

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання розрахунково-графічної роботи

з навчальної дисципліни

«САНІТАРНИЙ КОНТРОЛЬ ВОДОГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ»

*(для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
всіх форм навчання спеціальності*

194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2022

Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Санітарний контроль водогосподарської діяльності» (для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня всіх форм навчання спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Г. І. Благодарна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 56 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. Г. І. Благодарна

Рецензент **І. М. Чуб**, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод, протокол № 1 від 1 вересня 2021 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ.....	5
Завдання 1 Органолептичне дослідження води різних джерел водопостачання.....	5
Завдання 2 Санітарна оцінка джерела централізованого господарсько-питного водопостачання.....	9
Завдання 3 Визначення меж зон санітарної охорони водозаборів.....	12
Завдання 4 Визначення санітарних умов випуску стічних вод у водойми.....	20
Завдання 5 Оцінка ризику для здоров'я населення при хімічному забрудненні питної води.....	29
2 КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ.....	51
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53
ДОДАТКИ.....	54

ВСТУП

Вода – найважливіший компонент природного середовища. Проблеми, пов'язані з її використанням, дуже тісно переплітаються. Не можна переоцінити вплив водного середовища на живі організми. У зв'язку з цим водогосподарська діяльність людей у всьому світі повинна забезпечувати покращення санітарно-гігієнічних умов життя населення, зменшувати шкідливий вплив на здоров'я людини подразників, пов'язаних з життєдіяльністю людини.

Мета розрахунково-графічної роботи – застосування усіх знань та вмінь з курсу «Санітарний контроль водогосподарської діяльності».

У процесі виконання розрахунково-графічної роботи студенти закріплюють одержані теоретичні і практичні знання щодо вирішення завдань в області санітарії та гігієни водопостачання та водовідведення, опановують навички роботи з науково-технічною, довідковою літературою.

У методичних вказівках для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня усіх форм навчання даються методичні рекомендації щодо виконання розрахунково-графічної роботи (РГР), яка передбачає вирішення завдань, пов'язаних з санітарним контролем водогосподарською діяльністю, щодо гігієнічних вимог до якості води для водогосподарської діяльності, санітарної охорони водних ресурсів, санітарних вимог до розміщення та експлуатації водогосподарських об'єктів.

1 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Розрахунково-графічну роботу оформлюють у вигляді записки, яка має такі елементи:

- **Титульний аркуш**, який виконують за відповідною формою (дод. А);
- **Зміст**;
- **Розділи основної частини (завдання)**;
- **Список джерел**.

Орієнтовний обсяг записки 10–15 сторінок друкарського тексту із полуторним міжрядковим інтервалом. Графічна частина може виконуватися студентом за допомогою ПЕОМ або на міліметровій папері.

При оцінці РГР враховуються правильність вирішення завдань, повнота і якість оформлення роботи, систематичність виконання і підготовленість студента до захисту роботи.

ЗАВДАННЯ 1 ВИЗНАЧЕННЯ ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВОДИ

Завдання

Користуючись органолептичними методами дослідження, визначити колір, запах, смак, прозорість різних типів води: водопровідної, річкової та взятої з пляшок різних виробників (столова, мінералізована, напій); провести органолептичне дослідження. Заповнити Протокол досліджень (дод. Б).

Джерело води студент обирає самостійно.

Вказівки до виконання завдання

Методи дослідження, при яких пізнання зовнішніх і частково деяких внутрішніх властивостей об'єкту зовнішнього середовища проводиться за допомогою органів чуття, називаються *органолептичними*.

Внаслідок простоти, доступності й високої чутливості органолептичні методи набули великого поширення в санітарній практиці.

При органолептичному методі враховують такі ознаки об'єкту, як забарвлення, форма, консистенція, колір, запах, смак, наявність сторонніх включень і домішок. Найчастіше ці ознаки оцінюють при санітарному обстеженні води, повітря, ґрунту, харчових продуктів. Зміна зовнішнього вигляду цих об'єктів часто є передумовою для проведення ширших гігієнічних досліджень з метою визначення ступеня санітарного неблагополуччя об'єкту і, отже, можливого шкідливого впливу його на організм. Різка зміна одного або декількох зовнішніх ознак може розцінюватися як показник санітарного неблагополуччя об'єкту. Так, поява запаху води, різкої каламутності або

наявність видимих включень є приводом для відмови населення від користування цією водою.

Враховуючи достатню інформативність органолептичних ознак відносно оцінки санітарного стану різних об'єктів зовнішнього середовища, багато зовнішніх ознак введені в ДСТУ і нормативні документи як критерії, що визначають ступінь санітарного благополуччя об'єкту. Так, при санітарній оцінці води враховують її прозорість, запах, колір і смак. Прозорість води є важливою ознакою її доброякісності. Каламутна питна вода зовні неприємна і підозріла в епідемічному відношенні. Прозорість води залежить від наявності механічних завислих частинок або від певних хімічних сполук, що випадають у воді у вигляді пластівців (наприклад, гідрат окислу заліза). У природних водоймищах прозорість води визначається особливостями геологічної будови порід, умовами формування водних джерела, ступенем забруднення.

У природних водоймищах прозорість води оцінюється в сантиметрах або метрах товщини води, через яку є чітко видимим білий емальований або фаянсовий диск діаметром не більше 30 см. У лабораторних умовах прозорість води оцінюється якісно шляхом порівняння прозорості досліджуваної води із дистильованою, наливою в безколірний циліндр або склянку заввишки 40 см і шириною 3–5 см. Візуально ступінь прозорості води оцінюють за наступною шкалою: прозора, слабо опалесцююча, опалесцююча, слабо мутна, каламутна, дуже мутна. Кількісний спосіб визначення прозорості полягає в тому, що досліджувану воду після перемішування наливають в безколірний циліндр із прозорим плоским дном. Циліндр ставлять на друкарський шрифт Снеллена № 1 і дивляться через стовп води зверху вниз, випускаючи воду із циліндра через нижній отвір до тих пір, поки через стовп води, що залишився, можна буде чітко прочитати шрифт. Прозорість визначається висотою стовпа води в сантиметрах. Якщо стовп води вище 30 см, то вода оцінюється як прозора. Вода із прозорістю від 20 до 30 см вважається слабо мутною, від 10 до 20 см – мутною, менше 10 см – дуже мутною.

Ознаками, що визначають доброякісність води, є запах, смак, наявність присмаків. Проби води для визначення запаху, смаку, присмаку і кольоровості не консервуються. Визначення проводять не пізніше ніж через 2 години після відбору проби. Доброякісна вода не має запаху. Наявність запаху робить воду неапетитною. Деякі запахи визначаються органічним забрудненням і дають привід вважати її підозрілою в епідемічному відношенні.

Запахи можуть бути природного і штучного походження. Природні запахи виникають при цвітінні водойм, пов'язані з розкладанням органічних речовин рослинного походження; торф'яний, болотистий ґрунт також надає воді певний запах. Запахи штучного походження пов'язані із забрудненням водойм промисловими стічними водами, стоками із вигребів, із хлоруванням води тощо.

Запах води визначають таким чином: у колбу з широким горлом місткістю 250–300 мл наливають 100 мл води, закривають колбу склом, вміст струшують, проводячи обертальні рухи, потім знімають скло, направляють потік повітря із колби до обличчя досліджуваного і визначають характер й інтенсивність запаху. Таким же чином визначають запах підігрітої води. Запах води позначається

термінами: землистий, болотистий, аптечний, гнильний, хлорний, вуглеводневий, рибний, сірководневий тощо.

Кількісну оцінку запаху води проводять шляхом визначення інтенсивності за п'ятибальною шкалою (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Кількісна оцінка запаху води

Інтенсивність запаху	Оцінка в балах	Характер появи запаху
Немає	0	Запах не відчувається
Дуже слабкий	1	Запах не визначається споживачем, але виявляється при лабораторному дослідженні
Слабкий	2	Запах помічається споживачем, якщо звернути на нього увагу
Помітний	3	Запах легко помічається і викликає несхвальний відгук про воду
Сильний	4	Запах звертає на себе увагу і примушує утримуватися від пиття
Дуже сильний	5	Запах настільки сильний, що робить воду непридатною для пиття

Запахи води тісно пов'язані зі смаком. Розрізняють *чотири основні смакові відчуття*: солоне, гірке, кисле, солодке. Всі інші смакові відчуття називаються *присмаками*. Сила смакового відчуття залежить від концентрації і температури дратівливої речовини. Дослідження води на смак можливо тільки для вод свідомо нешкідливих. У сумнівних випадках воду слід прокип'ятити, охолодити до 15–20°C і тільки потім пробувати на смак. Для визначення смаку воду набирають в рот малими порціями, тримають у роті декілька секунд, не проковтуючи.

Питна вода звичайно має приємний освіжаючий смак, без стороннього присмаку. Присмак води частіше залежить від підвищених концентрацій деяких мінеральних солей в ній. Солі заліза в кількості більше 0,5 мг/дм³ додають воді чорнильний присмак; солі важких металів – терпкий, сірчаноокислі й фосфорноокислі солі в кількості більше 100 мг/дм³ – гіркий присмак, при вмісті хлоридів 200–300 мг/дм³ вода набуває солонуватий присмак, а при концентрації більше 500 мг/дм³ – явно солоний смак. Можливий присмак від хлору, що залишається після знезараження води. Забруднення води органічними речовинами тваринного походження додає воді неприємний смак.

Характер смаку виражається позначеннями: солоний, гіркий, кислий, солодкий; присмаки – рибний, металевий, хлорний тощо.

Кількісну оцінку смаку і присмаку води проводять за п'ятибальною шкалою (де це можливе) (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Кількісна оцінка смаку і присмаку води

Оцінка інтенсивності смаку і присмаку в балах	Інтенсивність смаку і присмаку	Характер прояву смаку і присмаку
0	Ні	Смак і присмак не відчуються
1	Дуже слабкий	Смак і присмак не відчуються споживачем, але виявляються при лабораторному дослідженні
2	Слабкий	Смак і присмак помічаються споживачем, якщо звернути на це увагу
3	Помітний	Смак і присмак легко помічаються і викликають неохвальний відгук про воду
4	Чіткий	Смак і присмак звертають на себе увагу і примушують утриматися від пиття
5	Дуже сильний	Смак і присмак настільки сильні, що роблять воду непридатною до вживання

Зміна кольору об'єктів зовнішнього середовища часто є однією з важливих ознак їх санітарного стану. Колір є однією з ознак зовнішнього вигляду об'єкту. Визначення кольору води входить в санітарний аналіз води. Питна вода безколірна. Забарвлення води залежить від багатьох причин. Болотисті води мають жовтуватий відтінок за рахунок домішки гумінових речовин. Домішка глини додає воді молочнуватий відтінок, солей заліза – зеленуватий. Забарвлення води часто залежить від інтенсивного розмноження мікроорганізмів і нижчих рослин. Скидання промислових і господарсько-побутових стічних вод приводить до зміни забарвлення природних вод.

Забарвлення води є причиною відмови від водокористування. Колір води визначають шляхом порівняння із дистильованою водою, наливою в безколірні циліндри, в кількості не менше 40 мл.

Порівняння кольору досліджуваної і дистильованої води проводиться на білому фоні. Завислі частинки у воді додають забарвленню опалесцюючий відтінок, тому перед визначенням кольору досліджувана вода повинна бути профільтована. Колір води характеризується наступними термінами: безколірна, світло-жовта, темно-жовта, бура, світло-зелена, зелена, темно-зелена тощо.

Інтенсивність забарвлення води – кольоровість, визначається кількісно шляхом порівняння випробовуваної води із шкалою стандартних розчинів в умовних градусах.

Приклад оформлення протоколу за темою «Методи органолептичного дослідження різних видів наданої води» приведено у додатку Б.

ЗАВДАННЯ 2

САНІТАРНА ОЦІНКА ДЖЕРЕЛА ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ГОСПОДАРСЬКО-ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Завдання

За результатами аналізу лабораторних досліджень води дати висновок про відповідність якості води ділянки водозабору нормативним вимогам. Відзначити, за якими показниками якість води не відповідає гігієнічним вимогам. Дати рекомендації щодо поліпшення якості питної води, якщо вона не відповідає санітарно-гігієнічним вимогам.

Вихідні дані для виконання завдання студент отримує в Дистанційному курсі з даної дисципліни.

Вказівки до виконання завдання

Позитивну роль у збереженні й зміцненні здоров'я людей, у профілактиці інфекційних та неінфекційних хвороб, у створенні належних санітарно-побутових умов вода відіграватиме лише у разі відповідності її якості певним вимогам. До кожного типу води висувають певні гігієнічні вимоги. Є свій набір науково обґрунтованих гігієнічних нормативів якості води і правил контролю за їх дотриманням. Створено і впроваджено в практику відповідний нормативний документ (державний стандарт), яким повинен керуватися фахівець, даючи гігієнічний висновок про якість води.

Всі показники якості води, виходячи з їх гігієнічного значення, можна розділити на такі групи: 1) органолептичні показники; 2) показники нешкідливості за хімічним складом; 3) показники епідемічної безпеки. Останнім часом в окремі групи виділяють показники радіаційної безпеки і фізіологічної повноцінності води.

Питна вода, яку використовує населення, повинна бути доброякісною, тобто мати добрі органолептичні властивості, бути нешкідливою за хімічним, зокрема радіонуклідним, складом, безпечною в епідемічному відношенні і фізіологічно повноцінною.

Методика оцінювання якості води за даними санітарного обстеження і результатами лабораторного дослідження (методика «читання» аналізу води)

Маючи уявлення про якість води, можна запропонувати заходи щодо профілактики інфекційних і неінфекційних хвороб, які можуть передаватися через воду. Для цього необхідно вміти інтерпретувати аналіз води, тобто зробити висновок про її якість. Методика (алгоритм) «читання» аналізу води складається із 7 етапів.

На **першому етапі** треба встановити тип вимог до якості води. Розрізняють чотири основних типи таких вимог.

Перший тип – це вимоги до якості питної води при централізованому господарсько-питному водопостачанні. Якість її повинна відповідати показникам діючого стандарту (Державні санітарні норми та правила

«Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4–171–10 [1])).

Другий тип – це вимоги до якості колодязної (джерельної) води. Вона повинна також бути якісною і відповідати вимогам ДСанПіН 2.2.4–171–10 [1].

Третій тип – це вимоги до якості води джерел (підземних і поверхневих) централізованого господарсько-питного водопостачання. Вимоги до якості води джерел централізованого водопостачання регламентуються ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання» [2].

Четвертий тип – це вимоги до якості гарячої води, яка повинна відповідати вимогам «Санітарні правила устрою та експлуатації систем централізованого гарячого водопостачання» № 4723-88.

