.XI	1,11	376,9	0,32	0,33	9,40	0,80	0,008	0,001
16.XII	1,50	277,4	0,60	0,39	9,50	0,87	0,001	0,001

Примітка * – тут і далі БСК₅ має розмірність мг O₂/дм³; ** – НП (нафтопродукти)

Варіант 2

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	O ₂	SO ₄ ²⁻	N _{NO2} ⁻	Феноли	СПАР	Zn ²⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺
14.I	5,04	235,5	0,320	0,003	0,32	0,021	0,016	0,042
13.II	7,43	214,3	-	0,001	0,34	0,022	0,015	0,031
11.III	8,56	252,1	0,380	0,001	0,35	0,035	0,017	0,054
15.IV	7,91	158,6	0,330	0,001	0,21	0,027	0,019	0,043
12.V	-	-	0,390	0,001	0,11	0,005	0,010	0,062
09.VI	7,44	135,6	-	0,006	0,12	0,009	0,018	0,031
13.VII	-	125,4	0,550	0,002	0,11	0,029	0,020	0,038
12.VIII	5,01	135,8	0,025	0,001	0,19	0,002	0,014	0,029

10.IX	10,3	-	0,120	0,001	0,11	0,021	0,012	0,024
14.X	8,96	158,4	0,640	0,001	0,20	0,008	0,019	0,022
18.XI	6,40	225,3	0,230	0,004	0,22	0,012	0,021	0,021
16.XII	5,06	287,6	0,210	0,001	0,19	0,015	0,019	0,021

Варіант 3

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	БСК ₅	SO ₄ ²⁻	Fe _{общ}	N _{NH4+}	НП	Zn ²⁺	Cr ⁶⁺	Ni ²⁺
14.I	4,05	201,0	0,60	0,45	0,20	0,068	0,008	0,010
13.II	2,32	222,3	0,80	0,56	0,10	0,240	0,005	0,010
11.III	3,15	156,4	0,40	0,84	0,05	0,250	0,001	0,029
15.IV	2,25	-	0,50	0,27	0,05	-	0,009	0,008
12.V	2,30	150,7	1,00	0,67	0,05	0,150	0,010	0,018
09.VI	3,20	195,6	0,90	-	0,05	0,090	0,054	0,004
13.VII	6,45	196,1	2,50	0,57	0,05	0,190	0,012	0,005
12.VIII	6,10	198,4	1,23	0,59	0,15	0,020	0,016	0,004
10.IX	5,10	-	0,60	0,98	0,05	0,029	0,004	0,027
14.X	4,50	187,9	0,70	0,75	0,05	0,047	0,010	0,006
18.XI	2,10	298,1	0,60	0,28	0,35	0,078	0,007	0,008
16.XII	2,20	301,3	0,48	0,47	0,55	0,056	0,006	0,019

Варіант 4

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	O ₂	Cl ⁻	N _{NO3-}	N _{NO2-}	Феноли	СПАР	Cu ²⁺	Pb ²⁺
14.I	3,25	270	0,21	0,100	0,013	0,10	0,001	0,037
13.II	6,12	390	0,45	0,110	0,001	0,10	0,001	0,001
11.III	8,12	380	0,41	0,100	0,001	0,19	0,004	0,001
15.IV	-	300	0,08	0,060	0,037	0,08	0,001	0,001
12.V	7,21	280	0,09	0,020	0,026	0,07	0,001	0,038
09.VI	7,06	370	10,5	0,020	0,015	0,12	-	0,001
13.VII	3,12	355	11,3	0,010	0,001	0,04	0,001	0,021
12.VIII	4,17	256	0,10	0,010	0,001	0,16	0,020	0,001
10.IX	6,23	350	1,42	0,060	0,001	0,02	0,003	0,005
14.X	9,54	270	0,23	0,120	0,001	0,10	0,009	0,041
18.XI	8,98	380	0,28	0,210	0,009	0,10	0,001	0,001
16.XII	10,2	350	0,23	0,220	0,023	0,16	0,002	0,046

Варіант 5

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	БСК ₅	Cl ⁻	Fe _{общ}	N _{NO2-}	НП	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Ni ²⁺
14.I	1,20	74,0	0,94	0,250	0,15	0,001	0,024	0,010
13.II	1,54	80,3	0,24	0,310	0,25	0,007	0,034	0,010
11.III	4,56	87,5	0,55	0,370	0,15	0,001	0,028	0,019
15.IV	0,58	30,1	0,66	0,320	0,18	0,031	0,017	0,010
12.V	2,97	78,3	-	0,380	0,15	0,006	0,015	-
09.VI	0,54	53,7	0,55	0,160	0,40	0,001	-	0,020
13.VII	5,75	55,2	0,22	-	0,30	0,011	0,029	-
12.VIII	0,75	56,1	-	0,019	0,40	0,001	0,002	0,010
10.IX	3,65	65,1	0,73	0,060	0,15	0,001	0,021	0,018
14.X	0,50	77,5	0,99	-	0,40	0,001	0,008	0,010
18.XI	4,60	66,0	0,40	0,160	0,25	0,008	0,012	0,016
16.XII	7,80	67,8	0,67	0,180	0,30	0,001	0,015	0,010

Варіант 6

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	O ₂	SO ₄ ²⁻	N _{NO3-}	N _{NH4+}	Феноли	СПАР	Cr ⁶⁺	Pb ²⁺
14.I	9,25	84,5	82,0	0,45	0,020	0,12	0,005	0,055
13.II	9,42	95,2	22,0	0,56	0,015	0,14	0,006	0,065
11.III	9,54	90,6	42,0	0,24	0,020	0,15	0,004	0,060
15.IV	9,90	75,8	13,0	0,27	0,008	0,11	0,005	0,082
12.V	9,70	85,5	56,0	0,27	0,007	0,11	0,001	0,095
09.VI	10,5	86,7	24,0	-	0,007	0,12	0,001	0,045
13.VII	8,27	94,6	77,1	0,57	0,019	0,04	0,009	0,025
12.VIII	8,73	-	69,2	0,59	0,014	0,06	0,007	0,020
10.IX	10,1	88,5	14,2	0,98	0,013	0,02	0,008	0,057
14.X	9,90	96,2	10,5	0,75	0,014	0,10	0,010	0,058
18.XI	8,45	99,3	46,2	0,28	0,018	0,10	0,020	0,095
16.XII	10,0	88,9	13,0	0,67	0,012	0,16	0,015	0,065

Варіант 7

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	O ₂	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	N _{NO2-}	N _{NH4+}	НП	Cu ²⁺	Pb ²⁺
14.I	6,05	356	214,4	0,300	8,20	0,75	0,023	0,123
13.II	7,47	297	211,6	0,310	8,30	0,80	0,024	0,231
11.III	6,58	474	156,8	0,370	9,50	0,75	0,022	0,098
15.IV	9,97	451	142,1	0,850	9,20	0,85	0,021	0,210
12.V	8,79	323	-	0,019	9,20	0,85	0,044	0,068
09.VI	9,45	441	196,7	0,060	9,40	0,95	0,021	0,085
13.VII	8,27	463	157,2	0,079	8,50	0,85	0,028	0,095
12.VIII	8,78	312	208,4	0,160	9,20	0,90	0,043	0,432
10.IX	9,39	-	-	0,180	9,20	0,85	0,019	0,213
14.X	9,92	345	129,4	0,660	9,20	0,85	0,018	0,085
18.XI	8,43	465	245,4	0,160	9,00	0,90	0,019	0,085
16.XII	10,7	445	178,3	0,180	8,23	0,97	0,009	0,123

Варіант 8

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	БСК ₅	Fe _{общ}	N _{NO3-}	Феноли	СПАР	Zn ²⁺	Cr ⁶⁺	Ni ²⁺
14.I	2,90	0,05	20,51	0,006	0,25	0,022	0,002	0,092
13.II	2,94	0,03	50,75	0,001	0,26	0,004	0,001	0,087
11.III	1,76	0,09	40,21	0,001	0,29	0,005	0,001	0,045
15.IV	-	0,08	40,28	0,005	0,12	0,027	0,002	0,076
12.V	3,77	0,05	50,39	0,004	0,14	0,005	0,001	0,019
09.VI	1,84	0,07	40,59	0,003	0,14	0,019	0,003	0,062
13.VII	-	0,04	50,34	0,001	0,18	0,009	0,001	0,036
12.VIII	4,95	0,03	60,90	0,001	-	0,002	-	0,046
10.IX	1,85	0,08	50,78	0,001	0,12	0,009	-	0,051
14.X	1,90	0,08	40,53	0,003	0,21	0,007	0,009	0,043
18.XI	3,90	0,04	30,18	0,000	0,21	0,038	0,001	0,065
16.XII	2,30	0,08	20,13	0,004	0,21	0,002	0,005	0,025

Варіант 9

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	БСК ₅	SO ₄ ²⁻	Fe _{общ}	N _{NO3-}	Феноли	СПАР	Ni ²⁺	Pb ²⁺
14.I	5,31	157,2	0,61	16,0	0,001	0,19	-	0,031
13.II	4,85	208,4	0,82	24,0	0,007	0,08	-	0,041
11.III	6,53	185,5	0,02	-	0,021	0,15	0,013	0,021
15.IV	0,15	129,4	0,04	19,2	-	0,12	0,010	0,051
12.V	5,55	245,4	0,66	14,2	-	0,10	0,010	-
09.VI	5,32	174,9	0,08	10,5	0,008	-	0,017	0,061
13.VII	6,64	191,3	0,57	12,3	0,005	0,04	0,026	0,021
12.VIII	7,23	196,3	0,99	14,2	0,001	0,22	0,010	0,011
10.IX	8,05	152,3	0,05	23,3	0,011	0,01	0,010	0,011
14.X	3,12	256,3	0,06	12,9	0,001	0,10	0,020	0,051
18.XI	2,16	196,9	0,77	9,80	-	0,33	0,033	0,091
16.XII	2,50	156,3	0,09	8,70	-	-	0,015	0,041

Варіант 10

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	O ₂	Cl ⁻	N _{NO2-}	N _{NH4+}	НП	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Cr ⁶⁺
14.I	3,06	365,2	0,012	0,22	0,15	0,004	0,044	0,009
13.II	4,23	56,1	0,012	0,21	0,05	0,001	0,054	0,008
11.III	7,56	565,1	0,011	0,25	0,08	0,001	0,035	0,009
15.IV	6,51	477,5	0,011	0,26	0,05	0,005	0,027	0,007
12.V	6,71	86,5	0,012	0,28	-	-	0,025	0,005
09.VI	7,44	67,8	-	0,32	-	-	0,019	0,004
13.VII	5,26	74,0	0,015	0,12	-	0,006	0,029	0,001
12.VIII	4,71	80,3	0,013	0,25	0,09	0,001	0,022	0,002
10.IX	5,31	487,5	0,014	0,12	0,11	0,001	0,040	0,001
14.X	6,96	30,1	0,003	0,23	0,09	0,006	0,027	0,001
18.XI	6,40	78,3	0,020	0,25	0,05	0,001	0,032	0,002
16.XII	9,62	553,7	0,015	0,36	0,06	0,008	0,022	0,002

Варіант 11

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	O ₂	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	N _{NO3-}	N _{NO2-}	СПАР	Cu ²⁺	Zn ²⁺
14.I	8,12	86,5	152,5	0,68	0,370	0,14	0,011	-
13.II	9,02	67,8	150,7	0,12	0,320	0,18	0,001	0,034
11.III	7,21	374,0	195,6	-	0,380	0,17	0,007	0,024
15.IV	-	80,3	196,1	0,39	0,160	0,12	0,001	0,025
12.V	6,12	87,5	-	0,21	-	0,21	0,026	0,017
09.VI	3,25	474,0	286,7	0,17	0,019	0,25	0,001	0,015
13.VII	3,12	80,3	94,6	0,42	0,060	0,26	-	0,009
12.VIII	4,17	287,5	387,4	0,45	0,012	0,29	0,003	0,019
10.IX	6,23	330,1	88,5	0,46	0,015	0,12	0,001	0,002
14.X	8,98	78,3	96,2	0,40	0,013	0,14	0,028	0,030
18.XI	9,54	483,4	174,9	0,21	0,014	0,21	0,001	0,017
16.XII	10,2	295,2	191,3	0,26	-	0,21	0,004	0,012

