



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ**

**Харківський національний технічний університет  
сільськогосподарського господарства імені Петра Василенка**

**Навчально-науковий інститут енергетики  
та комп'ютерних технологій**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ  
З ДИСЦИПЛІНИ**

## **ЕКОЛОГІЯ ЗА ПРОФЕСІЙНИМ СПРЯМУВАННЯМ**

(для студентів 2 курсу денної і заочної форм навчання)  
за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

Затверджено  
на засіданні кафедри «Інтегровані  
електротехнології та процеси»  
Протокол № 11 від 31.08.2017р.

Затверджено  
на засіданні Методичної ради  
навчально-наукового інституту  
енергетики та комп'ютерних технологій  
Протокол № 1 від 5.09.2017 р.

**Харків-2017**

6Ф 6.5  
Ж 91  
ББК-62-52 (075)

**Автори укладачі:** Кунденко М. П., проф., д.т.н., завідувач кафедри ІЕТП; Шинкаренко І. М., ст. викладач (Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка).

**Під редакцією:** Кунденко М. П., проф., д.т.н., завідувач кафедри ІЕТП (Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка).

Екологія за професійним спрямуванням: методичні вказівки до практичних занять / М. П. Кунденко, І. М. Шинкаренко. - Х.: ХНТУСГ, 2017. - 44 с.

**Рецензенти:**

**Єгоров Олексій Борисович, к.т.н., доцент** Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка (м. Харків)

Методичні вказівки призначені для виконання практичних занять з дисципліни «Екологія за професійним спрямуванням» для студентів 2 курсу денної і заочної форм навчання за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

© Кунденко М. П., Шинкаренко І. М.  
© Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

## ЗМІСТ

	стор.
<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>Практичне заняття 1.</b> Вивчення методики підрахунку терміну вичерпання невідновних ресурсів.....	5
<b>Практичне заняття 2.</b> Визначення кількості антропогенних забруднень, що потрапляють у навколишнє середовище в результаті роботи автотранспорту .....	6
<b>Практичне заняття 3.</b> Вивчення демографічних показників.....	10
<b>Практичне заняття 4.</b> Екологічні ризики.....	12
<b>Практичне заняття 4.1.</b> Оцінка ризику загрози здоров'ю внаслідок впливу порогових токсикантів.....	21
<b>Практичне заняття 4.2.</b> Оцінка ризику загрози здоров'ю внаслідок впливу безпорогових токсикантів (нерадіоактивних канцерогенів).....	27
<b>СПИСОК ДЖЕРЕЛ</b> .....	31
<b>ДОДАТКИ</b> .....	32

## ВСТУП

Навчальна дисципліна «Основи екології» належить до циклу навчальних дисциплін професійно-практичної підготовки за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

**Метою** вивчення дисципліни є формування у майбутніх фахівців знань, пов'язаних з вирішенням питань охорони навколишнього природного середовища.

**Предметом** вивчення дисципліни є методологія екологічної оцінки антропогенного впливу водогосподарських об'єктів на природні водні екосистеми, заходи щодо охорони та відтворення водних ресурсів.

**Основними завданнями**, що мають бути вирішені в процесі викладення дисципліни, є теоретична й практична підготовка студентів з питань:

- основних законів формування та функціонування екологічних систем;
- взаємозв'язку й взаємозалежності компонентів навколишнього природного середовища;
- необхідності та методології захисту довкілля;
- оцінки впливу учасників водогосподарського комплексу на водні та навколоводні екосистеми;
- охорони, відтворення запасів водних ресурсів з метою стабілізації навколишнього природного середовища;
- нормативно-правових основ охорони навколишнього середовища, основ екологічного нормування.

### **Організаційно-методичні особливості проведення занять**

Для підготовки бакалавра на рівні знань у програмі навчальної дисципліни «Основи екології» передбачений цикл лекцій у поєднанні із самостійною роботою студентів.

Рівень знань студентів підвищується при самостійній роботі, яка забезпечена консультаціями викладача. Завдання на самостійну роботу видаються у ході лекцій. Самостійна робота передбачає вивчення окремих теоретичних питань та підготовку до поточного контролю та заліку, виконання реферату (для студентів денної форми навчання) та контрольної роботи (для студентів заочної форми навчання). Реферат виконується у вигляді презентації за допомогою програми MS Power Point.

Поточний контроль знань студентів здійснюється за допомогою тестування за темами змістових модулів. Підсумковий звіт з дисципліни виконується у формі заліку.

У ході вивчення дисципліни студенти повинні навчатися використовувати літературу і довідкові видання з питань екології водних ресурсів, охорони навколишнього середовища та раціонального використання природних ресурсів.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

### Вивчення методики підрахунку терміну вичерпання невідновних ресурсів

**Мета:** Ознайомитися з методикою підрахунку часу вичерпання природного ресурсу.

#### **Теоретичне введення**

Ресурси можуть бути класифіковані як вічні, відновлювані і невідновлювані.

Вічні ресурси, такі як сонячна енергія, дійсно невичерпні з точки зору історії людства.

Відновлювані ресурси в нормальних умовах відновлюються в результаті природних процесів. Прикладами можуть служити дерева в лісах, дикі тварини, прісні води поверхневих водотоків та озер, родючі ґрунти та ін.

Невідновлювані, або вичерпні, ресурси існують в обмежених кількостях (запасах) в різних частинах земної кори. Прикладами є нафта, вугілля, мідь, алюміній та ін. Вони можуть бути виснажені як тому, що не заповнюються в результаті природних процесів (мідь і алюміній), так і тому, що їх запаси поповнюються повільніше, ніж відбувається їх споживання (нафта, вугілля). Невідновлювані ресурси вважаються економічно виснаженими, коли вироблені 80% їх оцінених запасів. Після досягнення цієї межі розвідка, видобуток і переробка запасів, що залишаються, обходиться дорожче ринкової ціни.

#### **Практична частина**

Оцініть термін вичерпання природного ресурсу, якщо відомий рівень видобутку ресурсу в поточному році, а споживання ресурсу в наступні роки буде зростати із заданою швидкістю приросту щорічного споживання. Вихідні дані для виконання роботи представлені в Додатку А.

Для розрахунку скористайтеся формулою суми членів ряду геометричної прогресії:

$$Q = \frac{\left( (1 + TP/100)^t - 1 \right) \cdot q}{TP/100}, \quad (1.1)$$

де  $Q$  - запас ресурсів;  $q$  - річне видобування ресурсу;  $TP$  - приріст споживання ресурсу;  $t$  - число років.

Логарифмування виразу для  $Q$  дає наступну формулу для розрахунку терміну вичерпання ресурсу:

$$t = \frac{\ln\left(\frac{Q \cdot TP}{q \cdot 100} + 1\right)}{\ln(1 + TP/100)}. \quad (1.2)$$

Розрахуйте час вичерпання наведених у Додатку А ресурсів за своїм варіантом. Зробіть висновок про послідовність припинення видобутку ресурсів.

#### **Контрольні запитання:**

1. Дайте загальну характеристику природних ресурсів.
2. Яке значення для розвитку цивілізації мають запаси корисних копалин?
3. У чому небезпека вичерпності природних ресурсів?
4. Які шляхи скорочення втрат сировини при видобутку, збагаченні, обробці, транспортуванні? Наведіть конкретний приклад.
5. Розгляньте карту вашого району. Встановіть, які корисні копалини тут видобуваються, в чому полягають основні заходи щодо їх охорони.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

### Визначення кількості антропогенних забруднень, що потрапляють у навколишнє середовище в результаті роботи автотранспорту

**Мета:** Вивчити експрес-методику визначення ступеня забруднення атмосферного повітря токсичними речовинами, що містяться у вихлопних газах міського автотранспорту.

#### Теоретичне введення

Суттєвою складовою забруднення повітряного середовища міст, особливо великих, є вихлопні гази автотранспорту, які в ряді столиць світу та країн СНД, містах-курортах складають 60-80% від загальних викидів (для порівняння: частка забруднення в викидах парникових газів - приблизно 10%, в скидах шкідливих речовин зі стічними водами - близько 3%). Багато країн, у тому числі й Україна, приймають різні заходи щодо зниження токсичності викидів шляхом кращого очищення бензину, заміни його на більш чисті джерела енергії (газове паливо, етанол, електрика), зниження свинцю в добавках до бензину. Проектуються більш економічні двигуни з більш повним згорянням пального, створення в містах зон з обмеженим рухом автомобілів та ін. Незважаючи на вжиті заходи, з року в рік зростає кількість автомобілів, і забруднення повітря не знижується. Відомо, що автотранспорт викидає в повітряне середовище більше 200 компонентів, серед яких чадний газ, вуглекислий газ, оксиди азоту і сірки, альдегіди, свинець, кадмій і канцерогенна група вуглеводнів (бензопірен і бензоантроцен). При цьому найбільша кількість токсичних речовин викидається автотранспортом в повітря на малому ході, на перехрестях, зупинках перед світлофорами. Так, на невеликій швидкості бензиновий двигун викидає в атмосферу 0,05% вуглеводнів (від загального викиду), а на малому ході - 0,98%, окису вуглецю відповідно 5,1% і 13,8%. Підраховано, що середньорічний пробіг кожного автомобіля 15 тис. км. В середньому за цей час він збіднює атмосферу на 4350 кг кисню і збагачує її на 3250 кг вуглекислого газу, 530 кг окису вуглецю, 93 кг вуглеводнів і 7 кг окислів азоту.