На **другому етапі** треба визначитися, які завдання поставлені перед вами. А саме: зробити висновок про якість питної водопровідної або колодязної води, оцінити якість і ефективність водопідготовки на спорудах водопровідної станції, встановити причину карієсу або флюорозу, причину розвитку у дитячого населення і людей похилого віку метгемоглобемії, з'ясувати причину тієї або іншої інфекції водного походження, визначитися щодо впливу на якість питної води нових реагентів, які використовують на водопровідних станціях або нових полімерних матеріалів, з яких виготовлені конструкції водоочисних споруд або водопровідні труби, тощо.

На **третьому етапі** необхідно визначитися щодо програми і обсягу лабораторних досліджень. Для висновку про якість питної водопровідної води (із крану або вуличної водорозбірної колонки), а також колодязної води згідно із ДСанПіН 2.2.4–171–10 [1] повинні бути досліджені показники епідемічної безпеки питної води (мікробіологічні та паразитологічні), санітарно-хімічні показники безпечності та якості питної води (органолептичні, фізико-хімічні показники, санітарно-токсикологічні показники), радіаційні показники, показники фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води. Визначають також вміст фторидів. Для з'ясування можливої причини карієсу або флюорозу потрібно визначити вміст фтору в питній воді, водно-нітратної метгемоглобемії – концентрацію нітратів, інфекційного захворювання – провести бактеріологічні або вірусологічні дослідження, впливу полімерних матеріалів – відповідні хімічні аналізи тощо.

На **четвертому етапі** перевіряють повноту поданих матеріалів і звертають увагу на терміни виконання досліджень.

Якщо проба води відібрана на водопровідній станції або з водорозбірної колонки чи шахтного колодязя, потрібно навести дані санітарного (санітарно-топографічного, санітарно-технічного, санітарно-епідеміологічного) обстеження і результати лабораторного дослідження води згідно із програмою досліджень.

Якщо проба води відібрана із водопровідного крана, слід навести результати лабораторного дослідження води згідно з відповідною програмою досліджень.

Бактеріологічні дослідження повинні бути проведені впродовж 2 годин після відбору проби або за умов зберігання в холодильнику при температурі

1–8°C – не пізніше ніж через 6 годин. Фізико-хімічний аналіз проводять упродовж 4 годин після взяття проби або за умов зберігання в холодильнику при температурі 1–8°C – не пізніше ніж через 48 годин.

На *п'ятому етапі* аналізують надані матеріали і роблять відповідні висновки за даними санітарного обстеження.

Санітарно-топографічне обстеження є незамінним засобом гігієнічного оцінювання джерела водопостачання, водопровідної станції, водорозбірних колонок, колодязів тощо. Починають з вивчення матеріалів про геологічну будову місцевості, визначають рельєф місцевості, глибину залягання ґрунтових вод, характер ґрунту. При цьому обстежують територію навколо джерела, щоб виявити об'єкти, які забруднюють ґрунт, місця випуску стічних вод, визначають відстань від потенційних джерел забруднення і виявляють їх характеристики.

Під час санітарно-технічного обстеження оглядають джерело водопостачання, його водозабірний пристрій. Звертають увагу на правильність облаштування і експлуатації артезіанської свердловини, шахтного колодязя, вуличної водорозбірної колонки, іншого устаткування. Визначають можливість проникнення забруднень у воду джерела або в підземні води, що живлять його.

Санітарно-епідемічне обстеження джерел водопостачання проводять з метою визначення епідеміологічного стану району, в якому розташоване водне джерело, виявлення хворих і носіїв тих інфекційних захворювань, які можуть передаватися через воду тощо.

На підставі даних санітарного обстеження роблять попередні висновки: чи є підстави підозрювати, що вода може бути забрудненою, неякісною, епідемічно небезпечною; чи є умови для забруднення води в джерелі водопостачання, колодязі, водорозбірній колонці.

На *шостому етапі* аналізують дані лабораторного дослідження води за кожною групою показників (окремо) і роблять висновки.

На підставі результатів лабораторного дослідження води дають якісну і кількісну оцінку. Наприклад, загальна жорсткість води складає 9 мг-екв./дм³. У висновку вказують: «Вода жорстка, із загальною жорсткістю, що перевищує норму 7 мг-екв./дм³». Якщо сухий залишок води 750 мг/дм³, то відзначають: «Вода прісна, оскільки сухий залишок – до 1000 мг/дм³, але підвищеної мінералізації». Якщо запах – 2 бали, присмак – 2 бали, каламутність – 1,5 мг/л, кольоровість – 20°, то висновок буде таким: «Вода без запаху, без присмаку, без кольору, тобто має приємні органолептичні властивості і за цією групою показників відповідає ДСанПіН 2.2.4–171–10 [1]».

На *сьомому етапі* роблять загальний висновок про якість води відповідно до завдання і при необхідності дають рекомендації щодо поліпшення її якості.

ЗАВДАННЯ З ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ЗОН САНІТАРНОЇ ОХОРОНИ ВОДОЗАБОРІВ

Завдання

Визначити і накреслити перший і другий пояси зон санітарної охорони (ЗСО) підземного джерела водопостачання. Розрахувати завдання для двох випадків:

- 1 – свердловина не має зв'язку з поверхневою водоймою;
- 2 – свердловина має зв'язок із поверхневою водоймою.

Вихідні дані для виконання завдання студент отримує в Дистанційному курсі з даної дисципліни.

Вказівки до виконання завдання

Для забезпечення санітарно-епідеміологічної надійності джерел централізованого господарсько-питного водопостачання і водопровідних очисних споруд встановлюють зони санітарної охорони (ЗСО). Їх організовують на всіх водопроводах – річкових і артезіанських, на діючих і споруджуваних або на тих, що тільки Проектуються. Основним завданням ЗСО є охорона від забруднення джерел централізованого водопостачання, місць водозабору, а також водопровідних споруд і територій, що до них прилягають. Проектування і експлуатація ЗСО джерел централізованого водопостачання і водопроводів, що подають воду господарсько-питного призначення, здійснюється відповідно до «Положення про порядок Проектування і експлуатації зон санітарної охорони джерел водопостачання та водопроводів господарсько-питного призначення».

Організацію ЗСО починають з розробки Проекту. Визначають кордони ЗСО та її поясів і намічають план заходів щодо поліпшення санітарного стану ЗСО шляхом усунення існуючого і попередження можливого забруднення джерела централізованого водопостачання і погіршення якості води на етапах забору, водопідготовки і подачі її населенню.

ЗСО включають три пояси особливого режиму.

Перший – пояс суворого режиму – охоплює територію і акваторію розміщення водозаборів, майданчиків головних споруд водопроводу і водопідвідного каналу.

Другий і третій – пояс обмежень і пояс спостережень – охоплюють територію, призначену для охорони від забруднення джерела водопостачання.

Санітарну охорону відводів забезпечують **санітарно-захисною смугою**.

Перший пояс ЗСО (суворого режиму) встановлюють з метою виключення випадкового або навмисного забруднення води в місці розташування водозабору і на етапах водопідготовки на головних очисних спорудах водопроводу. *Другий і третій пояси ЗСО* (обмежень і спостережень) призначені для попередження несприятливого впливу на якість і кількість води використовуваних або тих, що плануються до використання, підземних і поверхневих джерел централізованого господарсько-питного водопостачання.

Для водозаборів з підземних джерел перший пояс ЗСО встановлюють при використанні надійно захищених міжпластових вод – у радіусі не менше 30 м навколо свердловини; недостатньо захищених міжпластових вод – не менше 50 м. При використанні групи підземних водозаборів межа першого поясу повинна знаходитись на відстані не менше 30 і 50 м відповідно від крайніх свердловин (або шахтних колодязів). Межі другого і третього поясів ЗСО встановлюють на підставі гідродинамічних розрахунків.

Розрахункові методи визначення другого поясу ЗСО підземних вододжерел

Другий пояс ЗСО на водопроводі з підземного вододжерела призначений для запобігання мікробного забруднення водоносного горизонту. Зазвичай розміри цього поясу визначаються за воронкою депресії. Якщо вона не відома, то користуються розрахунковим методом. Для цього необхідно знати гідрогеологічні й гідродинамічні параметри, що характеризують рух підземних вод стосовно місцевих умов в районі кожного водозабору.

За умовами безпеки водопостачання в епідеміологічному відношенні важливим параметром при встановленні меж другого поясу є час просування води в природному потоці до водозабору (T , діб) або час, необхідний для самоочищення води підземного водоносного горизонту. Приймається інтервал часу, протягом якого відбувається втрата життєздатності патогенних мікроорганізмів, що потрапили в потік. Вибір розрахункової величини T значною мірою визначається захищеністю водоносного горизонту. Так, при використанні ґрунтових вод T рекомендується приймати 200 діб, міжпластових – $T = 100$ діб. В умовах вірогідного надходження в горизонт сальмонел (наприклад, при сусідстві зі свинарським господарством), здатних виживати у воді до 200 діб, або мікобактерій туберкульозу, що зберігають життєдіяльність в навколишньому середовищі до 300 діб, ці особливості доцільно врахувати при виборі T .

Для визначення необхідної протяжності другого поясу окрім величини T необхідно мати такі характеристики: Q – дебіт водозабору, м³/добу; h – потужність водоносного горизонту, м; i – ухил природного потоку, K – коефіцієнт фільтрації, м/добу (табл. 3.1); μ – активна пористість (відношення об'єму пор до об'єму водоносної породи); q – одинична витрата природного потоку, м/добу ($q = K \cdot h \cdot i$).

За наведеними характеристиками розраховують необхідні для подальшої роботи узагальнені параметри:

– величина відбору води з одиниці потужності водоносного горизонту:

$$A = Q/h; \quad (3.1)$$

– відношення одиничної витрати природного потоку до дебіту водозабору:

$$B = q/Q = K \cdot h \cdot i/Q; \quad (3.2)$$

– об'єм відбору води з урахуванням заданої тимчасової характеристики і пористості породи:

$$C = Q \cdot T/\mu \cdot h. \quad (3.3)$$

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти фільтрації різних видів порід

Характеристика порід	K , м/добу
Добре водопроникні (галечники, крупнозерністі піски)	10
Водопроникні (піски, тріщинуваті породи)	10–1
Слабко водопроникні (мергелі, пісковики, супіски)	1–0,01
Дуже слабо проникні (глинисті, пісковики, супіски, суглинки)	0,01–0,001
Непроникні, практично водотривкі (глини та інші)	0,001

Відповідно до викладеної методики встановлюють протяжність другого поясу від водозабору вгору (R) і вниз (r) по підземному потоку, а також в обидві сторони в напрямках, перпендикулярних до потоку (α) (рис. 3.1).

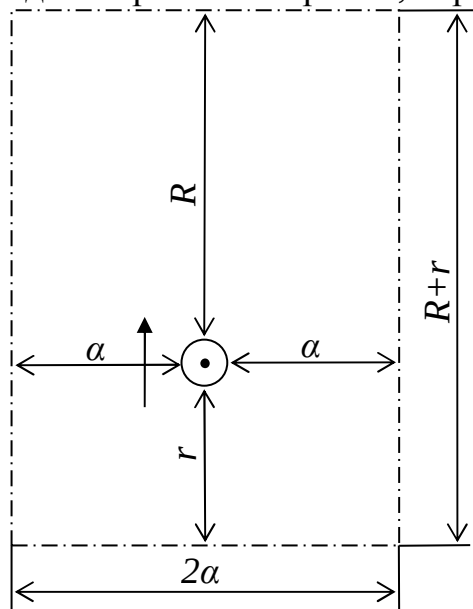


Рисунок 3.1 – Визначення меж 2-го поясу ЗСО:

- r – відстань від місця водозабору до межі СЗЗ проти напрямку перебігу ґрунтових вод;
- R – відстань від місця водозабору до межі СЗЗ за напрямом перебігу ґрунтових вод;
- α – відстань від місця водозабору до межі СЗЗ по перпендикуляру до напрямку перебігу ґрунтових вод

Розрахунки виконують за одним з двох основних варіантів: для водозабору, що не має гідравлічного зв'язку з поверхневим джерелом, або для водозабору, що гідравлічно тісно з ним зв'язаним. Для кожного з варіантів передбачена можливість визначення за графічним або табличним методом з використанням вищевказаних узагальнених параметрів. У випадках з T не більше 100 діб застосовується табличний метод, в інших – графічний.

При визначенні розмірів ЗСО одиночного водозабору, розташованого у віддаленні від поверхневого водних джерела, за графіком (рис. 3.2) із точки на осі абсцис графіку, що відповідає отриманій величині C , встановлюють перпендикуляр до перетину з однією із кривих у системі R із установленної розрахунком величини B . Із точки перетину проводять перпендикуляр на вісь ординат, де й знаходять шукане значення R . Аналогічно визначають величину r . Величина α , як видно з графіків, визначається для всіх випадків за однією кривою.

Розв'язання

Оскільки джерело водопостачання не пов'язане з поверхневим джерелом, $T = 100$ діб, то для визначення розмірів ЗСО 2-го поясу можна користуватися табличним методом (табл. 3.2).

Розраховуємо необхідні величини:

$$A = \frac{Q}{h} = \frac{1700}{36} = 47,2;$$
$$B = \frac{Khi}{Q} = \frac{0,01 \cdot 36 \cdot 0,001}{1700} = 0,2 \cdot 10^{-6}.$$

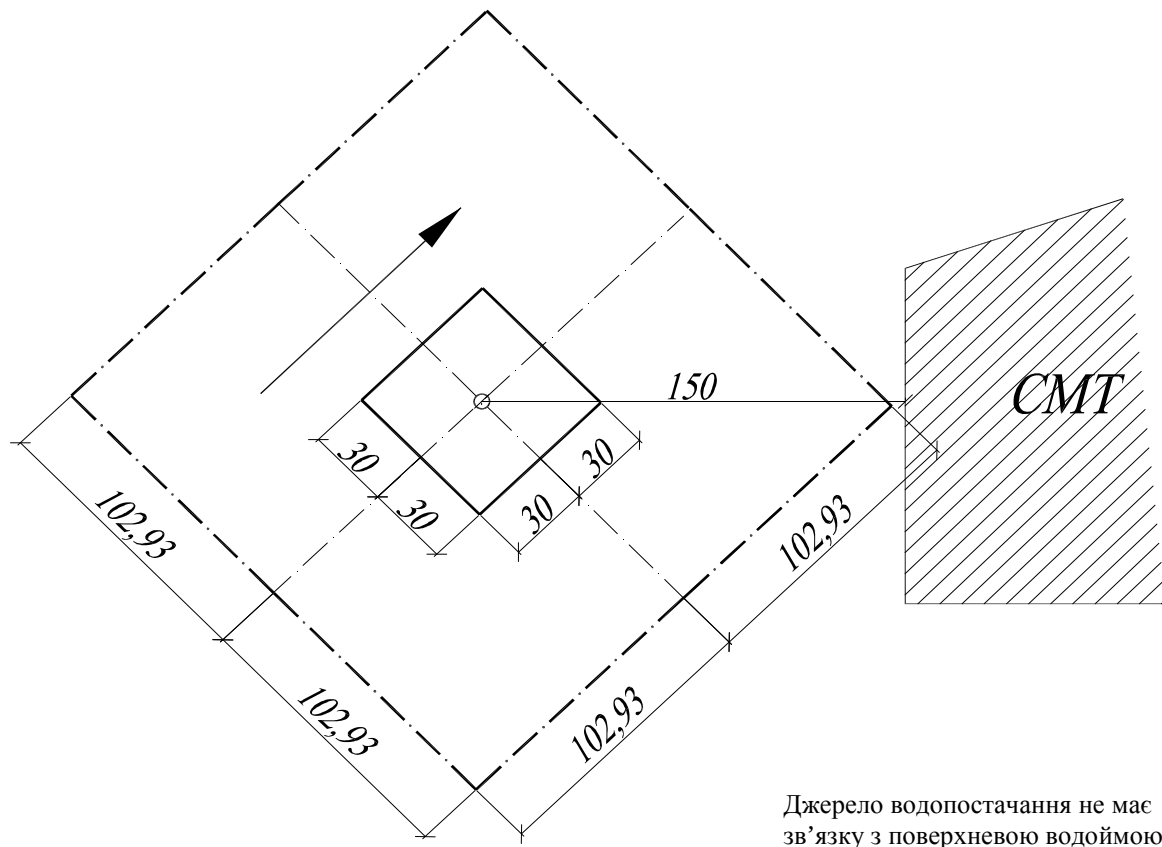
За цими даними визначаємо:

$$R = 102,93,$$

$$r = 102,93,$$

$$\alpha = 102,93.$$

Перший пояс ЗСО згідно з ДБН В.2.5–74:2013 [3] дорівнює **30 м**.