Варіант 12

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	БСК ₅	Fe _{общ}	N _{NH4+}	Феноли	НП	Cr ⁶⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺
14.I	2,52	0,64	8,50	0,010	0,85	0,002	0,016	0,001
13.II	3,32	0,03	9,20	0,009	0,90	0,001	0,016	0,002
11.III	5,65	0,08	9,20	0,009	0,85	-	0,011	0,001
15.IV	5,30	0,08	9,20	0,009	-	0,006	0,023	0,001
12.V	6,70	0,54	9,00	0,009	0,80	-	0,015	-
09.VI	3,00	0,08	8,23	0,008	-	0,001	0,015	0,001
13.VII	3,90	0,05	8,20	0,008	0,85	0,001	0,012	0,001
12.VIII	2,27	0,03	8,30	0,008	0,85	-	0,017	0,001
10.IX	1,94	0,09	9,50	0,013	0,95	0,009	0,015	0,001
14.X	2,47	0,68	9,20	0,014	0,85	0,008	0,016	0,006
18.XI	1,11	0,05	9,20	0,018	0,90	0,009	0,009	0,001
16.XII	1,50	0,57	9,40	0,012	0,97	0,007	0,012	0,001

Варіант 13

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	БСК ₅	SO ₄ ²⁻	Fe _{общ}	N _{NO3-}	НП	СПАР	Cu ²⁺	Pb ²⁺
14.I	3,32	156,8	0,66	0,39	0,85	0,03	0,002	0,210
13.II	5,65	142,1	0,08	0,21	0,90	0,04	0,002	0,068
11.III	5,30	201,2	-	0,17	0,85	0,22	0,001	0,085
15.IV	6,70	196,7	0,09	60,42	0,85	0,01	0,004	0,095
12.V	3,90	157,2	0,55	0,45	0,90	0,15	-	0,432
09.VI	1,11	208,4	0,06	40,68	0,75	0,03	0,001	0,213
13.VII	1,50	185,5	-	50,12	0,80	0,06	0,008	0,123
12.VIII	3,00	214,4	0,02	0,33	0,75	0,19	-	-
10.IX	1,94	211,6	-	0,46	0,85	-	0,001	0,098
14.X	2,47	129,4	0,04	0,40	0,85	0,05	0,003	0,085
18.XI	2,27	245,4	0,67	60,21	0,95	0,02	-	0,085
16.XII	2,57	178,3	0,79	0,26	0,97	0,10	0,001	0,123

Варіант 14

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	O ₂	Cl ⁻	N _{NO2-}	N _{NH4+}	Феноли	Zn ²⁺	Cr ⁶⁺	Ni ²⁺
14.I	9,02	55,2	0,330	0,24	0,007	0,029	-	0,028
13.II	7,21	56,1	0,390	0,27	0,007	0,034	0,001	-
11.III	7,06	65,1	0,170	0,27	0,019	0,019	0,001	0,005
15.IV	3,12	77,5	0,550	0,36	0,014	0,002	0,006	0,014
12.V	4,17	66,0	0,025	0,57	0,013	0,030	0,008	-
09.VI	3,25	74,0	0,320	0,59	0,020	0,017	-	0,016
13.VII	6,12	80,3	0,330	0,45	0,015	0,024	0,001	0,008
12.VIII	8,12	87,5	0,380	0,56	0,020	0,025	0,001	0,017
10.IX	6,23	30,1	0,120	0,98	0,008	-	0,004	0,010
14.X	9,54	78,3	0,640	0,75	0,014	0,015	-	0,009
18.XI	8,98	53,7	0,230	0,28	0,018	-	0,001	0,018
16.XII	10,2	67,8	-	0,47	0,012	0,012	0,005	0,009

Варіант 15

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	O ₂	Cl ⁻	N _{NO3-}	Феноли	НП	Cr ⁶⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺
14.I	8,91	323	51,3	-	0,85	0,005	0,019	0,089
13.II	7,71	441	0,10	0,003	0,80	0,001	0,062	0,061
11.III	8,44	463	0,21	0,003	0,85	-	0,036	0,021
15.IV	7,26	512	0,45	0,002	0,90	0,009	0,046	0,011
12.V	7,71	413	0,41	0,001	0,85	0,007	0,051	-
09.VI	10,3	356	0,08	-	0,85	-	0,092	0,051
13.VII	5,14	297	0,09	-	0,90	0,005	0,087	-
12.VIII	9,43	474	10,5	0,001	0,80	0,006	0,045	0,041
10.IX	8,56	451	1,42	0,006	0,95	0,004	0,076	0,031
14.X	8,96	345	0,23	-	0,88	0,010	0,043	0,041
18.XI	7,40	465	50,28	0,010	0,90	0,020	0,065	0,021
16.XII	11,6	235	60,23	0,005	0,97	0,015	0,025	0,051

Варіант 16

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	БСК ₅	SO ₄ ²⁻	Fe _{общ}	N _{NO2-}	N _{NH4+}	СПАР	Cu ²⁺	Zn ²⁺
14.I	1,85	245,4	0,08	0,250	9,20	0,17	0,023	0,170
13.II	2,80	174,9	0,04	0,310	9,40	0,12	0,024	0,150
11.III	1,85	191,3	0,63	0,370	8,50	0,21	0,022	0,090
15.IV	2,90	196,3	0,08	0,320	9,20	0,25	0,021	0,190
12.V	1,85	152,3	0,58	0,380	9,20	0,26	0,044	0,020
09.VI	3,90	157,2	0,44	0,160	9,20	0,29	0,021	0,029
13.VII	2,80	208,4	0,75	0,230	9,00	0,12	0,032	0,068
12.VIII	1,95	185,5	0,03	0,019	8,23	0,14	0,032	0,240
10.IX	5,88	129,4	0,39	0,060	8,20	0,18	0,037	0,250
14.X	3,85	256,3	0,48	0,125	8,30	0,14	0,035	0,047
18.XI	0,90	196,9	0,25	0,160	9,50	0,21	0,011	0,078
16.XII	1,97	156,3	0,07	0,180	9,20	0,21	0,011	0,056

Варіант 17

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	БСК ₅	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	N _{NO2-}	N _{NH4+}	СПАР	Cu ²⁺	Cr ⁶⁺
14.I	2,53	453,7	125,3	0,040	9,00	0,25	0,038	0,001
13.II	2,65	555,2	152,3	0,025	8,00	0,23	0,040	0,002
11.III	3,15	356,1	142,3	0,036	8,50	0,32	0,044	0,001
15.IV	4,21	465,1	158,6	-	8,50	0,12	0,025	0,003
12.V	-	-	129,5	0,085	-	0,15	0,017	0,001
09.VI	3,56	366,0	175,3	0,041	9,20	0,28	0,014	0,004
13.VII	2,98	467,8	145,3	0,023	10,0	0,56	0,018	0,001
12.VIII	4,56	374,0	125,6	0,025	8,00	0,54	0,012	0,005
10.IX	4,89	280,3	124,5	0,028	-	0,21	0,023	0,002
14.X	4,98	287,5	110,3	0,042	8,00	0,25	0,029	0,001
18.XI	5,23	330,1	182,4	0,041	9,20	0,31	0,008	0,004
16.XII	3,25	278,3	178,5	0,012	9,00	0,24	0,009	-

Варіант 18

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	O ₂	Fe _{общ}	N _{NO3-}	Феноли	НП	Zn ²⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺
14.I	7,89	0,89	10,26	0,002	0,05	0,010	0,023	0,035
13.II	7,98	0,68	20,24	0,001	0,05	0,08	0,012	0,065
11.III	8,05	0,50	20,52	0,004	0,05	0,09	0,014	0,025
15.IV	8,25	-	30,39	0,003	0,15	0,05	0,015	0,042
12.V	8,65	-	0,85	0,001	0,09	0,06	0,025	0,057
09.VI	9,89	0,79	50,78	0,005	0,16	0,02	0,032	0,056
13.VII	9,89	-	0,45	0,001	0,05	0,02	0,042	0,038
12.VIII	8,85	0,55	40,46	0,003	0,25	0,03	0,012	-
10.IX	8,85	0,65	0,52	0,002	0,22	0,05	0,025	0,087
14.X	6,78	0,76	50,32	0,001	0,05	0,06	0,024	0,057
18.XI	7,98	0,44	60,98	0,001	0,18	0,08	0,031	0,065
16.XII	9,89	0,05	50,75	0,002	0,24	0,05	0,012	0,054

Варіант 19

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	БСК ₅	Fe _{общ}	N _{NO2-}	N _{NH4+}	Феноли	СПАР	Zn ²⁺	Pb ²⁺
14.I	3,20	0,54	0,380	9,20	0,007	0,02	0,019	-
13.II	4,05	-	0,160	9,20	0,007	0,17	0,002	0,085
11.III	2,32	0,55	0,230	10,0	0,019	0,03	0,030	0,095
15.IV	3,15	0,33	0,019	8,00	0,014	0,04	0,017	-
12.V	2,25	-	0,060	8,50	0,020	0,22	0,024	0,213
09.VI	2,30	0,68	-	9,00	0,015	0,09	0,025	0,123
13.VII	6,45	0,64	0,310	8,00	0,020	0,18	-	0,231
12.VIII	6,10	0,43	0,370	8,50	0,008	0,25	0,034	-
10.IX	5,10	0,58	0,320	8,50	0,013	0,01	0,017	0,210
14.X	4,50	0,48	0,125	8,00	0,014	0,18	0,015	-
18.XI	2,10	0,35	0,160	9,20	0,018	0,23	0,009	0,085
16.XII	2,20	0,67	0,180	9,00	0,012	0,05	0,012	0,123

Варіант 20

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	O ₂	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	N _{NO3-}	НП	Zn ²⁺	Cr ⁶⁺	Ni ²⁺
14.I	10,5	474	245,4	0,17	0,85	0,019	0,005	0,032
13.II	9,25	451	174,9	0,42	0,85	0,002	0,006	0,042
11.III	9,42	323	191,3	0,45	0,95	0,030	0,004	0,012
15.IV	9,54	441	196,3	0,39	0,75	0,017	0,010	0,025
12.V	9,90	463	152,3	0,21	0,80	0,024	0,020	0,023
09.VI	9,70	356	256,3	0,68	0,75	0,025	0,015	0,012
13.VII	8,27	297	157,2	0,12	0,85	-	0,001	0,014
12.VIII	8,73	312	208,4	0,33	0,90	0,034	0,001	0,015
10.IX	10,1	413	185,5	0,46	0,85	0,017	0,009	0,025
14.X	9,90	345	129,4	0,40	0,85	0,015	0,007	-
18.XI	8,45	465	196,9	0,21	0,90	0,009	0,008	0,031
16.XII	10,0	445	156,3	0,26	0,97	0,012	0,002	0,012

Варіант 21

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	БСК ₅	O ₂	Fe _{общ}	НП	СПАР	Zn ²⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺
14.I	3,22	8,05	0,66	0,90	0,25	0,034	0,012	0,021
13.II	2,64	9,43	0,88	0,80	0,26	0,024	0,017	0,011
11.III	3,47	8,56	0,64	0,95	0,29	0,025	0,015	0,031
15.IV	3,26	8,91	0,55	0,88	0,12	0,017	0,016	0,011
12.V	3,57	7,71	0,40	0,85	0,14	0,015	0,009	0,021
09.VI	5,24	8,44	0,57	0,80	0,14	0,009	0,012	0,041
13.VII	4,66	7,26	0,54	0,85	0,18	0,019	0,016	0,031
12.VIII	-	7,71	0,73	0,90	0,17	0,002	0,016	0,051
10.IX	7,69	10,3	0,10	0,85	0,12	0,030	0,011	0,011
14.X	1,90	8,96	0,20	0,85	0,21	0,017	0,023	-
18.XI	2,09	7,40	0,30	0,90	0,21	-	0,015	0,061
16.XII	1,10	11,6	0,58	0,97	0,21	0,012	0,015	0,011