У таблиці 2.1 наведено вплив складових вихлопних газів на здоров'я людини.

**Таблиця 2.1 - Вплив вихлопних газів автомобілів на здоров'я людини**

Шкідливі речовини	Наслідки впливу на організм людини
Окис вуглецю (CO)	Перешкоджає адсорбуванню кров'ю кисню, що послаблює розумові здібності, сповільнює рефлекси, викликає сонливість і може стати причиною втрати свідомості і летального результату
Окисли азоту (N <sub>x</sub> O <sub>x</sub> )	Збільшують сприйнятливості організму до вірусних захворювань (типа грипу), дратують легені, викликають бронхіт і пневмонію, набряк легенів
Сірчастий ангідрид (SO <sub>2</sub> )	Подразнює слизову оболонку органів дихання, викликає кашель, порушує роботу легенів; знижує опірність до простудних захворювань, може загострити хронічні захворювання серця, а також викликає бронхіт
Свинець (Pb)	Сприяє появі відхилень у функціонуванні статевої системи, дефектів у новонароджених, уповільнення розвитку дітей з самого раннього віку, викликає безпліддя, спонтанні аборти та інші порушення

Дана практична робота дає можливість оцінити завантаженість ділянки вулиці

різними видами автотранспорту, оцінити рівень забруднення атмосферного повітря токсичними речовинами, що містяться у вихлопних газах міського автотранспорту.

### **Практична частина**

Виберіть кілька різних ділянок автотраси завдовжки близько 100 м. Визначте число одиниць автотранспорту, що проходять по вибраній ділянці протягом 30 або 60 хв. При цьому враховуйте, скільки автомобілів певного типу (легкові, вантажні, автобуси, дизельні вантажні автомобілі) проїхало по вибраній ділянці. У тому випадку, якщо спостереження зайняло 30 хв., отриманий результат помножте на 2.

Розрахуйте середнє число врахованих автомобілів для кожного типу автотранспорту в залежності від кількості обраних ділянок траси, після чого заповніть таблицю 2.2.

**Таблиця 2.2 - Середнє число врахованих автомобілів**

Тип автотранспорту	Всього за 1 годину
Легкові	
Вантажні	
Автобуси	
Дизельні	

Кількість викидів шкідливих речовин, що надходять від автотранспорту в атмосферу, можна оцінити розрахунковим методом. Вихідними даними для розрахунку кількості викидів є:

- число одиниць автотранспорту, що проїжджали по виділеній ділянці дороги в одиницю часу;
- норми витрати палива автотранспортом.

Середні норми витрати палива при русі в умовах міста наведені в таблиці 2.3.

**Таблиця 2.3 - Середні норми витрати палива**

Тип автотранспорту	Середні норми витрати палива (л на 100 км)	Питома витрата палива $U_a$ (л на 1 км)
Легкові	8-14	0,08-0,14
Вантажні	29-33	0,29-0,33
Автобуси	41-44	0,41-0,44
Дизельні	31-34	0,31-0,34

Значення емпіричних коефіцієнтів ( $K$ ), що визначають викид забруднюючих речовин від автотранспорту в залежності від виду пального, наведені в таблиці 2.4.

**Таблиця 2.4 - Значення емпіричних коефіцієнтів**

Види палива	Значення коефіцієнта ( $K$ ), г/кг				
	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Pb	C <sub>n</sub> H <sub>n</sub>
Бензин	395	1,6	20,0	0,7	34,0
Дизельне паливо	9,0	6,0	33,0	-	20,0

Коефіцієнт чисельно дорівнює кількості шкідливих викидів відповідного компонента при згоранні в двигуні автомашини кількості палива, рівного питомій витраті (л/км).

### Обробка результатів

Розрахуйте загальний шлях, пройдений встановленим числом автомобілів кожного типу за 1 годину ( $L_a$ , км) за формулою:

$$L_a = N_a \cdot L, \quad (2.1)$$

де  $N_a$  - число автомобілів кожного типу;  $L$  - довжина ділянки, км;  $a$  - позначення типу автомобіля.

Розрахуйте кількість палива різного виду ( $Q_a$ ), що спалюється при цьому двигунами автомашин, за формулою:

$$Q_a = Y_a \cdot L_a, \quad (2.2)$$

де  $Y$  - питома витрата пального (л/км);  $L$  - довжина ділянки, км;  $a$  - позначення типу автомобіля.

Визначте загальну кількість спаленого пального кожного виду і занесіть результат в таблицю 2.5.

**Таблиця 2.5 - Загальна кількість спаленого пального**

Тип автотранспорту	$Q_a$	
	Бензин	Дизельне паливо
Легкові		
Вантажні		
Автобуси		
Дизельні		
Всього ( $\Sigma Q$ )		

Розрахуйте обсяг забруднюючих речовин, що виділилися, в літрах по кожному виду палива, перемноживши відповідні значення  $\Sigma Q$  та емпіричних коефіцієнтів  $K$ . Занесіть результати в таблицю 2.6.

**Таблиця 2.6 - Обсяг забруднюючих речовин, що виділилися**

Види палива	Кількість шкідливих речовин, л				
	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Pb	C <sub>n</sub> H <sub>n</sub>
Бензин					
Дизельне паливо					
Всього (V)					

Розрахуйте масу шкідливих речовин, що виділилися, ( $m$ ,  $r$ ) за формулою:

$$m = \frac{V \cdot M}{22,4}, \quad (2.3)$$

де  $M$  - молекулярна маса (для SO<sub>2</sub> - 64,06; O<sub>2</sub> - 32; CO - 28,1; CO<sub>2</sub> - 44,01; NO<sub>2</sub> - 46,01; NO - 30,01; C - 12,01; Pb - 207,19; C<sub>20</sub>H<sub>12</sub> (бенз(а)пірен) - 252; середня молекулярна маса для вуглеводнів (C<sub>n</sub>H<sub>n</sub>) - 43).

Для визначення викиду шкідливих речовин на обліковій території необхідно



визначити об'єм повітря за формулою:

$$W_y = L \cdot Ш \cdot H, \quad (2.4)$$

де  $L$  - відстань, прийнята для обліку транспорту, м (100 м);  $Ш$  - ширина проїзної частини дороги, м;  $H$  - висота, рівна зросту людини, м (1,6 - 2,0 м);  $W_y$  - об'єм повітря на обліковій території, м<sup>3</sup>.

Визначте середньодобову концентрацію шкідливих речовин ( $C_{сд}$ , мг/м<sup>3</sup>) в атмосферному повітрі на обліковій території за формулою:

$$C_{сд} = \frac{m}{W_y}. \quad (2.5)$$

Обсяг повітря, необхідний для розведення (при безвітрі) небезпечної концентрації до санітарних норм, визначається наступним чином, м<sup>3</sup>:

$$W_p = \frac{m}{ПДК}. \quad (2.6)$$

Розрахунки зводимо до таблиці 2.7.

**Таблиця 2.7 - Розрахунок кількості чистого повітря, необхідного для розбавлення небезпечної концентрації на обліковій території до санітарних норм**

Шкідлива речовина	Маса шкідливої речовини у загальній кількості палива ( $m$ ), г	Об'єм облікової території ( $W_y$ ), м <sup>3</sup>	Викид шкідливих речовин на облікову територію ( $C_{сд}$ , мг/м <sup>3</sup> )	Об'єм повітря, що необхідний для розбавлення ( $W_p$ ), м <sup>3</sup>	Значення ГДК, мг/м <sup>3</sup> (середньодобове)
СО	Б				1,0
	ДП				
SO <sub>2</sub>	Б				0,06
	ДП				
NO <sub>2</sub>	Б				0,05
	ДП				
Pb	Б				0,005
	ДП				
C <sub>n</sub> H <sub>n</sub>	Б				0,4
	ДП				

Порівняйте отримані результати з ГДК<sub>сд</sub> для кожної із шкідливих речовин та зробіть висновок про ступінь антропогенного забруднення атмосфери облікового району.

### **Контрольні запитання:**

1. Які речовини відносяться до забруднювачів повітря?
2. Який вклад вносить автотранспорт у забруднення об'єктів навколишнього середовища в містах?
3. Порівняйте забруднюючі речовини, що виділяються бензиновими і дизельними двигунами. Який тип палива завдає більшої шкоди навколишньому середовищу?
4. Які прямі критерії оцінки стану атмосфери ви знаєте?
5. Що таке ГДК<sub>сд</sub>? Назвіть значення ГДК<sub>сд</sub> основних забруднювачів атмосфери.

## **ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3**

### **Вивчення демографічних показників**

**Мета:** Навчитися збирати дані про тривалість життя, смертності і народжуваності людей; будувати з використанням цих даних криві виживання для різних періодів; пояснювати на основі графіків, як змінилася тривалість життя (за останні 80-100 років) і як це вплинуло на зростання населення.