Умовні позначення:

- — перший пояс ЗСО
- - - - - другий пояс ЗСО

Рисунок 3.4 – Приклад креслення ЗСО після розрахунків

Креслення робити в масштабі 1:5000, 1:10000 на міліметровці або в будь-якому графічному редакторі.

Таблиця 3.2 – Визначення розмірів ЗСО підземних вододжерел, що не мають гідравлічного зв'язку з поверхневими джерелами

$A = Q/h$	Породи (характер водоносного горизонту)	μ	$B = K \cdot h \cdot i / Q$												Величина α для усіх значень
			0,00		0,0004		0,0008		0,0012		0,0016		0,002		
			R_0	r_0	R	r	R	r	R	r	R	r	R	r	
15	Рихлі	0,15	60	60	60	60	70	60	70	55	70	50	75	50	60
	Скельні	0,03	130	130	150	120	160	110	175	100	190	80	210	70	130
		0,015	180	180	210	160	240	140	280	120	300	100	350	80	180
30	Рихлі	0,15	80	80	90	75	95	70	100	70	105	60	120	60	80
	Скельні	0,03	180	180	210	160	240	140	280	120	300	100	350	80	180
		0,015	250	250	310	200	370	160	420	140	500	100	600	80	250
45	Рихлі	0,15	100	100	110	90	120	90	130	80	140	70	150	60	100
	Скельні	0,03	220	220	270	180	310	150	330	130	400	100	480	80	220
		0,015	310	310	400	240	500	180	600	150	700	100	850	80	310
60	Рихлі	0,15	120	120	130	110	140	100	150	90	160	80	130	70	120
	Скельні	0,03	250	250	310	200	370	160	420	140	500	100	600	80	250
75	Рихлі	0,15	130	130	150	120	160	115	175	110	190	90	210	70	130
	Скельні	0,03	290	290	350	230	410	170	500	150	600	100	720	80	290
90	Рихлі	0,15	140	140	160	130	180	110	190	100	210	90	240	80	140
	Скельні	0,03	310	310	400	240	500	180	600	150	700	100	850	80	310

Таблиця 3.3 – Визначення розмірів ЗСО підземних вододжерел, що мають гідравлічний зв’язок з поверхневими джерелами

$A = Q/h$	Породи (характер водоносного горизонту)	μ	$B = K \cdot h \cdot i / Q$												Величина α для значень B
			0,00		0,0004		0,0008		0,0012		0,0016		0,002		
			R_0	r_0	R	r	R	r	R	r	R	r	R	r	
15	Рихлі	0,15	50	75	55	70	55	60	60	65	65	60	70	60	50
	Скельні	0,03	110	160	130	150	140	140	160	130	180	120	190	105	110
		0,015	160	230	190	200	220	280	240	160	270	150	800	130	160
30	Рихлі	0,15	70	100	75	95	80	90	90	90	95	80	105	75	70
	Скельні	0,03	160	250	190	200	220	180	240	160	270	150	310	130	150
		0,015	220	320	280	270	350	230	370	210	430	180	500	150	220
45	Рихлі	0,15	85	125	95	120	105	110	100	105	120	95	140	85	85
	Скельні	0,03	190	280	240	240	290	210	310	190	350	170	410	140	190
		0,015	270	400	370	320	450	270	490	240	560	190	550	150	270
60	Рихлі	0,15	100	150	110	140	130	130	140	120	150	110	170	100	100
	Скельні	0,03	220	320	280	270	350	230	370	210	430	180	500	150	320
75	Рихлі	0,15	110	160	130	150	140	140	160	130	180	180	190	105	110
	Скельні	0,03	270	400	370	320	450	270	290	240	560	190	550	150	270
90	Рихлі	0,15	120	180	140	160	150	150	180	140	200	130	220	110	120
	Скельні	0,03	270	470	370	320	450	270	290	240	560	190	550	150	270

Приклад 3.2

Свердловина має зв'язок з поверхневим джерелом. Водоносний обрій – пісок потужністю 10 м. Граничний дебіт свердловини – 600 м³/добу.

Визначити, на яких відстанях від річки необхідно розташувати свердловину, визначити інші розміри ЗСО.

$$\mu = 0,15, \quad i = 0,000, \quad K = 10 \text{ м/добу}, \quad T = 100 \text{ діб}.$$

Розв'язання

Для водозаборів з водоносного обрію, гідравлічно тісно пов'язаних з поверхневою водоймою, розрахунковим методом можна користуватися в тому випадку, якщо водойма перебуває в задовільному санітарному стані й повністю відповідає за бактеріальним станом вимогам ДСТУ 4808:2007 [2].

$$A = \frac{600}{10} = 60; \quad B = \frac{10 \cdot 10 \cdot 0,000}{600} = 0.$$

Розміри другого поясу ЗСО у відповідності до таблиці 3.3:

$R = 100$ м,

$r = 150$ м (відстань до річки),

$\alpha = 100$ м.

Межа першого поясу ЗСО встановлюється **50** м (згідно з ДБН В.2.5–74:2013 [3]).

ЗАВДАННЯ 4

ВИЗНАЧЕННЯ САНІТАРНИХ УМОВ ВИПУСКУ СТІЧНИХ ВОД У ВОДОЙМИ

Завдання

За вихідними даними визначити умови скидання стічних вод у водойми. Зробити висновки.

Вихідні дані для виконання завдання студент отримує в Дистанційному курсі з даної дисципліни.

Вказівки до виконання завдання

Обґрунтування умов випуску стічних вод – це розрахунок допустимого вмісту в них шкідливих речовин (або інших шкідливих факторів), при якому скидання стоків у водойми не матиме негативних наслідків (не змінить вид водокористування).

СанПіН 4630-88 [4] обмежують випуск стоків у водойми. Стоки повинні бути максимально використані в оборотній системі водопостачання. Технологія виробництва, її раціоналізація направлені на повне виключення (або значне обмеження) стічних вод, використання їх в сільському господарстві. СанПіН 4630-88 [4] забороняють до випуску певні категорії стічних вод. При неможливості уникнути скидання стоків у водойму в кожному конкретному випадку визначають умови їх випуску.

Всі водні об'єкти діляться на чотири групи (гігієнічна класифікація) із допустимим, помірним, високим і надзвичайно високим ступенем забруднення [5, табл. 22]. Критерії забруднення – органолептичний (запах, присмак), токсикологічний (кратність перевищення ГДК), загально-санітарний (БСК, розчинений кисень) і бактеріологічний показники. Узагальнені індекси забруднення (ступінь забруднення) – від нульового до третього (із надзвичайно високим забрудненням).

Нормативи якості води повинні відповідати вимогам СанПіН 4630-88 [4] в точці, віддаленій від пункту водокористування на 1 км вище за течією (для водойм 1 виду водокористування). Вимоги до якості (складу і властивостей) води приведені в таблиці 4.1 [5, табл. 23].

Таблиця 4.1 – Гігієнічні вимоги до складу і властивостей води водних об’єктів у пунктах господарсько-питного і культурно-побутового водокористування

Показник складу і властивостей води	Перший вид водокористування	
	категорія І (господарсько-питне)	категорія ІІ (культурно-побутове)
Завислі речовини*	Вміст завислих речовин не повинен збільшуватися більш ніж на: 0,25 мг/дм ³ 0,75 мг/дм ³ Для водоймищ, що містять в період межені більше 30 мг/дм ³ природних мінеральних речовин, допускається збільшення вмісту завислих речовин у воді в межах 5%	
Плаваючі домішки (речовини)	Суспензії із швидкістю випадання більше 0,4 мм/с (речовини) для проточних водоймищ і більше 0,2 мм/с для водосховищ до спуску забороняються. На поверхні водоймища не повинні виявлятися плаваючі плівки, плями мінеральних масел і скупчення інших домішок	
Запахи	Вода не повинна набувати невластивих їй запахів інтенсивністю більше 1 балу, що виявляється: безпосередньо, при безпосередньому подальшому хлоруванні або інших способах обробки	
Забарвлення	Не повинно виявлятися в стовпчику 20 см 10 см	
Температура	Літня температура води внаслідок спуску стічних вод не повинна підвищуватися більш ніж на 3°C в порівнянні з середньомісячною температурою найжаркішого місяця року за останні 10 років	
Водневий показник (рН)	Не повинен виходити за межі 6,5-8,5	
Мінеральний склад	Не повинен перевищувати за сухим залишком 1000 мг/дм ³ , зокрема хлоридів 350 мг/дм ³ , сульфатів 500 мг/дм ³	
Розчинений кисень	Не повинен бути менше 4 мг/дм ³ в будь-який період року в пробі, відібраній до 12 г дня	
БПК _{повн}	Не повинно перевищувати при 20°C: 3,0 мгО ₂ /дм ³ 6,0 мгО ₂ /дм ³	
ХПК	Не повинно перевищувати: 15,0 мгО ₂ /дм ³ 30,0 мгОг/дм ³	
Збудники захворювань	Вода не повинна містити збудників захворювань	
Лактозопозитивні кишкові палички (ЛКП)	Не більше 10000 в дм ^{3**}	Не більше 5000 в дм ³
Коліфаги (у бляшкоутворюючих одиницях)	Не більше 100 в дм ^{3**}	Не більше 100 в дм ³
Життєздатні яйця гельмінтів (аскарид, власоголов, токсакар, фасциол), онкосфери тенид і життєздатні цисти патогенних кишкових простих	Не повинні міститися в 1 дм ³	
Хімічні речовини	Не повинні міститися в концентраціях, перевищуючих ГДК або ОДР	
* Вміст у воді зважених антропогенних речовин (пластівці гідроксидів металів, що утворюються при очищенні стічних вод, частинки азбесту, скловолокна, базальту, капрону, лавсану тощо) регламентується згідно із п. 2.4 і п. 4.4 СанПіН 4630-88 [4].		
** Не розповсюджується на джерела децентралізованого господарсько-питного водопостачання		

Умови випуску стоків визначають з урахуванням кількості, складу і властивостей як стічних вод, так і води водойми.

Кратність розбавлення розраховують за формулою:

$$n = \frac{Q \cdot a + q}{q}, \quad (4.1)$$

де Q – середньогодинна витрата води водойми, м³/с;

q – витрата стічних вод, м³/с;

a – коефіцієнт змішування (при повному розбавленні він дорівнює 1, в інших випадках менше 1).

Запах і кольоровість. Співставляються величини розбавлення, при яких досягаються нормативні вимоги (лабораторні дослідження), із величиною розбавлення, знайденою при розрахунку умов випуску в конкретну водойму.

Завислі речовини розраховують за формулою:

$$C_{cm} = \left(\frac{Q \cdot a}{q} + 1 \right) \cdot C_{дон} + C_p, \quad (4.2)$$

де $C_{дон}$ – допустиме збільшення вмісту завислих речовин у водоймі залежно від її категорії водокористування (0,25 або 0,75 мг/дм³);

C_p – кількість суспензій у воді водойми до випуску стічних вод, мг/дм³.

Регламентация шкідливих і токсичних речовин

$$C_{cm} = \frac{Q \cdot a}{q} (C_{ГДК} - C_p) + C_{ГДК}, \quad (4.3)$$

де C_{cm} – допустима концентрація забруднювача в стоках, мг/дм³;

$C_{ГДК}$ – гранично допустима концентрація цього забруднювача у водоймі, мг/дм³;

C_p – концентрація забруднювача у водоймі на 1 км вище за місце випуску стоків, мг/дм³.

За наявності ряду токсичних речовин однакової лімітуючої ознаки шкідливості необхідно врахувати їх комбінований вплив за допомогою рівняння:

$$\frac{C_{cm_1}}{ГДК_1} + \frac{C_{cm_2}}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_{cm_n}}{ГДК_n} \leq 1. \quad (4.4)$$

Якщо сума відносин концентрацій всіх речовин ($C_{cm_1}, C_{cm_2}, C_{cm_n}$) однієї лімітуючої ознаки шкідливості до свого ГДК виявилася більше одиниці, то слід розглянути можливі способи зменшення концентрацій кожної з речовин у воді. При цьому в процесі Проектування скидання стічних вод є можливість вибору тих речовин із усіх, що беруть участь в комбінованій дії, концентрацію яких в стоках можна зменшити найбільш доступними способами.

Допустиме значення біологічної потреби в кисні (БПК)

При розрахунку граничної величини БПК стічних вод треба враховувати, що за час руху суміші (річкова вода + стічні води) від місця випуску стічних вод до місця водокористування частина органічних речовин окислюється. Швидкість споживання кисню органічними речовинами в процесі їх окислення в річці, визначується константою швидкості процесу окислення K (табл. 4.2 [5, табл. 25]), змінюється залежно від температури води, якості органічних речовин та інших обставин.