Варіант 22

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	N _{NO3} ⁻	N _{NO2} ⁻	N _{NH4} ⁺	Феноли	Cu ²⁺	Cr ⁶⁺
14.I	374,0	174,9	0,32	0,300	10,0	0,010	0,040	0,002
13.II	380,3	191,3	0,36	0,310	8,00	0,009	0,044	-
11.III	287,5	196,3	0,40	0,370	8,50	0,009	0,025	0,001
15.IV	230,1	152,3	0,30	0,320	8,00	0,009	0,017	0,002
12.V	378,3	-	0,16	0,380	9,00	0,009	0,014	-
09.VI	253,7	296,9	0,24	0,160	8,00	0,008	0,018	0,002
13.VII	355,2	196,3	0,71	0,690	8,50	0,008	0,012	0,001
12.VIII	256,1	198,8	0,09	0,019	8,50	0,008	0,038	-
10.IX	365,1	195,1	0,42	0,060	9,20	0,008	0,023	0,002
14.X	277,5	129,0	-	0,660	9,20	0,008	0,029	0,001
18.XI	266,0	-	-	0,160	9,20	0,007	0,008	-
16.XII	367,8	-	0,13	0,180	9,00	0,007	0,009	0,001

Варіант 23

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	O ₂	N _{NO2} ⁻	СПАР	N _{NH4} ⁺	НП	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Феноли
14.I	7,34	0,27	0,17	0,54	0,31	0,004	0,023	0,011
13.II	8,21	0,19	-	0,59	0,26	0,001	0,019	0,008
11.III	8,47	0,24	0,21	-	0,21	0,003	-	0,006
15.IV	7,06	-	-	0,47	0,18	0,001	0,015	0,006
12.V	6,12	0,21	0,13	0,55	0,15	-	0,026	0,003
09.VI	5,45	-	0,16	-	0,22	0,002	0,029	-
13.VII	5,08	0,16	0,24	0,62	-	0,016	-	-
12.VIII	5,79	0,12	0,27	0,66	0,14	0,011	0,018	0,002
10.IX	6,33	-	0,18	-	0,17	0,007	0,013	0,002
14.X	6,86	0,13	-	0,51	0,26	-	0,020	0,001
18.XI	6,92	0,1	0,15	0,44	-	0,005	0,016	-
16.XII	8,14	0,18	0,2	0,56	0,37	0,003	0,02	0,001

Варіант 24

Дата	Концентрація інгредієнтів і показників хімічного складу води, мг/дм ³							
	SO ²⁻ ₄	N _{NO3-}	Fe _{общ}	N _{NO2-}	СПАР	Zn ²⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺
14.I	233,7	40,93	0,53	0,09	0,26	0,017	0,026	0,034
13.II	163,5	44,26	0,47	0,07	0,15	0,024	-	0,029
11.III	121,4	48,32	0,67	0,12	0,22	0,015	0,018	-
15.IV	99,9	50,64	-	0,09	0,19	0,009	0,015	0,037
12.V	87,3	55,82	0,63	-	-	0,027	0,01	0,041
09.VI	135,6	41,74	0,74	0,04	0,31	0,031	0,006	0,035
13.VII	116,3	45,62	-	0,14	0,27	-	-	-
12.VIII	109,7	39,35	0,69	0,13	0,38	0,014	0,024	-
10.IX	91,4	37,29	0,57	0,08	-	0,005	0,031	0,047
14.X	95,5	47,69	0,41	-	0,24	-	0,017	0,026
18.XI	131,7	43,21	-	0,23	0,16	0,016	0,025	0,038
16.XII	162,8	48,77	0,73	0,37	0,18	0,016	0,014	0,046

Таблиця 5.7 – Критерії оцінки поверхневих вод для 16 типових показників або речовин

№ п/п	Інгредієнти та показники	Показник, що лімітує, шкідливість	Гранично допустима концентрація, мг/л (дм ³)
1	Розчинений кисень	загальні вимоги	- у зимовий (підлідний) період повинна бути не менш 4,0; - у літній (відкритий) – не менш 5,0
2	БСК ₅	загальні вимоги	2,0
3	Амоній солевий (NH ₄ ⁺)	токсикологічний	0,5
4	Нітрат-іон (NO ₃ ⁻)	санітарно-токсикологічний	40,0
5	Нітрит-іон (NO ₂ ⁻)	токсикологічний	0,08
6	Нафта та нафтопродукти	рибогосподарський	0,05
7	Феноли	рибогосподарський	0,001
8	СПАР аніонактивні	токсикологічний	0,1
9	Залізо (Fe ³⁺)	органолептичний	0,5
10	Мідь (Cu ²⁺)	токсикологічний	0,001
11	Цинк (Zn ²⁺)	токсикологічний	0,01
12	Хром (Cr ⁶⁺)	санітарно-токсикологічний	0,001
13	Нікель (Ni ²⁺)	токсикологічний	0,01
14	Свинець (Pb ²⁺)	санітарно-токсикологічний	0,03
15	Сульфати (аніон) (SO ₄ ²⁻)	санітарно-токсикологічний	100,0
16	Хлориди (аніон) (Cl ⁻)	санітарно-токсикологічний	300,0

Контрольні питання:

1. Яким чином визначається питомий комбінаторний індекс забруднення стічних вод?
2. Які показники необхідні для визначення класу якості води?
3. Які прилади необхідно використовувати для інструментального контролю скидів промислових підприємств?
4. За якими вимогами можна оцінити шкідливість стічних вод?
5. Яким чином можна класифікувати стічні води за кратності перевищення ГДК?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Тема: Оцінка якості ґрунтів різного призначення за вмістом в них певних екологічно небезпечних забруднюючих речовин.

Мета роботи: системне оцінювання якості ґрунтів сільськогосподарського призначення й населених пунктів, що розташовані в зоні впливу промислового підприємства, за рівнем їх забруднення як певними окремими хімічними речовинами, так і їх сукупністю.

Матеріали та обладнання: бури для відбору проб ґрунту, пристрій для розсів ґрунту лабораторний електричний РЛУ-3 з 10 сит, лабораторний зерновий електричний млин ЛЗМ-1, електричний подрібнювач ММГ 1, електрична піч лабораторна ТРЦ-02, ваги електричні ЕМВ-600 та відповідна база даних результатів замірів концентрацій важких металів у ґрунтах.

У результаті виконання очікуються наступні **результати навчання:**

- ❖ Проводити аналіз потенційного антропогенного впливу на навколишнє середовище
- ❖ Вибирати методи й моделі системного аналізу, проводити системні дослідження якості повітряного й водного середовищ, а також якості ґрунтів різного призначення
- ❖ Знати алгоритми й технології проведення системних досліджень якості атмосферного повітря, води поверхневих водойм і водотоків та ґрунтів різного призначення.

Завдання лабораторної роботи:

1. Надати оцінку якості ґрунтів сільськогосподарського призначення та класу їх небезпеки за результатами спостережень за рівнем їх забруднення.
2. Оцінити якість ґрунтів населених пунктів за рівнем хімічного забруднення.
3. За результатами системного аналізу якості указаних вище ґрунтів зробити певні висновки й надати відповідні рекомендації щодо їх використання.

Загальні теоретичні положення системного аналізу якості ґрунтів за рівнем їх забруднення

Речовини, що викидаються в атмосферне повітря, скидаються у поверхневі водойми або на земну поверхню чи складаються у вигляді відходів промисловими підприємствами, об'єктами енергетики, транспорту, сільського господарства, потрапляють у ґрунт і створюють нові комплекси хімічних елементів.

Із ґрунту ці речовини мігрують у повітряне та водне середовище, у тканині рослин, та насамкінець – у біоту. Особливу небезпеку являють важкі метали, вплив яких на здоров'я людей наведений у табл. 6.1.

Основним критерієм при оцінці якості ґрунтів сільськогосподарського призначення є рівень його забруднення екологічно небезпечними речовинами порівняно з ГДК цих речовин в орному шарі ґрунту.

Таблиця 6.1 – Ефекти від забруднення середовища важкими металами

Забруднювач	Головний вплив на здоров'я
Миш'як	Рак легенів; нашкоджені хвороби; гематологічні ефекти, включаючи анемію
Берилій	Дерматити, виразки; запалення слизових оболонок
Кадмій	Злоякісні новоутвори; гострі й хронічні респіраторні захворювання; ниркова дисфункція
Хром	Рак легенів; злоякісні утворення в шлунково-кишковому тракті; дерматити
Свинець	Порушення процесів кровотворення; ушкодження печінки й нирок; нейрологічні ефекти
Ртуть	Вплив на нервову систему, включаючи короткострокову пам'ять; порушення сенсорних функцій і координації; ниркова недостатність
Нікель	Респіраторні захворювання (астма, порушення дихальної системи); пороки народження й каліцтва; рак носа й легенів
Ванадій	Астма; нервові розлади; зміни в крові

Існують чотири різновиди ГДК, що визначають допустимий рівнів вмісту забруднюючої речовини:

- транс-локаційний – характеризує перехід хімічних речовин із ґрунту через кореневу систему в зелену масу та плоди рослин;
- міграційний повітряний – характеризує перехід хімічних речовин із ґрунту в атмосферу;
- міграційний водний – характеризує перехід хімічних речовин із ґрунту в підземні ґрунтові води та джерела води;
- загально-санітарний – характеризує вплив хімічних речовин на мікробіоценози та здатність ґрунтів до самоочищення.

Найменший із допустимих рівнів вмісту речовини є лімітуючим, отже він приймається за ГДК речовини, оскільки відбиває найбільш уразливий шлях впливу даного токсиканта. Проте, при обґрунтуванні ГДК головним лімітуючим показником хімічних речовин у ґрунті є транс-локаційний, оскільки він визначає ступінь накопичення токсикантів у продуктах харчування рослинного походження, з якими в організм людини надходить до 70% шкідливих речовин.

При оцінці якості ґрунтів за небезпечним рівнем їх забруднення хімічними речовинами необхідно враховувати наступне.

1. Небезпека забруднення тим вище, чим більшою мірою фактичний вміст шкідливих речовин у ґрунті C , мг/кг перевищує ГДК, мг/кг, тобто чим більше значення коефіцієнта небезпеки забруднення ґрунту – K_0 перевищує одиницю, причому зазначений коефіцієнт визначається за формулою 6.1

$$K_0 = \frac{C}{ГДК} \cdot \quad (6.1)$$

2. Небезпека забруднення тим вище, чим вище клас небезпеки шкідливих речовин відповідно до даних табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Віднесення хімічних речовин, що потрапляють у ґрунт, до класів їх небезпеки

Клас небезпеки	Хімічна речовина
I	Миш'як, кадмій, ртуть, свинець, селенів, цинк, фтор, бенз(а)пірен
II	Бор, кобальт, нікель, молібден, мідь, сурма, хром
III	Барій, ванадій, вольфрам, марганець, стронцій, ацетофенол

Небезпека забруднення тим вище, чим нижче буферні властивості ґрунтів, що у сукупності визначають їх бар'єрну функцію, яка, у свою чергу, обумовлює рівні вторинного забруднення середовищ, що контактують із ґрунтом: рослинність і, атмосферне повітря, поверхневі і підземні води. Буферність ґрунту обумовлюють тонко-дисперсні часточки, що визначають його механічний склад, органічна речовина, тобто гумус, а також показник рН.