#### **Теоретичне введення**

Сучасний етап розвитку людства характеризується прискореним ростом народонаселення. Зростання населення Землі набуло стрімких темпів і отримало назву *демографічного вибуху*. В даний час на планеті кожну хвилину народжуються приблизно 180 осіб, кожну секунду народжується 21 і вмирають 19 осіб. Таким чином, населення Землі збільшується на 2 особи в секунду, на 250 тисяч щодня. За рік приріст складає приблизно 80 млн., причому він практично весь припадає на країни, що розвиваються. Так, темпи зростання населення Кенії (Східна Африка) - близько 4% на рік - більш високі, ніж в будь-якій країні світу. У той же час найбільші країни - США, Росія характеризуються зменшенням річного приросту до 0,5% і цей показник продовжує падати, а в Європі він близький до нульового.

У наш час подвоєння чисельності людей на планеті відбувається за 35 років, а виробництво їжі зростає на 2,3% в рік і подвоюється за 30 років.

Демографи зазвичай користуються загальними коефіцієнтами народжуваності та смертності. Загальний коефіцієнт народжуваності відображає число живонароджених дітей на 1000 жителів за рік до середини цього року (до 1 липня). Загальний коефіцієнт смертності - число смертей за рік на 1000 жителів до середини цього року. В Росії коефіцієнт смертності з початку 90-х років перевищував коефіцієнт народжуваності. Цей феномен отримав назву «Російського хреста».

#### **Практична частина**

##### **Зростання народонаселення і сумарний коефіцієнт народжуваності**

##### **I**

Робота виконується парами.

1) Відрізки паперової стрічки будуть відповідати ступеням статевовікової піраміди. Нехай відрізок довжиною 1 (2) см відповідає 1000 чоловік. Домовимося, що в кожній віковій групі однакова кількість чоловіків і жінок.

2) Відкладіть по вертикальній осі вікову шкалу. Для цього наклейте вертикально смужку стрічки. Розмітьте на ній вікові інтервали по 10 років. Їх довжина повинна відповідати ширині стрічки. Вік збільшується знизу вгору: 0-9 років і т.д. до 90-100 років.

3) Припустимо, що дві популяції А і Б, що включають кожна 5000 чоловік віком 0-9 років, 4000 від 10 до 19 років і 3000 від 20 до 29 років, заселяють дві нещодавно відкриті і придатні для життя планети. За допомогою паперової стрічки представте склад обох популяцій праворуч і ліворуч від вікової шкали.

4) Вам потрібно побудувати криву зростання популяцій, враховуючи народження дітей, збільшення віку, смерть від старості. Для цього складіть для кожної популяції наступну таблицю 3.1.

Припустимо, що в кожній популяції тривалість життя складає 60 років. У популяції А сумарний коефіцієнт народжуваності становить 4, а в популяції Б - 2. Припустимо, що відтворення відбувається у віковій групі 20-29 років. Пересувайте усі смужки паперової стрічки на одне ділення (інтервал в 10 років) вгору, додаючи знизу нову смужку, що

позначає новонароджених. Майте на увазі, що їх число дорівнює половині кількості людей з віком 20-29 років (кількість жінок, здатних до дітородіння), помноженої на коефіцієнт народжуваності. Коли смужки перетинають позначку середньої тривалості життя, їх прибирають (люди старше 60 років вмирають).

**Таблиця 3.1 - Демографічні показники**

Роки	Число новонароджених	Число померлих	Природний приріст (новонароджені мінус померлі)	Загальна чисельність (тис. чоловік)
0				
10				
20 і т.д.				

## II

Для кожного 10-річного інтервалу занесіть відповідні дані в таблицю. Не забувайте видаляти самі верхні смужки (що перетинають лінію 60 років). Зробіть записи для дев'яти інтервалів (періоду 90 років). При побудові графіка відкладайте по осі абсцис роки, а по осі ординат - чисельність людей. Обидві криві представте на одному графіку.

Дайте відповідь на наступні питання:

1) Порівняйте зростання чисельності двох популяцій.

А. Чи припиниться коли-небудь зростання популяції А? Через який час її чисельність подвоїться?

Б. Чи подвоїться чисельність популяції Б?

В. Як впливає сумарний коефіцієнт народжуваності на зростання населення?

2) Порівняйте статовікові межі двох популяцій.

А. Яка форма піраміди і кривої зростання популяції А?

Б. Яка форма піраміди і кривої зростання популяції Б?

3) Порівняйте ці статовікові піраміди з ситуацією в розвинених країнах і країнах, що розвиваються.

4) Зростання населення і тривалість життя. Повторіть роботу, додавши смужки ще для трьох вікових груп, щоб показати збільшення тривалості життя до 90 років. Заповніть таблицю і представте дані графічно.

5) Як вплине на зростання двох популяцій збільшення пострепродуктивної тривалості життя? Чи буде популяція А рости набагато швидше? Чи буде безперервно зростати популяція Б?

б) За рахунок чого головним чином зростає населення (збільшення тривалості життя або коефіцієнта народжуваності)?

Зробіть загальний висновок по роботі.

### **Контрольні запитання:**

1. Як впливають на чисельність населення коефіцієнти народжуваності, смертності та міграція?

2. Як впливає на чисельність населення середня кількість дітей у жінок в репродуктивному віці?

3. Як впливає на чисельність населення процентне співвідношення чоловіків і жінок у кожній віковій групі?

4. Які сучасні методи регулювання чисельності населення вам відомі?

5. Чи впливає проблема тривалості життя на проблему перенаселення?

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

### Екологічні ризики

**Мета:** за допомогою теорії ризику навчитися розраховувати ймовірність шкоди, викликаного попаданням отруйних речовин в організм людини.

### *Теоретичне введення* *Екологічне 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»).

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 мг/м<sup>3</sup>.

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 загальноновизнаним, 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 суперекотоксикантів потрібні нові критерії, свідчить такий приклад. Гранично допустима концентрація діоксину в повітрі робочої зони складає 0,13 пікограм в кубічному метрі (пг/м<sup>3</sup>), тобто  $1,3 \cdot 10^{-10}$  мг/м<sup>3</sup> (США) або  $0,12$  пг/м<sup>3</sup> =  $1,2 \cdot 10^{-10}$  мг/м<sup>3</sup> (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 мг/м<sup>3</sup>.

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 та ін. 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 табл. 4.1 наведені значення гранично допустимих (ГДК) або орієнтовно допустимих концентрацій (ОДК) деяких важких металів в повітрі, прийняті в Україні.

**Таблиця 4.1 - Значення гранично допустимих (ГДК) або орієнтовно допустимих концентрацій (ОДК) деяких важких металів у повітрі**

Метали	ГДК (ОДК), мг/м <sup>3</sup>
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 та ін.). **Середньодобова ГДК** - це концентрація, яка не повинна чинити на людину шкідливого впливу (загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного) при вдиханні протягом 24 годин. У табл. 4.2 наведені значення максимально разової та середньодобової ГДК шкідливих речовин, що найбільш часто зустрічаються, в атмосферному повітрі населених пунктів.

**Таблиця 4.2 - Значення максимально разової та середньодобової ГДК шкідливих речовин, що найбільш часто зустрічаються, в атмосферному повітрі населених пунктів**

Речовина	ГДК <sub>мр.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ГДК <sub>с.д.</sub> , мг/м <sup>3</sup>
Азоту оксид	0,6	0,06
Азоту діоксид	0,085	0,085
Аміак	0,2	0,04
Ацетон	0,35	0,35
Бензол	1,5	0,8
Бензо(а)пірен	–	0,000001
Пил нетоксичний	0,5	0,15
Ртуть металічна	–	0,0003
Сірководень	0,008	0,008
Сірковуглець	0,03	0,005
Оксид вуглецю	5,0	3,0
Фенол	0,01	0,003
Формальдегід	0,035	0,003
Хлор	0,1	0,03

В документі «Державні санітарні норми і правила" Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною "(ДСанПіН 2.2.4-171-10), прийняті наказом Міністерства охорони здоров'я України від 12 травня 2010 р. № 400, наведені значення гранично допустимої концентрації (ГДК) забруднювачів питної води, що діють в Україні. Дані по ГДК деяких неорганічних і органічних речовин у питній воді наведені відповідно в табл. 4.3 та 4.4.