Таблиця 4.2 – Величина константи швидкості процесів окислення при різних температурах

$T, ^\circ\text{C}$	K	$T, ^\circ\text{C}$	K	$T, ^\circ\text{C}$	K	$T, ^\circ\text{C}$	K
0	0,04	12	0,07	20	0,10	26	0,13
5	0,05	15	0,08	22	0,11	28	0,14
9	0,06	18	0,09	24	0,12	29	0,15

Граничну величину БПК визначають за формулою

$$БПК_{cm} = \frac{Q \cdot a \cdot (БПК_t - БПК_p \cdot 10^{-Kt})}{q \cdot 10^{-Kt}} + \frac{БПК_t}{10^{-Kt}}, \quad (4.5)$$

де $БПК_{cm}$ – допустима величина $БПК_n$ стічних вод, при якій випуск стоків у водойму не приведе до підвищення $БПК_t$ суміші річкової води із стічними водами більш ніж до 3 або 6 мг/дм³;

Q і q – витрати води водойми та стічних вод, м³/год;

$БПК_t$ – гранично допустима величина БПК суміші річкової води із стоками біля пункту водокористування (відповідно [4] дорівнює 3 або 6 мгО₂/дм³ залежно від категорії водокористування);

$БПК_p$ – БПК річкової води вище за місце випуску стічних вод, мг/дм³;

10^{-Kt} – коефіцієнт, що визначає швидкість окислення органічних речовин у водоймі (див. табл. 4.3). Для розрахунку приймаємо $t_{доб} = 0,25$.

Таблиця 4.3 – Значення величини при змінних K (див. табл. 4.2) і $t_{доб}$

K	$t_{доб}$									
	0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
0,04	0,977	0,955	0,912	0,871	0,832	0,794	0,759	0,692	0,631	0,575
0,06	0,966	0,933	0,871	0,813	0,759	0,708	0,661	0,575	0,501	0,437
0,08	0,955	0,912	0,832	0,759	0,692	0,631	0,575	0,479	0,398	0,337
0,10	0,944	0,891	0,794	0,708	0,631	0,572	0,501	0,398	0,316	0,251
0,12	0,933	0,871	0,759	0,661	0,575	0,501	0,436	0,331	0,251	0,191
0,14	0,922	0,851	0,724	0,617	0,525	0,447	0,322	0,275	0,200	0,145
0,16	0,912	0,832	0,692	0,575	0,479	0,398	0,331	0,229	0,159	0,110
1,18	0,903	0,823	0,661	0,537	0,437	0,355	0,288	0,191	0,126	0,083
0,20	0,981	0,794	0,631	0,501	0,393	0,316	0,251	0,158	0,100	0,063
0,22	0,881	0,776	0,603	0,468	0,363	0,283	0,219	0,132	0,079	0,049
0,24	0,871	0,759	0,575	0,437	0,331	0,251	0,191	0,110	0,063	0,036
0,26	0,861	0,741	0,550	0,407	0,302	0,224	0,166	0,091	0,050	0,025
0,28	0,851	0,724	0,525	0,380	0,275	0,199	0,145	0,076	0,050	0,021
0,30	0,841	0,708	0,501	0,355	0,251	0,178	0,126	0,063	0,032	0,016
0,40	0,794	0,631	0,398	0,251	0,158	0,100	0,063	0,025	0,010	0,016
0,50	0,750	0,565	0,316	0,178	0,100	0,056	0,032	0,010	0,003	0,001

Регламентация БПК стоку, мгО₂/дм³, за кисневим режимом водойми

Одним з показників санітарного стану водойм є вміст у воді розчиненого кисню. На величину цього показника роблять вплив численні фактори, головними з яких є температура води, процеси споживання кисню на окислення органічних речовин і реаерація.

При низькій температурі води у водоймі й відсутності льодового покриву і наявності реаерації спостерігається збільшення вмісту розчиненого кисню. Із підвищенням температури води виявляється зворотна залежність. Вода вважається насиченою киснем, якщо останній міститься в ній в межах його розчинності при даних температурі й тиску (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Розчинність кисню в 1 л води при різних температурах й тиску 760 мм рт. ст.

$T, ^\circ\text{C}$	$O_2, \text{мг}$	$T, ^\circ\text{C}$	$O_2, \text{мг}$	$T, ^\circ\text{C}$	$O_2, \text{мг}$
1	14,23	11	11,08	21	8,89
2	13,84	12	10,83	22	8,83
3	13,48	13	10,60	23	8,68
4	13,13	14	10,37	24	8,53
5	12,80	15	10,15	25	8,38
6	12,48	16	9,95	26	8,22
7	12,17	17	9,74	27	8,07
8	11,87	18	9,64	28	7,92
9	11,59	19	9,35	29	7,77
10	11,33	20	9,17	30	7,63

У практиці санітарного нагляду проводять розрахунок умов випуску стічних вод за розчиненням киснем, необхідним для окислення органічних речовин у стічних водах:

$$БПК_{cm_{O_2}} = 2,5 \frac{Q \cdot a}{q} (O_{2p} - 0,4 БПК_p - 4) - 10, \quad (4.6)$$

де $БПК_{cm_{O_2}}$ – допустима концентрація органічних речовин в стоках;

$БПК_p$ – вміст органічних речовин у воді водойми до випуску стічних вод;

O_{2p} – вміст розчиненого кисню в річковій воді до випуску стічних вод (див. табл. 4.4);

0,4 – коефіцієнт для перерахунку повного споживання кисню в дводобове;

4 – допустимий найменший вміст розчиненого кисню у воді водойми після випуску стічних вод (згідно [4]);

10 – емпіричний коефіцієнт $\left(\frac{4}{0,4} = 10 \right)$.

Ці розрахунки правомірні для побутових стічних вод. У разі надходження у водойму виробничих стічних вод або їх суміші із побутовими стічними водами умови випуску можуть бути розраховані, якщо експериментально визначена константа споживання кисню.

Регламентация температуры, °C

$$T_{cm} = \left(\frac{Q \cdot a}{q} + 1 \right) \cdot T_{don} + T_p, \quad (4.7)$$

де T_{don} – допустиме підвищення температури води водойми (не більше, ніж на 3°C [4]);

T_p – максимальна температура води водойми до випуску СВ в літній період.

За результатами розрахунків роблять висновки про необхідну ефективність очищення стічних вод за кожним показником:

- за вмістом завислих речовин;
- за вмістом шкідливих речовин;
- за допустимим значенням БСК;
- за температурою.

ПРИКЛАД 4.1

Вихідні дані

Річка (водойма I категорії)		Стічні води	
Середньогодинна витрата води водойми Q	48 м ³ /с	Витрата стічних вод q	1,42 м ³ /с
Коефіцієнт змішування a	0,7		
Вміст завислих речовин	150 мг/дм ³	Вміст завислих речовин	100 мг/дм ³
$БПК_p$	2 мгО ₂ /дм ³	$БПК_{повн}$	150 мгО ₂ /дм ³
T_p	24°C	$T_{св}$	56°C
Свинець	не виявлено	Свинець	15,0 мг/дм ³
Селен		Селен	1,0 мг/дм ³
Нікель		Нікель	10,0 мг/дм ³
Фториди		Фториди	18,0 мг/дм ³

ГДК шкідливих речовин для даної категорії водокористування:

$ГДК_{\text{свинець}} = 0,3 \text{ мг/дм}^3$;

$ГДК_{\text{селен}} = 0,001 \text{ мг/дм}^3$;

$ГДК_{\text{нікель}} = 0,1 \text{ мг/дм}^3$;

$ГДК_{\text{фториди}} = 1,5 \text{ мг/дм}^3$.

Лімітуючий показник шкідливості вказаних речовин – санітарно-токсикологічний.

Визначити умови скидання стічних вод у водойму.

Розв'язання

$q = 1,42 \text{ м}^3/\text{с} = 5112 \text{ м}^3/\text{год}$;

$Q = 48 \text{ м}^3/\text{с} = 172800 \text{ м}^3/\text{год}$.

4.1.1 Визначаємо кратність розбавлення:

$$n = \frac{Q \cdot a + q}{q}, \quad (4.1)$$

де Q – середньогодинна витрата води водойми, м³/с;

q – витрата стічних вод, м³/с;

a – коефіцієнт змішування.

$$n = \frac{48 \cdot 0,7 + 1,42}{1,42} = 24,66.$$

4.1.2 Визначаємо умови скидання за *завислими речовинами*:

$$C_{cm} = \left(\frac{Q \cdot a}{q} + 1 \right) \cdot C_{дон} + C_p, \quad (4.2)$$

де $C_{дон}$ – допустиме збільшення вмісту завислих речовин у водоймі залежно від її категорії водокористування (0,25 або 0,75 мг/дм³);

C_p – кількість суспензій у воді водойми до випуску стічних вод, мг/дм³.

$$C_{cm} = \left(\frac{48 \cdot 0,7}{1,42} + 1 \right) \cdot 0,25 + 150 = 156,17 \text{ мг/дм}^3.$$

4.1.3 Визначаємо умови скидання за *шкідливими і токсичними речовинами*:

$$C_{cm} = \frac{Q \cdot a}{q} (C_{ГДК} - C_p) + C_{ГДК}, \quad (4.3)$$

де C_{cm} – допустима концентрація забруднювача в стоках, мг/дм³;

$C_{ГДК}$ – гранично допустима концентрація цього забруднювача у водоймі, мг/дм³;

C_p – концентрація забруднювача у водоймі на 1 км вище за місце випуску стоків, мг/дм³.

$$C_{cm}^{Pb} = \frac{48 \cdot 0,7}{1,42} (0,3 - 0) + 0,3 = 7,399 \text{ мг/дм}^3;$$

$$C_{cm}^{Se} = \frac{48 \cdot 0,7}{1,42} (0,001 - 0) + 0,001 = 0,0247 \text{ мг/дм}^3;$$

$$C_{cm}^{Ni} = \frac{48 \cdot 0,7}{1,42} (0,1 - 0) + 0,1 = 2,466 \text{ мг/дм}^3;$$

$$C_{cm}^{Фториди} = \frac{48 \cdot 0,7}{1,42} (1,5 - 0) + 1,5 = 36,99 \text{ мг/дм}^3.$$

За наявності ряду токсичних речовин однакової лімітуючої ознаки шкідливості необхідно врахувати їх комбінований вплив за допомогою рівняння:

$$\frac{C_{cm_1}}{ГДК_1} + \frac{C_{cm_2}}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_{cm_n}}{ГДК_n} \leq 1. \quad (4.4)$$

$$\frac{7,399}{0,3} + \frac{0,0247}{0,001} + \frac{2,466}{0,1} + \frac{36,99}{1,5} = 98,64 > 1.$$

4.1.4 Граничну величину БПК знаходимо за формулою:

$$БПК_{cm} = \frac{Q \cdot a \cdot (БПК_t - БПК_p \cdot 10^{-Kt})}{q \cdot 10^{-Kt}} + \frac{БПК_t}{10^{-Kt}}, \quad (4.5)$$

де $БПК_{cm}$ – допустима величина $БПК_n$ стічних вод, при якій випуск стоків у водойму не приведе до підвищення $БПК_t$ суміші річкової води із стічними водами більш ніж до 3 або 6 мг/дм³;

Q і q – витрати води водойми та стічних вод, м³/год;

BPK_t – гранично допустима величина BPK суміші річкової води із стоками біля пункту водокористування (відповідно до [4] дорівнює 3 або 6 мгО₂/дм³ залежно від категорії водокористування);

BPK_p – BPK річкової води вище за місце випуску стічних вод;

10^{-Kt} – коефіцієнт, що визначає швидкість окислення органічних речовин у водоймі.

$$BPK_{cm} = \frac{172800 \cdot 0,7 \cdot (3 - 2 \cdot 0,933)}{5112 \cdot 0,933} + \frac{3}{0,933} = 31,98 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3.$$

4.1.5 Визначимо регламентацію $BPK_{повн}$ стоку, мгО₂/дм³, за кисневим режимом водоймища:

$$BPK_{cmO_2} = 2,5 \frac{Q \cdot a}{q} (O_{2p} - 0,4BPK_p - 4) - 10, \quad (4.6)$$

де BPK_{cmO_2} – допустима концентрація органічних речовин у стоках;

BPK_p – вміст органічних речовин у воді водойми до випуску стічних вод;

O_{2p} – вміст розчиненого кисню в річковій воді до випуску стічних вод;

0,4 – коефіцієнт для перерахунку повного споживання кисню в дводобове;

4 – допустимий найменший вміст розчиненого кисню у воді водойми після випуску стічних вод (згідно [4]);

10 – емпіричний коефіцієнт $\left(\frac{4}{0,4} = 10\right)$.

$$BPK_{cmO_2} = 2,5 \cdot \frac{172800 \cdot 0,7}{5112} (8,53 - 0,4 \cdot 2 - 4) - 10 = 210,65 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3.$$

4.1.6 Визначаємо умови скидання за температурою, °С.

Температура стічної води не повинна перевищувати

$$T_{cm} = \left(\frac{Q \cdot a}{q} + 1\right) \cdot T_{дон} + T_p, \quad (4.7)$$

де $T_{дон}$ – допустиме підвищення температури води водойми (не більше, ніж на 3°С [4]);

T_p – максимальна температура води водойми до випуску СВ в літній період.

$$T_{cm} = \left(\frac{48 \cdot 0,7}{1,42} + 1\right) \cdot 3 + 24 = 97,99^\circ\text{С}.$$

Висновки

Визначаємо необхідну ефективність очистки за кожним показником відповідно до формули:

$$E_i = \frac{C_{вих} - C_{кін}}{C_{вих}} \cdot 100\%.$$

4.1.7 Необхідна ефективність очистки за завислими речовинами складе

$$E_{зв.р.} = \frac{100 - 156,17}{100} \cdot 100\% = -56,17\%.$$

Стічні води допустимі до скидання за завислими речовинами без очистки.

4.1.8 Комбінований вплив токсичних речовин перевищує 1, отже, стічні води потребують очищення.

За кожною речовиною необхідна ефективність очистки складе:

$$E_{\text{шкідл. реч.}}^{\text{Pb}} = \frac{15 - 7,399}{15} \cdot 100\% = 50,67\%;$$

$$E_{\text{шкідл. реч.}}^{\text{Se}} = \frac{1 - 0,0247}{1} \cdot 100\% = 97,53\%;$$

$$E_{\text{шкідл. реч.}}^{\text{Ni}} = \frac{10 - 2,466}{10} \cdot 100\% = 75,34\%;$$

$$E_{\text{шкідл. реч.}}^{\text{Фториди}} = \frac{18 - 36,99}{18} \cdot 100\% = -105,5\%.$$

4.1.9 Необхідна ефективність очищення за $BPK_{\text{повн}}$

$$E_{BPK} = \frac{150 - 31,98}{150} \cdot 100\% = 78,68\%.$$

Стічні води допустимі до скидання за $BPK_{\text{повн}}$ після очистки.

4.1.10 За кисневим режимом водоймища вихідна стічна вода може бути скинута у водойму без очистки.

4.1.11 Необхідна ефективність за температурою

Температура стічних вод, що скидаються, повинна задовольняти умові:

$$T_{\text{СВ вих}} \leq T_{\text{ст}};$$

$$56^{\circ} \text{C} \leq 97,99^{\circ} \text{C}.$$

Вихідна стічна вода може бути скинута у водоймище без охолодження.