Небезпека забруднення при рівних інших умовах буде більшою для ґрунтів із $pH < 7$, меншим вмістом гумусу та легким механічним складом.

Оцінка якості забруднених ґрунтів проводиться роздільно для територій сільськогосподарського використання та для населених пунктів.

Оцінка якості ґрунтів сільськогосподарського призначення на ділянках, що знаходяться поблизу промислових підприємств (завдання 1)

Якість ґрунтів, що слугують для вирощування сільськогосподарських рослин, оцінюють за категорією їх забруднення, яка визначається за табл. 6.3 та 6.4.

Таблиця 6.3 – Категорії забруднення ґрунтів сільськогосподарського призначення хімічними речовинами та можливість їх використання

Категорія забруднення ґрунтів	Характеристика забруднення	Можливе використання території	Пропоновані заходи
1	2	3	4
I. Припустима	Вміст хімічних речовин у ґрунті перевищує фоновий, але не вище ГДК	Під будь-які культури	Зниження рівня впливу джерел забруднення ґрунту. Зниження доступності токсикантів для рослин (вапнування, внесення органічних добрив і т.п.)
II. Помірно небезпечна	Вміст хімічних речовин перевищує загально-санітарні ГДК, міграційні водні і міграційні повітряні його показники, але нижче допустимого транс-локаційного показника	Під будь-які культури за умови контролю якості сільськогосподарських рослин	Заходи, аналогічні категорії I. При наявності речовин з міграційними водними або міграційним повітряним показниками, що лімітують, проводиться контроль за вмістом цих речовин у ґрунті, а також в зоні подиху людей й у воді місцевих водних джерел

1	2	3	4
III. Високо небезпечна	Вміст хімічних речовин у ґрунті перевищує їх ГДК при транс-локаційному показнику шкідливості, що лімітують,	Під технічні культури. Під с/г культури обмежено з урахуванням рослин-концентраторів	Крім заходів, зазначених для категорії II, обов'язковим є контроль вмісту токсикантів у рослинах - продуктах харчування й кормах. При вирощуванні рослинних продуктів харчування доцільно перемішувати їх із продуктами, вирощеними на чистому ґрунті. Обмеження використання на корм худобі зеленої маси з рослинами-концентраторами
IV. Надзвичайно небезпечна	Вміст хімічних речовин перевищує ГДК у ґрунті за всіма показниками шкідливості	Тільки під технічні культури або лісозахисні смуги.	Заходи щодо зниження рівня забруднення й зв'язуванню у ґрунті токсикантів. Контроль за вмістом токсикантів у воді місцевих водних джерел і повітрі у зоні подиху

Таблиця 6.4 – ГДК хімічних речовин у ґрунті та допустимі рівні їх вмісту за показниками шкідливості

Найменування речовини	ГДК, мг/кг, ґрунту з урахуванням фону	Показники шкідливості			
		транс-локаційний	міграційний		Загально-санітарний
			водний	повітряний	
1	2	3	4	5	6
Рухома форма					
Мідь ¹	3,0	3,5	72,0	-	3,0
Нікель ¹	4,0	6,7	14,0	-	4,0
Цинк ¹	23,0	23,0	200,0	-	37,0
Кобальт ²	5,0	25,0	Більше 1000	-	5,0
Водорозчинна форма					
Фтор	2,8	2,8	-	-	-
1	2	3	4	5	6
Валовий вміст					
Сурма	4,5	4,5	4,5	-	50,0
Марганець	1500,0	3500,0	1500,0	-	1500,0
Ванадій	150,0	170,0	350,0	-	150,0
Марганець + ванадій	1000,0+100,0	1500,0+150,0	2000,0+200,0	-	1000,0+100,0
Свинець	30,0	35,0	260,0	-	30,0
Миш'як	2,0	2,0	15,0	-	10,0
Ртуть	2,1	2,1	33,3	2,5	5,0
Свинець + ртуть	20,0 +1,0	20,0+1,0	30,0+2,0	-	30,0+2,0
Хлористий калій	560,0	1000,0	560,0	1000,0	5000,0
Нітрати	130,0	180,0	130,0	-	225,0
Бенз(а)пірен (БП)	0,02	0,2	0,5	-	0,02
Бензол	0,3	3,0	10,0	0,3	50,0
Толуол	0,3	0,3	100,0	0,3	50,0

1	2	3	4	5	6
Ізопропілбензол	0,5	3,0	100,0	0,5	50,0
Альфаметилстирол	0,5	3,0	100,0	0,5	50,0
Стирол	0,1	0,3	100,0	0,1	1,0
Ксилоли	0,3	0,3	100,0	0,4	1,0
Сірчисті з'єднання:					
сірководень	0,4	160,0	140,0	0,4	160,0
елементарна сірка	160,0	180,0	380,0	-	160,0
сірчана кислота	160,0	180,0	380,0	-	160,0
ВФВ ³	3000,0	9000,0	3000,0	6000,0	3000,0
КГД ⁴	120,0	800,0	120,0	800,0	800,0
РКД ⁵	80,0	Більше 800,0	80,0	Більше 800,0	800,0

Примітки:¹ – рухомі форми міді, нікелю, цинку витягаються із ґрунту амонійно-ацетатним буферним розчином з рН 4,8 (для міді, цинку) і рН 4,6 (для нікелю); ² – рухома форма кобальту витягається із ґрунту амонійно-натрієвим буферним розчином з рН 3,5 для сіроземів і рН 4,7 для деренно-підзолистого ґрунту; ³ – ВФВ (відходи флотації вугілля). ГДК ВФВ контролюються по змісту бенз(а)пірена (БП) в ґрунті, що не повинне перевищувати ГДК бенз(а)пірена; ⁴ – КГД (комплексні гранульовані добрива) складу N(азот):P(фосфор):K(калій) = 64:0:15. ГДК КГД контролюється за вмістом нітратів у ґрунті, що не повинний перевищувати 76,8 мг/кг абсолютно сухого ґрунту; ⁵ – РКД – рідкі комплексні добрива складу N:P:K = 10:34:0 ТУ 6-08-290-74 з добавками марганцю не більше 0,6% від загальної маси. ГДК РКД контролюється за вмістом рухливих фосфатів у ґрунті, що не повинний перевищувати 27,2 мг/кг в абсолютно сухому ґрунті.

Послідовність оцінки якості ґрунтів сільськогосподарського призначення на певних ділянках (фермерській, присадибній або дачній)

Оцінку виконують на основі типової постановки першого завдання цього розділу, а саме: на певній ділянці території поблизу підприємства (фермерській, присадибній або дачній) встановлена присутність у ґрунті ряду (двох) забруднюючих речовин. Знаючи концентрації цих токсикантів (див. табл. 6.5 з вихідними даними за варіантами), визначити категорію забруднення ґрунту й можливість його використання для вирощування сільськогосподарської продукції. Установити характер можливого використання даної території та заходи щодо зниження токсичного впливу ґрунтових забруднень.

Таблиця 6.5 – Варіанти вихідних даних до завдань 1 та 2

Варіант	Токсикант	Концентрація, мг/кг	Варіант	Токсикант	Концентрація, мг/кг
1	Нікель	8,0	14	Бенз(а)пірен	0,4
	Мідь	75,0		Нікель	13,0
2	Цинк	20,0	15	Бензол	0,25
	Фтор	4,0		Кобальт	1300,0
3	Кобальт	12,0	16	Толуол	0,45
	Ванадій	120,0		Марганець	2000,0
4	Фтор	1,5	17	Ізопропілбензол	2,5

Варіант	Токсикант	Концентрація, мг/кг	Варіант	Токсикант	Концентрація, мг/кг
	Миш'як	8,0		Сурьма	55,0
5	Сурьма	46,0	18	Ізопропілбензол	4,0
	Ртуть	2,8		Нікель	12,0
6	Марганець	3000,0	19	Альфаметилстирол	0,4
	Миш'як	3,0		Нітрати	400,0
7	Ванадій	115,0	20	Стирол	0,2
	Цинк	38,0		КГД*	650,0
8	Свинець	240,0	21	Ксилол	92,0
	Нікель	3,5		Кобальт	75,0
9	Свинець	42,0	22	Сірководень	150,0
	Сурьма	10,0		Фтор	3,0
10	Миш'як	4,0	23	Елементарна сірка	190,0
	Свинець	60,0		Бенз(а)пірен	0,4
11	Ртуть	3,5	24	Сірчана кислота	145,0
	Цинк	20,0		Сурьма	5,0
12	Нітрати	150,0	25	ВФВ**	8000,0
	Мідь	65,0		Бензол	44,0
13	Бенз(а)пірен	0,15	26	КГД*	600,0
	Свинець	39,0		Толуол	98,0

Примітки * – КГД – комплексні гранульовані добрива складу N (азот):P (фосфор):K (калій) = 64:0:15. ГДК КГД контролюється по змісту нітратів у ґрунті, що не повинне перевищувати 76,8 мг/кг абсолютно сухого ґрунту;

** ВФВ – відходи флотації вугілля. ГДК ВФВ контролюються за вмістом бенз(а)пірена в ґрунті, що не повинний перевищувати ГДК бенз(а)пірена;

Порядок системного аналізу якості ґрунтів сільськогосподарського призначення.

1. Вибираємо з табл. 6.5 вихідні дані за певним варіантом стосовно вмісту токсиканта 1 – _____ мг/кг та токсиканта 2 – _____ мг/кг.

2. На підставі даних табл. 6.4 знаходимо відповідні ГДК:

– токсиканта 1 з урахуванням фону – _____ мг/кг;

– токсиканта 2 з урахуванням фону – _____ мг/кг.

3. Визначаємо припустимі рівні змісту токсикантів за показниками їх небезпеки/шкідливості, що лімітують (відповідно до табл. 6.4):

за транс-локаційним показником:

– токсикант 1 – _____ мг/кг;

– токсикант 2 – _____ мг/кг.

за міграційним водним показником:

– токсикант 1 – _____ мг/кг;

– токсикант 2 – _____ мг/кг.

за загально-санітарним показником:

– токсикант 1 – _____ мг/кг;

– токсикант 2 – _____ мг/кг.

Висновки. Рівень вмісту токсиканта 1 у ґрунті перевищує її ГДК (_____ мг/кг) і допустимий рівень за загально-санітарним показником шкідливості, що

лімітує, (3,0 мг/кг), але нижче припустимого рівня по транс-локаційному (або міграційному чи загально-санітарному) показнику шкідливості (_____ мг/кг), отже, відповідно до табл. 6.3, категорія забруднення ґрунтів токсикантом 1 – _____.

Рівень вмісту токсиканта 2 у ґрунті не перевищує ГДК (_____ мг/кг) і припустимі рівні за всіма показниками, що лімітують, шкідливості, отже, відповідно до табл. 6.3, категорія забруднення ґрунту токсикантом 2 – _____.

Виходячи з комплексної оцінки якості ґрунтів за рівнем їх забруднення за токсикантом, ліміт вмісту якого нижчий, відповідає категорії забруднення – _____. Отже, відповідно до табл. 6.3, стовпчик 3, досліджена земельна територія за ступенем забруднення ґрунтів токсичними речовинами може використатися під _____. Згідно з табл. 6.3, стовпчик 4. наводимо заходи щодо зниження рівня забруднення ґрунту, відповідно до встановленої категорії

Приклад постановки та вирішення завдання оцінювання якості ґрунтів сільськогосподарського призначення.

Постановка завдання. В результаті аналізів проб ґрунту на ділянці за межами СЗЗ підприємства встановлена присутність **міді** із вмістом рухливих форм у кількості 3,2 мг/кг і **свинцю** з концентрацією 25 мг/кг. Визначити категорію забруднення ґрунту та можливість й умови його використання для вирощування сільськогосподарської продукції, тобто установити характер можливого використання даної території й заходи щодо зниження токсичного впливу ґрунтових забруднень.