**Таблиця 4.3 - Дані по ГДК деяких неорганічних речовин у питній воді**

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
Залізо	< 0,2	Ртуть	< 0,0005
Кадмій	< 0,001	Свинець	< 0,01
Марганець	< 0,05	Селен	< 0,01
Мідь	< 1,0	Стронцій	< 7,0
Молібден	< 0,07	Хром (VI)	< 0,05
Миш'як	< 0,01	Цинк	< 1,0

**Таблиця 4.4 - Дані по ГДК деяких органічних речовин у питній воді**

Речовина	ГДК, мг/л
Бензо(а)пірен	< 0,000005
Феноли	< 0,001
Хлорфеноли	< 0,0003
Хлороформ	< 0,06
Трихлоретилен	< 0,01
Чотирихлористий вуглець	< 0,002
Пестициди (сума)	< 0,0005

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 табл. 4.5 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 4.5 - Санітарно-гігієнічні нормативи вмісту важких металів і миш'яку в продовольчій сировині та харчових продуктах**

Продукти харчування	Мідь	Цинк	Кадмій	Ртуть	Свинець	Миш'як
Крупи, ластівці	10	50	0,1	0,03	0,5	0,2
Семена бобових (горох, квасоля)	10	50	0,1	0,02	0,5	0,3
Хліб, хлібобулочні вироби	2	35	0,07	0,01	0,35	0,15
Овочі свіжі та картопля	5	10	0,03	0,02	0,5	0,2
Риба	10	40		0,5	1,0	1,0
Гриби	10	20	0,1	0,05		0,5
М'ясо	5	70	0,05	0,03	0,5	0,1
Птиця	5	50	0,01	0,02	0,3	0,1
Яйця	3	50	0,01	0,02	0,3	0,1
Молоко та молокопродукти	1	5	0,03	0,005	0,1	0,05
Цукор	2		0,05	0,01	0,5	1,0
Масло рослинне			0,05	0,03	0,1	0,1

*Примітка.* Вміст 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/м<sup>3</sup>; 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 табл. 4.6 приведені значення гранично допустимих концентрацій бензо(а)пірену, прийняті в Україні.

**Таблиця 4.6 - Значення гранично допустимих концентрацій бензо(а)пірену**

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

У табл. 4.7 наведені значення гранично допустимих концентрацій діоксину, прийняті в Україні.

**Таблиця 4.7 - Значення гранично допустимих концентрацій діоксину**

Повітря	Вода питна	Харчові продукти
0,5 пг/м <sup>3</sup> = 5·10 <sup>-13</sup> г/м <sup>3</sup> = = 5·10 <sup>-10</sup> мг/м <sup>3</sup>	20 пг/л = 2·10 <sup>-11</sup> г/л = = 2·10 <sup>-8</sup> мг/л	Молоко: 5,2 нг/кг = 5,2·10 <sup>-6</sup> мг/кг М'ясо: 0,9 нг/кг = 9·10 <sup>-7</sup> мг/кг Риба: 11 нг/кг = 1,1·10 <sup>-5</sup> мг/кг

*Примітка.* Для молока вказано значення в перерахунку на жир.

У табл. 4.8 наведені значення гранично допустимих концентрацій деяких хімічних елементів у ґрунті.

**Таблиця 4.8 - Значення гранично допустимих концентрацій 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

Для вмісту в ґрунті поліхлорованих дибензо-п-діоксинів і дибензофуранів встановлено значення ГДК, рівне 0,133 пг/г = 1,33·10<sup>-7</sup> 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 табл. 4.9 наведені допустимі рівні вмісту радіонуклідів: цезію <sup>137</sup>Cs та стронцію <sup>90</sup>Sr у продуктах харчування, затверджені в якості санітарних норм і правил в 1996 р.



**Таблиця 4.9 - Допустимі рівні вмісту радіонуклідів: цезію  $^{137}\text{Cs}$  та стронцію  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування**

Продукти харчування	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	$^{90}\text{Sr}$ , Бк/кг
Хліб і хлібобулочні вироби	40	70
Крупи	60	100
Картопля	320	60
Овочі та бахчеві культури	130	50
Фрукти та ягоди	40	50
Гриби свіжі	500	50
Сушені гриби	2500	250
Молоко свіже	50	25
Масло коров'яче	100	60
Сири тверді	50	100
Масло рослинне	60	80
М'ясо без кісток	160	50
Риба свіжа, морожена	130	100
Яйця	80	50
Цукор та кондитерські вироби	140	100

У табл. 4.10 приведені значення меж річного надходження з водою і їжею (МРН) допустимої об'ємної активності у вдихуваному повітрі (ДООА) і рівня втручання для води (РВ) при надходженні в організм людини деяких радіонуклідів. Ці значення встановлені документом «Норми радіаційної безпеки» (НРБ-99). Рівень втручання - рівень радіаційного фактору, при перевищенні якого слід проводити певні захисні заходи.

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*.

**Таблиця 4.10 - Значення меж річного надходження деяких радіонуклідів в організм людини**

Радіонукліди	Потрапляння з повітрям		Потрапляння з водою та харчами	Потрапляння з водою
	МРН, Бк/рік	ДООА, Бк/м <sup>3</sup>	МРН, Бк/рік	РВ, Бк/кг
Тритій $^3\text{H}$	$3,7 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^7$	$7,7 \cdot 10^3$
Вуглець $^{14}\text{C}$	$4,0 \cdot 10^5$	55	$6,3 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^2$
Калій $^{40}\text{K}$	$5,9 \cdot 10^4$	31	$2,4 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^1$
Кобальт $^{60}\text{Co}$	$8,3 \cdot 10^4$	11	$3,7 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^1$
Стронцій $^{90}\text{Sr}$	$2,0 \cdot 10^4$	2,7	$1,3 \cdot 10^4$	5,0
Цезій $^{137}\text{Cs}$	$2,2 \cdot 10^5$	27	$7,7 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^1$
Радій $^{226}\text{Ra}$	$2,2 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$6,7 \cdot 10^2$	0,5
Уран $^{238}\text{U}$	$2,9 \cdot 10^2$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$8,4 \cdot 10^3$	3,1
Торій $^{232}\text{Th}$	$4,0 \cdot 10^1$	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^3$	0,6
Плутоній $^{239}\text{Pu}$	$2,0 \cdot 10^1$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^3$	0,56
Америцій $^{241}\text{Am}$	$2,4 \cdot 10^1$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^3$	0,69

*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, 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 знехтувано малого (безумовно прийнятного) ризику.

Ризик визнається знехтуваним, 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 знехтуваним, якщо його рівень не перевищує величини  $10^{-6}$  за рік. Таким чином, значення знехтуваного індивідуального ризику становить  $1 \cdot 10^{-6}$  чол<sup>-1</sup> год.<sup>-1</sup>. 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 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  $10^{-6}/70 = 1,43 \cdot 10^{-8}$  год.<sup>-1</sup>.

Верхня межа допустимого ризику (максимально допустимий ризик) різна для 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 знехтуваного ризику, який в Україні прийнятий рівним  $10^{-6}$  за рік). Згідно нормативам Агентства США з навколишнього середовища 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 по Ешбі наведені в табл. 4.11.

**Таблиця 4.11 - 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 (знехтувано 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<sup>-1</sup> год.<sup>-1</sup>, відноситься, наприклад, до ймовірності загинути протягом

одного року від удару блискавки або в результаті землетрусу.

У табл. 4.12 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).

**Таблиця 4.12 - 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

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 рис. 4.1.

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 лінійний зв'язок між ризиком і дозою забруднювача, вона представлена нижче на рис. 4.1, 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 перевершить деяке порогове значення. Один з варіантів такої залежності ризику від дози також представлений на рис. 4.1, б. Вважається, що пороговими забруднювачами є токсичні, але не канцерогенні речовини.

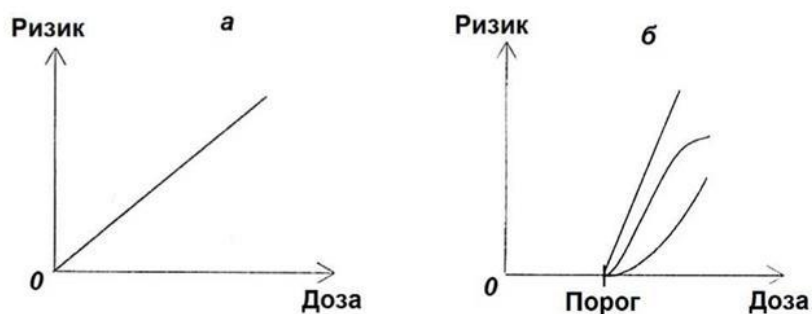


Рисунок 4.1 - Залежність ризику загрози здоров'ю від дози забруднювача: а - лінійний зв'язок (безпороговий забруднювач); б - складний зв'язок (пороговий забруднювач)

Доза забруднювача  $D$  визначається множенням його концентрації в повітрі, питній

воді або харчових продуктах  $c$ , швидкості його надходження в організм  $v$  і часом надходження в організм  $t$ .

$$D = c V t.$$

Концентрацію  $c$  зазвичай висловлюють в  $\text{мг}/\text{м}^3$  (для повітря), в  $\text{мг}/\text{л}$  (для води) або в  $\text{мг}/\text{кг}$  (для продуктів харчування). Швидкість (інтенсивність) надходження  $v$  вимірюється в  $\text{л}/\text{хв.}$  або  $\text{м}^3/\text{добу}$  (повітря),  $\text{л}/\text{добу}$  (вода),  $\text{кг}/\text{день}$  або  $\text{кг}/\text{рік}$  (продукти харчування).

Для розрахунку ризиків, обумовлених 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 табл. 4.13 наведено стандарти об'єму повітря і маси води, що надходять в організм дорослої людини, прийняті в Україні.

**Таблиця 4.13 - Стандарти об'єму повітря і маси води, що надходять в організм дорослої людини**

Контингент	Повітря	Вода
Населення	$7,3 \cdot 10^{-6}$ л/рік = 20 м <sup>3</sup> /добу	730 л/рік = 2 л/добу
Персонал	$2,5 \cdot 10^{-6}$ л/рік = 10 м <sup>3</sup> /день (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 -  $\text{кг}/\text{рік}$ ) в середньому на душу населення України (рівень прожиткового мінімуму табл. 4.14).