ЗАВДАННЯ 5

ОЦІНКА РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ПРИ ЗАБРУДНЕННІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Завдання

Вивчити питання екологічного та санітарно-гігієнічного нормування забруднення навколишнього середовища та теорії ризику; за допомогою теорії ризику навчитися розраховувати ймовірність шкоди, викликаной попаданням отруйних речовин в організм людини.

Вихідні дані для виконання завдання студент отримує в Дистанційному курсі з даної дисципліни.

Вказівки до виконання завдання

5.1 Екологічне та санітарно-гігієнічне нормування

Під екологічним нормуванням розуміється сукупність вимог до якості навколишнього середовища.

Санітарно-гігієнічне нормування ґрунтується на концепції гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин у ґрунтах, повітрі, поверхневих і підземних водах, в продуктах харчування. Термін ГДК передбачає таку концентрацію хімічного елемента та / або його сполук в компонентах довкілля, яка при повсякденному впливі на організм людини протягом тривалого часу не викликає патологічних змін або захворювань, що встановлюються сучасними методами досліджень у будь-які періоди життя теперішнього і наступного поколінь.

Інший підхід до екологічного нормування заснований на введенні обмежень не на рівень шкідливих речовин в окремих середовищах, а на загальний обсяг викидів, який визначає їх надходження в середовище проживання. Справа в тому, що орієнтація тільки на концепцію ГДК привела до того, що завдання по досягненню їх рівнів все частіше стали вирішувати шляхом більш ефективного розсіювання забруднювачів. Для цього стоки промислових підприємств розбавлялися чистою водою, а викиди газів і аерозолів проводилися через димові труби великої висоти. В англійській мові з'явилося «екологічне» прислів'я: «The best solution for pollution is dilution» («Найкраще рішення проблеми забруднення – розбавлення») [7].

Але розсіювання далеко не завжди знижує рівень забруднення довкілля. Екологічні дослідження показали, що в районах великих промислових центрів при концентраціях токсикантів в атмосфері на рівні ГДК неминуче відбувається накопичення одного або декількох таких токсикантів в будь-якому компоненті навколишнього середовища. Наприклад, було показано, що при утриманні ртуті в повітрі, що дорівнює ГДК, за рахунок атмосферних осаджень на ґрунт і подальшого змиву концентрація цього елемента в водоймах може в десятки разів перевищити ГДК у воді.

Величини ГДК не можна вважати однозначними і жорстко зафіксованими, так як при розширенні знань про дію хімічних речовин на людину і в міру вдосконалення методів вимірювань вони можуть змінюватися.

Таким чином, підхід до екологічного нормування, орієнтований на загальний обсяг викидів, повинен визначити значення гранично допустимих викидів (ГДВ) і скидів (ГДС) забруднюючих речовин в навколишнє середовище. Ці значення повинні відповідати встановленим граничним навантаженням на екосистеми і тим самим зберігати їх стабільність.

Незважаючи на виявлені недоліки, властиві системі ГДК, значення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин виконують найважливішу функцію стандарту якості природних об'єктів, покликаною забезпечити здоров'я населення та сприяти обмеженню шкідливих викидів і скидів.

Робота щодо встановлення ГДК ще далека від завершення. Дійсно, з десятків тисяч шкідливих для здоров'я людини речовин визначені лише приблизно 1500 значень ГДК в воді, близько 1400 – в повітрі і трохи більше 300 – в ґрунтах. Дослідження в цій галузі в значній мірі ускладнені тим, що багато високотоксичних речовин становлять небезпеку навіть при дуже низькому вмісті, тому необхідні високочутливі аналітичні методи, а вони, як правило, обходяться дорого.

Ще в 1976 р. в Радянському Союзі був прийнятий стандарт (ГОСТ 12.01.007–76), за яким усі шкідливі речовини за ступенем небезпеки були розділені на чотири класи: I – надзвичайно небезпечні, II – високо небезпечні, III – помірно небезпечні і IV – мало небезпечні. Поділ за класами передбачало нормування по ряду показників. Так, гранично допустима концентрація шкідливої речовини I класу в повітрі робочої зони не повинна перевищувати $0,1 \text{ мг/м}^3$ [7].

За час, що минув після прийняття зазначеного стандарту, з'явилося багато речовин, ступінь небезпеки яких значно більше, ніж у речовин, віднесених до першого класу. Ці речовини, що характеризуються виключно високою токсичністю, отримали назву *суперекотоксикантів*. Новий термін ще не став загальновизнаним, його використання можна вважати умовним, але він корисний, оскільки дозволяє виділити з великого числа забруднювачів ті, які становлять небезпеку для здоров'я людей. З неорганічних речовин суперекотоксикантами є важкі метали (перш за все, ртуть, кадмій і свинець) і радіонукліди. До органічних суперекотоксикантів відносяться поліхлоровані діоксини, біфеніли та дібензофурані, хлор- і фосфоровмісні пестициди, поліароматичні вуглеводні, нітрозаміни та інші сполуки.

Про те, що для оцінки небезпеки суперекотксикантів потрібні нові критерії, свідчить такий приклад. Гранично допустима концентрація діоксину в повітрі робочої зони складає $0,13 \text{ пікограм в кубічному метрі (пг/м}^3\text{)}$, тобто $1,3 \cdot 10^{-10} \text{ мг/м}^3$ (США) або $0,12 \text{ пг/м}^3 = 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ мг/м}^3$ (Італія). Ці значення в мільярди разів менше величини гранично допустимої концентрації шкідливої речовини I класу в повітрі робочої зони, яка не повинна перевищувати $0,1 \text{ мг/м}^3$.

У всьому світі особливу тривогу викликають хімічні речовини, вплив яких призводить до появи злоякісних новоутворень. Міжнародне агентство вивчення раку (МАІР) запропонувало розділити канцерогени за ступенем небезпеки на чотири класи. До першого класу віднесено речовини, для яких отримані безумовні докази небезпеки розвитку раку у людини. Сюди увійшли сполуки важких металів (нікелю, кадмію, шестивалентного хрому), берилій, миш'як, бензол, бензо(а)пірен, діоксини тощо. У першому класі канцерогенів широко представлені радіонукліди.

Розглянемо основні санітарно-гігієнічні нормативи вмісту забруднювачів в повітрі, питній воді і в продуктах харчування, що діють в Україні. Вони будуть необхідні при вирішенні завдань, пов'язаних з обчисленням ризику загрози здоров'ю через забруднення довкілля.

У таблиці 5.1 наведені значення гранично допустимих (ГДК) або орієнтовно допустимих концентрацій (ОДК) деяких важких металів в повітрі, прийняті в Україні.

Таблиця 5.1 – Значення гранично допустимих (ГДК) або орієнтовно допустимих концентрацій (ОДК) деяких важких металів в повітрі

Метали	ГДК (ОДК), мг/м ³
Хром (VI)	0,0015
Кобальт	0,001
Нікель	0,001
Мідь	0,001
Цинк	0,005
Кадмій	0,0003
Ртуть	0,0003
Свинець	0,0003

Крім цих значень для речовин, що забруднюють атмосферне повітря, але не відносяться до важких металів, встановлено ще два значення ГДК: *максимально разове* і *середньодобове*. **Максимально разова ГДК** – це концентрація, яка протягом 30 хв. не викликає рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, зміни світлової чутливості очей, алергічних реакцій тощо). **Середньодобова ГДК** – це концентрація, яка не повинна чинити на людину шкідливого впливу (загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного) при вдиханні протягом 24 годин. У таблиці 5.2 наведені значення максимально разової та середньодобової ГДК шкідливих речовин, що найбільш часто зустрічаються, в атмосферному повітрі населених пунктів.

В документі ДСанПіН 2.2.4–171–10 [1], наведені значення гранично допустимої концентрації (ГДК) забруднювачів питної води, що діють в Україні. Дані за ГДК деяких неорганічних і органічних речовин у питній воді наведені відповідно в таблицях 5.3 та 5.4.

Таблиця 5.2 – Значення максимально разової та середньодобової ГДК шкідливих речовин, що найбільш часто зустрічаються, в атмосферному повітрі населених пунктів [7]

Речовина	ГДК _{с.д.} , мг/м ³	ГДК _{м.р.} , мг/м ³
Азоту оксид	0,06	0,4
Азоту двоокис	0,04	0,085
Аміак	0,04	0,2
Ацетон	0,35	0,35
Бензол	0,05	0,1
Бензо(а)пірен	0,000 001	–
Вінілхлорид	1,0	5,0
Кадмію оксид	0,001	–
Пил нетоксичний, тверді речовини	0,15	0,2
Ртуть металічна	0,000 3	–
Свинець	0,000 3	0,03
Сірководень	0,005	0,03
Сірки двоокис	0,05	0,5
Оксид вуглецю	3,0	5,0
Фенол	0,003	0,01
Формальдегід	0,003	0,035
Хлор	0,015	0,025

Таблиця 5.3 – Дані за ГДК деяких неорганічних речовин у питній воді [1]

Речовина	ГДК, мг/л	Речовина	ГДК, мг/л
Алюміній	≤ 0,2	Нікель	≤ 0,02
Берилій	≤ 0,0002	Нітрати	≤ 50
Бор	≤ 0,5	Нітрити	≤ 0,5
Вінілхлорид	≤ 0,005	Ртуть	≤ 0,000 5
Залізо	≤ 0,2	Свинець	≤ 0,01
Кадмій	≤ 0,001	Селен	≤ 0,01
Марганець	≤ 0,05	Стронцій	≤ 7,0
Мідь	≤ 1,0	Хром (VI)	≤ 0,05
Молібден	≤ 0,07	Цинк	≤ 1,0
Миш'як	≤ 0,01		

Таблиця 5.4 – Дані за ГДК деяких органічних речовин у питній воді [1]

Речовина	ГДК, мг/л
Бензо(а)пірен	≤ 0,000 005
Феноли	≤ 0,001
Хлорфеноли	≤ 0,0003
Хлороформ	≤ 0,06
Трихлоретилен	≤ 0,01
Чотирихлористий вуглець	≤ 0,002
Пестициди (сума)	≤ 0,000 5

Санітарні правила і норми СанПіН 2.3.2.560–96 «Гігієнічні вимоги до якості та безпеки продовольчої сировини і харчових продуктів», розроблені в 1996 р., піддалися доповнень і змін у 1998, 2000 і 2001 рр. У таблиці 5.5 представлені санітарно-гігієнічні нормативи вмісту важких металів і миш'яку в продовольчій сировині та харчових продуктах. Ці нормативи можуть використовуватися в якості допустимих концентрацій аналізованих важких металів і миш'яку в продуктах харчування.

Таблиця 5.5 – Санітарно-гігієнічні нормативи вмісту важких металів і миш'яку в продовольчій сировині та харчових продуктах [7]

Продукти харчування	Свинець	Цинк	Мідь	Ртуть	Кадмій	Миш'як
Крупи, зерно	0,3	50	10	0,03	0,03	0,2
Овочі свіжі та картопля	0,5	10	5	0,02	0,03	0,2
М'ясо	0,5	70	5	не доп.	0,05	0,5
Риба	1,0	40	10	0,5		1,0
Гриби		20	10	0,05	0,1	0,5
Птиця	0,3	50	5	0,02	0,01	0,1
Яйця	0,3	50	3	0,02	0,01	0,1
Молоко та молокопродукти	0,1	5	1	0,005	0,03	0,05
Цукор	0,5		2	0,01	0,05	1,0
Масло рослинне	0,1			0,03	0,05	0,1
Примітка. Вміст важких металів вказано в мг/кг.						

Крім перерахованих металів встановлені нормативи вмісту олова і хрому – важких металів, присутніх в металевій упаковці харчових продуктів (консерви з м'яса, риби, овочів і фруктів, згущене і концентроване молоко, варення, джеми та соки). Для олова (бляшана тара) цей норматив становить 200 мг на кг продукту, а для хрому (хромована тара) – 0,5 мг/кг.

В Україні встановлено такі значення ГДК одного з суперекотоксикантів – **хлорвмісного пестициду ДДТ**: в атмосферному повітрі – 0,0005 мг/м³; у питній воді – 0,002 мг/л. У продуктах харчування для ДДТ і його метаболітів (ДДЕ, ДДД) встановлено такі величини ГДК (мг/кг продукту):

- м'ясо та м'ясопродукти, птиця, яйця – 0,1;
- молоко та молочні продукти – 0,05 (у перерахунку на жир – 1,0, згущене молоко – 1,0);
- риба морська – 0,2; прісноводна – 0,3 (оселедець жирний – 2,0);
- зерно продовольче, крупи – 0,02;

- насіння зернобобових (горох, квасоля) – 0,05;
- цукор – 0,005;
- овочі і картопля – 0,1;
- масло рослинне – 0,2.

У таблиці 5.6 приведені значення гранично допустимих концентрацій бензо(а)пірену, а у таблиці 5.7 наведені значення гранично допустимих концентрацій діоксину, прийняті в Україні.

Таблиця 5.6 – Значення ГДК бензо(а)пірену

Повітря населених міст	Поверхневі води	Харчові продукти	Ґрунт (сухий)
1 нг/м ³ = = 1·10 ⁻⁶ мг/м ³	5 нг/л = = 5·10 ⁻⁶ мг/л	Зерно продовольче: 0,001 мг/кг М'ясо та м'ясопродукти: 0,001 мг/кг	0,02 мг/кг

Таблиця 5.7 – Значення ГДК діоксину

Повітря	Вода питна	Харчові продукти
0,5 пг/м ³ = = 5·10 ⁻¹³ г/м ³ = = 5·10 ⁻¹⁰ мг/м ³	20 пг/л = = 2·10 ⁻¹¹ г/л = = 2·10 ⁻⁸ мг/л	Молоко: 5,2 нг/кг = 5,2·10 ⁻⁶ мг/кг М'ясо: 0,9 нг/кг = 9·10 ⁻⁷ мг/кг Риба: 11 нг/кг = 1,1·10 ⁻⁵ мг/кг
Примітка. Для молока вказано значення в перерахунку на жир.		

У таблиці 5.8 наведені значення гранично допустимих концентрацій деяких хімічних елементів у ґрунті.

Для вмісту в ґрунті поліхлорованих дибензо-п-діоксинів і дибензофуранів встановлено значення ГДК, рівне 0,133 пг/г = 1,33·10⁻⁷ мг/кг.

Для кількісної характеристики переходу хімічних елементів з ґрунту в рослини використовуються величини, звані *коефіцієнтами концентрації*. Як правило, їх значення не перевищують одиниці, але в ряді випадків можуть бути укладені в інтервалі від 1 до 10. Так, для хрому та цинку коефіцієнти концентрації, що виражаються відношенням вмісту елемента в споживаній людьми свіжій рослинній їжі до вмісту в сухому ґрунті, рівні відповідно 0,001 і 1,6.