Системний аналіз та результати вирішення завдання. Для розв'язання задачі по табл. 4 для цього завдання послідовно знаходимо:

- ГДК міді з урахуванням фону складає 3,0 мг/кг, а ГДК свинцю з урахуванням фону – 30,0 мг/кг.
- допустимі рівні вмісту забруднювачів:
- за транс-локаційним показником шкідливості міді – 3,5 мг/кг, а свинцю – 35,0 мг/кг;
- за міграційним водним показником шкідливості міді – 72,0 мг/кг, а свинцю – 260,0 мг/кг;
- за загально-санітарним показником шкідливості міді – 3,0 мг/кг, а свинцю – 30,0 мг/кг.

Встановлений на земельній ділянці рівень вмісту міді в ґрунті перевищує її ГДК (3,0 мг/кг) і допустимий рівень загально-санітарного показника шкідливості (3,0 мг/кг), що лімітує, але він нижче допустимого транс-локаційного показника шкідливості (3,5 мг/кг). Отже, згідно з табл. 6.3, категорія забруднення ґрунтів міддю – «помірковано небезпечна».

Вміст свинцю в ґрунті також не перевищує ГДК і припустимі рівні за всіма показниками шкідливості, що лімітують. Отже, згідно з табл. 6.3, категорія забруднення ґрунту свинцем – «припустима».

Виходячи з комплексної оцінки забруднення ґрунту (табл. 6.3, 6.4),

встановлюємо, що категорія її забруднення – «помірно небезпечна».

Висновки.

Досліджена територія може використовуватися під будь-які культури за умови контролю якості сільськогосподарських рослин і проведення заходів щодо зниження доступу для них виявлених токсикантів, тобто міді й свинцю.

Оцінка якості ґрунтів населених пунктів за рівня хімічного забруднення (завдання 2)

Оцінка рівня хімічного забруднення ґрунтів населених пунктів, зокрема наближених до промислових підприємств проводиться за двома показниками.

1. Коефіцієнт концентрації хімічної речовини визначається як

$$K_c = \frac{C}{C_\phi}, \quad (6.2)$$

де C – фактична концентрація певної хімічної речовини в ґрунті, мг/кг; C_ϕ – фоновая концентрація в ґрунті даної речовини, мг/кг.

2. Сумарний показник забруднення. Визначається підсумовуванням коефіцієнтів концентрацій хімічних елементів, що забруднюють ґрунт, за формулою 6.3:

$$Z_c = \sum_{n=i}^n K_c - (n-1), \quad (6.3)$$

де n – число хімічних елементів, що враховують.

Оцінка небезпеки забруднення ґрунтів по знайденому значенню Z_c визначається по табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Орієнтовна оцінна шкала забруднення ґрунтів населених пунктів

Категорія забруднення ґрунтів	Показник Z_c	Зміни показників здоров'я населення у вогнищах забруднення
Припустима	Менше 16	Найбільш низький рівень захворюваності дітей і мінімум функціональних відхилень
Помірно небезпечна	16–32	Збільшення загального рівня захворюваності
Небезпечна	32–128	Збільшення загального рівня захворюваності, числа часто, що хворіють дітей, дітей із хронічними захворюваннями, порушеннями функціонування серцево-судинної системи
Надзвичайно небезпечна	Більше 128	Збільшення захворюваності дитячого населення, порушення репродуктивної функції жінок (токсикози вагітності, передчасні пологи, мертвонароджуваність, гіпотрофії немовлят)

Типова постановка завдання.

Визначити рівень забруднення ґрунту населеного пункту та дати характеристику зміни здоров'я населення, що проживає на території забрудненої земельної ділянки. Вихідні дані для завдання 2 взяти з бази даних, наведеної в табл. 6.7 варіантів, або отримані в результаті власних лабораторних аналізів певного ґрунту), табл. 6.8.

Таблиця 6.8 – Приклад таблиці представлення даних лабораторних досліджень

Забруднююча речовина	Реальна концентрація забруднюючої речовини в ґрунті C_i , мг/кг	Фонові концентрація забруднюючої речовини в ґрунті C_ϕ , мг/кг
...	...	...

Примітка. Число рядків у цій вихідній таблиці складає 3 – за кількістю забруднювачів (до 6-и).

Порядок системного аналізу якості ґранту населених пунктів.

1. Знаходимо коефіцієнти концентрації забруднюючих речовин по відношенню до їх фонових значень за формулою (6.2): $K_c = \frac{C_i}{C_\phi}$.

2. Визначаємо сумарний показник забруднення ґрунту населеного пункту за формулою (6.3): $Z_c = \sum_{n=i}^n K_c - (n-1)$,

де n – число забруднюючих речовин, що враховують.

Висновок: Відповідно до даних табл. 6 розглянуті ґрунти населеного пункту відносяться до категорії _____ забруднення й характеризуються _____ (табл. 6.6, стовпчик 3).

Таблиця 6.7 – Варіанти вихідних даних до другого завдання розділу

Варіант	Фактична концентрація забруднюючих речовин у ґрунті, мг/кг											
	Li	Be	S	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
1	61	12	4100	220	740	92	-	-	-	-	-	-
2	-	23	2350	630	1700	66	250	-	-	-	-	-
3	-	-	6100	420	1350	80	350	41	-	-	-	-
4	-	-	-	345	770	170	64	80	300	-	-	-
5	-	-	-	-	3200	31	195	230	510	12	-	-
6	-	-	-	-	-	22	250	215	68	9	0,3	-
7	-	-	-	-	-	-	46	112	265	41	0,1	130
8	55	-	5200	-	415	-	400	-	48	-	0,09	-
9	-	41	-	190	-	44	-	178	-	14	-	66
10	-	-	3210	520	-	-	120	190	-	-	0,07	313
11	116	15	-	-	2345	132	-	-	148	29	-	-
12	-	-	-	590	1100	143	-	-	-	35	0,15	280
13	96	38	4460	-	-	-	276	134	286	-	-	-
14	-	26	3420	355	-	-	-	155	90	11	-	-

Варіант	Фактична концентрація забруднюючих речовин у ґрунті, мг/кг											
	Li	Be	S	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
15	-	-	2300	615	820	-	-	-	270	32	0,03	-
16	-	-	-	448	1970	83	-	-	-	18	0,6	79
17	86	-	-	-	974	78	314	-	-	-	0,8	124
18	70	31	-	-	-	73	265	202	-	-	-	266
19	108	-	-	524	1255	-	-	44	257	-	-	88
20	-	19	3910	-	-	-	-	-	114	10	0,02	118
21	121	17	2840	-	-	-	-	-	-	37	0,4	252
22	61	29	-	-	-	114	-	-	-	40	0,08	305
23	-	-	6000	408	1312	76	342	78	-	-	-	-
24	88	-	-	360	785	188	69	92	-	-	-	-
25	-	44	-	-	-	-	171	214	487	21	-	113
Фонові концентрації, мг/кг												
	23,5	1,5	720	63,5	180	8,4	23,2	15,3	41,3	0,7	0,01	11,5

Приклад постановки та вирішення завдання оцінювання якості ґрунтів населених пунктів.

Постановка завдання. Визначити категорію забруднення ґрунту населеного пункту хімічними речовинами за сумарним показником забруднення. Дати характеристику показників здоров'я населення, що проживає на забрудненій території за вихідними даними, як у форматі табл. 6.8:

Забруднюючі речовини (токсиканти)	Фактична концентрація у ґрунті, C , мг/кг	Фонові концентрації у ґрунті, C_f , мг/кг
Фтор	470	208
Берилій	4,9	1,5
Цинк	255	41,3

Системний аналіз та результати вирішення завдання. За формулою (2) знаходимо коефіцієнти концентрації забруднюючих речовин:

$$K_{c.F} = \frac{470}{208} = 2,3; \quad K_{c.Be} = \frac{4,9}{1,5} = 3,3; \quad K_{c.Zn} = \frac{255}{41,3} = 6,2.$$

За формулою (4.3) сумарний показник забруднення дорівнює

$$Z_c = (2,3 + 3,3 + 6,2) - (3 - 1) = 9,8.$$

Відповідно до табл. 6.6. розглянуті ґрунти населених пунктів відносяться до категорії допустимого забруднення та характеризуються найбільш низьким рівнем захворюваності дітей і мінімумом функціональних відхилень.

Контрольні питання:

1. Які метали вважаються найбільш небезпечними для ґрунтів?
2. У чому полягає методика визначення категорії забруднення ґрунту?
3. Які прилади потрібні для відбору зразків ґрунту та його підготовки для

подальшого лабораторного аналізу?

4. Яким чином здійснюється процедура оцінки рівня хімічного забруднення ґрунтів для населених пунктів?

5. Що уявляють собою фонові концентрації забруднювальних речовин в ґрунтах і як їх використовувати в системному аналізі?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Тема: Оцінка рівня забруднення поверхневих вод та класу їх якості за вмістом розчиненого кисню.

Мета роботи: оцінювання рівнів забруднення та класу якості води поверхневої водойми за результатами вимірювання вмісту в ній розчиненого кисню як окислювача різних екологічно небезпечних домішок, що потрапляють у воду .

Матеріали та обладнання: акваріум на 40 л, компресор KW Zone MOUSE M-102, оксиметр / рН-метр / кондуктометр / солемір AZ-86031 та база даних про вміст кисню у природних водоймах.

У результаті виконання очікуються наступні **результати навчання:**

- ❖ Знати показники якості навколишнього середовища, як системи, методологію системного аналізу та загальні методи й моделі системного аналізу в екології

- ❖ Проводити аналіз потенційного антропогенного впливу на навколишнє середовище

- ❖ Вибирати методи й моделі системного аналізу, проводити системні дослідження якості повітряного й водного середовищ, а також якості ґрунтів різного призначення

- ❖ Знати алгоритми й технології проведення системних досліджень якості атмосферного повітря, води поверхневих водойм і водотоків та ґрунтів різного призначення.

Завдання роботи:

1. Провести замір концентрації розчиненого кисню у зразках проб води та провести спостереження динаміки розчиненого кисню під час барботування атмосферного повітря крізь воду компресором KW Zone MOUSE M-102.

2. Визначити зміни нормальної концентрацій розчиненого кисню у воді залежно від певних значень її температури.

3. Визначити відносний вміст кисню у воді та оцінити рівень її забруднення домішками та відповідний клас її якості.

Аналіз вмісту розчинного кисню у воді природних вод різного походження та призначення, в тому числі за результатами вимірювання його концентрації та спостереження динаміки (Завдання 1)

Розчинений кисень є важливим опосередкованим показником класу якості води водойми за рівнем її забруднення, тобто без визначення концентрації

хімічних речовин та вмісту мікроорганізмів або іншої органіки. Зниження вмісту розчиненого кисню вказує на певні біологічні процесів у водоймі або на наявність забруднюючих речовин, які інтенсивно окислюються за рахунок розчиненого у воді кисню. Його вміст у воді залежить і від природних чинників: атмосферного тиску, температури води та мінералізації, тобто вмісту в ній розчинених солей.

Розчинений кисень міститься в природній воді у вигляді розчиненого газу O_2 . На його вміст у воді впливають дві групи процесів: одна збільшує концентрацію кисню, інша зменшує. Перша група забезпечує надходження кисню у воду за рахунок поглинання з атмосфери, виділення його водною рослинністю під час фотосинтезу, а також в результаті потрапляння у водойми з дощовими і сніговими водами, які зазвичай пересичені киснем. В артезіанській воді усі ці чинники практично не діють, тому кисень у ній відсутній. У поверхневих же водах вміст кисню менший за теоретично можливий через споживання кисню різними організмами, бродіння, гниття органічних решток, реакцій окиснення тощо.