**Таблиця 4.14 - Рівень прожиткового мінімуму в Україні**

Види продуктів	Раціональна норма споживання за УкрНІІ харчування, $\text{кг}/\text{рік}$
хліб житньо-пшеничний	92 кг
хліб пшеничний	86,7 кг
пшоно	18,1 кг
вермішель	7,3 кг
цукор	24,8 кг
масло рослинне	13 кг
масло тваринне	3,6 кг
яловичина	42 кг
ковбаса варена	2,2 кг
ковбаса напівкопчена	1,1 кг
молоко та молокопродукти	390 кг
сметана	4,2 кг
сир твердий	2 кг
яйця	290 шт.
картопля	146 кг

капуста свіжа	29,8 кг
лук ріпчастий	10,2 кг
яблука	11 кг
сигарети	96 пачок
риба та рибопродукти	20 кг
плоди та ягоди	90 кг
овочі, бахчеві	161 кг

### **Практична частина**

#### **Практичне заняття № 4.1**

#### **Оцінка ризику загрози здоров'ю внаслідок впливу порогових токсикантів**

Ясно, що 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):

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

- $H_{NOAEL}$  - 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);

- $H_{LOEL}$  - 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);

- $H_{LOAEL}$  - 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:

$$H_D = \frac{H_{D(i)}}{F_1 \cdot F_2 \cdot F_3}, \quad (4.1)$$

де  $H_{D(i)}$  - будь-яке з представлених вище значень порогової потужності дози, а  $H$  - 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  $F_2$  відповідальний 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  $H_{NOAEL}$ , рівне 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 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 убунання граничної потужності дози) в табл. 4.15-4.17.

**Таблиця 4.15 - 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	$5,7 \cdot 10^{-6}$

**Таблиця 4.16 - 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 4.17 - 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
Ацетон	0,9
Нафтопродукти	0,6
Фенол	0,6
Метанол	0,5
Формальдегід	0,2
Пентахлорфенол $C_6Cl_5OH$	$3 \cdot 10^{-2}$
Бензол	$4 \cdot 10^{-3}$
Вінілхлорид	$3 \cdot 10^{-3}$
Нітробензол $C_6H_5NO_2$	$5 \cdot 10^{-4}$
ДДТ	$5 \cdot 10^{-4}$
Метилртуть $Hg(CH_3)_2$	$1 \cdot 10^{-4}$
Тетраетилсвинець	$1,2 \cdot 10^{-7}$

Як показують дані, наведені в табл. 4.15-4.17, за значенням порогової потужності дози токсичні речовини можуть відрізнятися в мільйони разів.

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

$$m = \frac{C \cdot V \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (4.2)$$

де  $C$  - концентрація токсиканту у повітрі, мг/м<sup>3</sup>;  $V$  - об'єм повітря, що надходить до легень, м<sup>3</sup>/добу (вважається, що доросла людина вдихає 20 м<sup>3</sup> 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:

$$K_{tox} = \frac{C \cdot V \cdot t}{P}, \quad (4.3)$$

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:

$$m = \frac{C \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (4.4)$$

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:

$$m = \frac{C \cdot M \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (4.5)$$

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 **індексом небезпеки**. Її позначають через  $HQ$  (від слів **Hazard Quotient**) і визначають виразом:

$$HQ = \frac{m}{H_D}, \quad (4.6)$$

де  $H_D$  - порогова потужність дози, значення якої наведені в табл. 4.15-4.17.

Якщо  $HQ < 1$ , то небезпеки немає; ризику загрози здоров'ю немає.

Якщо ж  $HQ > 1$ , то існує небезпека отруєння, яка тим більше, чим більше індекс  $HQ$  перевищує одиницю.

Якщо в повітрі, питній воді або в їжі містяться кілька токсикантів, то повний індекс небезпеки  $HQ_t$  дорівнює сумі індексів небезпеки окремих токсикантів:

$$HQ_t = HQ_1 + HQ_2 + HQ_3 + \dots \quad (4.7)$$

Якщо  $HQ_t < 1$ , то небезпеки немає; ризик загрози здоров'ю відсутній.

Умови завдань для оцінки ризику загрози здоров'ю внаслідок впливу порогових токсикантів приведені у Додатку Б.

Розглянемо приклад рішення 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.

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

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

$$v = 2 \text{ л/добу,}$$

$$f = 300 \text{ діб/рік,}$$

$$T_p = 10 \text{ років,}$$

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

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

$$P = 70 \text{ кг,}$$

$$T = 30 \text{ років.}$$

#### **Рішення**

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

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

Індекс небезпеки:

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

Середньодобове надходження ртуті з водою на 1 кг маси тіла людини

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

Індекс небезпеки:

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

Сумарний індекс небезпеки:

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

**Висновок:** ризик загрози здоров'ю відсутній.

#### Практичне заняття № 4.2

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

$$r = F_r \cdot D, \quad (4.8)$$

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;  $F_r$  - коефіцієнт пропорційності між ризиком і дозою, званий фактором ризику.

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  $F_r$  -  $[\text{мг/кг}\cdot\text{добу}]^{-1}$ ; 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:

$$r = m \cdot F_r, \quad (4.9)$$

де  $m$  - середньодобове надходження канцерогену з повітрям, водою або з їжею, віднесене до 1 кг маси тіла людини, в міліграмах на кілограм на добу (мг/кг·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 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. 4.18), а також з водою і їжею (табл. 4.19).

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

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

**Таблиця 4.18 - Значення факторів ризику (в порядку їх зростання) при надходженні в організм людини ряду канцерогенів з повітрям**

Канцерогени	$F_r, (\text{мг/кг}\cdot\text{добу})^{-1}$
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 4.19 - Значення факторів ризику (в порядку їх зростання) при надходженні в організм людини ряду канцерогенів з водою і їжею**

Канцерогени	$F_r, (\text{мг/кг} \cdot \text{добу})^{-1}$
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 $\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2\text{O}_3$	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)	$1,6 \cdot 10^3$

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

$$m = \frac{C \cdot V \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (4.10)$$

де  $C$  - концентрація канцерогену у повітрі ( $\text{мг/м}^3$ );  $V$  - об'єм повітря, що потрапляє в легені на протязі доби,  $\text{м}^3/\text{добу}$  (вважається, що доросла людина вдихає  $20 \text{ м}^3$  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  $70 \text{ кг}$ ;  $T$  - усереднений час можливого впливу канцерогену, в якості якого приймається середня тривалість життя людини, яка вважається рівною  $70$  років ( $25550$  діб).

Якщо вирішуються завдання, пов'язані зі споживанням питної води, то середньодобове надходження  $m$  канцерогену з водою на  $1 \text{ кг}$  маси тіла людини визначається по декілька змінених формулі:

$$m = \frac{C \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (4.11)$$

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:

$$m = \frac{C \cdot M \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (4.12)$$

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:

$$r = m \cdot F_r, \quad (4.13)$$

де  $F_r$  - фактор ризику, що виражається в  $(\text{мг/кг} \cdot \text{добу})^{-1}$ , його значення наведені в табл. 4.15 і 4.16.

Якщо  $r < 10^{-6}$ , індивідуальний канцерогенний ризик вважається знехтувально 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 ризиків:

$$r_t = r_1 + r_2 + \dots \quad (4.14)$$

Коллективний канцерогенний ризик  $R$  визначається формулами:

$$\begin{aligned} R &= r \cdot N, \\ R_t &= r_t \cdot N, \end{aligned} \quad (4.15)$$

де  $N$  - кількість осіб, що піддаються даному ризику.

Умови завдань для оцінки ризику загрози здоров'ю внаслідок впливу безпорогових токсикантів (нерадіоактивних канцерогенів) приведені у Додатку В.

Розглянемо приклад рішення завдань такого типу.

### **Вихідні дані**

В Україні значення ГДК (середньодобової) бензо(а)пірену в повітрі прийнято рівним  $1 \text{ нг/м}^3$ . 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  $7,3 \text{ (мг/кг} \cdot \text{добу)}^{-1}$ .