У таблиці 5.9 наведені допустимі рівні вмісту радіонуклідів: цезію ¹³⁷Cs та стронцію ⁹⁰Sr у продуктах харчування, затверджені в якості санітарних норм і правил в 1996 р.

Таблиця 5.8 – Значення ГДК деяких хімічних елементів у ґрунті

Хімічні елементи	ГДК, мг/кг
Кобальт	5
Мідь	3
Миш'як	2
Кадмій	2
Нікель	4
Ртуть	2
Свинець	6
Сурма	5
Фтор	3
Цинк	23
Хром (VI)	6

Таблиця 5.9 – Допустимі рівні вмісту радіонуклідів цезію ^{137}Cs та стронцію ^{90}Sr у продуктах харчування [7]

Продукти харчування	^{137}Cs , Бк/кг	^{90}Sr , Бк/кг
Хліб і хлібобулочні вироби	20	5
Картопля	60	20
Овочі та баштанні культури	40	20
Фрукти	70	10
Свіжі гриби, ягоди	500	50
Сушені гриби, ягоди	2500	250
Молоко, молочні продукти	100	20
М'ясо, м'ясні продукти	200	20
Риба, рибопродукти	150	35
Яйця	6	2
Лікарські рослини	600	200
Вода	2	2

В останні роки була усвідомлена необхідність нового підходу до екологічної безпеки, заснованого на концепції ризику. У зв'язку з цим розрізняють *індивідуальний* і *колективний ризику*.

Індивідуальний ризик, як показує сам термін, визначається ймовірністю екстремальної шкоди – смерті індивідуума від деякої причини, що розраховується для всього його життя або для одного року.

Колективний ризик найчастіше визначають кількістю смертей від деякої причини, що діє протягом певного інтервалу часу (наприклад, протягом 5 років) на певну кількість людей (наприклад, на 10 тис. осіб).

У ряді країн розробляються і вже діють нормативні акти, в яких встановлюються стандарти екологічних ризиків, які орієнтуються на певні параметри ризику. Використання в законодавстві параметрів ризику вимагає

точного кількісного визначення двох найважливіших понять – максимально допустимого ризику і нехтовно малого (безумовно прийнятного) ризику.

Ризик визнається нехтовним, якщо його рівень в силу своєї малості не може бути надійно виявлено на фоні вже наявних ризиків. У більшості країн Західної Європи індивідуальний ризик, якому піддається населення (а не персонал, що працює на виробництві), вважається нехтовним, якщо його рівень не перевищує величини 10^{-6} за рік. Таким чином, значення нехтовного індивідуального ризику становить $1 \cdot 10^{-6}$ чол⁻¹·рік⁻¹. Це означає, що дана причина, яка діє протягом одного року, збільшує ймовірність смерті від неї на одну мільйонну. Інакше кажучи, якщо ця причина діє протягом року на мільйон чоловік, то від неї може загинути одна людина.

У США [9] індивідуальний допустимий ризик, що становить 10^{-6} , встановлено не для одного року, а для всього життя людини, середня тривалість якої приймається рівною 70 років. Отже, щорічний індивідуальний допустимий ризик становить в США величину, рівну $10^{-6}/70 = 1,43 \cdot 10^{-8}$ рік⁻¹.

Верхня межа допустимого ризику (максимально допустимий ризик) різна в населення і персоналу, що працює у шкідливих умовах. В Україні максимально допустимий індивідуальний ризик для техногенного опромінення осіб з персоналу прийнятий рівним $1,0 \cdot 10^{-3}$ за рік, а для населення – $5,0 \cdot 10^{-5}$ за рік (остання величина в 50 разів перевищує рівень нехтовного ризику, який в Україні прийнятий рівним 10^{-6} за рік). Згідно нормативам Агентства США з навколишнього середовища [9] верхня межа допустимого (прийнятного) ризику від впливу речовин з канцерогенними властивостями становить 10^{-4} .

Для оцінки допустимих індивідуальних ризиків, пов'язаних з небезпечними видами діяльності, у Великобританії використовуються так звані критерії Ешбі. Вони являють собою ймовірності одного фатального випадку (однієї смерті) на рік. Характеристики критеріїв прийнятності ризику за Ешбі наведені в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Характеристики критеріїв прийнятності ризику за Ешбі

Ранг ризику	Ймовірність смерті людини на протязі року	Ступінь прийнятності
1	Не менше $1 \cdot 10^{-3}$	Ризик неприйнятний
2	$1 \cdot 10^{-4}$	Ризик прийнятний лише в особливих умовах
3	$1 \cdot 10^{-5}$	Потрібне детальне обґрунтування прийнятності
4	$1 \cdot 10^{-6}$	Ризик прийнятний без обмежень (нехтовно малий)

Видно, що чотири ранги ризику перекривають більше трьох порядків ймовірності однієї смерті на рік, причому для необмежено прийнятного ризику прийнятий такий же порядок ймовірності, який характерний для природних катастроф (10^{-6}). Цей порядок встановлено на основі аналізу статистичних

даних. Значення індивідуального ризику порядку 10^{-6} чол⁻¹·рік⁻¹, відноситься, наприклад, до ймовірності загинути протягом одного року від удару блискавки або в результаті землетрусу.

У таблиці 5.11 перераховані деякі причини збільшення індивідуального ризику смерті на 10^{-6} на рік, встановлені після вивчення великих масивів статистичних даних у США і Європі (за Р. Вільсоном і Г. Марксом).

Кожна шкідлива речовина, що потрапила в навколишнє середовище, створює ризик загрози здоров'ю. Цей ризик залежить від дози речовини, що надійшла в організм людини. Залежність ризику від дози забруднювача може бути різною, основні види цієї залежності представлені на рисунку 5.1.

Таблиця 5.11 – Деякі причини збільшення індивідуального ризику смерті на 10^{-6} на рік

Види діяльності	Причини смерті
Викурити одну сигарету	Рак легень, хвороба серця
Проїхати 2500 км на поїзді	Аварія
Пролетіти 2000 км на літаку	Аварія
Проїхати 250 км на автомобілі	Аварія
Прожити 1 місяць з тим, хто курить	Рак легень, хвороба серця
Прожити 2 місяця в горах	Рак (дія космічних променів)
Прожити 1 тиждень в цегляному будинку	Рак (вплив радіонуклідів у глині)
Провести 1 добу в центрі такого міста, як Нью-Йорк	Хвороба легень
Зробити рентгенівське обслідування грудної клітини	Рак (дія опромінення)
Пробути 1 годину у вугільній шахті	Хвороба легень

Першим видом залежності характеризуються забруднювачі, негативна дію яких починається вже при дуже малих дозах. Такі речовини називаються **безпорогові**. Негативні ефекти, зумовлені впливом багатьох безпорогових забруднювачів, ростуть прямо пропорційно їх дозі, яка, в свою чергу, прямо пропорційна концентрації забруднювача в повітрі, воді та продуктах харчування. Це лінійна залежність між ризиком і дозою забруднювача, вона представлена нижче (рис. 5.1, а). Лінійною залежністю ризику від дози характеризуються канцерогени – як нерадіоактивні, так і радіонукліди, дія яких призводить до внутрішнього або зовнішнього опромінення людини.

Залежність другого виду мають **порогові** забруднювачі, дія яких викликає негативні наслідки, тільки коли величина дози перевищить деяке порогове значення. Один з варіантів такої залежності ризику від дози також представлений на рисунку 5.1, б. Вважається, що пороговими забруднювачами є токсичні, але неканцерогенні речовини.

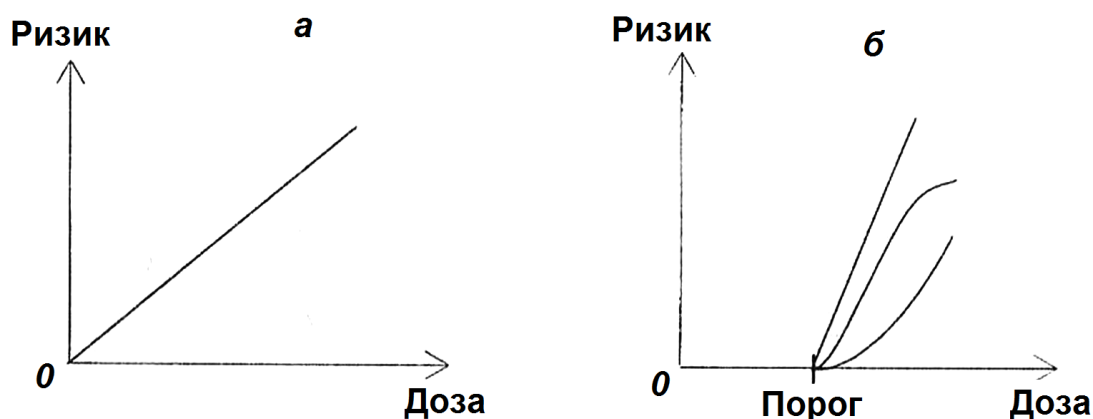


Рисунок 5.1 – Залежність ризику загрози здоров'ю від дози забруднювача:
а – лінійний зв'язок (безпороговий забруднювач);
б – складний зв'язок (пороговий забруднювач)

Доза забруднювача D визначається добутком його концентрації в повітрі, питній воді або харчових продуктах C , швидкості його надходження в організм v і часом надходження в організм t .

$$D = C \cdot V \cdot t. \quad (5.1)$$

Концентрацію C зазвичай відображають в мг/м³ (для повітря), в мг/л (для води) або в мг/кг (для продуктів харчування). Швидкість (інтенсивність) надходження v вимірюється в л/хв. або м³/добу (повітря), л/добу (вода), кг/день або кг/рік (продукти харчування).

Для розрахунку ризиків, зумовлених присутністю шкідливих речовин в компонентах довкілля, необхідно знати стандартні кількості повітря, води, що надходять в організм людини, а також середні кількості продуктів харчування. У багатьох країнах використовуються нормативні акти, що мають силу законів, які стверджують такі стандарти. У таблиці 5.12 наведено стандарти об'єму повітря і води, що надходять в організм дорослої людини, прийняті в Україні.

Таблиця 5.12 – Стандарти об'єму повітря і води, що надходять в організм дорослої людини

Контингент	Повітря	Вода
Населення	$7,3 \cdot 10^6$ л/рік = 20 м ³ /добу	730 л/рік = 2 л/добу
Персонал	$2,5 \cdot 10^6$ л/рік = 10 м ³ /добу (якщо в році 250 робочих днів)	0

Щоб судити про те, які кількості забруднювачів потрапляють в організм людини з їжею, треба знати, скільки того чи іншого продукту надходить за певний період часу (за рік). У процесі порівняльного аналізу соціального стану населення України були визначені продуктові набори (річні раціони – кг/рік) в

середньому на душу населення України (рівень прожиткового мінімуму див. в табл. 5.13).

Таблиця 5.13 – Рівень прожиткового мінімуму в Україні

Види продуктів	Раціональна норма споживання згідно МОЗ України, од./рік
хліб та хлібопродукти	101 кг
молоко та молокопродукти	380 кг
м'ясо та м'ясопродукти	80 кг
яйця	290 штук
картопля	124 кг
овочі й баштанні	161 кг
плоди та ягоди	90 кг
риба та рибопродукти	20 кг
цукор	38 кг
олія	13 кг

5.2 Оцінка ризику загрози здоров'ю внаслідок впливу порогових токсикантів

Негативний вплив порогового токсиканту має характеризуватися значенням тієї порогової дози (або потужності дози, тобто величиною дози, віднесеної до деякого інтервалу часу), починаючи з якої з'являються несприятливі наслідки. Практика досліджень залежності між значенням дози токсиканту і його дією (ефектом) показала, що можливо кілька підходів до встановлення величини порогової потужності дози. Відповідно можливе використання наступних значень, що виявляються досвідченим шляхом (як правило, за результатами експериментів з тваринами):

1. H_{NOEL} – найбільша порогова потужність дози, яка не призводить до появи *яких би то не було* статистично значимих біологічних ефектів (NOEL – «no-observed-effect level», тобто рівень, при якому ніякі ефекти не спостерігаються).

2. H_{NOAEL} – найбільша потужність дози, яка не призводить до появи статистично значущих *несприятливих* біологічних ефектів (NOAEL – «no-observed-adverse-effect level», тобто рівень, при якому не спостерігаються *несприятливі* ефекти).

3. H_{LOEL} – найменша потужність дози, яка призводить до появи *яких би то не було* статистично значимих біологічних ефектів (LOEL – «lowest-observed-effect level», тобто найнижчий рівень, при якому спостерігаються ефекти).

4. H_{LOAEL} – найменша потужність дози, яка призводить до появи статистично значущих *несприятливих* біологічних ефектів (LOAEL – «lowest-observed-adverse-effect level», тобто найнижчий рівень, при якому спостерігаються *несприятливі* ефекти).

Всі чотири величини вимірюються кількістю забруднювача, що надходить в одиницю часу в організм людини або тварини і нормованого на одиницю маси тіла. Зазвичай кількість токсиканту вимірюється в міліграмах, одиницею часу служить день (доба), а одиницею маси тіла – кілограм, отже, розмірність перерахованих величин – мг/(кг·добу).

Оптимальне узгодження експериментальних даних і результатів спостережень над групами ризику означає, що є достатня інформація по всім перерахованим вище факторам. Однак на практиці таке погодження забезпечити не вдається. Тому доводиться вводити *коефіцієнти невизначеності*, які відіграють роль своєрідного «запасу надійності» в процесі обчислення потужності дози. Зазвичай використовують три коефіцієнти: F_1 , F_2 і F_3 , на їх добуток ділять величину порогової потужності дози:

$$H_D = \frac{H_{D(i)}}{F_1 \cdot F_2 \cdot F_3}, \quad (5.2)$$

де $H_{D(i)}$ – будь-яке з представлених вище значень порогової потужності дози, а H_D – її скоректоване значення.

Коефіцієнт F_1 використовується для обліку можливих міжвидових варіацій в прояві ефектів від однієї і тієї ж потужності дози, тобто він характеризує міжвидові відмінності в чутливості до токсиканту. Якщо біокінетичні особливості токсиканту і механізми його токсичності у експериментальних тварин і людей різняться сильно, то коефіцієнту F_1 приписують максимальне значення, рівне 10. Якщо біокінетика і механізми токсичності у експериментальних тварин і людей схожі, $F_1 = 1$.

Коефіцієнт F_2 відповідає за внутрішньовидові відмінності в дії токсиканту, які обумовлені індивідуальною чутливістю. Його значення можуть мінятися від 1 до 10; також зазвичай вважають $F_2 = 1$ (якщо істотні індивідуальні відмінності в чутливості до даного токсиканту не виявлено).