Розчинений кисень – це кількість кисню, що міститься в 1 л води. Кисень повітря потрапляє у воду з повітря і розчиняється в ній результаті дифузії молекул кисню. Деяка кількість кисню утворюється внаслідок життєдіяльності водоростей, що містять хлорофіли. Поряд із збагаченням води киснем він витрачається на біохімічне окислення органічних речовин (процеси самоочищення водойми) і дихання аеробних гідробіонтів (організмів, пристосованих до життя у водному середовищі), зокрема риб. Аби не порушувалися процеси самоочищення і не гинули гідробіонти, вміст кисню у воді водойми не повинен бути менше ніж 4 мг/л. При надходженні у водойму стічних вод, які містять велику кількість органічних речовин, підвищується БПК і зменшується розчинений кисень, який витрачається на окислення органіки.

Різні види риб потребують певного вмісту кисню у воді. Для більшості риб для нормального існування потрібна концентрація розчинного кисню в воді не менше 5–6 мг/л. Проте, наприклад, для карасів (*Carassius carassius*) потрібно 6–8 мг/л. Коропи (*Cyprinus carpio*) витримують від 3 до 8 мг/л, але при низькому рівні можуть страждати. Декоративні рибки гупі (*Poecilia reticulata*) задовольняються вмістом 4–6 мг/л, а дискуси (*Symphysodon discus*) потребують стабільно високого рівня кисню (5–7 мг/л).

Для вимірювання концентрацій розчиненого кисню використовують оксиметр, який входять до складу комплексних аналізаторів якості води, наприклад, типу AZ-86031, що дозволяє вимірювати декілька показників якості води шляхом одночасного підключення різних сенсорів, рис. 7.1.



Рис. 7.1 – Дослідження розчиненого кисню у воді з використанням комплексного аналізатора і повітряного компресора в лабораторії кафедри екології та ТЗНС

Після отримання вихідних даних і колективного спостереження за динамікою концентрації розчинного кисню у воді під час барботування повітря крізь воду переходять до побудови математичної моделі, необхідної для прогнозування та оцінки якості води.

Визначення нормальної концентрації кисню у воді за заданими температурами з використанням осередненої залежності у вигляді поліноміальної моделі (Завдання 2)

Максимально можливий вміст кисню у воді визначається її температурою, атмосферним тиском та рівнем мінералізації. Осереднена залежність нормальної концентрації кисню у чистій воді від її фактичної температури при нормальному атмосферного тиску 1013,08 гПа наведена в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Залежність розчинності кисню у чистій воді від її температури

Температура води, °C	0	10	20	30	40	50	60	80	100
Розчинність $\text{O}_2/\text{дм}^3$ мг $\text{O}_2/\text{дм}^3$	14,6	11,3	9,1	7,5	6,5	5,6	4,8	2,9	0,0

Табличні дані для зручності користування варто представити відповідним графіком (у вигляді граничної лінії максимально можливого вмісту кисню у воді) і його математичною моделлю у вигляді полінома, наведених на рис. 7.2.

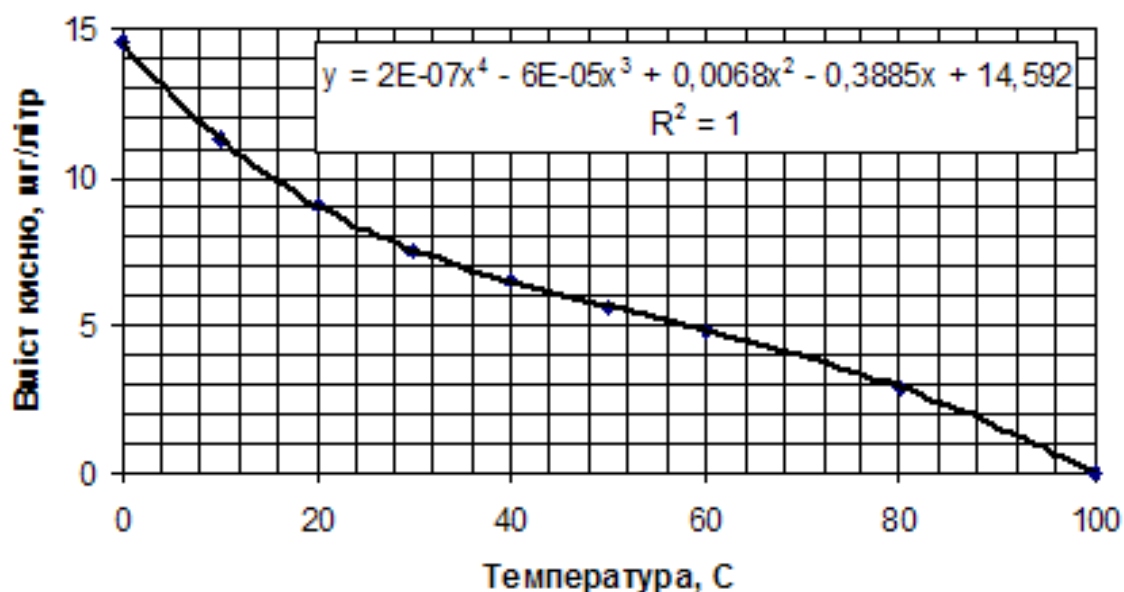


Рис. 7.2 – Осереднена залежність нормальної концентрації розчинного кисню у чистій воді від температури при нормальному атмосферному тиску

На основі усередненої залежності нормальної концентрації кисню у воді від температури, що подана на графіку рівнянням тренду у вигляді полінома 4-го порядку, обчислити його нормальний вміст за температурою води 5, 10, 15, 20 і 25°C. (Зіставити результати обчислень із графіком).

Підставляючи значення температури до математичної моделі у вигляді поліноміального рівняння (рис. 1), отримуємо такі значення вмісту кисню у воді (Q):

$$\text{для } 5^{\circ}\text{C}, Q_y = 0.0000002 \cdot 5^4 - 0.00006 \cdot 5^3 + 0.0068 \cdot 5^2 - 0.3885 \cdot 5 + 14.59 = 12.81 \text{ мг/л};$$

$$\text{для } 10^{\circ}\text{C}, Q_y = 0.0000002 \cdot 10^4 - 0.00006 \cdot 10^3 + 0.0068 \cdot 10^2 - 0.3885 \cdot 10 + 14.59 = 11.32 \text{ мг/л};$$

$$\text{для } 15^{\circ}\text{C}, Q_y = 0.0000002 \cdot 15^4 - 0.00006 \cdot 15^3 + 0.0068 \cdot 15^2 - 0.3885 \cdot 15 + 14.59 = 10.1 \text{ мг/л};$$

$$\text{для } 20^{\circ}\text{C}, Q_y = 0.0000002 \cdot 20^4 - 0.00006 \cdot 20^3 + 0.0068 \cdot 20^2 - 0.3885 \cdot 20 + 14.59 = 9 \text{ мг/л};$$

$$\text{для } 25^{\circ}\text{C}, Q_y = 0.0000002 \cdot 25^4 - 0.00006 \cdot 25^3 + 0.0068 \cdot 25^2 - 0.3885 \cdot 25 + 14.59 = 8.27 \text{ мг/л};$$

Як бачимо, при підвищенні температури води з 5 до 25 °C відбувається зниження максимально можливого вмісту розчинного в ній кисню з 12,81 до 8,27 мг/л. Такі зміни характерні для весняно-літнього та літньо-осіннього періодів року та є індикаторами чистої води.

Визначення відносного вмісту кисню у воді та оцінка її якості з характеристикою рівня забруднення домішками за цим показником (Завдання 3)

Відносний вміст кисню у воді, виражений у відсотках порівняно з його нормального вмістом, **називається ступенем насичення води киснем** - M , %, . Цей параметр обчислюється за наступною формулою 7.3:

$$M = (x \cdot 1013,08 \cdot 100) / x_n \cdot P, \quad (7.3)$$

де x – фактична концентрація кисню у воді, мг/дм³; x_n – нормальна концентрація кисню, мг/дм³; P – атмосферний тиск, гПа.

Вміст розчиненого кисню слугує непрямою характеристикою **оцінки якості поверхневих вод**. За цим показником їх встановлюють рівень забруднення води домішками та клас її якості відповідно до табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Рівні забруднення та класи якості поверхневих вод за вмістом розчиненого в воді кисню

Рівень забрудненості води та клас якості	Вміст розчиненого кисню		
	літо, мг/дм ³	зима, мг/дм ³	ступінь насичення, %
Дуже чисті, I клас	9	14–13	95
Чисті, II клас	8	12–11	80
Помірно забруднені, III клас	7–6	10–9	70
Забруднені, IV клас	5–4	5–4	60
Брудні, V клас	3–2	5–1	30
Дуже брудні, VI клас	0	0	0

Для розчиненого кисню ВООЗ не пропонує будь-якої величини за показниками його впливу на здоров'я. Однак значне швидке зниження вмісту кисню у воді вказує на її хімічне та/або біологічне забруднення. В свою чергу, виснаження розчиненого кисню в системах водопостачання може сприяти мікробіологічному відновленню нітратів у нітрити і сульфатів в сульфіді, що спричиняє появу специфічного запаху. Зменшення кількості кисню призводить також до підвищення концентрації двовалентного заліза в розчині й ускладнює його видалення. Водночас за певних умов розчинений кисень надає воді корозійних властивостей щодо металів і бетону. Для поверхневих вод нормальним вважається ступінь насичення не менше 75%.

Практичне визначення відносного вмісту кисню у воді

Використовуючи обчислені вище нормальні значення вмісту кисню за 5, 10, 15, 20 і 25°C, визначити відносний вміст кисню у воді й оцінити якість поверхневих вод за його вмістом. Вихідні дані та результати подано в таблиці 7.3

Таблиця 7.3 – Вихідні дані та результати оцінки забруднення води (приклад)

ВИХІДНІ ДАНІ			РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ	
Температура води	Фактична концентрація кисню у воді, мг/дм ³	Атмосферний тиск, гПа.	Відносний вміст розчиненого кисню, %	Якісний рівень забруднення води та клас якості за вмістом кисню
5	10	1060	74,6	3
10	4	980	36,5	5
15	6	1005	59,8	4
20	8	1020	87,3	2
25	2	990	24,7	6

Контрольні питання:

1. Для чого необхідно контролювати розчинений кисень в природних поверхневих водоймах?
2. В якому діапазоні має перебувати розчинений кисень у природних водоймах?
3. Який прилад дозволяє виміряти розчинений у воді кисень?
4. Охарактеризуйте залежність розчиненого кисню від температури?
5. Яким чином визначається якість поверхневих вод за результатами вимірювання розчинного кисню?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

Тема: Комплексне оцінювання екологічної небезпеки природних та техногенних об'єктів за рівнем їх впливу на основні компоненти навколишнє середовище та довкілля в цілому.

Мета роботи: Експертне оцінювання якості основних компонентів довкілля: атмосфери, гідросфери, літосфери, грантів, біоти у кількісній формі з наступним визначенням екологічної небезпеки впливу техногенних чинників на перелічені компоненти та довкілля в цілому окремі в кількісно-якісній формі за уніфікованою методикою.

Матеріали та обладнання: статистичні дані з відкритих джерел (реєстри ОВД, регіональні доповіді про стан навколишнього середовища, якість його основних компонентів, екологічні паспорти) що містять загальні характеристики промислових підприємств та опис їх виробничих процесів і технологій, включаючи природоохоронні, картографічні матеріали або аерофотознімки високої розділової якості територій розташування промислових підприємства, а також *MS Excel*.

В результаті виконання роботи очікуються наступні **результати навчання:**

❖ Знати показники якості навколишнього середовища, як системи, методологію системного аналізу та загальні методи й моделі системного аналізу в екології

❖ Проводити аналіз потенційного антропогенного впливу на

навколишнє середовище

❖ Вибирати методи й моделі системного аналізу, проводити системні дослідження якості повітряного й водного середовищ, а також якості ґрунтів різного призначення

❖ Знати алгоритми й технології проведення системних досліджень якості атмосферного повітря, води поверхневих водойм і водотоків та ґрунтів різного призначення

❖ Володіти методикою комплексного оцінювання екологічної небезпеки промислових об'єктів.