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

$$V = 20 \text{ м}^3/\text{добу},$$

$$f = 365 \text{ діб/рік},$$

$$T_p = 3 \text{ роки},$$

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

$$N = 1 \cdot 10^5 \text{ чол.},$$

$$P = 70 \text{ кг},$$

$$T = 70 \text{ років}.$$

### **Рішення**

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

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

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

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

Ця величина значно менше рівня знехтувального ризику, який дорівнює  $1 \cdot 10^{-6} \text{ чол}^{-1} \text{ год}^{-1}$ , 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 100000 чоловік протягом 3 років не повинно бути жодного додаткового випадку онкозахворювання, викликаного дією бензо(а)пірену.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Сухарев С. М. Основи екології та охорони довкілля: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / С. М. Сухарев, С. Ю. Чундак, О. Ю. Сухарева - К.: Центр навчальної літератури, 2006. - 394 с.
2. Зотов Н. И. Вода в нашей жизни / Н. И. Зотов, Н. В. Моисеенко. - Донецк: «Норд-Пресс», 2007. - 245 с.
3. Федорова А. И. Практикум по экологии и охране окружающей среды: учеб. пособие для студ. высш. учеб. завед / А. И. Федорова, А. Н. Никольская. - М.: Гуманит, центр ВЛАДОС, 2001. - 288 с.
4. Барановская Н. В. Практикум по общей экологии: практикум / Н. В. Барановская, М. П. Чубик. - Томск: Томский политехнический университет, 2009. - 38 с.
5. Мельцаев И. Г. Задания и методические указания к практическим занятиям по курсу «Экология», «Социальная экология», «Природопользование» / И. Г. Мельцаев, А. Ф. Сорокин. - Иваново: РИО ИГЗУ, 2006. - 90 с.
6. Ваганов П. А. Как рассчитать риск угрозы здоровью из-за загрязнения окружающей среды / П. А. Ваганов. - СПб.: С.-Петербург. Ун-т, 2008. - 129 с.
7. <http://www.o8ode.ru/> - Сайт про воду.
8. [www.ecolife.org.ua](http://www.ecolife.org.ua) – **Общественный экологический Internet-проект EcoLife.**
9. <http://biology.asvu.ru> - Портал Вся Биология.
10. <http://www.informeco.ru> - Сайт информационно-аналитического агентства «Информ Экология».
11. Хоружая Т. А. Методы оценки экологической опасности / Т. А. Хоружая. - М.: «Экспертное бюро-М», 1998. - 224 с.
12. Контроль качества воды: ученик, 3-е изд., перераб. и доп. - М.: ИНФПА-М, 2004. - 154 с.
13. Мусієнко М. М. Екологія: тлумачний словник / М. М. Мусієнко, В. В. Серебряков, О. В. Брайон. - К.: Либідь, 2004. - 376 с.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

#### Дані для розрахунку строку вичерпання ресурсу

Вихідні дані	Варіанти																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ресурс	Кам'яне вугілля	Природний газ	Нафта	Fe	P	Cu	Zn	Pb	Al	U	Буре вугілля	Торф	Залізна руда	Марганц. руда	Флюсові вапняки	Глина	Калійні солі
Запас ресурсу Q, млрд. т	19,6	280	250	12 тис.	40	0,6	0,24	0,15	12	300	3,3	1,59	32,4	2,5	0,485	0,07	0,08
Видобування ресурсу q, млрд. т/рік	3,9	1,7	3,5	0,79	0,023	0,008	0,006	0,004	0,016	0,2	1,5	0,025	4,5	0,04	0,003	0,002	0,005
Приріст об'єму споживання ресурсу TP, % на рік	2	1,5	2	2,5	1,8	1,7	1,3	2,2	1,6	2	1,5	1,3	2	1,6	1,1	2	1,5

Вихідні дані	Варіанти																
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Ресурс	Харч. сіль	Глина	Цементна сировина (карбонатна)	Цементна сировина (глиниста)	Кам'яне вугілля	Природний газ	Нафта	Fe	P	Cu	Zn	Pb	Al	U	Буре вугілля	Торф	Залізна руда
Запас ресурсу Q, млрд. т	26,8	0,095	0,022	0,006	25	300	280	15 тис.	60	0,8	0,34	0,18	18	200	5,3	1,8	38,4
Видобування ресурсу q, млрд. т/рік	5	0,005	0,3	0,05	3,5	1,9	3,4	0,8	0,025	0,009	0,004	0,002	0,025	0,3	1,8	0,035	3,5
Приріст об'єму споживання ресурсу TP, % на рік	3	2,2	1,2	1,5	2	1,5	2	2,4	1,8	1,7	1,3	2,2	1,6	2	1,5	1,3	2



**Умови завдань для оцінки ризику загрози здоров'ю внаслідок впливу  
порогових токсикантів**

**Варіант №1**

*Завдання 1.*

В одному з колодязів виявлено важкий метал - шестивалентний хром, причому його вміст у воді цього колодязя в десять разів перевищило значення ГДК хрому (VI) для питної води. Даним колодязем користуються протягом 6 років. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю.

*Завдання 2.*

За рік дорослий житель з'їдає в середньому 151 яйце. Розрахувати ризик загрози здоров'ю при вживанні в їжу яєць протягом року, якщо яйця містять хлор з середнім вмістом 30 мг в одному яйці, і нітрати з середнім вмістом 50 мг в одному яйці.

**Варіант №2**

*Завдання 1.*

У воду деякої водойми потрапила ртуть, в результаті чого вміст цього елемента в тканинах риби становить 10 мг/кг. Протягом двох років в цій водоймі рибалка-любитель ловить рибу і вживає її в їжу. За ці два роки він їв рибу 80 разів, причому за один раз з'їдав в середньому 150 г. Обчислити ризик загрози здоров'ю.

*Завдання 2.*

У воді деякого водосховища виявлено фенол з концентрацією, що дорівнює 3 мг/л. Водосховище є джерелом питного водопостачання. Розрахувати ризик загрози здоров'ю людини, що п'є таку воду протягом трьох років. Врахувати, що щорічно ця людина виїжджає з цієї місцевості у відпустку, в якому проводить в середньому 30 днів.

**Варіант №3**

*Завдання 1.*

У воду деякої водойми потрапив селен, в результаті чого вміст цього елемента в тканинах риби становить 20 мг/кг. Протягом двох років в цій водоймі рибалка-любитель ловить рибу і вживає її в їжу. За ці два роки він їв рибу 100 разів, причому за один раз з'їдав в середньому 250 г. Обчислити ризик загрози здоров'ю.

*Завдання 2.*

Встановлено, що в деякій місцевості виявилися забрудненими питна вода і вирощені тут овочі. У воді присутні нафтопродукти, їх вміст дорівнює 5 мг/л, а в овочах - тетраетилсвинець з вмістом 5 мкг/кг. Всього овочів в нашій країні споживається в середньому 94 кг на душу населення за рік. Людина випиває в середньому 2 л води на добу. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина піддається впливу зазначених токсикантів протягом трьох місяців.

**Варіант №4**

*Завдання 1.*

Вважається, що протягом року мешканці України з'їдають в середньому 50 кг яловичини. Припустимо, що в яловичині виявлено миш'як з вмістом, рівним 50 мг/кг. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо цим продуктом людина

харчується протягом двох років.

#### *Завдання 2.*

Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю внаслідок вдихання парів ртуті з концентрацією, що дорівнює 10 значень ГДК цього елемента в повітрі. Вважати, що пари ртуті знаходяться в деякому приміщенні при незмінній концентрації, і що людина вдихає пари ртуті протягом 12 годин щодоби впродовж одного року, але на один місяць вона їде у відпустку.

### **Варіант №5**

#### *Завдання 1.*

За рік дорослий мешканець з'їдає в середньому 146 кг картоплі. Розрахувати ризик загрози здоров'ю при вживанні в їжу картоплі протягом півроку, якщо вона містить важкий метал - кадмій з середнім вмістом, рівним 5 мг/кг.

#### *Завдання 2.*

Встановлено, що вінілхлорид може переходити з пляшок, виготовлених з полімерного матеріалу - поліхлорвінілу, у воду і алкогольні напої (включаючи пиво), в результаті чого його концентрація в рідині може скласти 10-20 мг/л. Швидкість переходу пропорційна часу зберігання пляшок. Нехай в деякій партії пляшок пива вміст вінілхлориду становить в середньому 10 мг/л. Пиво цієї партії п'ють люди протягом півроку, кожен з них випиває при цьому в середньому 60 літрів. Чи існує ризик загрози здоров'ю?

### **Варіант №6**

#### *Завдання 1.*

У питній воді деякої місцевості виявлено хлороганічний пестицид - ДДТ з концентрацією, що дорівнює потроєному значенню його ГДК у воді. Розрахувати ризик загрози здоров'ю людини, що п'є цю воду протягом одного року. Врахувати, що щорічно ця людина їде з даної місцевості у відпустку, в якій проводить в середньому 30 днів.

#### *Завдання 2.*

Аналіз проб яєць показав, що вміст міді і цинку в них в три рази перевищує значення ГДК цих металів у харчових продуктах. Чи є ризик загрози здоров'ю, якщо такі яйця будуть вживатися в їжу протягом півроку? В середньому за рік жителі з'їдають 151 яйце. Якщо маса одного яйця дорівнює в середньому 50 г, то протягом одного року в організм надійде 7,55 кг.

### **Варіант №7**

#### *Завдання 1.*

Середньорічне споживання молочних продуктів на душу населення становить 212,4 кг/рік. Припустимо, що в молочних продуктах міститься фенол в концентрації 15 мг/кг. Розрахувати ризик загрози здоров'ю при вживанні в їжу таких молочних продуктів протягом півроку.

#### *Завдання 2.*

Припустимо, що у воді знаходяться дуже токсичні важкі метали - кадмій і ртуть, причому їх вміст дорівнює значенням відповідних ГДК в питній воді. Який

індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде пити таку воду протягом 10 років?