Коефіцієнт F_3 підвищує надійність розрахунків, пов'язаних з переходом від порівняно короткочасних спостережень до оцінок ефектів на значно більший період часу. Значення цього коефіцієнта може варіювати від 10 до 100. Коли потрібно оцінити H_{NOEL} або H_{NOAEL} для всього життя тварини або людини, а є дані тільки по короткочасним експериментам, то вважають $F_3 = 10$. Для оцінки ж H_{LOEL} або H_{LOAEL} при тих же умовах використовується максимальне значення $F_3 = 100$.

Таким чином, введення коефіцієнтів невизначеності F_1 , F_2 і F_3 істотно знижує значення порогової потужності дози, що зумовлено впливом ряду невизначеностей. Максимальне значення добутку коефіцієнтів $F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 = 10 \cdot 10 \cdot 100 = 10000$.

Можна сказати, що ці коефіцієнти виконують роль факторів перестраховки, тому що в розрахунки ризику будуть входити навмисно занижені значення порогової потужності дози. Наприклад, для тетраетилсвинця

в результаті дослідів з тваринами було отримано значення H_{LOAEL} , дорівнює 0,0012 мг/(кг·добу). Але через недосконалість умов експериментів коефіцієнтам невизначеності довелося приписати найбільші значення, тому скориговане значення порогової потужності дози H_D при надходженні цього токсиканту з водою або їжею склало $0,0012:10000 = 1,2 \cdot 10^{-7}$ мг/(кг·добу).

У випадку іншого токсиканту – фенолу – виконані експерименти характеризувалися істотно меншою невизначеністю, добуток виявився рівним 100. Оскільки значення H_{NOAEL} було при надходженні фенолу з водою або їжею одно 60 мг/(кг·добу), скориговане значення порогової потужності дози H_D склало $60:100 = 0,6$ мг/(кг·добу).

Одиниця потужності порогової дози – мг/(кг·добу) – пов'язана із залежністю впливу токсиканту, що надходить в організм, від маси тіла. Перед тим, як зафіксувати значення цієї дози для людей, проводяться досліді на тваринах, причому використовуються, як правило, кілька груп тварин, для кожної з них приймається середня величина маси тіла. Часто об'єктами таких дослідів стають миші, щури, морські свинки і кролики.

Агентство з захисту навколишнього середовища США [9] сформувало і підтримує в мережі Інтернет базу даних, яка містить значення порогової потужності доз різних забруднювачів навколишнього середовища. Ця база постійно поповнюється новими даними.

Значення порогової потужності дози H_D при надходженні деяких токсикантів-неканцерогенів з повітрям, водою й харчами наведені (у порядку убутання граничної потужності дози) в таблицях 5.14–5.16.

Таблиця 5.14 – Значення порогової потужності дози H_D при надходженні деяких токсикантів-неканцерогенів з повітрям

Токсиканти, що надходять з повітрям	H_D , мг/(кг·добу)
Ацетон	0,9
Фенол	0,6
Формальдегід	0,2
Бензол	$9 \cdot 10^{-3}$
Марганець	$1,4 \cdot 10^{-3}$
Ртуть (метал)	$8,6 \cdot 10^{-5}$
Берилій	$5,8 \cdot 10^{-6}$
Тетраетилсвинець	$5,7 \cdot 10^{-6}$

Як показують дані, наведені в таблицях 5.14–5.16, за значенням порогової потужності дози токсичні речовини можуть відрізнятися в мільйони разів.

Таблиця 5.15 – Значення порогової потужності дози H_D при надходженні деяких токсикантів-неканцерогенів з водою і харчами

Токсиканти, що надходять з водою і харчами	H_D , мг/(кг·добу)	Токсиканти, що надходять з водою і харчами	H_D , мг/(кг·добу)
Нітрати	1,6	Селен	$5 \cdot 10^{-3}$
Хром (Cr^{3+})	1,0	Молібден	$5 \cdot 10^{-3}$
Цинк	0,3	Срібло	$5 \cdot 10^{-3}$
Барій	0,2	Хром (VI)	$5 \cdot 10^{-3}$
Бор	0,2	Кадмій	$5 \cdot 10^{-4}$
Марганець	0,14	Сурма	$4 \cdot 10^{-4}$
Хлор	0,1	Миш'як	$3 \cdot 10^{-4}$
Мідь	0,04	Ртуть (хлорид)	$3 \cdot 10^{-4}$
Нікель	0,02	Талій (хлорид, карбонат)	$8 \cdot 10^{-5}$

Таблиця 5.16 – Значення порогової потужності дози H_D при надходженні деяких токсикантів-неканцерогенів з водою

Токсиканти, що надходять з водою	H_D , мг/(кг·добу)
Етиленгліколь	2,0
Ацетон	0,9
Нафтопродукти	0,6
Фенол	0,6
Метанол	0,5
Формальдегід	0,2
Пентахлорфенол $\text{C}_6\text{Cl}_5\text{OH}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$
Бензол	$4,0 \cdot 10^{-3}$
Вінілхлорид	$3,0 \cdot 10^{-3}$
Нітробензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	$5,0 \cdot 10^{-4}$
ДДТ	$5,0 \cdot 10^{-4}$
Метилртуть $\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Тетраетилсвинець	$1,2 \cdot 10^{-7}$

Нижче розглядається методика розв'язання задач, рекомендована Агентством із захисту навколишнього середовища США [9]. При вирішенні завдань, в яких розглядається вдихання токсиканту, середньодобове його надходження m , віднесене до 1 кг маси тіла людини, розраховується за формулою:

$$m = \frac{C \cdot V \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (5.3)$$

де C – концентрація токсиканту у повітрі, мг/м³;

V – об'єм повітря, що надходить до легень, м³/добу (вважається, що доросла людина вдихає 20 м³ повітря щодобово);

f – кількість днів у році, протягом яких відбувається вплив токсиканту;

T_p – кількість років, протягом яких відбувається вплив токсиканту;

P – середня маса тіла дорослої людини, що приймається рівною 70 кг;

T – усереднений час впливу токсиканту (або середня тривалість можливого впливу токсиканту за час життя людини), що приймається рівним 30 рокам (10950 діб).

Вищенаведений вираз для m базується на вже давно відомій і використовуваній в токсикології формулі Габера, за якою обчислюють показник токсичності речовини K_{tox} . Для токсиканту, що надходить з повітрям, ця формула має вигляд:

$$K_{tox} = \frac{C \cdot V \cdot t}{P}, \quad (5.4)$$

де C – концентрація токсиканту,
 V – об'єм легеневої вентиляції,
 t – час дії токсиканту,
 P – маса тіла.

Якщо вирішуються завдання, пов'язані зі споживанням питної води, то середньодобове надходження токсиканту з водою на 1 кг маси тіла людини m визначається за декілька зміненою формулою:

$$m = \frac{C \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (5.5)$$

де C – концентрація токсиканту у питній воді, мг/л;
 v – швидкість надходження води в організм людини, л/добу (вважається, що доросла людина випиває щодоби 2 літри води);
 f – кількість днів у році, протягом яких відбувається вплив токсиканту;
 T_p – кількість років, протягом яких споживається розглянута питна вода.

Величини P і T – такі ж, як і в формулі для надходження токсиканту з повітрям. Розмірність величини m – мг/(л·добу).

Якщо вирішуються завдання, пов'язані зі споживанням продуктів харчування, то середньодобове надходження токсиканту з їжею m , приведене до 1 кг маси тіла людини, обчислюють за формулою:

$$m = \frac{C \cdot M \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (5.6)$$

де C – концентрація токсиканту у розглянутому харчовому продукті;
 M – кількість продукту, що споживається за один рік;
 T_p – кількість років, протягом яких споживається продукт.

Величини P і T – такі ж, як і в формулі для надходження токсиканту з повітрям або водою. Величина m має розмірність мг/(кг·добу).

Після того, як обчислено середньодобове надходження токсиканту, віднесене до 1 кг маси тіла, розраховується величина, яка називається **коефіцієнт небезпеки**. Її позначають через HQ (від слів Hazard Quotient) і визначають виразом:

$$HQ = \frac{m}{H_D}, \quad (5.7)$$

де H_D – порогова потужність дози, значення якої наведені у таблицях 5.14–5.16.

Критерії неканцерогенного ризику наведені у таблиці 5.17.

Характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів при комбінованому впливі хімічних речовин проводять на основі розрахунку **індексу небезпеки** за формулою:

$$HI = \sum HQ_i, \quad (5.8)$$

де $\sum HQ_i$ – коефіцієнти небезпеки для окремих компонентів суміші хімічних речовин, що впливають.

Таблиця 5.17 – Критерії неканцерогенного ризику

Характеристика ризику	Коефіцієнт небезпеки (HQ) або індекс небезпеки (HI)
Ризик виникнення шкідливих ефектів розглядають як зневажливо малий	< 1
Гранична величина, що не потребує термінових заходів, однак не може розглядатися як досить прийнятна	1
Імовірність розвитку шкідливих ефектів зростає пропорційно збільшенню HQ (HI)	> 1

Розглянемо приклад розв'язання завдань такого типу.

Вихідні дані

Припустимо, що у воді знаходяться дуже токсичні важкі метали - кадмій і ртуть, причому їх вміст дорівнює значенням відповідних ГДК в питній воді. Ці значення рівні 0,001 мг/л для кадмію та 0,0005 мг/л для ртуті. Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде пити таку воду протягом 10 років? Протягом кожного року вплив токсиканту триває в середньому 300 днів. Порогова потужність дози складає $5 \cdot 10^{-4}$ мг/(кг·добу) для кадмію і $3 \cdot 10^{-4}$ мг/(кг·добу) для ртуті.

$$C_{Cd} = \text{ГДК} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ мг/л};$$

$$C_{Hg} = \text{ГДК} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ мг/л};$$

$$v = 2 \text{ л/добу};$$

$$f = 300 \text{ діб/рік};$$

$T_p = 10$ років;

$H_{D(Cd)} = 5 \cdot 10^{-4}$ мг/(кг·добу);

$H_{D(Hg)} = 3 \cdot 10^{-4}$ мг/(кг·добу);

$P = 70$ кг;

$T = 30$ років.

Розв'язання

Середньодобове надходження кадмію з водою на 1 кг маси тіла людини:

$$m_{Cd} = \frac{C_{Cd} \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{0,001 \text{ (мг/л)} \cdot 2 \text{ (л/добу)} \cdot 300 \text{ (дів/рік)} \cdot 10 \text{ (років)}}{70 \text{ (кг)} \cdot 10950 \text{ (дів)}} =$$
$$= \frac{6 \text{ (мг)}}{766500 \text{ (кг} \cdot \text{добу)}} = 7,7 \cdot 10^{-6} \text{ мг/(кг} \cdot \text{добу)}$$

Коефіцієнт небезпеки для кадмію:

$$HQ_{Cd} = \frac{m_{Cd}}{H_{D(Cd)}} = \frac{7,7 \cdot 10^{-6} \text{ мг/(кг} \cdot \text{добу)}}{5 \cdot 10^{-4} \text{ мг/(кг} \cdot \text{добу)}} = 0,016.$$

Середньодобове надходження ртуті з водою на 1 кг маси тіла людини:

$$m_{Hg} = \frac{C_{Hg} \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{5 \cdot 10^{-4} \text{ (мг/л)} \cdot 2 \text{ (л/добу)} \cdot 300 \text{ (дів/рік)} \cdot 10 \text{ (років)}}{70 \text{ (кг)} \cdot 10950 \text{ (дів)}} =$$
$$= \frac{3 \text{ (мг)}}{766500 \text{ (кг} \cdot \text{добу)}} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ мг/(кг} \cdot \text{добу)}$$

Коефіцієнт небезпеки для ртуті:

$$HQ_{Hg} = \frac{m_{Hg}}{H_{D(Hg)}} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \text{ мг/(кг} \cdot \text{добу)}}{3 \cdot 10^{-4} \text{ мг/(кг} \cdot \text{добу)}} = 0,013$$

Тоді індекс небезпеки складе:

$$HI = HQ_{Cd} + HQ_{Hg} = 0,016 + 0,013 = 0,029 \ll 1.$$

Висновок

$HI < 1$, тобто ризик виникнення шкідливих ефектів розглядають як зневажливо малий.

5.3 Оцінка ризику загрози здоров'ю внаслідок впливу безпорогових токсикантів (нерадіоактивних канцерогенів)

До канцерогенів відносять речовини, вплив яких достовірно збільшує частоту виникнення пухлин (доброякісних та/або злоякісних) в популяціях людини та/або тварин та/або скорочує час розвитку цих пухлин. Як вже зазначалося, при оцінці ризику загрози здоров'ю, зумовлених впливом канцерогенних речовин, використовують два важливих положення. По-перше, прийнято вважати, що у канцерогенів немає порогової дози, їх дія починається вже при самих малих кількостях, що потрапили в організм людини. По-друге, вважається, що ймовірність розвитку онкозахворювання (тобто канцерогенний ризик) прямо пропорційна кількості (дозі) канцерогену, введенного в організм.

Сукупність цих двох положень називають безпороговою лінійною моделлю. Лінійний характер залежності між канцерогенним ризиком і дозою канцерогенної речовини виражається простою формулою:

$$r = F_r \cdot D, \quad (5.9)$$

де r – індивідуальний канцерогенний ризик; під ним слід розуміти додатковий ризик (додатково до вже існуючої ймовірності захворіти раком) онкологічного захворювання, що викликається надходженням даного канцерогену;

D – доза канцерогену, що потрапив в організм людини, мг/(кг·добу);

F_r – коефіцієнт пропорційності між ризиком і дозою, званий фактором ризику, [мг/(кг·добу)]⁻¹.

Фактор ризику F_r показує, наскільки швидко зростає ймовірність онкозахворювання при збільшенні дози канцерогену, що надійшов в організм людини з повітрям, водою або їжею. Фактор ризику ще називають коефіцієнтом нахилу (Slope Factor), тому що він характеризує кут нахилу прямої залежності «ризик – доза». Очевидно, що чим більше кут нахилу, тим більше загроза здоров'ю.

Одиниця фактора ризику F_r – [мг/(кг·добу)]⁻¹; вона зворотна одиниці середньодобового надходження канцерогену. Фактор ризику кількісно характеризує збільшення загрози здоров'ю внаслідок щоденного надходження даного канцерогену в кількості 1 мг, віднесеного до 1 кг маси тіла людини.

Часто індивідуальний канцерогенний ризик розраховують за формулою:

$$r = m \cdot F_r, \quad (5.10)$$

де m – середньодобове надходження канцерогену з повітрям, водою або з їжею, віднесене до 1 кг маси тіла людини, в міліграмах на кілограм на добу.

Зручність розрахунку ризику r за цією формулою полягає в тому, що в результаті перемножування величин m і F_r виходить безрозмірна величина.

Значення факторів ризику визначаються, як правило, в результаті дослідів на тваринах. Агентство з захисту навколишнього середовища США [9] сформувало в мережі Інтернет базу даних по факторам ризику різних канцерогенів, яка постійно поповнюється, а значення цих факторів уточнюються в міру одержання нових наукових даних.