Завдання роботи:

1. Зібрати загальні дані про певне промислове підприємство, його основні виробничі процеси та структуру.

2. Провести експертне оцінювання якості основних компонентів довкілля у кількісній формі за екологічним впливом кожного виробничого процесу, об'єкту обраного підприємства або технології на певний компонент довкілля

3. Виконати комплексну кількісно-якісну оцінку рівня екологічної небезпеки експлуатації обраного підприємства або технології шляхом формування інтегрованої таблиці розрахованих кількох якісних показників з наступним відображенням їх на діаграмі Парето.

4. Зробити висновки за результатами кількісно-якісної оцінки екологічної небезпеки для довкілля від діяльності підприємства.

Порядок виконання

1. Методологічний підхід до комплексного оцінювання впливу техногенних чинників на довкілля та його компоненти

Критеріями впливовості того чи іншого чинника на якісний стан основних компонентів довкілля можуть виступати інтенсивність, періодичність та наслідки впливу виробничих, та інших техногенних процесів, що їх супроводжують. Рівень впливовості варто оцінювати у балах за результатами аналізу наукових (літературних) джерел щодо стану об'єктів довкілля, візуальних спостережень за ними, вимірів показників, що характеризують їх стан (за допомогою приладів і лабораторних аналізів), досліджень об'єктів на моделях тощо.

Такий методологічний підхід фактично базується на експертному оцінюванні впливу певних промислових об'єктів на рівні екологічної небезпеки цих об'єктів, як на окремі компоненти навколишнього середовища, так і для довкілля в цілому. Для його реалізації на базі кафедри екології та ТЗНС НТУ «ДП» було запропоновано **уніфіковану методику комплексного оцінювання екологічної небезпеки техногенного впливу на довкілля.**

Оцінювання впливу певних чинників за методикою запропоновано за шкалою з 4-х балів (0, 1, 2, 3), а потім комплексне – за підсумковою 15-бальною шкалою, рівномірно поділеною на три якісних рівня екологічної небезпеки, що будуть наведені нижче. Така дворівнева оцінка дозволяє кількісно-якісним експертним шляхом оцінювати та порівнювати за впливом на довкілля різні техногенні об'єкти, включаючи промислові підприємства, шахти, металургійні

заводи, певні виробничі технології, зокрема способи ліквідації шахт, керування відходами тощо, а також оцінювати ефективність реалізації природоохоронних заходів та технічних рішень і технологій, спрямованих на поліпшення якості довкілля техногенно навантажених регіонів.

Основні положення й етапи уніфікованої методики комплексного оцінювання екологічної небезпеки техногенного впливу на довкілля

Етап 1. Проводиться обстеження певного промислового регіону, виконується ідентифікація видів і джерел екологічної небезпеки, визначаються пріоритетні чинники певного виробництва чи технології, які визначають стан компонентів довкілля регіону, за впливом яких у подальшому визначатиметься комплексний рівень їх екологічної небезпеки.

Пріоритетні чинники доцільно обирати за інтенсивністю впливу на довкілля на основі наявних або апріорних даних, тобто на основі аналізу даних відповідного напрямку про характер і наслідки забруднення об'єктів довкілля в результаті функціонування певних промислових об'єктів або запровадження технологій.

Також можливе використання даних статистичних звітів про обсяги викидів та скидів забруднюючих речовин, обсяги утворення та утилізації відходів, інформації про рекультивацію порушених земель та про ефективність застосовуваних природоохоронних заходів.

Обрані пріоритетні чинники, загальна кількість яких може дорівнювати n , заносять в табл. 8.1 (стовбець 2), подану у вигляді типової форми, подальше заповнення якої проводиться згідно з наступними етапами.

Таблиця 8.1 – Комплексна оцінка рівня екологічної небезпеки техногенних наслідків функціонування промислового об'єкта чи технології, як чинники негативного впливу на довкілля та його основних компоненти

№	Техногенні наслідки функціонування промислового об'єкта чи технології, як чинники негативного впливу на довкілля	Оцінка екологічного впливу чинників на основні компоненти довкілля, в балах – A_{ni}					Сумарні оцінки за окремими чинниками впливу
		Атмо-сфера	Гідро-сфера	Літо-сфера	Ґрунти	Біота	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Назва чинника 1, (Міграція викидів оксиду азоту)	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	$\sum_1^5 A_{1i}$
2	Назва чинника 2, (Міграція викидів оксиду вуглецю)	A_{21}	A_{22}	A_{23}	A_{24}	A_{25}	$\sum_1^5 A_{2i}$
...	... (Міграція викидів двооксиду сірки)	...	...	...	...	...	...
n	Назва чинника n (Забруднення прилеглих до СЗЗ територій осілим пилом)	A_{n1}	A_{n2}	A_{n3}	A_{n4}	A_{n5}	$\sum_1^5 A_{ni}$

1	2	3	4	5	6	7	8
I	Сумарні бали за всіма чинниками впливу: суми значень стовбців 3-8	$\sum_1^n A_{n1}$	$\sum_1^n A_{n2}$	$\sum_1^n A_{n3}$	$\sum_1^n A_{n4}$	$\sum_1^n A_{n5}$	$\sum_1^n \sum_1^5 A_{ni}$
II	Середні бали: середні значення стовбців 3-8	$\bar{A}_{n1}$	$\bar{A}_{n2}$	$\bar{A}_{n3}$	$\bar{A}_{n4}$	$\bar{A}_{n5}$	КРЕН
III	Загальний стан компонентів довкілля в регіоні – евристичні або експертні оцінки *	A_{e1}	A_{e2}	A_{e3}	A_{e4}	A_{e5}	$\sum_1^5 A_{ei}$

Примітка. *Загальний стан компонентів довкілля в регіоні A_{ei} , отриманий на основі евристичного або експертного оцінювання, що наводиться в рядку III, слугує орієнтиром, їх сума $\sum_1^5 A_{ei}$ – певною мірою достовірності розрахункової величини КРЕН.

Зауважимо, що у рамках даної лабораторної роботи техногенними наслідками функціонування промислового об'єкта можуть виступати окремі чинники негативного впливу, що по різному впливають на окремі компоненти навколишнього середовища, наприклад: викиди двооксидів сірки та азоту; викиди оксиду вуглецю; викиди суспендованих частинок у вигляді пилу (інертні частинки, частинки свинцю, цинку, кадмію тощо); скиди забрудненої води (з низьким рівнем кисню, з високим рівнем БСК, з підвищеним рівнем важких металів і т.д); складування відходів (відвали гірської породи, металургійного шлаку, накопичення шлаків тощо).

Етап 2. Проводиться оцінювання екологічного впливу кожного n -го чинника на кожний i -ий компонент довкілля ($i=5$) в балах – A_{ni} за 4-бальною шкалою, враховуючи інтенсивність та характер викидів чи скидів підприємства у часі та взаємний зв'язок забруднювачів, відповідно до схеми (рис.):

0 – вплив відсутній, тобто суб'єктивно не відчутний і відповідає існуючим нормам, встановленим для певного з компонентів довкілля;

1 – мінімальний або опосередкований вплив, рівень якого наближений до граничних нормативних значень, але їх не перевищує (опосередкований вплив проявляються не прямо, а через інші показники);

2 – періодичний безпосередній або опосередкований вплив, тобто прямі і не прямі показники перевищують встановлені норми у певному відсотку випадків;

3 – безперервний безпосередній вплив, тобто спостерігається постійне перевищення нормативних показників.

Значення A_{ni} заносять у відповідні клітини табл. 1, що розташовані на перехрестях рядків від 1 до n -го та стовпців 3-7).

Оцінки, що перевищують 0 балів свідчать про впливовість того чи іншого обраного для аналізу чинника, тобто дозволяють залишити певний чинник для подальшого комплексного оцінювання рівня екологічної небезпеки досліджуваного промислового об'єкта. Якщо для певного n -го чинника буде виставлено п'ять нулів, то очевидно чинник виключають, як не впливовий.

Етап 3. Виконується аналітична обробка виставлених оцінок A_{ni} шляхом обчислення сум відповідних стовпчиків, позначених у рядку I та середніх балів

$\bar{A}_{ni}$ у рядку II: $\bar{A}_{n1} = \frac{1}{n} \sum_1^n A_{n1}$; $\bar{A}_{n2} = \frac{1}{n} \sum_1^n A_{n2}$; $\bar{A}_{n3} = \frac{1}{n} \sum_1^n A_{n3}$; $\bar{A}_{n4} = \frac{1}{n} \sum_1^n A_{n4}$; $\bar{A}_{n5} = \frac{1}{n} \sum_1^n A_{n5}$, що

фактично визначають вплив всіх обраних пріоритетних чинників на частинний рівень екологічної небезпеки (ЧРЕН), тобто відповідно на атмосферу, гідросферу, літосферу, ґрунти і біоту за шкалою 0–3.

Остання середня: $\text{КРЕН} = \frac{1}{n} \sum_1^n \sum_1^5 A_{ni}$ – характеризує комплексний рівень екологічної небезпеки певного виробництва чи технології на довкілля за кумулятивною шкалою від 0 до 15, що визначається сумациєю частинних рівнів екологічної небезпеки, тобто сумациєю $\bar{A}_{ni}$ (значень ЧРЕН). Зауважимо, що величина КРЕН визначається як сумою рядка II, так і стовпчика 8, збіг значень яких підтверджує правильність виконання розрахунків.

Етап 4. За визначенням на етапі 3 кількісним рівнем екологічної небезпеки, тобто за значенням КРЕН, визначають якісний рівень екологічної небезпеки, залежно від цього величини, як показано в табл. 8.2.

Таблиця 8.2 – Кількісно-якісна шкала комплексної оцінки рівня екологічної небезпеки – КРЕН

Діапазон комплексних оцінок (КРЕН)	Рівень небезпеки
0–5	низький
5–10	помірний
10–15	високий

Етап 4. Для графічного відображення результатів запропонованого оцінювання екологічного впливу техногенних чинників промислових об’єктів чи технологій на компоненти довкілля будують діаграму Парето: <https://www.sixsigma.com> яку наведено на рис. 8.2. Користуючись засобами *MS Excel* слід обрати тип діаграми – нестандартна, а далі графік/гістограма 2 вісі.

Важливо, що остання точка діаграми 2 на рис. 8.2 і визначає комплексний рівень екологічної небезпеки (КРЕН) промислових об’єктів чи технологій для довкілля. Саме за цим рівнем є можливість оцінювати і порівнювати екологічну небезпеку промислового виробництва і різних технологій. При цьому нанесення на діаграму одразу декількох результатів оцінювання екологічного впливу техногенних чинників промислових об’єктів чи технологій на компоненти довкілля дозволяє наглядно порівнювати екологічний вплив в цілому на довкілля, як різних промислових виробництв або технологій, так і екологічну ефективність технологій, спрямованих на покращення екологічного стану територій та регіону в цілому.

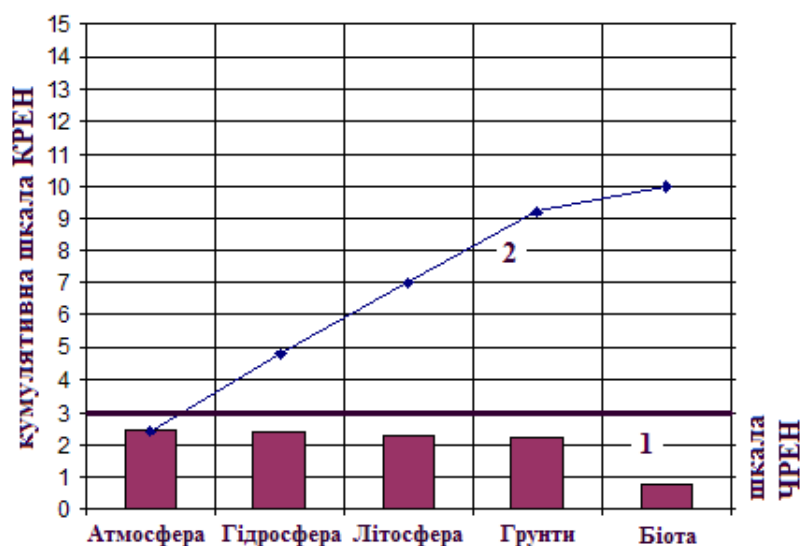


Рис. 8.2 – Зразок діаграми екологічного впливу техногенних чинників промислових об’єктів чи технологій на компоненти довкілля: 1 – стовпчаста діаграма значень частинних рівнів екологічної небезпеки (ЧРЕН) з максимально можливим значенням 3; 2 – діаграма (графік) значень КРЕН, отриманих почерговою сумацією стовпчиків діаграми 1, з максимально можливим значенням 15, відповідно до кумулятивної шкали

Приклад практичної реалізація уніфікованої методики

Визначення рівня екологічної небезпеки, обумовленої впливом техногенних чинників на довкілля при експлуатації або ліквідації вугільних шахт. В результаті обстеження територій вугледобувних регіонів та аналізу процесів вуглевидобутку підземним способом за їх можливим екологічним впливом виокремлено 16 основних техногенних чинників, що є наслідками експлуатації або ліквідації вугільних шахт. Результати наведені в табл. 8.3.

Таблиця 8.3 – Комплексна оцінка рівня екологічної небезпеки експлуатації типової вугільної шахти для довкілля

№	Техногенні наслідки експлуатації шахти, як чинники негативного впливу на довкілля	Евристична оцінка екологічного впливу чинників на об’єкти довкілля, в балах					Сумарні оцінки за окремими чинниками впливу
		Атмосфера	Гідросфера	Літосфера	Ґрунти	Біота	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Зміна (зниження) стійкості та міцності гірських порід	0	2	3	2	1	8
2	Деформація масиву гірських порід	0	3	3	3	3	12
3	Просідання земної поверхні	0	3	3	3	3	12
4	Водонасичення масиву гірських порід	0	3	3	2	2	10
5	Порушення гідрологічного режиму	0	3	3	3	2	11
6	Виснаження водоносних горизонтів	0	3	2	3	2	10

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Забруднення поверхневих водних об'єктів	0	3	2	1	2	8
8	Міграція забруднюючих речовин (викиди, скиди, відходи тощо)	2	2	2	2	2	10
9	Змішування шахтних вод з питними водами підземних горизонтів	0	3	1	2	2	8
10	Підтоплення та заболочування земель	0	3	3	3	3	12
11	Відведення земель під породні відвали	1	1	3	3	2	10
12	Відведення земель під відстійники шахтних вод	0	2	3	3	2	10
13	Горіння та пиління відвалів	3	1	1	2	2	9
14	Деформації і руйнування будівель та об'єктів інфраструктури	1	2	3	3	2	11
15	Утворення вибухонебезпечних метано-повітряних сумішей	3	1	1	2	3	10
16	Емісія шахтних газів на земну поверхню	3	1	2	2	2	10
I	Сумарні бали за всіма чинниками впливу	13	36	38	39	35	161
II	Середні бали	0,81	2,25	2,38	2,44	2,19	10,07
III	Загальний стан компонентів довкілля в регіоні (експертиза)	3	3	3	1	3	13

Графічне відображення результатів оцінювання екологічного впливу техногенних наслідків функціонування вугільної шахти на етапах експлуатації, а також для порівняння при «сухій» та «мокрій» її ліквідації на компоненти довкілля як приклад наведені на рис. 8.3.

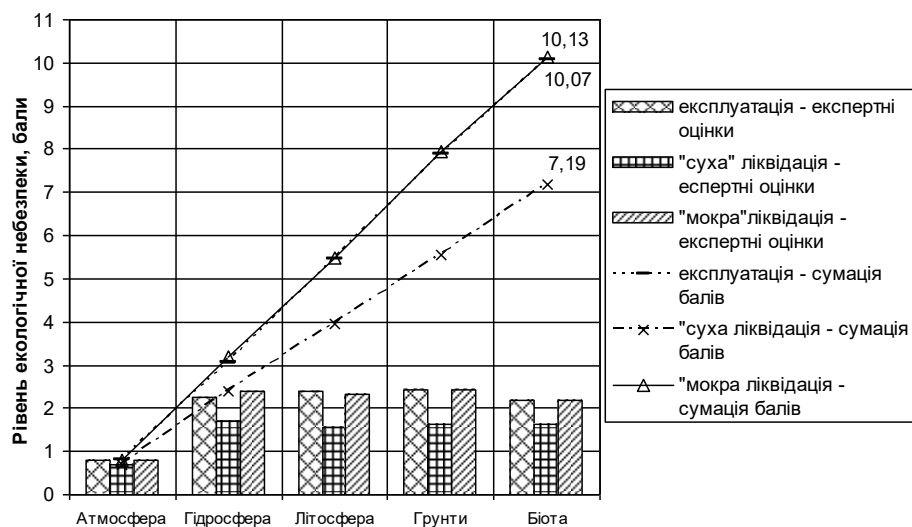


Рис. 8.3 – Рівні екологічної небезпеки техногенних наслідків функціонування вугільних шахт на компоненти довкілля і на довкілля в цілому при експлуатації та «сухій» і «мокрій» ліквідації шахт

Як бачимо діаграма у межах загальної шкали 0–15 наочно характеризує рівні екологічної небезпеки функціонування та ліквідації вугільних шахт для кожного з 5-ти компонентів довкілля (стовбчасті гістограми за шкалою 0–3 бали, побудовані за середніми балами, що наведені у рядку II табл. 8.2) та в цілому для довкілля у вугледобувних регіонах (графіки з маркерами за 15-бальною шкалою, що отримані як результат сумачії відповідних стовбчастих гістограм у разі експлуатації діючих шахт та при «сухій» і «мокрій» їх ліквідації).

Таким чином, комплексну кількісно-якісну оцінку рівня екологічної небезпеки на територіях промислових регіонів запропоновано визначати за підсумковою 15-бальною шкалою, рівномірно поділеною на три рівня небезпеки: «низький» (0–5 балів), «помірний» (5–10 балів), «високий» (10–15 балів), що дозволяє кількісно і якісно оцінити та порівняти за рівнем екологічної небезпеки не тільки промислові виробничі процеси, а, зокрема, і ефективність реалізації природоохоронних технологій або рішень та заходів, впровадження яких відповідно вплине на стан довкілля, міру якого дозволять визначити запропоновані комплексні оцінки.

Контрольні питання:

1. У чому полягає сутність метода експертної оцінки та коли його доцільно застосовувати?
2. Яким чином визначається комплексний рівень екологічної небезпеки функціонування певного промислового підприємства?
3. Які зазвичай техногенні наслідки експлуатації притаманні підприємствам гірничо-металургійної галузі?
4. Які відкриті джерела доцільно використовувати для збору даних про певне промислове підприємство?
5. Яким чином інтерпретується комплексний рівень екологічної небезпеки?

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Навчальні досягнення здобувачів вищої освіти за результатами вивчення курсу загалом оцінюватимуться за шкалою, що наведена нижче:

Рейтингова шкала	Інституційна шкала
90–100	відмінно
74–89	добре
60–73	задовільно
0–59	незадовільно

Здобувачі вищої освіти можуть отримати підсумкову оцінку з навчальної дисципліни на підставі поточного оцінювання знань за умови, якщо набрана кількість балів складатиме не менше як 60 балів.

Максимальне оцінювання:

Теоретична частина	Практична частина		Разом
	При своєчасному складанні	При несвоєчасному складанні	
60	40	30	100

Лабораторні роботи приймаються за контрольними запитаннями до кожної роботи.

Критерії оцінювання практичної роботи

За кожну лабораторну роботу здобувач вищої освіти може отримати наступну кількість балів:

5 балів: отримано правильну відповідь на контрольні запитання, з поясненням змісту окремих складових лабораторної роботи.

4 бали: отримано правильну відповідь з незначними неточностями згідно з еталоном, відсутня формула та/або пояснення змісту окремих складових, або не зазначено одиниці виміру.

3 бали: отримано неправильну відповідь, проте використано формулу з поясненням змісту окремих її складових, зазначено одиниці виміру.

2 бали: отримано неправильну відповідь, проте використано формулу без пояснень змісту окремих її складових та не зазначено одиниці виміру.

1 бал: наведено неправильну відповідь, до якої не надано жодних пояснень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Базова

1. **Стандарт вищої освіти підготовки магістрів зі спеціальності 101 «Екологія»**. СВО-2018. Київ : МОН України, 2018. 15 с.
2. **Стандарт вищої освіти підготовки магістра зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»**. СВО-2020. Київ : МОН України, 2020. 15 с.
3. Коробкова Г. В., Коляда О. В., Головань Л. В. **Системний аналіз якості навколишнього середовища** : навч. посіб. Харків : ДБТУ, 2025. 162 с.
4. Душечкіна Н. Ю. **Системний контекст аналізу якості навколишнього середовища** : навч. посіб. Умань : Візаві, 2024. 165 с.
5. Про затвердження методичних рекомендацій «Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря» : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 18.11.2023 р. № 1811. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1811282-23#Text> (дата звернення: 22.09.2026).

Додаткова

1. Колесник В. Є., Павличенко А. В., Бучавий Ю. В., Кулікова Д. В. **Системний аналіз якості навколишнього середовища** : навч. посіб. для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища». Дніпро : Національний гірничий університет, 2018. 52 с.
2. Колесник В. Є., Павличенко А. В., Бучавий Ю. В., Кулікова Д. В. **Системний аналіз якості навколишнього середовища** : метод. рек. до виконання курсової роботи для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища». Дніпро : НГУ, 2018. 52 с.
3. Колесник В. Є., Павличенко А. В., Бучавий Ю. В. Уніфікована методика комплексного оцінювання рівня екологічної небезпеки промислових об'єктів та технологій // **Техногенно-екологічна безпека**. 2018. № 3 (1). С. 64-69.
4. Колесник В. Є., Павличенко А. В., Монюк І. В. Обґрунтування розрахункового методу оперативного визначення поточних викидів міських котелень, показників їх енергоефективності та ступеня екологічної небезпеки // **Збірник наукових праць Національного гірничого університету**. 2020. № 60. С. 162-176. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/60.162>.
5. Колесник В. Є., Бучавий Ю. В., Рудченко А. Г. Встановлення кореляційного зв'язку між показниками ресурсозбереження та екологічної безпеки // **Збірник наукових праць Національного гірничого університету**. 2025. № 80. С. 288-300. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/80.288>.
6. Міронов І. В., Колесник В. Є., Бучавий Ю. В. Аналіз шкоди від бойових дій для земельних ресурсів із застосуванням дистанційних методів та ГІС-технологій // **Збірник наукових праць Національного гірничого університету**. 2025. № 80. С. 301-314. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/80.301>.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	3
ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН ТА ІНШИХ ТЕХНОГЕННИХ ЧИННИКІВ НА ЯКІСТЬ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЙОГО КОМПОНЕНТИ.....	4
ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	6
1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1	7
2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2	11
3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3	19
4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4	32
5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5	40
6. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6	57
7. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7	67
8. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8	72
КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	81

Навчальне видання

Колесник Валерій Євгенійович
Бучавий Юрій Володимирович

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
для здобувачів ступеня магістра освітньо-професійної програми «Екологія» зі спеціальності Е2 Екологія та освітньо-наукової програми «Ресурсозбереження в гірничо-металургійному комплексі» зі спеціальності G2 Технології захисту навколишнього середовища

Видано в авторській редакції.

Електронний ресурс.
Підписано до видання 01.09.2026. Авт. арк. 3,9.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».
49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19.