### **Варіант №8**

#### *Завдання 1.*

У воду деякої водойми потрапив нітробензол, в результаті чого вміст цього елемента в тканинах риби становить 30 мг/кг. Протягом двох років в цій водоймі рибалка-любитель ловить рибу і вживає її в їжу. За ці два роки він їв рибу 90 разів, причому за один раз з'їдав в середньому 250 г. Обчислити ризик загрози здоров'ю.

#### *Завдання 2.*

В деякій місцевості виявлено важкий метал - марганець, його вміст у повітрі виявився рівним  $1 \text{ мкг/м}^3$ , а у воді в 5 разів більше допустимої середньодобової дози (ДСД). Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде дихати таким повітрям і пити таку воду протягом 10 років? Протягом кожного року вплив токсиканту триває в середньому 300 днів.

### **Варіант №9**

#### *Завдання 1.*

В одному з колодязів виявлено важкий метал - шестивалентний хром, причому його вміст у воді цього колодязя в десять разів перевищив значення ГДК хрому (VI) для питної води. Даним колодязем користуються протягом 6 років. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю.

#### *Завдання 2.*

В атмосферному повітрі виявлено газоподібні токсиканти - ацетон, фенол та формальдегід, причому їх вміст перевищив прийняті в Україні значення середньодобової гранично допустимої концентрації (СГДК): у ацетоні й фенолі - в 2 рази, а у формальдегіді - в 3 рази. Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде дихати таким повітрям протягом 7 років? Протягом кожного року вплив токсиканту триває в середньому 335 днів.

### **Варіант №10**

#### *Завдання 1.*

Гранично допустима концентрація пестициду ДДТ в цукрі складає 0,005 мг/кг. Вважається, що мешканець України з'їдає на рік у середньому 19,7 кг цукру. Розрахувати ризик загрози здоров'ю людини, що вживає протягом 5 років цукор, в якому вміст ДДТ перевищує його ГДК в 3 рази.

#### *Завдання 2.*

У питній воді виявлено токсиканти - ацетон, фенол та формальдегід, причому їх вміст перевищив прийняті в Україні значення середньодобової гранично допустимої концентрації (ГДКс.д.): у ацетоні та фенолі - в 3 рази, а у формальдегіді - в 5 разів. Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде пити таку воду протягом 10 років?

## **Варіант №11**

### *Завдання 1.*

Середньорічне споживання рослинного масла на душу населення становить 10 кг/рік. Припустимо, що в рослинному маслі міститься тетраетилсвинець (якщо поле знаходиться поблизу шосе, то тетраетилсвинець може потрапити в ґрунт в результаті осадження вихлопних газів) в концентрації 1 мг/кг. Чи існує ризик загрози здоров'ю при вживанні в їжу такого рослинного масла протягом року?

### *Завдання 2.*

В Україні споживається в середньому 28,1 кг капусти на душу населення за рік. Аналіз проб капусти, вирощеної в деякій місцевості, показав, що вміст міді і цинку в ній в два рази перевищує значення ГДК цих металів у свіжих овочах. Чи є ризик загрози здоров'ю, якщо така капуста буде споживатися протягом півроку?

## **Варіант №12**

### *Завдання 1.*

Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю внаслідок вживання з водою протягом одного року пестициду ДДТ з концентрацією, що дорівнює 10 значень ПДК цієї речовини у воді.

### *Завдання 2.*

За рік дорослий мешканець з'їдає в середньому 151 яйце. Розрахувати ризик загрози здоров'ю при вживанні в їжу яєць протягом року, якщо яйця містять хлор з середнім вмістом 100 мг в одному яйці, і нітрати з середнім вмістом 20 мг в одному яйці.

## **Варіант №13**

### *Завдання 1.*

У воду деякого водойми потрапив талій, в результаті чого вміст цього елемента в тканинах риби становить 50 мг/кг. Протягом трьох років у цій водоймі рибалка-любитель ловить рибу і вживає її в їжу. За ці три роки він їв рибу 50 разів, причому за один раз з'їдав в середньому 350 г. Обчислити ризик загрози здоров'ю.

### *Завдання 2.*

У воді деякого водосховища виявлено фенол з концентрацією, що дорівнює 3 мг/л, і вінілхлорид з концентрацією 5 мг/л. Водосховище є джерелом питного водопостачання. Розрахувати ризик загрози здоров'ю людини, що п'є таку воду протягом трьох років. Врахувати, що щорічно ця людина виїжджає з цієї місцевості у відпустку, в якій проводить в середньому 30 днів.

## **Варіант №14**

### *Завдання 1.*

У воду деякої водойми потрапила сурма, в результаті чого вміст цього елемента в тканинах риби становить 15 мг/кг. Протягом одного року в цій водоймі рибалка-любитель ловить рибу і вживає її в їжу. За цей рік він їв рибу 100 разів, причому за один раз з'їдав в середньому 150 г. Обчислити ризик загрози здоров'ю.

### *Завдання 2.*

Встановлено, що в деякій місцевості виявилися забрудненими питна вода і вирощені тут овочі. У воді присутні нафтопродукти, їх вміст дорівнює 5 мг/л, а в овочах - тетраетилсвинець з вмістом 5 мкг/кг. Всього овочів в нашій країні споживається в середньому 94 кг на душу населення за рік. Людина випиває в середньому 2 л води на добу. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина піддається впливу зазначених токсикантів протягом трьох місяців.

### **Варіант №15**

#### *Завдання 1.*

Вважається, що протягом року мешканці України з'їдають в середньому 20 кг риби. Припустимо, що в рибі виявлений миш'як з вмістом, рівним 100 мг/кг. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо цим продуктом людина харчується протягом двох років.

#### *Завдання 2.*

Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю внаслідок вдихання парів ртуті з концентрацією, що дорівнює 10 значень ГДК цього елемента в повітрі. Вважати, що пари ртуті знаходяться в деякому приміщенні при незмінній концентрації і що людина вдихає пари ртуті протягом 12 годин щодоби впродовж одного року, але на один місяць вона їде у відпустку.

### **Варіант №16**

#### *Завдання 1.*

За рік дорослий мешканець з'їдає в середньому 390 кг молокопродуктів. Розрахувати ризик загрози здоров'ю при вживанні в їжу цих продуктів протягом одного року, якщо вони містять важкий метал - миш'як із середнім вмістом, рівним 15 мг/кг.

#### *Завдання 2.*

Встановлено, що вінілхлорид може переходити з пляшок, виготовлених з полімерного матеріалу - поліхлорвінілу, у воду і алкогольні напої (включаючи пиво), в результаті чого його концентрація в рідині може скласти 10-20 мг/л. Швидкість переходу пропорційна часу зберігання пляшок. Нехай в деякій партії пляшок пива вміст вінілхлориду становить в середньому 10 мг/л. Пиво цієї партії п'ють люди протягом півроку, кожен з них випиває при цьому в середньому 60 літрів. Чи існує ризик загрози здоров'ю?

### **Варіант №17**

#### *Завдання 1.*

У питній воді деякої місцевості виявлено хлороганічний пестицид - ДДТ з концентрацією, що дорівнює потроєному значенню його ГДК у воді. Розрахувати ризик загрози здоров'ю людини, що п'є цю воду протягом одного року. Врахувати, що щорічно ця людина їде з даної місцевості у відпустку, в якій проводить в середньому 30 днів.

#### *Завдання 2.*

Аналіз проб яєць показав, що вміст міді і цинку в них в три рази перевищує значення ГДК цих металів у харчових продуктах. Чи є ризик загрози здоров'ю, якщо такі яйця будуть вживатися в їжу протягом півроку? В середньому за рік мешканці з'їдають 151 яйце. Якщо маса одного яйця дорівнює в середньому 50 г, то протягом

одного року в організм надійде 7,55 кг.

### **Варіант №18**

#### *Завдання 1.*

Середньорічне споживання молочних продуктів на душу населення становить 212,4 кг/рік. Припустимо, що в молочних продуктах міститься фенол в концентрації 15 мг/кг. Розрахувати ризик загрози здоров'ю при вживанні в їжу таких молочних продуктів протягом півроку.

#### *Завдання 2.*

Припустимо, що у воді знаходяться дуже токсичні важкі метали - кадмій і ртуть, причому їх зміст дорівнює значенням відповідних ГДК в питній воді. Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде пити таку воду протягом 10 років?

### **Варіант №19**

#### *Завдання 1.*

Встановлено, що вінілхлорид може переходити з пляшок, виготовлених з полімерного матеріалу - поліхлорвінілу, у воду і алкогольні напої (включаючи пиво), в результаті чого його концентрація в рідині може скласти 10-20 мг/л. Швидкість переходу пропорційна часу зберігання пляшок. Нехай в деякій партії пляшок пива зміст вінілхлориду становить в середньому 10 мг/л. Пиво цієї партії п'ють люди протягом півроку, кожен з них випиває при цьому в середньому 60 літрів. Чи існує ризик загрози здоров'ю?

#### *Завдання 2.*

В деякій місцевості виявлено важкий метал - марганець, його зміст у повітрі виявився рівним  $1 \text{ мкг/м}^3$ , а у воді в 5 разів більше допустимої середньодобової дози (ДСД). Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде дихати таким повітрям і пити таку воду протягом 10 років? Протягом кожного року вплив токсиканту триває в середньому 300 днів.