У таблицях нижче наведені значення факторів ризику (в порядку їх зростання) при надходженні в організм людини ряду канцерогенів з повітрям (табл. 5.18), а також з водою і їжею (табл. 5.19).

Ці таблиці показують, що величина фактору ризику варіює в дуже широких межах.

Нижче розглядається методика розв'язання задач, рекомендована Агентством по захисту навколишнього середовища США [9].

При вирішенні завдань, в яких розглядається надходження канцерогену з повітрям, його середньодобове надходження, віднесене до 1 кг маси тіла людини, розраховується за формулою:

$$m = \frac{C \cdot V \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (5.11)$$

де C – концентрація канцерогену у повітрі (мг/м³);

V – об'єм повітря, що потрапляє в легені на протязі доби, м³/добу (вважається, що доросла людина вдихає 20 м³ повітря щодоби);

f – кількість днів у році, протягом яких відбувається вплив канцерогену;

T_p – кількість років, протягом яких відбувається вплив канцерогену;

P – середня маса тіла дорослої людини, що дорівнює 70 кг;

T – усереднений час можливого впливу канцерогену, в якості якого приймається середня тривалість життя людини, яка вважається рівною 70 років (25550 діб).

Таблиця 5.18 – Значення факторів ризику (в порядку їх зростання) при надходженні в організм людини ряду канцерогенів з повітрям

Канцерогени	$F_r, (\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{добу}))^{-1}$
Дихлорметан	$1,6 \cdot 10^3$
Трихлоретилен	$7 \cdot 10^3$
Формальдегід	$2,1 \cdot 10^2$
Свинець та його сполуки	$4,2 \cdot 10^2$
Бензол	$5,5 \cdot 10^2$
Вінілхлорид	$7,2 \cdot 10^2$
Тетрахлоретилен	0,15
Дихлоретан	0,27
Хлорбензол	0,27
ДДТ	0,34
Нікель (пил у повітрі)	0,91
Поліхлоровані біфеніли	2,0
Вихлопні гази дизельних двигунів	2,1
Кадмій та його сполуки	6,3
Бензо(а)пірен	7,3
Берилій, метал і оксид	8,4
Миш'як	12
Хром (VI)	42
Берилій, сульфат	$3 \cdot 10^3$
Діоксини (суміш)	$4,6 \cdot 10^3$

Таблиця 5.19 – Значення факторів ризику (в порядку їх зростання) при надходженні в організм людини ряду канцерогенів з водою і їжею

Канцерогени	$F_r, (\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{добу}))^{-1}$
Свинець та його сполуки	$8,5 \cdot 10^{-3}$
Хлороформ	$3,1 \cdot 10^{-2}$
Бензол	$5,5 \cdot 10^{-2}$
Пентахлорфенол $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	0,12
Хлорбензол $\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{Cl}_2\text{O}_3$	0,27
ДДТ	0,3
Кадмій та його сполуки	0,38
Трихлоретилен	0,4
Тетрахлоретилен	0,54
Миш'як	1,75
Вінілхлорид	1,9
Берилій, оксид	7,0
Поліхлоровані біфеніли	5,0
Бензо(а)пірен	12
Берилій, сульфат	$3 \cdot 10^3$
Діоксини (суміш)	$1,6 \cdot 10^5$

Якщо вирішуються завдання, пов'язані зі споживанням питної води, то середньодобове надходження m канцерогену з водою на 1 кг маси тіла людини визначається за такою формулою:

$$m = \frac{C \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (5.12)$$

де C – концентрація канцерогену у питній воді, мг/л;

v – швидкість надходження води в організм людини, л/добу. Вважається, що доросла людина випиває щодоби 2 літри води;

f – кількість днів у році, протягом яких відбувається вплив канцерогену;

T_p – кількість років, протягом яких споживається розглянута питна вода.

Величини P і T – такі ж, як і в формулі, за якою розраховується потрапляння канцерогену з повітрям.

Якщо вирішуються завдання, пов'язані зі споживанням продуктів харчування, то середньодобове надходження m канцерогену з їжею, приведене до 1 кг маси тіла людини, визначають за формулою:

$$m = \frac{C \cdot M \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (5.13)$$

де C – концентрація канцерогену в розглянутому харчовому продукті;

M – кількість продукту, що споживається за один рік;

T_p – кількість років, протягом яких споживається розглянутий продукт.

Величини P і T – такі ж, як і в формулі, за якою розраховується потрапляння канцерогену з повітрям або з водою.

Після того, як обчислено середньодобове надходження канцерогену, приведене до 1 кг маси тіла людини, розраховують індивідуальний канцерогенний ризик r за формулою:

$$r = m \cdot F_r, \quad (5.14)$$

де F_r – фактор ризику, що виражається в $(\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{добу}))^{-1}$, його значення наведені у таблицях 5.18 і 5.19.

Якщо $r \leq 10^{-6}$, індивідуальний канцерогенний ризик вважається нехтовно малим. Верхня межа допустимого індивідуального канцерогенного ризику приймається рівною 10^{-4} .

Якщо $r > 10^{-4}$, індивідуальний канцерогенний ризик вважається неприйнятним.

У разі впливу кількох канцерогенів повний ризик виражається сумою окремих канцерогенних ризиків:

$$r_t = r_1 + r_2 + \dots \quad (5.15)$$

Колективний канцерогенний ризик R визначається формулами:

$$\begin{aligned} R &= r \cdot N, \\ R_t &= r_t \cdot N, \end{aligned} \quad (5.16)$$

де N – кількість осіб, що піддаються даному ризику.

Розглянемо приклад розв'язання завдань такого типу.

Вихідні дані

В Україні значення ГДК (середньодобової) бензо(а)пірену в повітрі прийнято рівним $1 \text{ нг}/\text{м}^3$. Вміст цього канцерогену в повітрі деякого населеного пункту перевищило дану величину в 5 разів. Який колективний ризик загрози здоров'ю для групи людей чисельністю 100000 чоловік, якщо всі ці люди дихають таким повітрям протягом 3 років? Фактор ризику для надходження бензо(а)пірену з повітрям дорівнює $7,3 (\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{добу}))^{-1}$.

$$C = 5 \text{ ГДК} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ г}/\text{м}^3 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ мг}/\text{м}^3;$$

$$V = 20 \text{ м}^3/\text{добу};$$

$$f = 365 \text{ діб}/\text{рік};$$

$$T_p = 3 \text{ роки};$$

$$F_r = 12 (\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{добу}))^{-1};$$

$$N = 1 \cdot 10^5 \text{ чол.};$$

$$P = 70 \text{ кг};$$

$$T = 70 \text{ років}.$$

Розв'язання

Середньодобове надходження канцерогену з повітрям на 1 кг маси тіла людини:

$$m = \frac{C \cdot V \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{5 \cdot 10^{-6} \text{ (мг / м}^3\text{)} \cdot 20 \text{ (м}^3 \text{ / добу)} \cdot 365 \text{ (дів / рік)} \cdot 3 \text{ (роки)}}{70 \text{ (кг)} \cdot 25550 \text{ (дів)}} =$$
$$= \frac{0,11 \text{ (мг)}}{1788500 \text{ (кг} \cdot \text{добу)}} = 6,1 \cdot 10^{-8} \text{ мг / (кг} \cdot \text{добу)}$$

Індивідуальний ризик:

$$r = m \cdot F_r = 6,1 \cdot 10^{-8} \text{ мг / (кг} \cdot \text{добу)} \cdot 7,3 \text{ (мг / (кг} \cdot \text{добу))}^{-1} = 4,5 \cdot 10^{-7}.$$

Значення індивідуального ризику, приведене до одного року:

$$4,5 \cdot 10^{-7} / 3 = 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ чол}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}.$$

Ця величина значно менше рівня нехтовного ризику, який дорівнює $1 \cdot 10^{-6} \text{ чол}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$, тому у розглянутій місцевості ніякої загрози здоров'ю людей немає.

Колективний ризик:

$$R = r \cdot N = 4,5 \cdot 10^{-7} \cdot 10^5 = 4,5 \cdot 10^{-2} \ll 1.$$

Висновок

Серед населення чисельністю в 100 000 чоловік протягом 3 років не повинно бути жодного додаткового випадку онкозахворювання, викликаного дією бензо(а)пірену.

2 КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ

Відповідь студента оцінюється за національною шкалою **«відмінно»** або за шкалою ECTS **«А»**, якщо він при вивченні модуля набрав *більше 89,9 – 100 включно* балів та:

- вільно володіє матеріалом;
- послідовно дає логічні відповіді на запитання;
- правильно розв'язав практичні задачі;
- вільно відповідає на додаткові запитання;
- грамотно використовує знання теоретичного матеріалу при розв'язанні практичних задач;
- володіє логічним мисленням;
- правильно виконав Індивідуальне завдання;
- вільно застосовує ЕОМ при розв'язанні практичних задач, при виконанні графічної частини Індивідуального завдання.

Відповідь студента оцінюється **«добре»** або **«В»**, якщо він набрав *більше 81,99–89,99 включно* балів та:

- твердо володіє матеріалом;
- грамотно і логічно дає відповіді на запитання;
- при викладенні матеріалу допускається тільки деяких помилок з другорядних запитань;
- правильно відповідає на додаткові запитання;
- правильно виконав Індивідуальне завдання;
- вміє використовувати готові програмні продукти при розв'язанні практичних задач.

Відповідь студента оцінюється **«добре»** або **«С»**, якщо він набрав *більше 73,99–81,99 включно* балів та:

- твердо володіє матеріалом;
- грамотно і логічно дає відповіді на запитання;
- при викладенні матеріалу допускається помилок з другорядних запитань;
- правильно відповідає на додаткові запитання;
- правильно виконав Індивідуальне завдання, але допустився помилок в одиницях вимірювання або чисто математичні помилки.

Відповідь студента оцінюється **«задовільно»** або **«D»**, якщо він набрав *більше 63,99–73,99 включно* балів та:

- твердо володіє основним матеріалом;
- допускає деякі неточності у формулюваннях основних термінів та основного матеріалу;
- невпевнено відповідає на додаткові запитання;
- правильно, але не до кінця розв'язав задачі;
- вміє працювати з ЕОМ.

Відповідь студента оцінюється **«задовільно»** або **«Е»**, якщо він набрав *більше 49,99–63,99 включно* балів та:

- недостатньо твердо володіє основним матеріалом;
- допускає неточності при формулюванні основних термінів та слабо орієнтується в основному матеріалі;
- допустився принципових помилок при виконанні Індивідуального завдання;
- має слабкі навички роботи з ЕОМ.

Відповідь студента оцінюється **«незадовільно з можливістю повторного складання»** або **«FX»**, якщо він набрав *більше 34,99–49,99 включно* балів та:

- погано володіє основним матеріалом;
- допускається грубих помилок при формулюванні основних термінів та не орієнтується в основному матеріалі;
- на додаткові запитання не відповідає або відповідає невпевнено і неправильно;
- навички роботи з ЕОМ погані.

Відповідь студента оцінюється **«незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни»** або **«F»**, якщо він набрав *від 0 до 34,99 включно* балів та:

- не володіє основним матеріалом;
- навички роботи з ЕОМ погані.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. – [Чинний від 2010-05-12]. – Харків : Видавництво «Форт», 2010. – 62 с.
2. ДСТУ 4808:2007 Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. – [На заміну ГОСТ 2761-84 ; Чинний від 2009-01-01]. – Київ : ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2007. – 36 с.
3. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення Проектування. – [Чинний від 2014-01-01]. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 172 с.
4. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения СанПиН 4630-88. – М. , 1989.
5. Руководство к лабораторным занятиям по коммунальной гигиене : учеб. пособ. / Е. И. Гончарук, Р. Д. Габович, С. И. Гаркавый и др.; Под ред. Е. И. Гончарука. – М. : Медицина, 1990. – 416 с.: ил.
6. Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України [Текст] / Наказ Держбуду України 19 лютого 2002 року № 37.
7. Тогачинська О. В. Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище : конспект лекцій для студ. спец. 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» ден. та заоч. форм навчання / О. В. Тогачинська, О. В. Ничик, О. М. Салавор. – Київ : НУХТ, 2014. – 75 с.
8. Методичні рекомендації МР 2.2.12-142-2007. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря. – Затв. наказом МОЗ України від 13.04.07 № 184. – Київ , 2007. – 40 с.
9. Integrated Risk Information System (IRIS) US EPA: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: // <https://www.epa.gov/iris>
10. Дистанційний курс з дисципліни «Санітарний контроль водогосподарської діяльності» – Режим доступу: <https://dl.kname.edu.ua/course/view.php?id=2085>

ДОДАТОК А

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова

Кафедра Водопостачання, водовідведення і очищення вод

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

«Санітарний контроль водогосподарської діяльності»

Здобувач _____ курсу
групи _____
спеціальності 194 – Гідротехнічне
будівництво, водна інженерія та водні
технології

(прізвище та ініціали)

№ залікової книжки _____

Керівник: доц. Благодарна Г. І.

Національна шкала _____

Кількість балів: _____

м. Харків – 20____ рік

ДОДАТОК Б

ПРИКЛАД **протоколу за темою** **«Методи органолептичного дослідження різних типів води»**

Для дослідження взята вода з міського водопроводу, як харчовий продукт – вершкове масло, як предмет із пластмаси – кулькова ручка.

1	Органолептичні властивості зразка води 1 зразок: <i>із водопроводу (м. Харків, Шевченківський р-н)</i>	
	колір.....	безколірна
	запах: – інтенсивність..... – характер.....	2 бал <i>Запах помічається споживачем, якщо звернути на нього увагу</i>
	смак (після кип'ятіння і остигнення води): – інтенсивність..... – характер.....	2 бал <i>Смак і присмак помічаються споживачем, якщо звернути на це увагу</i>
	прозорість.....	25 см
2	Органолептичні властивості води 2 зразок: <i>«Моришинська» столова негазована</i>	
	запах.....	1 бал (Запах не визначається споживачем)
	колір.....	безколірна
	смак, присмак.....	1 бал (Смак і присмак не відчувається споживачем)
3	Органолептичні властивості 3 зразок: <i>води з річки Лопань</i>	
	запах.....	3 бал (Запах легко помічається і викликає несхвальний відгук про воду)
	колір.....	безколірна
	смак, присмак.....	0 бал (Смак і присмак не визначався)

Виробничо-практичне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до виконання розрахунково-графічної роботи
з навчальної дисципліни

«САНІТАРНИЙ КОНТРОЛЬ ВОДОГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ»

*(для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
всіх форм навчання спеціальності
194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)*

Укладач **БЛАГОДАРНА** Галина Іванівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

За авторіською редакцією

Комп'ютерний набір *Г. І. Благодарна*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2021, поз. 595 М.

Підп. до друку 10.02.2022. Формат 60 × 84/16.

Електронне видання. Ум. друк. арк. 3,2.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.