### **Варіант №20**

#### *Завдання 1.*

В одному з колодязів виявлено важкий метал - кадмій, причому його зміст у воді цього колодязя в двадцять разів перевищив значення ГДК хрому (VI) для питної води. Даним колодязем користуються протягом 10 років. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю.

#### *Завдання 2.*

У питній воді виявлено токсиканти - ацетон, фенол та формальдегід, причому їх зміст перевищив прийняті в Україні значення середньодобової гранично допустимої концентрації (ПДКс.д.): у ацетоні і фенолі - в 3 рази, а у формальдегіді - в 5 разів. Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде пити таку воду протягом 15 років?

**Умови завдань для оцінки ризику загрози здоров'ю внаслідок впливу  
безпорогових токсикантів (нерадіоактивних канцерогенів)**

**Варіант №1**

В повітрі поблизу хімічного заводу перебуває дихлорметан, концентрація якого становить  $12 \text{ мг/м}^3$ . Протягом 10 років таким повітрям дихає населення, чисельність якого становить 6 тис. чоловік. Кількість днів, протягом яких люди піддаються канцерогенному ризику, дорівнює в середньому 300. Розрахувати значення індивідуального і колективного канцерогенного ризиків, зробити висновок.

**Варіант №2**

У щорічний раціон мешканців входить в середньому 212,4 кг молочних продуктів. Припустимо, що в молочних продуктах містяться діоксини, і їх концентрація дорівнює значенню ГДК для діоксину в молоці. Нехай ці молочні продукти їдять 100 чоловік протягом 2 років. Розрахувати індивідуальний і колективний ризики загрози здоров'ю, зробити висновок.

**Варіант №3**

Розрахувати індивідуальний і колективний ризики загрози здоров'ю для наступних умов. Вміст діоксинів у питній воді дорівнює 10 ГДК цих речовин у воді. Час споживання такої води групою в 1000 осіб - 5 років. Середня частота споживання - 300 днів на рік. Зробити висновок.

**Варіант №4**

Розрахувати ризик у вигляді кількості додаткових випадків захворювань серед мешканців селища з населенням в 10 тис. осіб в результаті споживання води з вмістом канцерогену - трихлоретилену, рівному  $25 \text{ мкг/л}$ . Така вода споживається протягом 30 років, причому протягом кожного року вона споживається в середньому протягом 300 днів. Зробити висновок.

**Варіант №5**

В повітрі деякого промислового підприємства виявлений бензол з концентрацією, що дорівнює  $15 \text{ мкг/м}^3$ . Розрахувати канцерогенний ризик, якому піддається робочий при вдиханні бензолу протягом півроку. Вважається, що за робочий день (на робочому місці) людина вдихає  $10 \text{ м}^3$  повітря. Кількість робочих днів у році - 250. Зробити висновок.

**Варіант №6**

Процес виробництва в одному з цехів заводу пов'язаний з надходженням у повітря пилу, що містить нікель. Виміри показали, що концентрація нікелю в повітрі в 6 разів перевищує значення його ГДК. Вважається, що за робочий день (на робочому місці) людина вдихає  $10 \text{ м}^3$  повітря. Розрахувати ризик, якому піддаються люди, що працюють в цьому цеху протягом 3 років. Кількість робочих днів у році - 250. Зробити висновок.

**Варіант №7**

Розрахувати індивідуальний ризик, обумовлений комбінованою дією двох канцерогенів, що містяться в питній воді. У воді знаходиться вінілхлорид з концентрацією, що дорівнює  $0,3 \text{ мг/л}$ , і миш'як з концентрацією, що дорівнює його ГДК в питній воді. Така вода споживається протягом 3 років, причому протягом кожного

року вона споживається в середньому протягом 300 днів. Зробити висновок.

#### **Варіант №8**

В деякій місцевості через підвищений вміст миш'яку в ґрунті і, як наслідок, в кормових травах, вміст цього хімічного елемента в молоці виявився рівним в три рази вище його ГДК. Розрахувати ризик вживання такого молока протягом 3 місяців. В середньому населення вживає 69,6 кг молока на рік. Зробити висновок.

#### **Варіант №9**

Шестивалентний хром є досить сильним канцерогеном. Припустимо, що вміст сполук шестивалентного хрому в повітрі дорівнює трьом його ГДК в повітрі. Який колективний ризик загрози здоров'ю для групи людей чисельністю в 15000 чоловік, якщо всі вони дихають таким повітрям протягом 15 років? Зробити висновок.

#### **Варіант №10**

Припустимо, що через вплив підприємства кольорової металургії вміст миш'яку в повітрі дорівнює його ГДК в повітрі. Який колективний ризик загрози здоров'ю для групи людей чисельністю 10000 чоловік, якщо всі ці люди дихають таким повітрям протягом 5 років? Зробити висновок.

#### **Варіант №11**

Середня концентрація вихлопних газів дизельних двигунів автомобілів в деякому місті становить 1 мкг в 1 кубічному метрі. Розрахувати індивідуальний і колективний ризики загрози здоров'ю для 10 тис. осіб, що живуть в розглянутих умовах протягом 5 років. Зробити висновок.

#### **Варіант №12**

Вміст бензо(а)пірену у воді деякого населеного пункту перевищило значення його ГДК в поверхневих водах в 5 разів. Який колективний ризик загрози здоров'ю для групи людей чисельністю 100 тис. осіб, якщо всі ці люди п'ють таку воду протягом 3 років? Протягом кожного року така вода споживається в середньому 330 днів. Зробити висновок.

#### **Варіант №13**

Середній вміст канцерогену - сульфату берилію - в овочах, вирощених в безпосередній близькості від хімкомбінату, виявився рівним 10 мкг/кг. Мешканці з'їдають в середньому 94 кг овочів на рік. Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина вживає в їжу такі овочі протягом 3 місяців? Зробити висновок.

#### **Варіант №14**

Середній вміст канцерогену бензолу в картоплі виявився рівним 60 мг/кг. Мешканці з'їдають в середньому 124,2 кг картоплі на рік. Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина вживає в їжу цю картоплю протягом одного року? Зробити висновок.

#### **Варіант №15**

Розрахувати індивідуальний ризик, обумовлений комбінованою дією двох токсикантів-канцерогенів, що містяться в повітрі: трихлоретилену з концентрацією, що дорівнює  $0,3 \text{ мг/м}^3$ , і бензо(а)пірену з концентрацією, що дорівнює  $0,05 \text{ мг/м}^3$ . Таким повітрям людина дихає протягом 5 років, причому в середньому протягом 300 днів на рік. Зробити висновок.



### **Варіант №16**

Вміст канцерогену - бензо(а)пірену - у воді і в повітрі деякого населеного пункту перевищило значення відповідних ГДК в 3 рази. Який сумарний ризик загрози здоров'ю для групи людей чисельністю 100000 чоловік, якщо всі ці люди п'ють таку воду і дихають таким повітрям протягом 3 років? Протягом кожного року канцероген діє в середньому 330 днів. Зробити висновок.

### **Варіант №17**

Вміст нікелю та хрому (VI) в повітрі деякого населеного пункту дорівнює значенням відповідних ГДК. Який сумарний колективний ризик загрози здоров'ю для контингенту людей чисельністю 500 осіб, якщо ці люди будуть дихати таким повітрям протягом 30 років? Протягом кожного року канцерогени діють в середньому 330 днів. Зробити висновок.

### **Варіант №18**

Вміст канцерогену ДДТ в рослинному маслі виявився рівним подвоєному значенню ГДК. Мешканці споживають в середньому 10 кг рослинної олії на рік. Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина вживає в їжу це масло протягом одного року? Зробити висновок.

### **Варіант №19**

Вміст канцерогену бензо(а)пірену в крупі в 5 разів перевищило значення ГДК в зернових продуктах. Мешканці з'їдають в середньому 5,2 кг крупи на рік. Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина вживає в їжу таку крупу протягом одного року? Зробити висновок.

### **Варіант №20**

У ґрунті виявлено сполуки кадмію, причому його вміст у 3 рази перевищив значення ГДК кадмію в ґрунтах. Відомо, що коефіцієнт концентрації кадмію при переході з ґрунту в капусту близький до одиниці. Який індивідуальний канцерогенний ризик, якщо людина протягом півроку буде використовувати в їжу капусту, вирощену на ґрунті з підвищеним вмістом кадмію. Вважається, що мешканці з'їдають в рік в середньому 28,1 кг капусти. Зробити висновок.

*Навчальне видання*

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ  
З ДИСЦИПЛІНИ

ЕКОЛОГІЯ ЗА ПРОФЕСІЙНИМ СПРЯМУВАННЯМ

*(для студентів 2 курсу денної і заочної форм навчання  
за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка*

Відповідальний за випуск А. В. Левкін

Підписано до друку  
Комп'ютерний набір та верстка Торбієвська І. В.  
Формат паперу 87x124 1/32. 2,95 умов. друк. арк. 3,00 умов. фарб. відб. 2,99  
обл.-вид. арк.  
Наклад 500 пр.  
Замовлення № 52  
Різограф TR 1510 №80654645

---

ХНТУСГ, 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44, кімн. 101.

---

Підготовлено та надруковано Навчально–методичним відділом  
Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка