

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



НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища

О.О. Борисовська

**ЕКОЛОГІЧНА ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

**Методичні рекомендації до виконання практичних робіт**  
на тему «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря» для здобувачів ступеня магістра освітньо-професійної програми вищої освіти «Технології захисту навколишнього середовища» та освітньо-наукової програми вищої освіти «Ресурсозбереження у гірничо-металургійному комплексі» зі спеціальності G2 Технології захисту навколишнього середовища

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2025

**Екологічна та техногенна безпека [Електронний ресурс]** : методичні рекомендації до виконання практичних робіт на тему «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря» для здобувачів ступеня магістра освітньо-професійної програми вищої освіти «Технології захисту навколишнього середовища» та освітньо-наукової програми вищої освіти «Ресурсозбереження у гірничо-металургійному комплексі» зі спеціальності G2 Технології захисту навколишнього середовища / уклад. О.О. Борисовська ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – 67 с.

Укладач

О.О. Борисовська, канд. техн. наук, доц.

Затверджено науково-методичною комісією зі спеціальності G2 Технології захисту навколишнього середовища (протокол № 11 від 20.05.2025) за поданням кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища (протокол № 12 від 20.05.2025).

Орієнтовано на активізацію навчальної діяльності здобувачів ступеня магістра освітньо-професійної програми вищої освіти «Технології захисту навколишнього середовища» та освітньо-наукової програми вищої освіти «Ресурсозбереження у гірничо-металургійному комплексі» зі спеціальності G2 Технології захисту навколишнього середовища та закріплення практичних навичок у засвоєнні дисципліни «Екологічна та техногенна безпека».

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

## ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ .....	4
ПРАКТИЧНА РОБОТА №1 .....	5
ОЦІНКА РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТВЕРДИМИ ЧАСТИНКАМИ, ДІОКСИДОМ АЗОТУ ТА ОЗОНОМ .....	5
1.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА .....	5
Загальні положення.....	5
Терміни та їх визначення .....	6
Методологія оцінки ризику для здоров'я .....	6
1.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	21
Контрольне завдання на практичну роботу.....	28
Питання для самоконтролю .....	28
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2 .....	29
ОЦІНКА КАНЦЕРОГЕННОГО ТА НЕКАНЦЕРОГЕННОГО РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІД ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	29
2.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА .....	29
Загальні положення.....	29
Коротка характеристика зв'язку між показниками здоров'я населення та станом довкілля ....	31
Оцінка ризику.....	32
Управління ризиком .....	40
Інформування про ризик .....	40
2.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	41
2.2.1. Оцінка канцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням повітря.....	41
2.2.2 Оцінка неканцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням повітря .....	45
2.2.3. Розрахунок сумарного неканцерогенного ризику з урахуванням критичних органів та систем.....	47
Контрольне завдання на практичну роботу.....	49
Питання для самоконтролю .....	49
КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	52
Додаток 1. Рекомендовані значення факторів експозиції.....	54
Додаток 2. Референтні концентрації .....	55
за хронічного інгаляційного впливу .....	55
Додаток 3. Фактори канцерогенного потенціалу.....	60

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дисципліна «Екологічна та техногенна безпека» – фахова освітня компонента спеціальності «Технології захисту навколишнього середовища» другого (магістерського) рівня вищої освіти.

*Мета дисципліни* полягає у формуванні у майбутніх фахівців (магістрів) компетентностей з оцінки рівнів екологічної та техногенної небезпеки; вибору та обґрунтування методів і способів управління екологічними та техногенними ризиками; опанування основних принципів аналізу, діагностування, прогнозування та планування ризиків у виробничій сфері, в природному середовищі та побуті.

*Об'єкт вивчення дисципліни* – системи взаємодії «суспільство–виробництво–природне середовище», у яких виникають екологічні та техногенні ризики, що загрожують стабільності екосистем, здоров'ю населення та безпеці господарської діяльності.

*Предмет вивчення дисципліни* – методологія оцінки, прогнозування та управління екологічними і техногенними ризиками, зокрема: процеси та явища, що спричиняють загрози; інструменти аналізу ризиків; механізми запобігання та мінімізації наслідків.

Методичні рекомендації призначені для закріплення теоретичних знань, набутих здобувачами в лекційному курсі, а також формування навичок із застосування методів оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря.

В методичних рекомендаціях представлено *дві практичні роботи*, текст яких викладено за типовою структурною схемою: тема, мета роботи, сформовані результати навчання, подання теоретичних положень за темою, завдання для самостійного виконання та питання для самоконтролю. Практичні роботи виконуються здобувачами згідно з поставленими завданнями за допомогою наведених в роботі таблиць, схем, формул.

Результатом виконання практичної роботи є звіт, виконаний в письмовій формі в окремому зошиті або на аркушах формату А4, який підлягає захисту.

**Звіт з практичної роботи** може виконуватись в письмовому вигляді або в електронній формі та повинен включати:

- титульний аркуш,
- назву та мету роботи,
- завдання на практичну роботу,
- результати виконання завдань на практичну роботу,
- висновки.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

### ОЦІНКА РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТВЕРДИМИ ЧАСТИНКАМИ, ДІОКСИДОМ АЗОТУ ТА ОЗОНОМ

**Мета роботи:** набуття студентами практичних навичок оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря твердими частинками, діоксидом азоту та озоном.

Поставлена мета досягається послідовним вирішенням **наступних завдань:**

– ознайомлення з методологією оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря твердими частинками, діоксидом азоту та озоном;

– ознайомлення з прикладом виконання оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря твердими частинками, діоксидом азоту та озоном;

– самостійне проведення оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря твердими частинками, діоксидом азоту та озоном.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання:**

– використовувати теорії, принципи, методи та поняття фундаментальних природничих, екологічних та інженерно-технічних наук у практичній діяльності;

– класифікувати і оцінювати різні види ризику.

#### 1.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Одним із нормативним документів в Україні, згідно з яким проводиться оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря, є Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря», затверджені Наказом Міністерства охорони здоров'я України № 89 від 17.01.2022 р.

#### Загальні положення

1. Ці Методичні рекомендації мають рекомендаційний, роз'яснювальний та інформаційний характер і призначені для спеціалістів підприємств, установ та організацій, що належать до сфери управління Міністерства охорони здоров'я України, які здійснюють оцінку ризиків для здоров'я населення від існуючого забруднення атмосферного повітря на території населеного пункту, яке сформоване за рахунок промислових викидів, життєдіяльності населення та процесів трансформації.

2. Оцінка ризику забрудненого атмосферного повітря для здоров'я людини надасть змогу отримати попередні дані щодо впливу забрудненого атмосферного повітря на здоров'я населення. Такі дані можуть допомогти оцінити зміну впливу

забруднення атмосферного повітря на здоров'я людини протягом певного часу, допомогти підвищити обізнаність про негативний вплив забруднення повітря та надати необхідну інформацію для оцінки розвитку подій та підвищити ефективність заходів із покращення якості повітря.

3. Ризики оцінюються щодо груп населення (як статистичні середні значення). Оцінка вразливості до ризиків окремих осіб не здійснюється. Під час оцінки ризику такого впливу зазвичай вимірюють показники наслідків для здоров'я, або впливу забруднення повітря, на певну групу населення – рівень смертності та рівень захворюваності.

### **Терміни та їх визначення**

1. Терміни, що використовуються в цих Методичних рекомендаціях, вживаються у такому значенні:

**Рівень смертності** - показник, який означає кількість смертей серед певної групи населення через конкретну або невизначену причину.

**Захворюваність** - показник, який означає наявність захворювання або симптомів захворювання за одних і тих самих обставин, що може бути виражено у таких показниках як рівень захворюваності на конкретну хворобу, кількість госпіталізацій або кількість випадків втрати працездатності.

**Передчасна смерть** - смерть, яка стається до того, як особа досягне очікуваного віку.

**Втрачені роки потенційного життя (ВРПЖ)** - роки потенційного життя, втрачені внаслідок передчасної смерті.

**Гіпотетична концентрація** - концентрація, за перевищення якої можна здійснити оцінку впливу.

**Популяційна атрибутивна фракція (ПАФ)** - пропорційне зменшення захворюваності населення або смертності, що відбулося б, якби вплив фактору ризику було зменшено до умовного ідеального рівня впливу.

### **Методологія оцінки ризику для здоров'я**

1. Для кількісної оцінки рівня передчасної смертності, спричиненої забрудненням повітря, відносний ризик населення щодо можливості впливу певної концентрації забруднювачів оцінюється через поєднання:

- даних про якість повітря з географічною прив'язкою,
- даних про густоту населення та інших статистичних даних про стан здоров'я,
- функцій «концентрація-реакція» та «забруднювач-вплив», рекомендованих епідеміологічними дослідженнями.

Дані про якість повітря з географічною прив'язкою:

- **глобальні:**

- Міжнародна онлайн-платформа World Air Quality Index (WAQI), яка надає в режимі реального часу дані про якість повітря в різних містах і регіонах світу - <https://aqicn.org/>;

- Європейська система моделювання забруднення повітря ЕМЕР. <https://www.emep.int/>;
- Air Quality viewer ЕЕА" — вебкарта, створена Європейським агентством з навколишнього середовища (ЕЕА) та його експертним центром (ЕТС), яка показує результати оцінки якості повітря в Європі. <https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=cce58848199e45ea8236bfd19969df54>;

#### - локальні:

- Громадський моніторинг стану якості повітря <https://reborn.eco-city.org.ua/>;
- Центр екологічного моніторингу ДОР <https://ecomonitoring.info/>;
- Набори даних Центру екологічного моніторингу ДОР на порталі відкритих даних <https://data.gov.ua/organization/kp-tsentr-ekologichnoho-monitorynhu-dor>;
- Щомісячні дані забруднення атмосферного повітря Українського гідрометеорологічного центру ДСНС <https://www.meteo.gov.ua/ua/Shchomisyachni-dani>;
- Щомісячні дані забруднення атмосферного повітря у м. Дніпро Комплексної лабораторії спостережень за забрудненням природного середовища Дніпропетровського регіонального ЦГМ <https://dniprorada.gov.ua/uk/page/departament-ekologichnoi-politiki-dniprovsckoi-miskoi-radi>;
- Інформаційно-аналітичний огляд стану атмосферного повітря Департаменту екології та природних ресурсів Дніпропетровської обласної державної адміністрації (щодокади) <https://adm.dp.gov.ua/file-storage/atmosferne-povitrya>.

Дані про густоту населення та інших статистичних даних про стан здоров'я:

#### - глобальні:

- Візуалізатор даних «Global Human Settlement Layer» (GHSL) - для дослідження та аналізу людських поселень та урбанізації <https://human-settlement.emergency.copernicus.eu/visualisation.php> ;
- GBD Compare – інтерактивні карти смертності від різних причин <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare> ;
- The Global Health Observatory (GHO) – глобальна платформа ВООЗ, яка надає доступ до широкого спектра статистичних даних про стан здоров'я у світі <https://www.who.int/data/gho/data/indicators> ;

#### - локальні:

- Державна служба статистики України [https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/ds.htm](https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ds.htm) ;

- Статистичний збірник «Таблиці народжуваності, смертності та середньої очікуваної тривалості життя» [https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/publnasel\\_u.htm](https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publnasel_u.htm) ;
- Медична статистична звітність на порталі відкритих даних. [https://data.gov.ua/dataset/medychna\\_zvitnist\\_moz;](https://data.gov.ua/dataset/medychna_zvitnist_moz;) ;
- Громадське здоров'я України: профілі регіонів. <https://phc.org.ua/regionalni-sistemi-gromadskogo-zdorovya/gromadske-zdorovya-ukraini-profil-regioniv>.

**Функція «концентрація-реакція».** Це зазвичай формула, яка показує, як саме зростання концентрації забруднювача (наприклад, +10 мкг/м<sup>3</sup> РМ<sub>2.5</sub>) впливає на збільшення ризиків для здоров'я (наприклад, +6% до смертності).

**Приклад:** Для РМ<sub>2.5</sub> функція може виглядати так: Кожні +10 мкг/м<sup>3</sup> → +6% ризику смерті від серцевих хвороб.

**Функція «забруднювач-вплив».** Це розширена версія, яка враховує:

- Конкретний тип забруднювача (РМ<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>);
- Конкретні наслідки (астма, інфаркт, рак легень);
- Чутливі групи (діти, літні, хворі на астму).

**Приклад для NO<sub>2</sub>:** Кожні +20 мкг/м<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> → +15% ризику госпіталізації з приводу астми у дітей.

Для оцінки ризику забруднення повітря для здоров'я необхідні три ключові елементи:

1) інформація **про відносний ризик забруднення повітря** - зміна частоти клінічних наслідків на одиницю концентрації в осіб, які перебувають у групі ризику;

2) інформація **про вплив забруднення повітря на населення** на певній території;

3) інформація **про вихідні показники**, яка містить дані про передчасну смертність та інші статистичні дані про стан здоров'я.

**1) Відносний ризик (RR)** – це науково доведений зв'язок між концентрацією забруднювача і зростанням смертності (тобто функція «концентрація-ефект»).

Приклад:

Забруднювач, вимірювання (концентрація)	Результат щодо здоров'я	RR на 10 мкг/м <sup>3</sup> (95% ДІ)
PM <sub>10</sub> , середньорічна	постнеонатальна (вік 1–12 місяців) дитяча смертність, усі причини	<b>1,04</b> (1,02; 1,07)
PM <sub>10</sub> , середньорічна	Захворюваність на хронічний бронхіт у дорослих (вік 18 років і старше)	<b>1,117</b> (1,040; 1,189)

Джерело: Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project

## 2) Вплив на населення. Це дані про те:

- де і які концентрації забруднювачів спостерігаються.
- скільки людей живе в цих зонах (густота населення).

## 3) Вихідна статистика здоров'я. Це такі базові показники, як:

- смертність від конкретних хвороб (інфаркти, рак легень, хронічне обструктивне захворювання легень).
- вікова структура населення (літні люди та діти чутливіші).

Оцінка ризику впливу забруднення повітря для здоров'я містить наступні основні кроки (рис. 1.1).

2. Оцінка ризиків для здоров'я ґрунтується на вимірюванні показників трьох забруднювачів, які за рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) найбільш шкідливими:

- 1) твердих часток діаметром менше 2,5 мкм ( $PM_{2.5}$ ),
- 2) діоксиду азоту ( $NO_2$ )
- 3) приземного озону ( $O_3$ ).

Беручи до уваги те, що повітря забруднене сумішшю різноманітних забруднювачів, зазначені вище забруднювачі, як найбільш шкідливі, використовують для оцінки ризиків для здоров'я від атмосферного повітря, забрудненого і іншими забруднювачами.

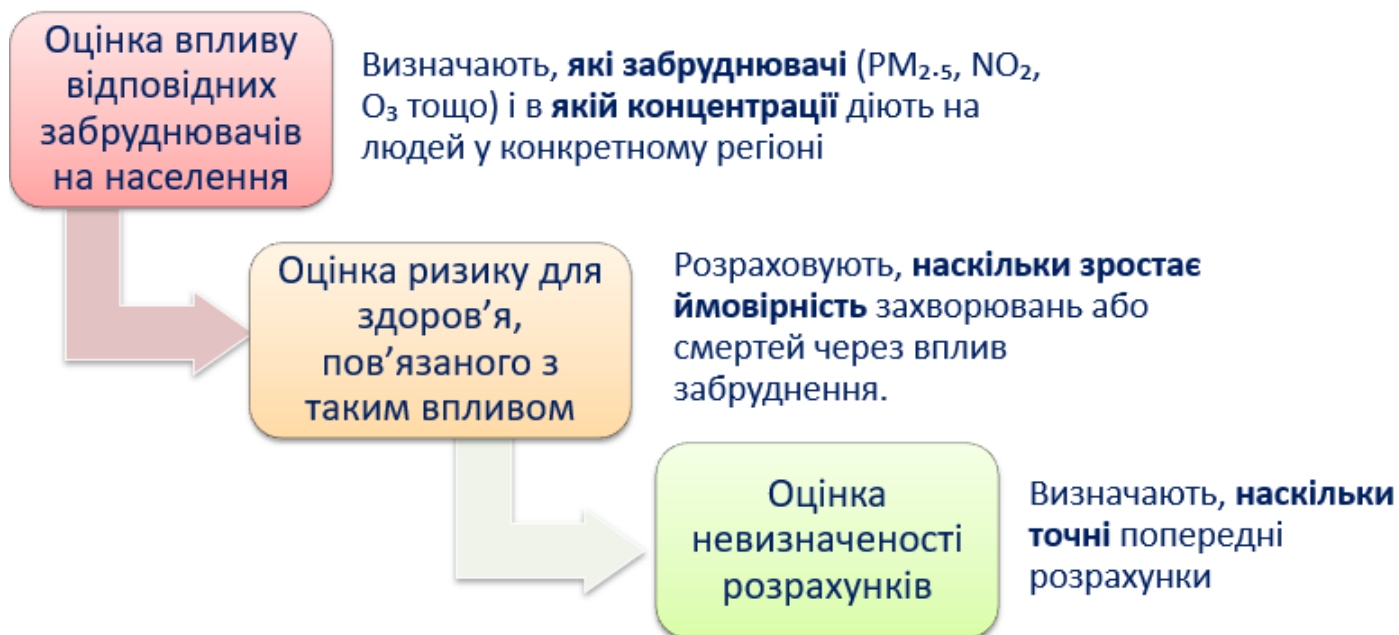


Рисунок 1.1 – Алгоритм оцінки ризику впливу забруднення повітря для здоров'я

### 1) Тверді частки $PM_{2.5}$ (діаметр < 2,5 мкм)

Настільки дрібні, що проникають глибоко в легені і навіть в кровоносну систему (рис. 1.2). Викликають серцево-судинні захворювання, інфаркти, інсульты, рак легень. ВООЗ вважає  $PM_{2.5}$  найнебезпечнішим забруднювачем

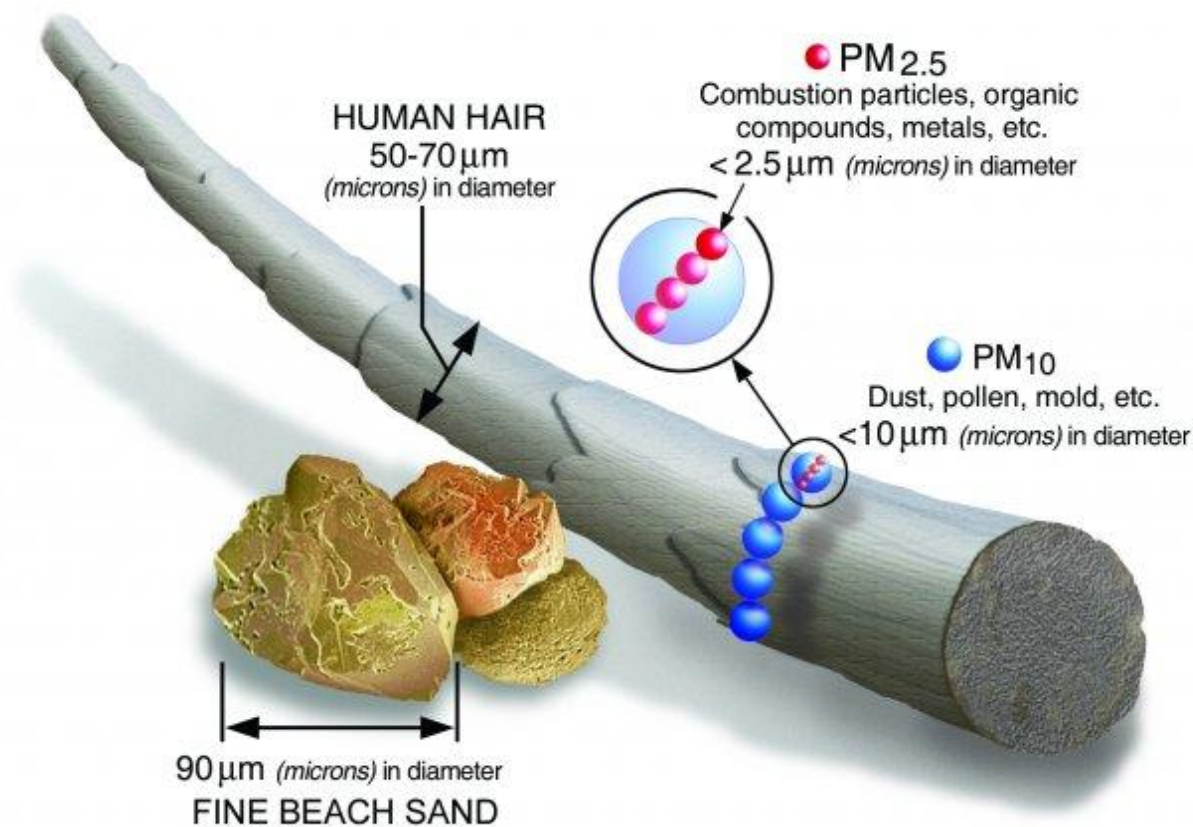
повітря.

## 2. Діоксид азоту (NO<sub>2</sub>)

Утворюється при спалюванні палива (авто, ТЕЦ, промисловість). Подразнює дихальні шляхи, посилює астму, збільшує ризик хронічних обструктивних хвороб легень (ХОЗЛ). Також є попередником озону (O<sub>3</sub>) і вторинних частинок PM<sub>2.5</sub>.

**3. Приземний озон (O<sub>3</sub>).** Не викидається безпосередньо, а утворюється в повітрі під дією сонця з NO<sub>2</sub> та летючих органічних сполук. Викликає проблеми з диханням, посилює астму, знижує функцію легень. Особливо небезпечний влітку у спекотну погоду.

Методика не ігнорує інші речовини (SO<sub>2</sub>, CO, важкі метали, бензол тощо), але PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> — це «індикаторні» забруднювачі: їхній рівень часто корелює з іншими токсичними речовинами.



**Рисунок 1.2 – Порівняння розмірів частинок PM<sub>2.5</sub> та PM<sub>10</sub>**

3. Для розрахунку рівня впливу на населення різних рівнів забруднення атмосферного повітря потрібна інформація про просторовий розподіл концентрацій забруднювачів повітря (середньорічні показники) та інформація про населення (рис. 1.3).



**Рисунок 1.3 – Необхідна інформація для розрахунку рівня впливу на населення різних рівнів забруднення атмосферного повітря**

4. Для просторового розподілу концентрації забруднювачів повітря можуть використовуватися різні методи, зокрема поєднання та аналіз даних моніторингу якості повітря зі стаціонарних пунктів моніторингу, результатів застосування моделі перенесення хімічних речовин, даних супутникового моніторингу та використання інших додаткових даних, наприклад метеорологічні дані, показники абсолютної висоти, просторового розподілу викидів та густоти населення.

5. Розмір сітки (розрахункова площа території) може змінюватися залежно від доступності даних та рівня оцінки. Так, розмір сітки може становити від  $1 \times 1$  км<sup>2</sup> для щорічної оцінки Європейського агентства з охорони довкілля (ЄАОД) до  $11 \times 11$  км<sup>2</sup> та  $28 \times 28$  км<sup>2</sup> у моделі GAINS (модель взаємодії та синергії забруднення повітря).

**Дрібна сітка (1×1 км, 5×5 км).** Використовується, наприклад - Європейським агентством з охорони довкілля - European Environment Agency's (EEA) – для щорічних звітів. Переваги: Висока точність – можна побачити «гарячі точки» (наприклад, забруднення біля заводу або оживленої дороги). Недоліки: Потрібні великі обчислювальні потужності та детальні вхідні дані (наприклад, щільна мережа станцій моніторингу).

**Велика сітка (11×11 км, 28×28 км).** Використовується, наприклад, у моделі GAINS (Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies) – для оцінки трансграничного перенесення забруднювачів (наприклад, як викиди з Польщі впливають на Україну). Переваги: менше витрат часу та ресурсів; достатньо для стратегічних рішень (наприклад, зменшення викидів на рівні країни). Недоліки: Не покаже локальні відмінності (наприклад, різницю між промзоною і селом поруч). Приклад: сітка  $28 \times 28$  км «згладить» дані – Київ і Бровари можуть опинитися в одній клітинці, хоча рівень забруднення в них різний.

6. Річну статистику оцінюють із використанням методу картування («регресія - інтерполяція - об'єднувальне картування»), який передбачає поєднання даних моніторингу із сільських та міських станцій фонового моніторингу атмосфери щодо присутності в повітрі  $PM_{2,5}$ ,  $O_3$  та  $NO_2$  з результатами, отриманими завдяки застосуванню моделі перенесення хімічних речовин Європейської програми моніторингу й оцінювання (EMEP), та з іншими додатковими даними, як наприклад показники абсолютної висоти, метеорологічні дані та показники густоти населення, використовуючи модель лінійної регресії з подальшим кригінгом залишків (рис. 1.4).

7. На картах концентрації  $NO_2$ , а з 2017 року і  $PM_{2,5}$ , також відображають дані зі станцій вимірювання рівня забруднення повітря, розташованих у місцях із інтенсивним дорожнім рухом у містах, для врахування проблемних точок, оскільки транспорт є найбільшим джерелом  $NO_2$  та значним джерелом  $PM$ .



**Рисунок 1.4 – Регресія – інтерполяція - об'єднувальне картування**

8. У рамках цієї методології створюють окремі шари карт фону в сільській та міській місцевостях (а у випадку  $NO_2$  та  $PM_{2,5}$  також руху міського транспорту), які згодом об'єднують в загальну карту. Накладання карт густоти населення на карти концентрації з тією ж роздільною здатністю створює картину рівня впливу на населення.

За допомогою цих карт можна оцінити відсоток населення, що зазнає впливу всього діапазону концентрацій, з кроком  $1 \text{ мкг/м}^3$ . Окрім загальної чисельності населення, для розрахунку пов'язаної з забрудненням смертності також використовується інформація про розподіл населення за віком та статтю.

9. Для співвідношення ризику (також відоме як співвідношення «концентрація-ефект», або «СКЕ») є характерним зв'язок концентрації забруднювача з ризиком смерті або захворювання і ґрунтується на оцінках

відносного ризику, отриманих за результатами епідеміологічних досліджень.

Співвідношення «концентрація-ефект» (СКЕ) – це математична залежність, яка показує, як збільшення концентрації забруднювача (наприклад, +10 мкг/м<sup>3</sup> РМ<sub>2.5</sub>) впливає на зростання ризику смерті чи захворювання (наприклад, +6% для серцевих хвороб).

Приклад:

Якщо СКЕ для РМ<sub>2.5</sub> каже, що +10 мкг/м<sup>3</sup> = +6% ризику смерті, то:

При 15 мкг/м<sup>3</sup> ризик буде на 6% вищий, ніж при 5 мкг/м<sup>3</sup> (норма ВООЗ).

При 25 мкг/м<sup>3</sup> — на 12% вищий.

10. Відносний ризик (ВР, RR) означає ймовірність того, що група ризику зазнає наслідків для здоров'я (наприклад смертність або захворюваність) порівняно з іншою групою, яка не зазнала впливу, і показує зміну частоти клінічних наслідків на одиницю концентрації в осіб, які перебувають у групі ризику.

Якщо значення ВР дорівнює 1,00, це означає: ризик є однаковим як для групи, що зазнала впливу, так і для групи, що не зазнала впливу, а якщо значення ВР більше 1,00, це означає, що ризик більший для групи, яка зазнала впливу.

Відносний ризик (ВР, RR) показує - у **скільки разів частіше** певна проблема зі здоров'ям (смерть, хвороба) трапляється в групі, підданій впливу забруднення, порівняно з групою без такого впливу.

Наприклад:

Значення ВР	Пояснення	Приклад для РМ <sub>2.5</sub>
ВР = 1.00	Немає різниці в ризиках між групами. Забруднення не впливає на здоров'я	Група А (15 мкг/м <sup>3</sup> ) і група Б (5 мкг/м <sup>3</sup> ) мають однакову смертність
ВР > 1.00	Ризик зростає для групи, яка зазнала впливу	ВР = 1.12 означає +12% ризику смерті порівняно з чистим повітрям
ВР < 1.00	Ризик знижується (рідкісний випадок для забруднення)	Наприклад, для вітамінів чи ліків

ВР можна описати за формулою:

$$ВР_c = \exp [\beta (C - C_0)], \quad (1.1)$$

де: С - рівень концентрації, якого зазнає («exp» - «вплив», «експозиція») популяція;

С<sub>0</sub> - може бути або фоновою концентрацією (тобто рівнем, який існував би за відсутності будь-якого техногенного забруднення), або концентрацією, нижче рівня якої впливу на здоров'я не очікується, або концентрацією гіпотетичного рівня;

$\beta$  - співвідношення «концентрація-ефект».

11. Визначення рівня  $C_0$  та концентрації гіпотетичного рівня за умови дуже низьких або дуже високих концентрацій, хоча співвідношення «концентрація-ефект» загалом є лінійним, може відрізнятись.

Дані про вплив дуже низької або дуже високої концентрації на здоров'я людей можуть бути не такими надійними, як за середнього рівня концентрації. Тому іноді вплив не можна аналізувати з однаковою точністю для всього діапазону концентрацій, через що використовується початкова концентрація або гіпотетична концентрація.

12. Для розрахунків використовуються гіпотетичні концентрації, рекомендовані ВООЗ для Європи:

- $0 \text{ мкг/м}^3$  для  $\text{PM}_{2,5}$  (тобто враховується весь діапазон концентрацій);
- $20 \text{ мкг/м}^3$  для  $\text{NO}_2$ , оскільки немає достатнього обсягу даних про співвідношення «концентрація-ефект» для менших концентрацій;
- для  $\text{O}_3$  використовують статистику SOMO35, у якій гіпотетична концентрація визначена на рівні  $70 \text{ мкг/м}^3$ , оскільки SOMO35 враховує лише концентрації, які перевищують цей рівень.

Для  $\text{PM}_{2.5}$ :  $C_0 = 0 \text{ мкг/м}^3$ , отже  $\text{PM}_{2.5}$  вважається безпечним лише за нульової концентрації. Навіть низькі рівні ( $1\text{--}5 \text{ мкг/м}^3$ ) можуть завдавати шкоди.

Приклад: Якщо в місті  $\text{PM}_{2.5} = 15 \text{ мкг/м}^3$ , ризик розраховується для всього діапазону ( $15 - 0 = 15 \text{ мкг/м}^3$ ).

Це консервативний підхід: він показує максимальний потенційний вплив на здоров'я. ВООЗ вважає, що немає безпечного порогу для дрібних часток.

Для  $\text{NO}_2$ :  $C_0 = 20 \text{ мкг/м}^3$ , а не нуль, тому що недостатньо даних для малих концентрацій ( $<20 \text{ мкг/м}^3$ ). Науковці не можуть точно сказати, чи є ефект при, наприклад,  $10 \text{ мкг/м}^3$ .

Приклад: Якщо  $\text{NO}_2 = 30 \text{ мкг/м}^3$ , ризик оцінюється лише для перевищення:  $30 - 20 = 10 \text{ мкг/м}^3$ . Це означає, що рівні  $\text{NO}_2$  нижче  $20 \text{ мкг/м}^3$  (наприклад, у сільській місцевості) не враховуються у розрахунках ризику.

Для  $\text{O}_3$  (озон):  $C_0 = 70 \text{ мкг/м}^3$  (SOMO35). SOMO35 – це спеціальний показник для озону, який враховує лише дні, коли концентрація  $\text{O}_3$  перевищує  $70 \text{ мкг/м}^3$ . Підсумовує «надлишкові» концентрації за літній період.

Приклад. Якщо протягом 5 днів  $\text{O}_3$  був:

$80 \text{ мкг/м}^3 \rightarrow 80 - 70 = 10$  «надлишкових» одиниць.

$90 \text{ мкг/м}^3 \rightarrow 90 - 70 = 20$  одиниць.

Сума SOMO35 =  $10 + 20 = 30$  (ці дані використовуються для оцінки ризику).

Чому саме  $70 \text{ мкг/м}^3$ ? Нижче цього рівня вплив озону слабо виражений. Високі концентрації ( $>70 \text{ мкг/м}^3$ ) пов'язані з загостренням астми, смертністю.

13. Ризики на основі СКЕ, рекомендованого епідеміологічними дослідженнями, можна розрахувати за формулою:

$$\beta = \ln(\text{СКЕ}) / \text{ОК}, \quad (1.2)$$

де: ОК - одиниця концентрації.

Формула впливає з експоненційної моделі відносного ризику (1.1). Щоб виразити  $\beta$ , беруть логарифм від обох частин. Формула  $\beta = \ln(\text{СКЕ}) / \text{ОК}$  перетворює «групи» ризику (на кшталт +6% за 10 мкг/м<sup>3</sup>) на **коефіцієнт для будь-якої концентрації**. Це ключовий крок для точних розрахунків впливу забруднення на здоров'я.

Приклад для РМ<sub>2.5</sub>:

СКЕ = 1.06 (на 10 мкг/м<sup>3</sup>).

ОК = 10 мкг/м<sup>3</sup>.

$\beta = \ln(\text{СКЕ}) / \text{ОК}$ .

$\beta = \ln(1.06) / 10 = 0.0583 / 10 \approx 0.00583$  (на 1 мкг/м<sup>3</sup>).

14. Значення СКЕ залежить від забруднювальних речовин та наслідків для здоров'я, які потрібно оцінити. У рамках епідеміологічних досліджень також кількісно визначено варіативність СКЕ через оцінки рандомізованих похибок, пов'язаних із дослідженням, забезпечуючи довірчі інтервали (ДІ) для центрального значення для рекомендованого СКЕ.

Епідеміологічні дослідження завжди мають **обмеження**, які впливають на точність СКЕ:

- Розмір вибірки: чим менше людей у дослідженні, тим менш точний СКЕ.
- Змішані фактори: куріння, вік, соціальний статус можуть спотворити зв'язок "забруднення–здоров'я".
- Методи вимірювання: наприклад, дані зі станцій моніторингу менш точні, ніж персональні сенсори.

Щоб врахувати цю невизначеність, науковці розраховують довірчі інтервали (ДІ) для СКЕ.

Довірчі інтервали (ДІ) для СКЕ показують діапазон, у якому із заданою ймовірністю (наприклад, 95%) лежить справжнє значення СКЕ.

Приклад із дослідження РМ<sub>2.5</sub>:

СКЕ = 1.06 (середнє значення). 95% ДІ = [1.02; 1.10]. Це означає, що із ймовірністю 95% справжній СКЕ знаходиться між 1.02 і 1.10.

Якщо ДІ не включає 1.0 (наприклад, [1.01; 1.08]), зв'язок між забрудненням і здоров'ям статистично значимий.

15. Вплив фактора ризику на розвиток хвороби або настання смерті можна оцінити за допомогою популяційної атрибутивної фракції (ПАФ), вираженої у відсотках. ПАФ можна розрахувати на основі відносного ризику за формулою:

$$\text{ПАФ} = (\text{ВРс} - 1) / \text{ВРс} \quad (1.3)$$

Тобто ПАФ – це показник, який відповідає на питання «Яку частку захворювань або смертей у популяції можна було б запобігти, якби фактор ризику (наприклад, забруднення повітря) повністю усунули?»

Приклад:

Забруднення  $PM_{2.5}$  збільшує смертність на 8%.

Тоді  $VR_c=1.08$  (бо  $8\% = 0.08$ , і  $1+0.08=1.08$ ).

Підставляємо у формулу:

$ПАФ=(1.08-1)/1.08=0.08/1.08\approx 0.074$  (або 7.4%)

Якщо в місті щороку помирає 1 000 осіб, то 74 смерті пов'язані з  $PM_{2.5}$ . Саме цю кількість можна було б запобігти, якби рівень  $PM_{2.5}$  знизився до нуля.

16. Враховуючи рекомендації ВООЗ щодо СКЕ у вигляді відносних ризиків (ВР), у таблиці 1.1 узагальнено ВР смертності з довірчим інтервалом (ДІ) 95 %, включаючи базову концентрацію, яка враховується для розрахунку впливу кожного забруднювача повітря на здоров'я, оскільки вони використовуються для оцінки ризику для здоров'я в ЄС.

Таблиця 1.1 – Коефіцієнти ризику, що пов'язують вплив  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$  та  $O_3$  зі смертністю, їх 95 % довірчий інтервал та базові рівні концентрації

Забруднювач	КР (95 % ДІ) на 10 $мкг/м^3$	Наслідок для здоров'я	Група наслідків
$PM_{2.5}$	<b>1,062</b> (1,040 – 1,083) $C_0 = 0$ $мкг/м^3$	Смертність від усіх (природних) причин у всіх вікових категоріях (МКХ-10, коди А00–R99)	А (кількість даних, які дозволяють надати надійну кількісну оцінку ефекту)
$O_3$	<b>1,0029</b> (1,0014 – 1,0043) SOMO35 (гіпотетична концентрація визначена на рівні 70 $мкг/м^3$ )	Смертність від усіх (природних) причин у всіх вікових категоріях (МКХ-10, коди А00–R99)	А (кількість даних, які дозволяють надати надійну кількісну оцінку ефекту)
$NO_2$	<b>1,055</b> (1,031 – 1,08) $C_0 = 20$ $мкг/м^3$	Смертність від усіх (природних) причин у всіх вікових категоріях (МКХ-10, коди А00–R99)	В (кількість даних, які дозволяють надати кількісну оцінку ефекту недостатня)

МКХ-10 — Міжнародна класифікація хвороб 10-го перегляду.

Коди А00–R99 — це діапазон кодів із Міжнародної класифікації хвороб (МКХ-10), що використовується для кодування причин смерті та захворювань.

А – кількість даних, які дозволяють надати надійну кількісну оцінку ефекту. Це означає, що:

- Є достатня кількість достовірних досліджень або спостережень.
- Отримані результати узгоджуються між різними джерелами.
- Можна з упевненістю вказати числове значення ризику або ефекту (наприклад, «ризик підвищується на 30%» або «концентрація, що викликає ефект — 50 мг/л»).
- Такий рівень даних дозволяє будувати математичні моделі, встановлювати нормативи тощо.

В – кількість даних, які дозволяють надати кількісну оцінку ефекту недостатня. Це означає, що:

- Дані є, але вони неповні, розрізнені або суперечливі.
- Можна лише описати наявність ефекту якісно, але не вказати точного числового значення (наприклад, «є ймовірність шкідливого впливу, але ступінь не визначено»).
- Кількісна оцінка або відсутня, або її надійність сумнівна.

Враховуючи нові наукові дослідження, рекомендовані ВООЗ значення СКЕ можуть бути оновлені в майбутньому.

17. Для оцінки кількості передчасних смертей (ПС) може використовуватися формула:

$$ПС = \sum_{v,c} ЗКС_{v,c} \times ПАФ \times Нас \quad (1.4)$$

де: загальний коефіцієнт смертності (ЗКС) за статтю (с) та віком (в) – це кількість смертей у певній групі населення через певну причину;

Нас - чисельність населення.

Приклад для міста Дніпро: забруднення  $PM_{2.5}$  збільшує смертність від ХОЗЛ (хронічних обструктивних хвороб легень) на 15% ( $BP=1.15$ ).

ПАФ:  $(1.15-1)/1.15 \approx 0.131$  (13%).

Кількість смертей від ХОЗЛ серед жінок 60–70 років: 200 на 100 000 населення ( $ЗКС_c=200:100\ 000$ ).

Чисельність жінок цієї вікової групи в Дніпрі: 50 000 ( $Нас=50\ 000$ ).

Розрахунок:

$ПС=(200:100\ 000) \times 0.13 \times 50\ 000=13$  смертей.

Висновок: 13 смертей від ХОЗЛ серед жінок 60–70 років у Дніпрі можна приписати забрудненню  $PM_{2.5}$ .

Формула (1.4) підсумовує результати для усіх груп населення (вік, стать), тому що:

- Ризики відрізняються (наприклад, літні люди чутливіші до забруднення).
- Коефіцієнти смертності (ЗКС) також різні.

Наприклад:

Вік	Стать	ЗКС (на 100 000)	Нас	ПАФ	Передчасні смерті
50–60	Ч	150	40 000	0.13	$0,0015 \times 0.13 \times$ $\times 40000 =$ $= 7.8$
60–70	Ж	200	50 000	0.13	13
...	...	...	...	...	...
Разом					20.8

18. Для визначення ВРПЖ може використовуватися формула:

$$\text{ВРПЖ} = \sum_{\text{в.с}} \text{ПС} \times \text{ТЖ}_{\text{в.с}} \quad (1.5)$$

де: ТЖ - середня тривалість життя людини, виходячи з року народження, її поточного віку та інших демографічних факторів, зокрема статі.

Приклад розрахунку: передчасні смерті серед жінок 30–40 років: 20 осіб. Середня тривалість життя для 35-річної жінки: 80 років.

Тоді  $\text{ТЖ} = 80 - 35 = 45$  років.

Розрахунок ВРПЖ для цієї групи:

$20$  (смертей)  $\times 45$  (років)  $= 900$  втрачених років життя.

Повний розрахунок: аналогічно підсумовуються втрати для всіх груп (чоловіки/жінки, різні вікові категорії).

ВРПЖ допомагає оцінити соціальний тягар передчасних смертей; порівняти вплив різних факторів (забруднення повітря vs ДТП vs куріння); планувати медичні та соціальні програми.

Обмеження методу: не враховує якість життя (інвалідність, хвороби); залежить від точності прогнозів тривалості життя.

Отже, ВРПЖ – це потужний інструмент для оцінки соціально-економічних втрат через передчасну смертність. Він показує не лише кількість смертей, але й глибину втрат для суспільства.

19. Карта густоти населення (картографічний розподіл кількості населення), створена з використанням тієї ж роздільної здатності сітки, що й концентрації забруднювачів у повітрі, необхідна для оцінки впливу на здоров'я.

Якщо карта населення і карта концентрації забруднювачів мають однакову сітку, можна точно зіставити скільки людей живе в зоні з підвищеним рівнем забруднення та який конкретно вплив на здоров'я може мати забруднення в цій зоні. Наприклад, якщо в певній клітинці сітки висока концентрація  $\text{NO}_2$  (діоксиду азоту) і при цьому там живе багато людей, то ризик для здоров'я (астма, серцеві

захворювання) буде вищим. Якщо ж забруднення високе, але населення майже відсутнє (наприклад, у промисловій зоні), то вплив на здоров'я буде низьким.

20. Вплив можна оцінювати за допомогою масштабування даних про загальну чисельність населення певного року, використовуючи найновішу доступну інформацію про густоту населення у вибраній зоні. Статистичні дані про базові показники здоров'я містять очікувану тривалість життя для кожної країни, стратифіковану за віком і статтю, та дані про загальний рівень смертності для кожної країни, також за віком і статтю. Ця статистика є характеристикою населення в цілому і не може бути застосована на індивідуальному рівні. Таким чином, орієнтовна кількість передчасних смертей, обчислена з використанням зазначених статистичних даних, - це міра загального впливу забруднення повітря на певну групу населення. Одне з типових джерел даних про рівень смертності - база даних ВООЗ про рівень смертності, яка містить дані за 1980–2019 роки та базується на щорічних даних.

Для оцінки впливу використовуються усереднені показники по країні, якто очікувана тривалість життя (наприклад, чоловіки 70 років, жінки 75 років); рівень смертності (наприклад, скільки людей у віці 50–60 років помирає щороку). Це середні дані по країні – вони не враховують конкретні захворювання чи особливості окремих людей, але дають загальну картину для великих груп. Це не точний розрахунок для кожної людини, а оцінка популяційного ризику. Наприклад:

«Забруднення PM<sub>2.5</sub> у місті N могло призвести до 500 додаткових смертей на рік серед людей старше 60 років».

Такий підхід використовується для:

- Планування охорони здоров'я (наприклад, де будувати лікарні).
- Визначення пріоритетів боротьби із забрудненням.

21. Основні невизначеності, зумовлені методологією оцінки впливу забруднення повітря на здоров'я, пов'язані з невизначеністю результатів епідеміологічних досліджень, на яких ґрунтується співвідношення «концентрація-ефект», складністю комплексу забруднювачів повітря та їх впливом на здоров'я, невизначеністю, пов'язаною з вимірюванням якості повітря та даними моделювання, а також методами, які використовують для їх комбінування з метою створення карт якості повітря, базових даних про стан здоров'я та можливою невизначеністю, пов'язаною з їх складанням, невизначеностями, пов'язаними із гіпотетичними концентраціями тощо.

**Невизначеність у епідеміологічних дослідженнях** («концентрація-ефект»). Науковці вивчають, як різні рівні забруднення (наприклад, PM<sub>2.5</sub>) пов'язані з захворюваністю або смертністю. Але ці зв'язки часто базуються на середніх даних і можуть відрізнятись для різних груп населення. Чому це проблема? Наприклад, якщо дослідження показують, що +10 мкг/м<sup>3</sup> PM<sub>2.5</sub> збільшує ризик смерті на 6%, то реальний вплив може бути 4–8% через різні фактори (вік, стан здоров'я тощо).

**Складність комплексу забруднювачів.** Повітря містить багато хімічних речовин ( $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ , озон тощо), які взаємодіють між собою та з організмом. Чому це проблема? Дослідження часто оцінюють вплив окремих речовин, але в реальності люди піддаються сумісному впливу. Наприклад,  $PM_{2.5}$  може посилювати шкідливість  $NO_2$ , але точних моделей для таких комбінацій немає.

**Похибки вимірювання якості повітря та моделювання.** Джерела даних: станції моніторингу (не завжди достатньо); супутникові дані (менш точні на місцевому рівні); хіміко-транспортні моделі (наприклад, Copernicus). Чому це проблема? Якщо станція вимірює  $PM_{2.5}$  лише в центрі міста, то для околиць дані екстраполюються (що дає похибки). Моделі можуть недооцінювати пікові значення (наприклад, під час лісових пожеж).

**Неточність карт якості повітря.** Дані з різних джерел (виміри, моделі) комбінують у єдину карту. Чому це проблема? Різні методи інтерполяції (наприклад, kriging, машинне навчання) дають різні результати. Наприклад, одна карта може показати  $PM_{2.5} = 20$  мкг/м<sup>3</sup>, а інша — 25 мкг/м<sup>3</sup> для тієї ж ділянки.

**Неточність базових даних про здоров'я.** Дані про смертність можуть бути застарілими. У деяких країнах немає детальної статистики за віком/статтю. Чому це проблема? Якщо для оцінки використовують середню тривалість життя по країні, але в конкретному регіоні вона нижча, результати будуть неточними.

**Невизначеність гіпотетичних концентрацій.** При прогнозуванні впливу часто використовують сценарії (наприклад: «Якщо  $PM_{2.5}$  знизиться на 5 мкг/м<sup>3</sup>, скільки життів врятується?»). Чому це проблема? Такі розрахунки залежать від припущень (наприклад, чи лінійний зв'язок між концентрацією і ефектом).

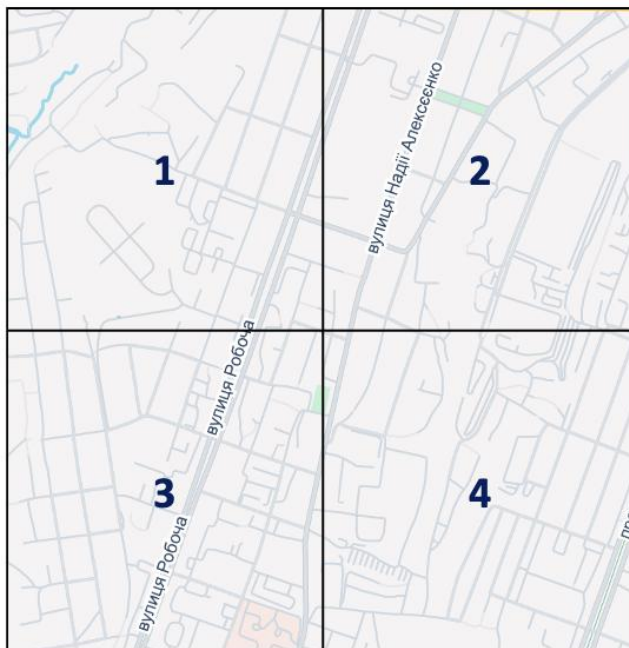
Ці невизначеності не роблять оцінки марними, але показують, що результати треба інтерпретувати обережно. Вони пояснюють, чому різні дослідження дають відмінні цифри для одних і тих же регіонів.

## 1.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Нижче наведений приклад оцінки ризику для здоров'я від діоксиду азоту ( $\text{NO}_2$ ) в атмосферному повітрі з проходженням основних етапів оцінки.

### Крок 0. Обираємо роздільну здатність зони та сітки

Перед початком оцінки важливо визначити мету оцінки, географічний рівень (національний, регіональний тощо) та розмір сітки (наприклад,  $1 \times 1$  км):



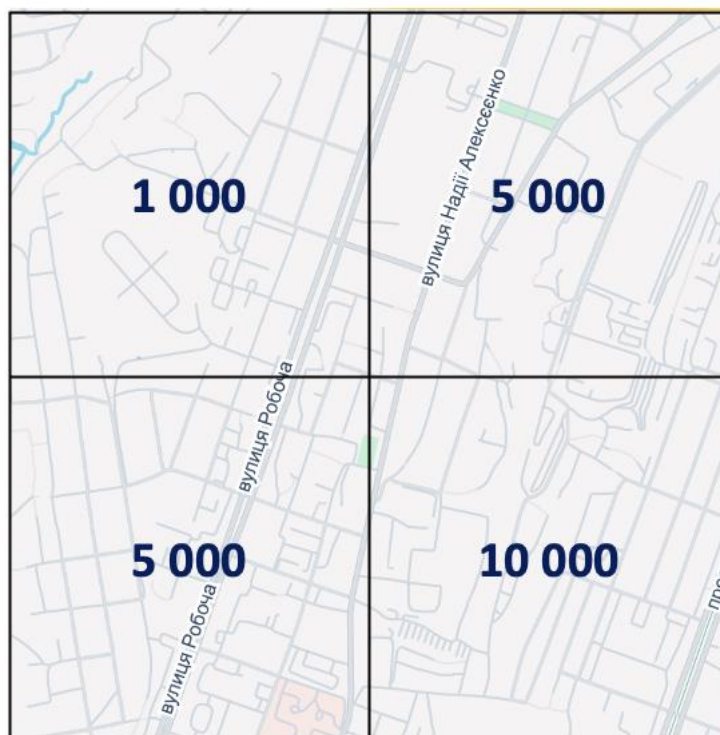
### Крок 1. Карта концентрації забруднення

Крок перший - створення карти концентрації забруднення повітря у форматі сітки з вибраною роздільною здатністю:



## Крок 2. Населення та вплив забруднення

Крок другий - отримання даних про просторовий розподіл населення для вибраного розміру сітки:



## Крок 3. Співвідношення «концентрація-ефект» (СКЕ)

Крок третій - визначення СКЕ на основі інформації, доступної в літературі.

Наприклад, у звіті HRAPIE про тривалий вплив NO<sub>2</sub> містяться такі дані про вплив на здоров'я:

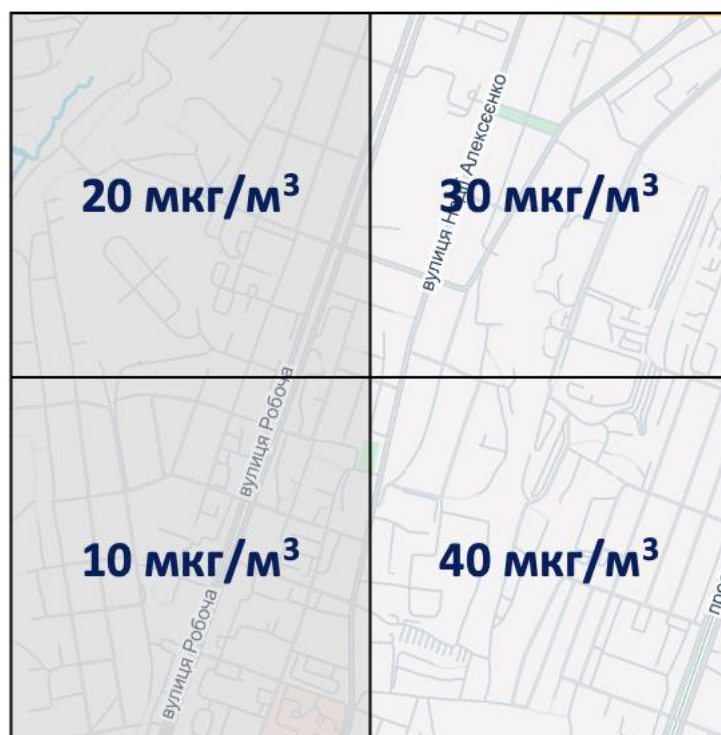
Table 1. CRFs recommended by the HRAPIE project. NO<sub>2</sub>, short-term exposure

Pollutant metric	Health outcome	Group	RR (95% CI) per 10 µg/m <sup>3</sup>	Range of concentration
NO <sub>2</sub> , annual mean	Mortality, all (natural) causes, age 30+ years	B*	1.055 (1.031–1.080)	>20 µg/m <sup>3</sup>

## Крок 4. Концентрація гіпотетичного рівня

Визначення або вибір концентрації гіпотетичного рівня.

Концентрація гіпотетичного рівня NO<sub>2</sub> може бути визначена на рівні 20 мкг/м<sup>3</sup>, оскільки значення СКЕ для цього забруднювача в HRAPIE визначено для концентрацій вище 20 мкг/м<sup>3</sup>. Це означає, що для двох із 4 проаналізованих клітинок сітки вплив на здоров'я не оцінюватиметься (клітинки сітки № 1 і 3):



### Крок 5. Базове значення впливу на здоров'я

Крок п'ятий - визначення базового значення впливу на здоров'я на основі наявної статистики про стан здоров'я.

У цьому прикладі ми розглядаємо всі причини передчасної смертності від впливу  $\text{NO}_2$  у віковій групі 30+ років, тому нам потрібно знати базовий рівень передчасної смертності у віковій групі 30+ років у вибраній зоні: вважається, що це 10 смертей на 1000 жителів.

### Крок 6. Відносний ризик

Крок шостий - обчислення відносного ризику. Скористаємося формулою (1.1):

$$\text{ВР}_C = \exp [\beta (C - C_0)],$$

де:  $C$  — рівень концентрації, якого зазнає) популяція,

$C_0$  – фонові концентрація, концентрація, нижче якої не очікується жодних наслідків для здоров'я, концентрація гіпотетичного рівня, у цьому прикладі  $20 \text{ мкг/м}^3$  для  $\text{NO}_2$ ;

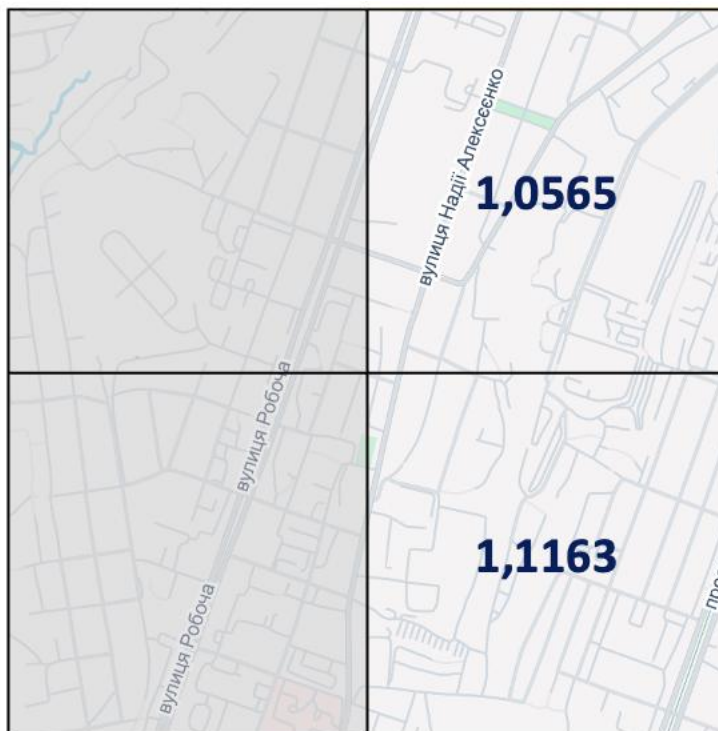
$\beta$  — співвідношення «концентрація-ефект», у цьому прикладі збільшення смертності на 5,5 % (0,055) на  $10 \text{ мкг/м}^3 \text{ NO}_2$  ( $[1,055-1]*100 = 5,5 \%$ ) або 0,0055 на  $1 \text{ мкг/м}^3 \text{ NO}_2$ .

Для клітинки сітки №2:  $\text{ВР}_2 = \exp [0,0055 \times (30 - 20)] = 1,0565$ .

Для клітинки сітки №4:  $\text{ВР}_4 = \exp [0,0055 \times (40 - 20)] = 1,1163$ .

Отже, на основі розрахунків відносного ризику було виявлено, що при концентрації  $\text{NO}_2$   $30 \text{ мкг/м}^3$  (на  $10 \text{ мкг/м}^3$  вище за фонові  $20 \text{ мкг/м}^3$ ) відносний ризик становить 1,0565, тобто смертність зростає на ~5,65%, а при концентрації  $40 \text{ мкг/м}^3$  (на  $20 \text{ мкг/м}^3$  вище за фон) ризик збільшується до 1,1163, що відповідає ~11,63% підвищенню смертності.

Це підтверджує пряму залежність між рівнем NO<sub>2</sub> і передчасною смертністю: кожні +10 мкг/м<sup>3</sup> до фонові концентрації (20 мкг/м<sup>3</sup>) збільшують ризик на ~5,5%, що узгоджується з коефіцієнтом  $\beta = 0,0055$  на 1 мкг/м<sup>3</sup>.



### Крок 7. Атрибутивна фракція

Крок сьомий - обчислення атрибутивної фракції. Скористаємося формулою (1.3):

$$\text{ПАФ} = (\text{ВРс} - 1) / \text{ВРс}.$$

Для клітинки сітки №2:

$$\text{ПАФ}_2 = (1,0565 - 1) / 1,0565 = 0,05347.$$

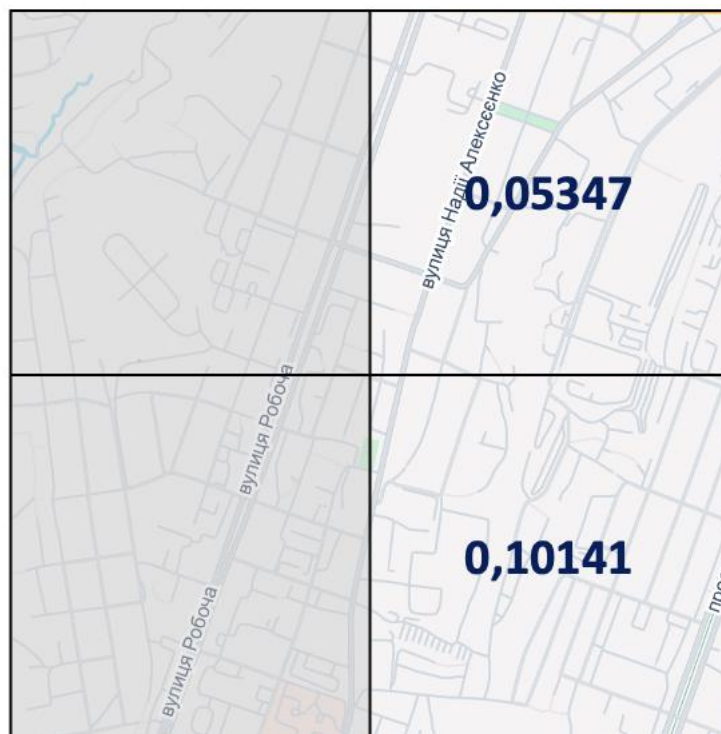
Для клітинки сітки №4:

$$\text{ПАФ}_4 = (1,1163 - 1) / 1,1163 = 0,10141.$$

Розрахунок атрибутивної фракції (ПАФ) показав, що :

- для клітинки №2 з концентрацією NO<sub>2</sub> 30 мкг/м<sup>3</sup> ПАФ становить 0,0535 (5,35%), що означає: близько 5,35% випадків передчасної смертності у цій зоні можна атрибутувати впливу NO<sub>2</sub> понад фоновий рівень.

- для клітинки №4 з концентрацією 40 мкг/м<sup>3</sup> ПАФ зростає до 0,1014 (10,14%), демонструючи, що вже понад 10% смертей пов'язані із підвищеним вмістом NO<sub>2</sub>.



### Крок 8. Оцінка впливу на здоров'я (передчасна смертність)

Крок восьмий - визначення наслідків для здоров'я (наприклад, передчасної смертності):

$$ПС = ПАФ \times ЗКС_{30+} \times Нас$$

Для клітинки сітки №2:

$$ПС_2 = 0,05347 \times (10/1000) \times 5000 = 2,67 \sim 3.$$

Отже, у зоні з концентрацією 30 мкг/м<sup>3</sup> (клітинка №2) щорічно реєструється 3 передчасні смерті, пов'язані з впливом NO<sub>2</sub>.

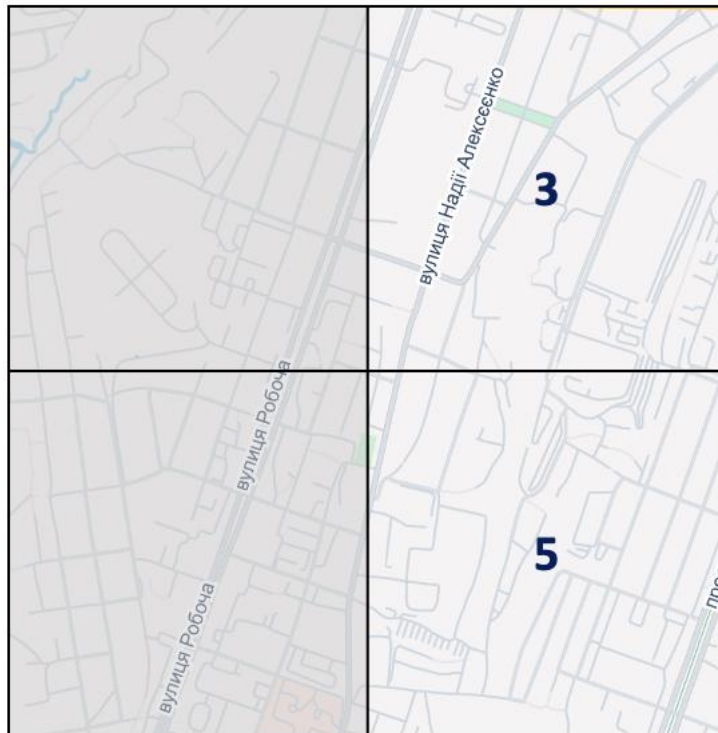
Для клітинки сітки №4:

$$ПС_4 = 0,10141 \times (10/1000) \times 10000 = 10,4.$$

У зоні з концентрацією 40 мкг/м<sup>3</sup> (клітинка №4) цей показник зростає до 5 випадків.

Відповідно, загальна кількість передчасних смертей, пов'язаних із забрудненням NO<sub>2</sub> у вибраній зоні, становить 13 смертей за проаналізований рік.

Можна відмітити, що спостерігається чітка залежність: зростання концентрації NO<sub>2</sub> на 10 мкг/м<sup>3</sup> призводить до майже подвоєння кількості передчасних смертей. Навіть при відносно невеликих перевищеннях фонові концентрації (20 мкг/м<sup>3</sup>) спостерігається значний вплив на здоров'я населення.



### Крок 9. Діапазон невизначеності

Крок дев'ятий — обчислення діапазону невизначеності для поточної оцінки.

Діапазон невизначеності обчислюється через повторення згаданих вище розрахунків для нижньої та верхньої меж СКЕ, у цьому випадку діапазон невизначеності становитиме 1,031 та 1,080 (див. крок 3).

*Ліва межа діапазону – 1,031.*

Для клітинки сітки №2:

$$ВР_2 = \exp [0,0031 \times (30 - 20)] = 1,0315.$$

$$ПАФ_2 = (1,0315 - 1) / 1,0315 = 0,031.$$

$$ПС_2 = 0,031 \times (10/1000) \times 5000 = 1,5 \sim 2.$$

Для клітинки сітки №4:

$$ВР_4 = \exp [0,0031 \times (40 - 20)] = 1,064.$$

$$ПАФ_4 = (1,064 - 1) / 1,064 = 0,06.$$

$$ПС_4 = 0,06 \times (10/1000) \times 10000 = 6.$$

Загальна кількість передчасних смертей – 8.

*Права межа діапазону – 1,080.*

Для клітинки сітки №2:

$$ВР_2 = \exp [0,008 \times (30 - 20)] = 1,0833.$$

$$ПАФ_2 = (1,0833 - 1) / 1,0833 = 0,077.$$

$$ПС_2 = 0,077 \times (10/1000) \times 5000 = 3,8 \sim 4.$$

Для клітинки сітки №4:

$$ВР_4 = \exp [0,008 \times (40 - 20)] = 1,174.$$

$$ПАФ_4 = (1,174 - 1) / 1,174 = 0,147.$$

$$ПС_4 = 0,147 \times (10/1000) \times 10000 = 14,7 \sim 15.$$

Загальна кількість передчасних смертей – 19.

Діапазон невизначеності для поточної оцінки – (8, 19). Відповідно, у дослідженій зоні загальна кількість передчасних смертей, пов'язаних із забрудненням NO<sub>2</sub>, з імовірністю 95% лежить у діапазоні від 8 до 19 смертей за проаналізований рік.

### **Висновки:**

У дослідженій зоні загальна кількість передчасних смертей, пов'язаних із забрудненням NO<sub>2</sub>, становить 13 (8, 19) смертей за проаналізований рік. Отримані результати підтверджують необхідність пріоритетних заходів щодо впровадження програм зниження викидів NO<sub>2</sub>, моніторингу якості повітря в найбільш уразливих зонах та розробки цільових екологічних програм для конкретних територій.

Конкретні рекомендації щодо зниження впливу NO<sub>2</sub> на здоров'я населення:

1. Для органів місцевого самоврядування:

Впровадити систему постійного моніторингу якості повітря з акцентом на вимірювання NO<sub>2</sub> у "гарячих точках" (трафікові розв'язки, промислові зони); розробити та реалізувати плани дій зі зниження забруднення для територій, де концентрації NO<sub>2</sub> перевищують 20 мкг/м<sup>3</sup>; оптимізувати транспортні потоки (розвиток громадського транспорту, велодоріжок, пішохідних зон)

2. Для промислових підприємств:

Модернізувати системи очистки викидів (встановлення каталітичних нейтралізаторів, скрубєрів); впроваджувати технології з низьким рівнем викидів NO<sub>2</sub>; проводити регулярні перевірки обладнання на відповідність екологічним стандартам

3. Для транспортного сектору:

Поступовий перехід на екологічні види транспорту (електромобілі, гібриди); впровадження стандартів Євро-6 для нових транспортних засобів; обмеження руху вантажного транспорту у центрі міст.

4. Для громадськості:

Інформування населення про ризики впливу NO<sub>2</sub> та способи захисту; розвиток систем оповіщення про підвищені концентрації забруднювачів; заохочення використання альтернативних видів транспорту.

5. Для наукових установ:

Продовжити дослідження впливу NO<sub>2</sub> на різні групи населення; розробити методики точнішої оцінки ризиків для конкретних регіонів; створити бази даних "гарячих точок" забруднення NO<sub>2</sub>.

Термінові заходи для зон з високими концентраціями:

1. Встановлення додаткових озелених бар'єрів вздовж магістралей

2. Обмеження будівництва у зонах із підвищеним рівнем NO<sub>2</sub>

3. Розробка індивідуальних програм оздоровлення для мешканців зон ризику

Ці заходи дозволять суттєво знизити рівень передчасної смертності, пов'язаної з впливом NO<sub>2</sub>, та покращити якість життя населення.

## Контрольне завдання на практичну роботу

1. Виконати оцінку ризику для здоров'я від забруднення атмосферного повітря твердими частинками ( $PM_{2,5}$ ) з проходженням основних етапів оцінки. Вихідні дані для розрахунку наведені у таблиці 1.2. Номер варіанту обирається здобувачем відповідно до номеру у журналі.
2. Зробити висновки.

Таблиця 1.2 – Вихідні дані для виконання практичної роботи

Варіант	Роздільна здатність зони, км	Концентрації забруднення, мкг/м <sup>3</sup>				Просторовий розподіл населення, осіб				Базове значення впливу на здоров'я, на 1000 осіб
		1	4	5	4	500	1000	700	1200	
1	1x1	1	4	5	4	500	1000	700	1200	25
2	11x11	7	8	6	4	1000	5000	7000	9000	40
3	28x28	2	4	6	1	9000	15000	20000	7000	35
4	1x1	8	9	7	4	1500	1000	1700	1200	15
5	11x11	3	3	4	2	1000	5000	7000	9000	17
6	28x28	8	6	4	9	9000	15000	20000	7000	11
7	1x1	7	4	6	1	800	900	700	1700	23
8	11x11	3	3	4	1	1000	5000	7000	9000	15
9	28x28	1	3	1	2	9000	15000	20000	7000	27
10	1x1	5	7	2	7	500	500	1000	1200	43

### Питання для самоконтролю

1. Які три ключові забруднювачі повітря використовуються для оцінки ризиків за рекомендаціями ВООЗ? Наведіть їх гіпотетичні концентрації.
2. Поясніть, що таке відносний ризик (ВР) і як його розраховують за даною методикою? Наведіть приклад.
3. Як визначається атрибутивна фракція (ПАФ) та який її практичний зміст у оцінці впливу на здоров'я?
4. Опишіть кроки розрахунку передчасної смертності через вплив  $NO_2$ .
5. Чому для  $NO_2$  обрано гіпотетичну концентрацію 20 мкг/м<sup>3</sup>? Як це впливає на оцінку ризику?
6. Які джерела даних використовуються для створення карти концентрації забруднення? Наведіть приклади.
7. Як розмір сітки (наприклад, 1×1 км) впливає на точність оцінки ризику?
8. Поясніть, що таке співвідношення «концентрація-ефект» (СКЕ) і як воно пов'язане з довірчим інтервалом (ДІ).
9. Які невизначеності можуть виникати під час оцінки ризику?
10. Як використовуються показники густоти населення та вікової структури для розрахунку втрачених років потенційного життя?

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

### ОЦІНКА КАНЦЕРОГЕННОГО ТА НЕКАНЦЕРОГЕННОГО РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІД ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

**Мета роботи:** набуття студентами практичних навичок оцінки канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря.

Поставлена мета досягається послідовним вирішенням **наступних завдань:**

– ознайомлення з основними положеннями методики оцінки ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря;

– ознайомлення з прикладом виконання оцінки канцерогенного та неканцерогенного ризику, пов'язаного із хімічним забрудненням повітря, а також з прикладом розрахунку сумарного неканцерогенного ризику з урахуванням критичних органів та систем, які в першу чергу зазнають негативного впливу;

– самостійне проведення оцінки канцерогенного та неканцерогенного ризику, пов'язаного із хімічним забрудненням атмосферного повітря небезпечними хімічними речовинами.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання:**

– використовувати теорії, принципи, методи та поняття фундаментальних природничих, екологічних та інженерно-технічних наук у практичній діяльності;

– класифікувати і оцінювати різні види ризику.

#### 2.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Ще одним нормативним документом, згідно з яким в Україні проводиться оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря, є Методичні рекомендації «Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря», затверджені Наказом Міністерства охорони здоров'я України № 1811 від 18.11.23 р.

##### Загальні положення

Ці Методичні рекомендації призначено для фахівців Державної установи «Центр громадського здоров'я Міністерства охорони здоров'я України», обласних (міських) центрів контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України, закладів охорони здоров'я, науково-дослідних та інших організацій/установ, незалежно від форми власності, для проведення оцінки рівня канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від існуючого хімічного забруднення атмосферного повітря на території населеного пункту, яке сформоване за рахунок промислових викидів, життєдіяльності населення та процесів трансформації.

Ці Методичні рекомендації є інструментом первинної та вторинної профілактики онкологічних захворювань населення.

У даних методичних рекомендаціях терміни і визначення застосовуються в такому значенні:

*Аналіз ризику* – процес отримання інформації, необхідної для запобігання негативних наслідків для здоров'я і життя людини, який включає етапи з оцінки ризику, управління ризиком і розповсюдження інформації про ризик.

*Доза* – основна міра експозиції, яка характеризує кількість хімічної речовини, що впливає на організм.

*Експозиція* – кількість хімічної речовини, яка доступна для абсорбції на обмінних оболонках тіла (легені, шлунково-кишковий тракт, шкіра) протягом певної тривалості впливу.

*Залежність «доза-відповідь»* – зв'язок між рівнем експозиції (дозою) і ступенем прояву специфічного ефекту у популяції, що зазнає впливу даної сполуки.

*Індекс небезпеки* – сума коефіцієнтів небезпеки для речовин з однорідним механізмом дії або сума коефіцієнтів небезпеки для різних шляхів надходження хімічної речовини.

*Індивідуальний ризик* – оцінка імовірності розвитку негативного ефекту у індивіда, наприклад, ризик розвитку раку у одного індивіда із 1 000 осіб, які зазнавали впливу (ризик 1 на 1 000 або  $10^{-3}$ ).

*Канцерогенний ризик* – імовірність розвитку новоутворень протягом життя людини, що обумовлена впливом потенційного канцерогену.

*Кумулятивний ризик* – імовірність розвитку шкідливого ефекту внаслідок одночасного надходження в організм усіма можливими шляхами хімічних речовин, що мають схожий механізм дії.

*Маршрут впливу* – шлях хімічної речовини від джерела її утворення і надходження у навколишнє природне середовище до організму людини, що зазнає експозиції впливу. Складається із джерела забруднення навколишнього природного середовища, первинного забрудненого середовища, транспортуючого середовища і середовища, що безпосередньо впливає на людину.

*Невизначеність* – ситуація, обумовлена недосконалістю знань про сучасний або майбутній стан системи взаємозв'язку між шкідливим чинником і організмом людини. Характеризує часткову відсутність відомостей про певні параметри, процеси, моделі, що використовуються при оцінці ризику.

*Неканцерогенний ризик (коефіцієнт небезпеки  $HQ$ )* – відношення дози (або концентрації) впливу хімічної речовини до її безпечного (референтного) рівня впливу.

*Одиничний ризик ( $UR$ )* – верхня межа додаткового ризику протягом життя, який обумовлений впливом хімічної речовини в концентрації  $1 \text{ мкг/м}^3$  (за інгаляційного шляху надходження з атмосферного повітря).

*Популяційний ризик* – агрегована міра очікуваної частоти ефектів серед всіх людей, які зазнали впливу (наприклад, 20 випадків захворювання на рак у популяції окремого району, міста тощо).

*Референтна доза/референтна концентрація (RfD/RfC)* – добовий вплив хімічної речовини протягом життя, що встановлюється з урахуванням всіх наявних сучасних наукових даних та, імовірно, не призводить до виникнення ризику для здоров'я чутливих груп населення.

*Ризик для здоров'я* – імовірність розвитку негативних наслідків для здоров'я у окремих індивідів або групи осіб, які зазнали певного впливу хімічної речовини. Характеризується величиною, що лежить в інтервалі (0...1), де 0 означає відсутність ефекту, а 1 – обов'язковий його прояв.

*Середня добова доза/концентрація впливу протягом життя (ADD/ADC, або LADD/LADC)* – потенційна добова доза/концентрація, осереднена за період впливу хімічної речовини. Період осереднення експозиції для канцерогенів – 70 років.

*Фактор канцерогенного потенціалу (SF)* – фактор, що характеризує ступінь розвитку канцерогенного ризику зі збільшенням дози на одну одиницю. Цей показник демонструє верхню, консервативну оцінку ризику канцерогенності за очікувану тривалість життя людини (70 років).

*Характеристика ризику* – завершальний етап оцінки ризику, на якому узагальнюються дані попередніх етапів і пов'язаних з ними невизначеностей з метою обґрунтування висновків і рекомендацій, необхідних для управління ризиком.

*Фактори ризику* – негативні чинники, що провокують або збільшують ризик розвитку певних ефектів (захворювань).

### **Коротка характеристика зв'язку між показниками здоров'я населення та станом довкілля**

Здоров'я людини визначається складною взаємодією цілого ряду факторів: спадковість, соціально-економічне та психологічне благополуччя, доступність і якість медичного обслуговування, спосіб життя і наявність шкідливих звичок, умови життєдіяльності та якість навколишнього природного середовища. Визначення точного внеску окремих факторів у розвиток захворювання нерідко є досить важким завданням, яке ускладнюється значною кількістю обумовлених ними ефектів, багато з яких, до того ж, можуть зустрічатися серед населення і без впливу цих факторів.

У той же час, шляхом проведення належним чином спланованих епідеміологічних та еколого-гігієнічних досліджень можна виявити і кількісно оцінити ризик розвитку захворювань, пов'язаних з шкідливою дією факторів навколишнього природного середовища для відносно великих груп населення. Сьогодні одним із найбільш ефективних сучасних підходів до встановлення зв'язку між станом навколишнього природного середовища та здоров'ям населення в певному регіоні чи місті, що дозволяє вирішувати подібні задачі в умовах обмежених термінів і фінансових можливостей, є методологія оцінки ризику.

*Методологія оцінки ризику* – це вибір оптимальних у даній конкретній ситуації шляхів усунення або зменшення ризику, він складається з трьох взаємопов'язаних елементів:

- 1) оцінка ризику;
- 2) управління ризиком;
- 3) інформування про ризик.

Саме їх сукупність дозволяє не лише виявити існуючі проблеми, розробити шляхи їх вирішення, а й створити умови для практичної реалізації цих рішень.

При цьому визначення ризику від забруднення атмосферного повітря дозволяє прогнозувати імовірність і медико-соціальну значимість можливих порушень здоров'я при різних сценаріях його впливу, а ще й встановлювати першочерговість і пріоритетність заходів з управління факторами ризику на індивідуальному та популяційному рівнях.

Визначення факторів ризику, доведення їх ролі у порушенні здоров'я людини, а також кількісна характеристика залежностей шкідливих ефектів від рівнів впливу конкретних факторів дозволяє оцінити реальну загрозу здоров'ю населення, що проживає на певних територіях, і дає об'єктивні підстави для впровадження профілактичних заходів.

Одночасно результати можна використовувати для розрахунків економічних втрат суспільства у результаті погіршення здоров'я населення або визначення затрат на впровадження профілактичних заходів та поліпшення навколишнього природного середовища. Отже, сучасна методологія оцінки ризиків для здоров'я та управління ними у разі впровадження її у практику державного санітарно-епідеміологічного нагляду, дозволяє вирішити як традиційні, так і нові задачі профілактичної медицини з урахуванням комплексу соціально-економічних та екологічних проблем.

### **Оцінка ризику**

Повна, або базова, схема оцінки ризику передбачає проведення чотирьох взаємопов'язаних етапів, а саме:

- 1) ідентифікацію небезпеки;
- 2) оцінку експозиції;
- 3) характеристику небезпеки (оцінку залежності «доза-відповідь»);
- 4) характеристику ризику.

*1) Ідентифікація небезпеки.* Головним завданням цього етапу є відбір пріоритетних, індикаторних хімічних речовин, вивчення яких дозволить з достатньою точністю охарактеризувати рівні ризику порушення стану здоров'я населення та джерела його виникнення. Пріоритетність досліджуваних речовин визначають на основі даних щодо їх біологічної активності, у т.ч. канцерогенної, фізико-хімічних властивостей, які обумовлюють особливості поширеності і поведінки їх у навколишньому природному середовищі та впливу на організм людини, залежності розвитку негативних ефектів (специфічних і неспецифічних) від шляху надходження речовини в організм. При цьому, як правило, використовують вторинні джерела інформації (аналітичні огляди, звіти,

довідники, бази даних), що вже містять висновки висококваліфікованих експертів про небезпечні властивості даної речовини.

2. *Оцінка експозиції* – етап оцінки ризику, у процесі якого встановлюється кількісний рівень надходження речовини до організму людини певним шляхом. Він передбачає визначення шляху розповсюдження у навколишньому середовищі і впливу на організм забруднюючої сполуки, вивчення її концентрацій, встановлення терміну дії і загальної тривалості впливу, оцінки чисельності популяції, яка знаходиться або вірогідно може знаходитись під впливом шкідливого чинника.

Кількісна характеристика експозиції передбачає визначення концентрації хімічних сполук, що впливають на людину, орієнтуючись на дані:

- моніторингових досліджень;
- моделювання поширеності та поведінки хімічних сполук у повітряному (навколишньому природному) середовищі;
- комбінації результатів моніторингових спостережень із даними, отриманими на основі моделювання.

Моніторинг якості атмосферного повітря є найбільш важливим інструментом для аналітичного визначення вмісту хімічних чинників. За сучасних умов джерелом даних можуть бути результати спеціально спрямованих спостережень та матеріали щодо стану забруднення атмосферного повітря, отримані державною системою спостережень Державною службою України з надзвичайних ситуацій та її територіальними органами.

Концентрація речовини у зоні спостережень (місце перебування людини) визначається як *середньоарифметична величина концентрацій*, що мали місце протягом періоду експозиції, або як максимальна концентрація за обмежений час (у залежності від постановки завдання).

Для оцінки ризиків, зумовлених хронічним впливом хімічних речовин, мають застосовуватись *середньорічні концентрації* та їхні верхні 95%-ві довірчі межі. При визначенні ризиків гострих (екстремальних, аварійних) ситуацій терміном до 24 год. використовуються *максимальні концентрації*.

Визначаючи ризик впливу атмосферного повітря на здоров'я людей, теоретично бажано враховувати весь спектр хімічних сполук, що можуть діяти у цьому місці. Однак, реально допускається обмеження їх числа пріоритетними (індикаторними) для даної території речовинами.

Критеріями вибору пріоритетних речовин антропогенного походження є їх токсичні властивості, розповсюдження у навколишньому середовищі, стійкість, здатність до біокумуляції та міграції природними ланцюгами, здатність викликати негативні ефекти (незворотні, віддалені) та чисельність населення, на яке потенційно вони можуть впливати.

При визначенні пріоритетних речовин доцільно враховувати також закордонні переліки (країни ЄС, США), що склались на основі вивчення компонентів забруднення повітряного середовища та характерних викидів різних промислових галузей.

Для України важливо орієнтуватись на переліки загальнопоширених

забруднюючих речовин атмосферного повітря, показників та інгредієнтів атмосферних опадів, позначених у Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 року № 827.

Результатом даного етапу оцінки ризику є визначення **середньої добової дози (ADD/LADD)**, формула розрахунку якої за інгаляційного впливу речовини з атмосферного повітря має вигляд:

$$ADD / LADD = \frac{[(Ca \cdot Tout \cdot Vout) + (Ch \cdot Tin \cdot Vin)] \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365}, \quad (2.1)$$

де *ADD/LADD* – середня добова доза речовини, мг/(кг·доба);

*Ca* – концентрація речовини в атмосферному повітрі, мг/м<sup>3</sup>;

*Ch* – концентрація речовини у повітрі приміщення, мг/м<sup>3</sup>;

*Tout* – час, що проводиться поза приміщенням, год/доба;

*Tin* – час, що проводиться у приміщенні, год/доба;

*Vout* – швидкість дихання поза приміщенням, м<sup>3</sup>/год;

*Vin* – швидкість дихання у приміщенні, м<sup>3</sup>/год;

*EF* – частота впливу, днів/рік;

*ED* – тривалість впливу, років;

*BW* – маса тіла, кг;

*AT* – період осереднення експозиції, років;

365 – число днів на рік.

За відсутності специфічних для досліджуваної популяції дескрипторів експозиції використовують стандартні значення, наведені у додатку 1.

**3. Характеристика небезпеки.** Головним завданням етапу є узагальнення та аналіз наявних даних щодо гігієнічних нормативів, безпечних рівнів впливу (референтних доз та концентрацій), критичних органів/систем та негативних ефектів, що можуть виникати за дії певної речовини або групи речовин.

Дія хімічних сполук зумовлює широкий спектр шкідливих ефектів, які залежать від шляху та тривалості надходження в організм, рівнів доз або концентрацій. У методології оцінки ризику прийнято орієнтуватися на той шкідливий ефект, який виникає за впливу найменшої із ефективних доз (критичний ефект, критичні органи/системи).

При цьому міжнародна методологія оцінки ризику передбачає, що:

- для **неканцерогенних речовин** та канцерогенів негенотоксичної дії передбачається наявність *порогових рівнів*, нижче від яких шкідливі ефекти не виникають;

- **канцерогенні ефекти**, обумовлені дією генотоксичних канцерогенних чинників, можливі за дії *будь-яких доз*, що викликають пошкодження генетичного матеріалу; для такого роду сполук *відсутні порогові рівні*.

Для характеристики ризику розвитку **неканцерогенних ефектів** найчастіше використовують два показники:

- 1) максимальна недіюча доза;
- 2) мінімальна доза, що викликає пороговий ефект.

Дані показники є основою для установлення рівнів мінімального ризику – *референтних доз (RfD)* і *референтної концентрації (RfC)*. Перевищення референтної дози не обов'язково пов'язане із розвитком шкідливого ефекту, але чим вища доза впливу і чим більше вона перевищує референтну, тим більша імовірність його виникнення, однак оцінити цю імовірність за даного методичного підходу неможливо.

У зв'язку з цим кінцевими характеристиками оцінки експозиції на основі референтних доз і концентрацій є *коефіцієнти небезпеки (HQ)* та *індекси небезпеки (HI)*.

Якщо референтна доза не перевищена, то ніяких регулюючих втручань не потрібно. У випадку, коли вплив речовини перевищує *RfD*, виникає небезпека, величину якої можна оцінити лише за допомогою вивчення залежності «доза-відповідь» та спектра шкідливих ефектів.

Значення референтних концентрацій деяких хімічних речовин, а також критичних органів та систем, на які вони впливають, наведено у додатку 2.

Для оцінки ризику **генотоксичних канцерогенів** основним параметром є *фактор канцерогенного потенціалу (CPF)* або *фактор нахилу (SF)*, що відображає ступінь наростання канцерогенного ризику на одну одиницю зі збільшенням дози впливу (рис. 2.1) і має розмірність  $[\text{мг}/(\text{кг}\cdot\text{доба})]^{-1}$ .

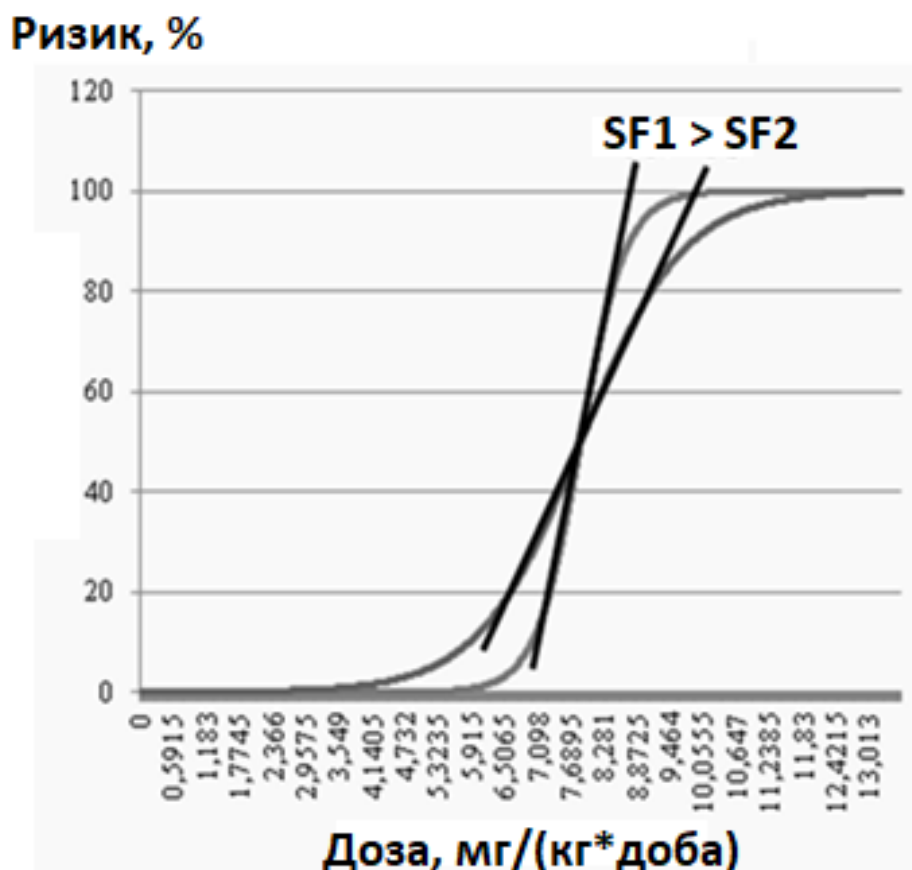


Рисунок 2.1 – Дві залежності «доза-ефект» з різними факторами нахилу *SF*

Іншим параметром є величина так званого *одиночного ризику (UR)*. За інгаляційного впливу *UR* являє собою верхню, консервативну оцінку канцерогенного ризику у людини, яка зазнає постійного впливу протягом життя певного канцерогену в концентрації 1 мкг/м<sup>3</sup>.

Значення фактора канцерогенного потенціалу деяких хімічних речовин за повітряного шляху надходження наведено у додатку 3.

4. *Характеристика ризику* інтегрує дані про небезпеку досліджуваних речовин, величину експозиції, параметри залежності «доза-відповідь», які було отримано на попередніх етапах дослідження. На основі цих даних дається кількісна та якісна оцінка ризику окремих речовин та визначається порівняльний ряд небезпеки для здоров'я населення групи сполук.

Характеристику ризику розвитку **неканцерогенних ефектів** здійснюють шляхом порівняння фактичних рівнів експозиції з безпечними (референтними) рівнями впливу та визначенням **коефіцієнта небезпеки**:

$$HQ = AD / RfD \text{ або } HQ = AC / RfC, \quad (2.2)$$

де *HQ* – коефіцієнт небезпеки;

*AD* – середня доза, мг/кг;

*AC* – середня концентрація, мг/м<sup>3</sup>;

*RfD* – референтна (безпечна) доза, мг/кг;

*RfC* – референтна концентрація, мг/м<sup>3</sup>.

За висновком деяких експертів, у разі відсутності референтних доз/концентрацій як еквівалент можна використовувати гранично допустимі концентрації (ГДК) або максимально недіючі рівні чи концентрації (МНР, МНК), установлені за критерієм прямого ефекту на здоров'я.

За інгаляційного надходження, якщо цього не потребують спеціальні задачі дослідження, немає необхідності розраховувати дозу впливу, а розрахунок **коефіцієнта небезпеки** можна здійснювати за формулою:

$$HQ_i = \frac{C_i}{RfC_i}, \quad (2.3)$$

де *HQ<sub>i</sub>* – коефіцієнт небезпеки впливу *i*-тої речовини;

*C<sub>i</sub>* – рівень впливу *i*-тої речовини, мг/м<sup>3</sup>;

*RfC<sub>i</sub>* – безпечний рівень впливу, мг/м<sup>3</sup>.

Коефіцієнт небезпеки розраховують окремо за умов короткотривалого (гострого), підгострого і тривалого впливу хімічної речовини. При цьому період осереднення експозиції і відповідних безпечних рівнів впливу має бути аналогічним.

Критерії для характеристики коефіцієнта небезпеки наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Критерії неканцерогенного ризику

Рівень ризику	Коефіцієнт небезпеки розвитку неканцерогенних ефектів (HQ) для окремих сполук	Характеристика рівня ризику	Рекомендації US EPA
Мінімальний (цільовий)	$\leq 0,1$	Ризик виникнення шкідливих ефектів відсутній	Не потребується заходів зі зниження ризику
Допустимий	0,1 - 1	Ризик виникнення шкідливих ефектів є зневажливо малим	Постійний контроль за сполуками, планування і проведення додаткових заходів щодо зниження ризику
Насторожуючий	1 - 3	Існує ризик розвитку шкідливих ефектів у особливо чутливих підгруп населення (неприпустимий для населення, допустимий для виробничих умов)	Постійний контроль, розробка і проведення планових оздоровчих заходів
Високий	$>3$	Існує ризик розвитку несприятливих ефектів у більшої частини населення	Проведення термінових оздоровчих та інших заходів щодо зниження ризику

Характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів за комбінованого впливу хімічних речовин проводять на основі розрахунку **індексу небезпеки** за формулою:

$$HI = \sum_{i=1}^n HQ_i, \quad (2.4)$$

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

Розрахунок індексів небезпеки, як правило, проводять з урахуванням критичних органів та систем, які зазнають негативного впливу досліджуваних речовин. Як свідчать результати наукових досліджень, за впливу компонентів суміші на одні і ті ж органи або системи організму найбільш імовірним типом їх комбінованого впливу є *сумація (адитивність)*. Це правило не є універсальним,

оскільки не враховує можливої різниці у механізмах специфічної дії компонентів суміші, а також локальних шкідливих реакцій у місці первинного контакту речовини з організмом (наприклад, слизових оболонках дихальних шляхів або шлунку). Разом з тим, на думку міжнародних та закордонних експертів, такий підхід хоча і може перебільшувати небезпеку для здоров'я, однак має більшу перевагу у порівнянні з роздільною, незалежною оцінкою кожного із компонентів.

Для характеристики **канцерогенного ризику** проводять розрахунок індивідуального та популяційного ризику впливу досліджуваних речовин.

Розрахунок *індивідуального канцерогенного ризику*  $CR$  здійснюють за формулою:

$$CR = LADD \cdot SF, \quad (2.5)$$

де  $LADD$  – середня добова доза протягом життя, мг/(кг·доба);

$SF$  – фактор нахилу, [мг/(кг·доба)]<sup>-1</sup>.

При застосуванні величини одиничного ризику розрахункова формула набуває вигляду:

$$CR = LADC \cdot UR, \quad (2.6)$$

де  $LADC$  – середня концентрація речовини в атмосферному повітрі за весь період усереднення експозиції, мг/м<sup>3</sup>;

$UR$  – одиничний ризик, (мг/м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>.

*Одиничний ризик*  $UR_i$  розраховують із використанням величини  $SF_i$ , стандартної величини маси тіла людини (70 кг) та добового споживання повітря (20 м<sup>3</sup>):

$$UR_i = \frac{SF_i}{70 \cdot 20}, \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (2.7)$$

Поряд з розрахунками індивідуального канцерогенного ризику проводять визначення *популяційного ризику* ( $PCR$ ), який відображає додаткову (до фонові) кількість випадків новоутворень, які можуть виникнути протягом життя внаслідок впливу досліджуваного фактора:

$$PCR = CR \cdot POP, \quad (2.8)$$

де  $CR$  – індивідуальний канцерогенний ризик;

$POP$  – чисельність популяції, що підпадає під вплив даного фактора, чол.

При порівняльній характеристиці ризику іноді використовують величину популяційного річного ризику ( $PCR_a$ ), що являє собою розраховану кількість додаткових випадків раку протягом року:

$$PCR_a = \sum_{i=1}^n (CR_i \cdot UR_i) \cdot \frac{POP}{70}, \quad (2.9)$$

де  $C_i$  – середня річна концентрація  $i$ -тої речовини, мг/(м<sup>3</sup>·рік);

$POP$  – чисельність популяції, що зазнає впливу, осіб;  
 $URi$  – одиничний ризик протягом життя (70 років).

Канцерогенний ризик за комбінованої дії декількох хімічних сполук розглядають як *адитивний*. При аналізі доцільно групувати досліджувані канцерогени з урахуванням виду та/або локалізації пухлин. У цьому випадку розрахунок сумарних канцерогенних ризиків здійснюють окремо для кожної групи (наприклад, для раку легень, пухлин печінки тощо).

Таким чином, за впливу декількох канцерогенів сумарний канцерогенний ризик розраховують за формулою:

$$CR_T = \sum_{j=1}^n CR_j, \quad (2.10)$$

де  $CR_T$  – загальний канцерогенний ризик для шляху надходження  $T$ ;

$CR_j$  – канцерогенний ризик для  $j$ -тої канцерогенної речовини.

При оцінці ризиків для здоров'я, зумовлених впливом забруднювачів атмосферного повітря, доцільно орієнтуватися на систему критеріїв, рекомендовану у публікаціях ВООЗ (1996, 1999, 2000 рр.) (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Класифікація рівнів ризику

Рівень ризику	Ризик протягом життя
<i>Високий</i> (De Manifestis) – не прийнятний для виробничих умов і населення. Необхідне здійснення заходів з усунення або зниження ризику	$> 10^{-3}$
<i>Середній</i> – припустимий для виробничих умов; за впливу на все населення необхідний динамічний контроль і поглиблене вивчення джерел і можливих наслідків шкідливих впливів для вирішення питання про заходи з управління ризиком	$10^{-3}-10^{-4}$
<i>Низький</i> – припустимий ризик (рівень, на якому, як правило, встановлюються гігієнічні нормативи для населення)	$10^{-4}-10^{-6}$
<i>Мінімальний</i> (De Minimis) – бажана (цільова) величина ризику при проведенні оздоровчих і природоохоронних заходів	$< 10^{-6}$

*Аналіз невизначеностей.* В кінці кожного етапу оцінки ризику проводять аналіз невизначеностей, що можуть вплинути на достовірність результатів. Невизначеності являють собою часткову відсутність знань або фактичних даних щодо певних параметрів, процесів або моделей.

Можливі невизначеності поділяються на три категорії:

- невизначеності, зумовлені відсутністю або неповною інформацією, яка

необхідна для коректного визначення ризику (наприклад, неповні або неточні дані про джерела забруднення навколишнього природного середовища, якісних та кількісних характеристиках емісії хімічних сполук тощо);

- невизначеності, пов'язані із деякими параметрами, які використовують для оцінки експозиції і розрахунку ризику (наприклад, установлення токсикологічних параметрів в експериментальних умовах та екстраполяція їх на населення);

- невизначеності, зумовлені пробілами в науковій теорії, яка необхідна для передбачення на основі причинних зв'язків (неповнота інформації щодо параметрів, які застосовуються при аналізі ризику: характеристика популяції, довкілля, фізико-хімічні властивості сполуки тощо).

Оскільки невизначеність властива самому процесу оцінки ризику, в певних випадках вона може бути зменшена шляхом додаткових досліджень чи вимірювань через виділення декількох параметрів, точність визначення яких чинить найбільший вплив на кінцеві оцінки ризику і величину загальної невизначеності.

Невизначеності притаманні усім етапам оцінки ризику і повинні враховуватись при підведенні підсумку і визначенні елементів управління ризиком.

### **Управління ризиком**

Управління ризиком є логічним продовженням оцінки ризику. Основні завдання управління ризиком – порівняльне вивчення факторів ризику, установлення вагомості ризиків, їхнє ранжування і виявлення пріоритетів, обґрунтування найкращих в даній ситуації рішень з усунення або мінімізації ризику, а також оцінка ефективності і корегування оздоровчих заходів. Управління ризиком базується на сукупності політичних, соціальних і економічних оцінок отриманих величин ризиків, порівняльній характеристиці можливої шкоди для здоров'я людини і суспільства в цілому, можливих витрат на реалізацію різних варіантів управлінських рішень зі зниження ризику і тієї користі, що буде отримана в результаті реалізації заходів.

### **Інформування про ризик**

Останнім етапом методології аналізу ризику є інформування про ризик. Інформування про ризик – це процес розповсюдження результатів визначення ступеня ризику для здоров'я людини і рішень щодо його контролю.

На їх основі органи МОЗ спільно з адміністративними органами, з огляду на пріоритетність як окремих джерел забруднення, так і провідних чинників, які формують найбільш високий і небезпечний рівень ризику для здоров'я населення та стану навколишнього природного середовища, розробляють комплекс профілактичних заходів і черговість їх впровадження.

Цей аспект є принципово новим і відрізняє концепцію ризику від попередніх концепцій, що використовувались при оцінці безпеки впливу шкідливих факторів оточуючого середовища на населення.

## 2.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 2.2.1. Оцінка канцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням повітря

*Умови завдання.* Необхідно виконати оцінку канцерогенного ризику для мешканців міста Дніпро, пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря бенз-а-піреном, якщо його концентрація у повітрі дорівнює  $0,95 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup>.

*Приклад рішення.* Нагадаємо, що схема оцінки ризику складається з чотирьох етапів, це:

- 1) ідентифікація небезпеки;
- 2) оцінка експозиції;
- 3) характеристика небезпеки;
- 4) характеристика ризику.

Ідентифікація небезпеки – це відбір пріоритетних, індикаторних хімічних речовин, вивчення яких дозволить з достатньою точністю охарактеризувати рівні ризику порушення стану здоров'я населення та джерела його виникнення.

Згідно з Регіональною доповіддю про стан навколишнього природного середовища у Дніпропетровській області, для м. Дніпро *пріоритетними* є наступні забруднюючі речовини: пил, аміак, діоксид азоту, формальдегід, оксид азоту, фенол, оксид вуглецю. Як бачимо, бенз-а-пірену серед них немає, проте в умовах завдання він присутній, то ж продовжуємо оцінку.

Наступний етап – оцінка експозиції. Він передбачає визначення шляху розповсюдження у навколишньому середовищі і впливу на організм забруднюючої сполуки, вивчення її концентрацій, установлення терміну дії і загальної тривалості впливу, оцінки чисельності популяції, яка знаходиться або вірогідно може знаходитись під впливом шкідливого чинника.

Використовуючи наявні літературні джерела, дізнаємося про те, що бенз-а-пірен – ароматичне з'єднання, представник сімейства поліциклічних вуглеводнів, володіє *найсильнішою канцерогенною активністю*; надзвичайно токсичний. За ступенем впливу на організм відноситься до I (вищого) класу небезпеки.

Утворюється при згорянні вуглеводневого рідкого, твердого і газоподібного палива (в меншій мірі – при згорянні газоподібного). У навколишньому середовищі накопичується переважно в ґрунті, у меншій мірі – у воді.

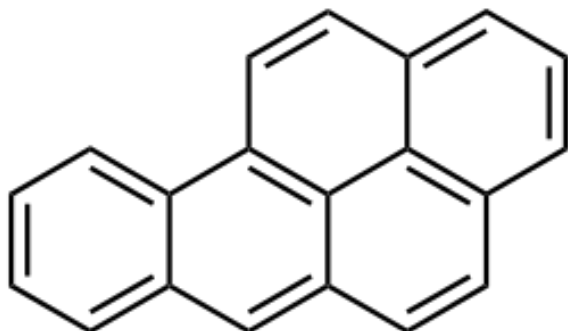
У чистому вигляді представляє собою жовті пластинки і голки (рис. 2.2), що легко розшаровуються на більш дрібні. Добре розчинний у неполярних органічних розчинниках: бензолі, толуолі, ксилолі, обмежено розчинний в полярних розчинниках, практично не розчиняється у воді.

Хімічна формула –  $C_{20}H_{12}$ . Номер CAS – **50-32-8**.

Концентрація речовини, згідно із умовами отриманого завдання, дорівнює  $0,95 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup>.

Термін дії для полегшення розрахунків обираємо рівним 365 днів на рік, тобто цілий рік поспіль, а загальна тривалість впливу – 20 років.

а)



б)



Рисунок 2.2 – Бенз-а-пірен: а) вигляд молекули, б) зовнішній вигляд

Чисельність популяції, яка знаходиться або вірогідно може знаходитись під впливом шкідливого чинника, тобто кількість мешканців міста Дніпро становить 980 948 осіб (на 01.01.2021 р.).

Результатом даного етапу оцінки ризику є визначення **середньої добової дози** за формулою (2.1):

$$ADD / LADD = \frac{[(Ca \cdot Tout \cdot Vout) + (Ch \cdot Tin \cdot Vin)] \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365},$$

де  $Ca$  – концентрація речовини в атмосферному повітрі, згідно умов завдання вона дорівнює  $Ca = 0,95 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup>;

$Ch$  – концентрація речовини у повітрі приміщення; оскільки даних щодо концентрації цієї речовини у приміщенні немає, для спрощення розрахунків прийmemo, що  $Ch = Ca = 0,95 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup>;

$Tout$  – час, що проводиться поза приміщенням, прийmemo що у середньому людина проводить назовні  $Tout = 8$  год/доба;

$Tin$  – час, що проводиться у приміщенні, відповідно цей час становитиме  $Tin = 24 - Tout = 24 - 8 = 16$  год/доба;

$Vout$  – швидкість дихання поза приміщенням, м<sup>3</sup>/год;

$Vin$  – швидкість дихання у приміщенні, м<sup>3</sup>/год;

Відповідно до літературних даних, доросла людина пропускає через легені 7 літрів повітря на хвилину. У стані фізичного навантаження хвилинний об'єм дихання може досягати 120 літрів на хвилину, отже:

$Vout$  – швидкість дихання поза приміщенням,  $21 \cdot 60 = 1260$  л/год = 1,26 м<sup>3</sup>/год;

$Vin$  – швидкість дихання у приміщенні,  $7 \cdot 60 = 420$  л/год = 0,42 м<sup>3</sup>/год;

$EF$  – частота впливу,  $EF = 365$  днів/рік;

$ED$  – тривалість впливу,  $ED = 20$  років;

$BW$  – маса тіла, у середнього дорослого чоловіка  $BW = 70$  кг (див. додаток 1);

$AT$  – період осереднення експозиції,  $AT$  для канцерогенів = 70 років (див. додаток 1);

365 – число днів на рік.

Звідси отримуємо:

$$AAD(LADD) = \frac{[(0,95 \cdot 10^{-6} \cdot 8 \cdot 1,26) + (0,95 \cdot 10^{-6} \cdot 16 \cdot 0,42)] \cdot 365 \cdot 20}{70 \cdot 70 \cdot 365} = 6,5 \cdot 10^{-8} \text{ мг/(кг \cdot доба)}.$$

Третій етап – характеристика небезпеки – узагальнення та аналіз наявних даних щодо гігієнічних нормативів, безпечних рівнів впливу (референтних доз та концентрацій), критичних органів/систем та негативних ефектів, що можуть виникати за дії певної речовини або групи речовин.

Про бенз-а-пірен відомо, що він є канцерогеном, отже ми виходимо із твердження, що канцерогенні ефекти можливі за дії *будь-яких доз*, що викликають пошкодження генетичного матеріалу; для такого роду сполук відсутні *порогові рівні*.

Для оцінки ризику генотоксичних канцерогенів основним параметром є *фактор канцерогенного потенціалу (CPF)* або *фактор нахилу (SF)*, що відображає ступінь наростання канцерогенного ризику на одну одиницю зі збільшенням дози впливу і має розмірність  $[\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{доба})]^{-1}$ . Згідно із додатком 3, фактор нахилу *SF* для бенз-а-пірену становить 3,1  $[\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{доба})]^{-1}$ .

Четвертий етап – характеристика ризику інтегрує дані про небезпеку досліджуваних речовин.

Для характеристики канцерогенного ризику проводять розрахунок індивідуального та популяційного ризику впливу досліджуваних речовин.

Розрахунок *індивідуального канцерогенного ризику CR* здійснюють за формулою (2.5):

$$CR = LADD_i \cdot SF_i = 6,5 \cdot 10^{-8} \cdot 3,1 = 2,01 \cdot 10^{-7}.$$

де  $LADD_i$  – середня добова доза бенз-а-пірену протягом життя,  $\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{доба})$ ;  
 $SF_i$  – фактор нахилу бенз-а-пірену,  $[\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{доба})]^{-1}$ .

Згідно із системою критеріїв, рекомендованою у публікаціях ВООЗ (табл. 2.2), отримане значення канцерогенного ризику протягом життя відноситься до *мінімального рівня (De Minimis)* – тобто це бажана (цільова) величина ризику при проведенні оздоровчих і природоохоронних заходів.

*Популяційний ризик PCR*, який відображає додаткову (до фонові) кількість випадків новоутворень, які можуть виникнути протягом життя внаслідок впливу досліджуваного фактора, обчислюємо за формулою (2.8):

$$PCR = CR \cdot POP = 2,01 \cdot 10^{-7} \cdot 940948 = 0,198.$$

де  $CR$  – індивідуальний канцерогенний ризик від забруднення повітря бенз-а-піреном;

$POP$  – чисельність популяції, що підпадає під вплив даного фактора, тобто населення м. Дніпро, осіб.

Отже, серед 940 948 мешканців Дніпра очікується  $\approx 0,2$  додаткових випадків раку за життя через вплив бенз-а-пірену. Іншими словами, 1 випадок на  $\approx 5$  років (якщо врахувати, що "продовження життя" – це 70–80 років).

Для індивідуального ризику (CR) ВООЗ використовує шкалу  $10^{-3}$ ,  $10^{-6}$  тощо, але для PCR прямих меж як таких немає.

Однак, якщо перевести PCR у «ризик на 100 тис. населення»:

$0,198:940948 \times 100000 \approx 0,021$  випадків на 100 тис.

Це на порядки нижче за рівні для прийнятних популяційних ризиків (які часто встановлюються на рівні 1–100 випадків на 100 тис.).

Ця величина популяційного канцерогенного ризику за класифікацією рівнів ризику ВООЗ буде *низькою*.

*Висновки.* При концентрації бенз-а-пірену на рівні  $0,95 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup> індивідуальний канцерогенний ризик для мешканця м. Дніпро становить  $2,01 \cdot 10^{-7}$ , що відповідає *мінімальному ризику* (De Minimis) – тобто бажаній величині ризику при проведенні оздоровчих і природоохоронних заходів.

Популяційний канцерогенний ризик, який відображає додаткову кількість випадків новоутворень, які можуть виникнути протягом життя внаслідок впливу бенз-а-пірену, для мешканців м. Дніпро становить 0,195 на майже мільйон жителів, що відповідає *низькому* рівню, тобто допустимому для здоров'я населення.

За поточними стандартами ризику від бенз-а-пірену в м. Дніпро є **низькими**, але це не означає, що заходи зі зниження впливу можна ігнорувати. бенз-а-пірен належить до **найнебезпечніших канцерогенів** (SF=3.1), і його вплив є кумулятивним.

Доцільні заходи:

*Моніторинг:* регулярні виміри концентрації бенз-а-пірену в повітрі (особливо в зимовий період, коли його рівні зростають через опалення); публікація даних для населення (наприклад, через мобільні додатки або сайти міської ради).

*Профілактика:* зелені зони: посадка дерев (особливо хвойних), які поглинають бенз-а-пірен; інформування мешканців про ризики (наприклад, рекомендації зменшити провітрювання приміщень у дні з підвищеним забрудненням).

*Транспорт:* обмеження в'їзду старих дизельних авто до центру міста; розвиток електротранспорту та велосипедної інфраструктури.

*Промисловість:* використання фільтрів на підприємствах, що викидають поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ); перехід на чистіші технології (наприклад, заміна вугілля на газ для опалення).

*Побутові джерела:* заборона спалювання листя/сміття (основний джерело бенз-а-пірену в містах); пропаганда екологічних способів опалення (теплові насоси, електрокотли).

## 2.2.2 Оцінка неканцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням повітря

*Умови завдання.* Необхідно виконати оцінку неканцерогенного ризику для мешканців міста Дніпро, пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря аміаком, якщо його концентрація у повітрі дорівнює  $0,14 \text{ мг/м}^3$ .

*Приклад рішення.* Проводимо оцінку ризику за відомою схемою:

- 1) ідентифікація небезпеки;
- 2) оцінка експозиції;
- 3) характеристика небезпеки;
- 4) характеристика ризику.

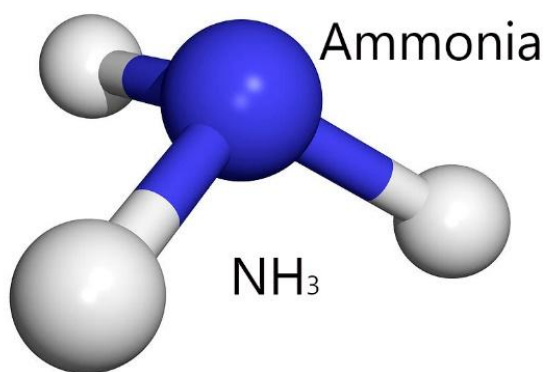
Ідентифікація небезпеки. Згідно з Регіональною доповіддю про стан навколишнього природного середовища у Дніпропетровській області, для м. Дніпро аміак є пріоритетною забруднюючою речовиною.

Оцінка експозиції. Аміак – неорганічна сполука, безбарвний газ із різким задушливим запахом, легший за повітря, добре розчинний у воді. Одержують його каталітичним синтезом з азоту і водню під тиском. Використовують переважно для виробництва азотних добрив, вибухових речовин і азотної кислоти. Рідкий аміак використовується в холодильних установках. Водний розчин аміаку (нашатирий спирт) застосовується в медицині.

Аміак відноситься до *токсичних речовин*, його відносять до 4-го класу небезпеки. За фізіологічною дією на організм відноситься до групи речовин задушливої і нейротропної дії, здатних при інгаляційному ураженні викликати токсичний набряк легенів і важке ураження нервової системи. Аміак має як місцеву, так і резорбтивну дію.

Хімічна формула –  $\text{NH}_3$ . Номер CAS – 7664-41-7.

а)



б)



Рисунок 2.3 – Аміак: а) вигляд молекули, б) зовнішній вигляд

Концентрація речовини, згідно із умовами завдання, дорівнює  $0,14 \text{ мг/м}^3$ .

Розраховувати середню добову дозу у даному випадку необов'язково, адже оцінка неканцерогенного ризику має свої відмінності. Тому переходимо до наступного етапу.

Характеристика небезпеки – узагальнення та аналіз наявних даних щодо гігієнічних нормативів, безпечних рівнів впливу (референтних доз та концентрацій), критичних органів/систем та негативних ефектів, що можуть виникати за дії певної речовини або групи речовин.

Міжнародна методологія оцінки ризику передбачає, що для **неканцерогенних речовин** та канцерогенів негенотоксичної дії передбачається наявність *порогових рівнів*, нижче від яких шкідливі ефекти не виникають.

Рівні мінімального ризику – це *референтні дози (RfD)* і *референтні концентрації (RfC)*. Згідно з додатком 2, референтна концентрація аміаку дорівнює 0,1 мг/м<sup>3</sup>. Джерело — інтегрована інформаційна система про ризики IRIS (U.S.EPA). Критичні органи, на які впливає аміак – це органи дихання.

Кінцеві характеристики оцінки експозиції на основі референтних доз і концентрацій – це *коефіцієнти небезпеки (HQ)* та *індекси небезпеки (HI)*.

Характеристика ризику інтегрує дані про небезпеку досліджуваних речовин.

Характеристику ризику розвитку **неканцерогенних ефектів** здійснюють шляхом порівняння фактичних рівнів експозиції з безпечними (референтними) рівнями впливу та визначенням **коефіцієнта небезпеки** за формулою (2):

$$HQ = AD / RfD \text{ або } HQ = AC / RfC,$$

де  $HQ$  – коефіцієнт небезпеки;

$AD$  – середня доза, мг/кг;

$AC$  – середня концентрація, мг/м<sup>3</sup>;

$RfD$  – референтна (безпечна) доза, мг/кг;

$RfC$  – референтна концентрація, мг/м<sup>3</sup>.

За інгаляційного надходження, якщо цього не потребують спеціальні задачі дослідження, немає необхідності розраховувати дозу впливу, а розрахунок **коефіцієнта небезпеки** можна здійснювати за формулою (2.3):

$$HQ_i = \frac{C_i}{RfC_i} = \frac{0,14}{0,1} = 1,4;$$

де  $C_i$  – рівень впливу  $i$ -тої речовини, у даному випадку – аміаку, мг/м<sup>3</sup>;

$RfC_i$  – безпечний рівень впливу, тобто референтна концентрація аміаку, мг/м<sup>3</sup>.

**Висновки.** У відповідності до розроблених критеріїв неканцерогенного ризику (табл.2.1), коефіцієнт небезпеки, що перевищує одиницю, не можна вважати допустимим для населення, існує імовірність виникнення шкідливих ефектів у населення; потрібен контроль, розробка і проведення планових

оздоровчих заходів.

Конкретні рекомендації:

Для промисловості: встановлення скруберів на виробництвах; впровадження жорсткіших гранично допустимих концентрацій (ГДК) для аміаку в повітрі; регулярні перевірки підприємств екологічними інспекціями.

Для міської інфраструктури: зелені бар'єри – посадка дерев і чагарників, що поглинають аміак (наприклад, тополя, верба, ялівець); контроль сміттєзвалищ - реорганізація звалищ у сучасні полігони із системою газозбору; заборона відкритого спалювання органічних відходів.

Для населення: попереджувальні системи – розгортання станцій моніторингу аміаку в зонах ризику з SMS-сповіщеннями для мешканців; освітні кампанії - інструкції, як діяти при загостренні ситуації (закривати вікна, використовувати маски).

Планування міста: винесення хімічних виробництв за межі житлових районів; обмеження в'їзду вантажівок із паливом, що містить аміачні добавки.

Етапність впровадження:

- *терміново*: моніторинг джерел + тимчасові обмеження викидів.
- *середньостроково* (1–2 роки): оновлення обладнання на підприємствах + створення зелених зон.
- *довгостроково* (3–5 років): реорганізація промислових зон та транспортної політики.

Отже, розрахунки показують, що аміак вже зараз шкодить здоров'ю мешканців. На відміну від канцерогенів, його вплив часто зворотній – тобто зниження концентрації дає швидкий позитивний ефект. Починати варто з моніторингу та локальних обмежень, а потім переходити до технологічних змін.

### 2.2.3. Розрахунок сумарного неканцерогенного ризику з урахуванням критичних органів та систем

*Умови завдання.* Необхідно виконати розрахунок сумарного неканцерогенного ризику (НІ) від чотирьох умовних хімічних речовин – А, Б, С та Д з урахуванням критичних органів та систем, які в першу чергу зазнають негативного впливу від них. Дози та безпечні рівні впливу речовин (референтні дози) наведені у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Вихідні дані для розрахунку

Речовина	Доза, мг/кг	$RfDi$ , мг/кг	Критичні органи
А	0,005	0,05	нирки
Б	16,0	4,0	печінка
С	0,12	0,4	нирки
Д	0,08	0,2	печінка

*Приклад рішення.* Оскільки у даному випадку мова йде не про конкретні речовини, а про умовні, виконати повноцінну оцінку ризику неможливо, а тому одразу переходимо до четвертого етапу, *характеристики ризику*.

Характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів за комбінованого впливу хімічних речовин проводимо на основі розрахунку **індексу небезпеки** за формулою (2.4):

$$HI = \sum_{i=1}^n HQ_i,$$

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

У свою чергу, **коефіцієнти небезпеки** для чотирьох речовин розраховуємо за формулою (2.3):

$$HQ_A = \frac{AD_A}{RfD_A} = \frac{0,005}{0,05} = 0,1 \text{ (нирки);} \quad HQ_B = \frac{AD_B}{RfD_B} = \frac{16,0}{4,0} = 4,0 \text{ (печінка);}$$

$$HQ_C = \frac{AD_C}{RfD_C} = \frac{0,12}{0,4} = 0,3 \text{ (нирки);} \quad HQ_D = \frac{AD_D}{RfD_D} = \frac{0,08}{0,2} = 0,4 \text{ (печінка);}$$

де  $AD_i$  – середня доза  $i$ -тої речовини, мг/кг;

$RfD_i$  – референтна (безпечна) доза  $i$ -тої речовини, мг/кг.

Звідси індекс небезпеки:

$$HI = HQ_A + HQ_B + HQ_C + HQ_D = 0,1 + 4,0 + 0,3 + 0,4 = 4,8.$$

Відповідно до розроблених критеріїв неканцерогенного ризику (табл. 2.1), отримане значення індексу небезпеки не може розглядатися як прийнятне, адже воно перевищує граничну величину, яка не потребує термінових заходів (1,0).

Розрахунок сумарних індексів небезпеки, як правило, проводять з урахуванням критичних органів та систем, які зазнають негативного впливу досліджуваних речовин. Як свідчать результати наукових досліджень, за впливу компонентів суміші на одні і ті ж органи або системи організму найбільш імовірним типом їх комбінованого впливу є *сумація (адитивність)*. Отже, розрахуємо індекси небезпеки окремо для нирок і окремо для печінки:

$$HI(\text{нирки}) = HQ_A + HQ_C = 0,1 + 0,3 = 0,4 < 1,0 \text{ – ризик зневажливо малий;}$$

$$HI(\text{печінка}) = HQ_B + HQ_D = 4,0 + 0,4 = 4,4 > 1,0 \text{ – ризик неприйнятний.}$$

Проведені розрахунки дають нам уявлення про те, які органи найімовірніше постраждають від впливу такої комбінації хімічних речовин – вочевидь, це буде печінка. З усіх речовин найбільший вклад у можливий неканцерогенний ризик вносить саме речовина Б – її негативний вплив найбільший. Найменш значущу роль у формуванні ризику відіграє речовина А.

**Висновки.** Сумарний неканцерогенний ризик від чотирьох умовних хімічних речовин становить 4,8; ця величина є *непринятною*, бо існує імовірність розвитку шкідливих ефектів, яка зростає пропорційно збільшенню коефіцієнтів небезпеки.

Орган, який найімовірніше постраждає від впливу такої комбінації хімічних речовин – це печінка. З усіх речовин найбільший вклад у можливий неканцерогенний ризик вносить речовина Б – її негативний вплив *найбільший* ( $HQ=4,0$ ). *Найменш значущу роль* у формуванні ризику відіграє речовина А ( $HQ=0,1$ ).

### Контрольне завдання на практичну роботу

1. Виконати оцінку *індивідуального канцерогенного ризику* особисто для себе з урахуванням власного способу життя, а також оцінити *популяційний канцерогенний ризик* від впливу певної шкідливої речовини (канцерогену) для усіх жителів міста, в якому мешкає студент(ка). Тип шкідливої речовини та вихідні дані для розрахунку наведені у таблиці 2.4. Номер варіанту обирається здобувачем відповідно до номеру у журналі. Зробити висновки.

2. Виконати оцінку *неканцерогенного ризику*, пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря певною шкідливою речовиною (неканцерогеном). Тип шкідливої речовини та вихідні дані для розрахунку також наведені у таблиці 2.4. Зробити висновки.

Таблиця 2.4 – Вихідні дані для виконання практичної роботи

Варіант	Вихідні дані для оцінки канцерогенного ризику			Вихідні дані для оцінки неканцерогенного ризику	
	Шкідлива речовина (канцероген)	Концентрація шкідливої речовини в атмосферному повітрі, мг/м <sup>3</sup>	Концентрація шкідливої речовини в повітрі приміщення, мг/м <sup>3</sup>	Шкідлива речовина (неканцероген)	Концентрація шкідливої речовини в атмосферному повітрі, мг/м <sup>3</sup>
1	Ацетальдегід	0,01967	0,02967	Діоксид азоту	2,0
2	Бензол	0,02084	0,06084	Пил (PM <sub>10</sub> )	1,5
3	Формальдегід	0,1679	0,1479	Гексан	0,9
4	Гексахлорбензол	0,014	0,054	Діоксид сірки	0,84
5	Трихлоретилен	0,0126	0,0026	Азотна кислота	0,35
6	Вінілхлорид	0,0983	0,0583	Ацетон	56,4
7	Гідразин	0,000763	0,000763	Етанол	124,6
8	Дихлорофос	0,0223	0,0223	Метанол	6,8
9	Тетрахлоретилен	0,0441	0,1123	Сірковуглець	4,9
10	Фенобарбітал	0,0555	0,0777	Фенол	0,039

### Питання для самоконтролю

1. Що являє собою референтна доза/референтна концентрація хімічної речовини? Для чого вона використовується?
2. Які основні фактори безпосередньо або побічно впливають на здоров'я людини?
3. З яких трьох елементів складається методологія оцінки ризику?
4. З яких чотирьох взаємопов'язаних етапів складається схема оцінки

ризикі?

5. Для чого проводиться ідентифікація небезпеки? Яка основна мета цього етапу?

6. Який показник визначають на етапі оцінки експозиції ризику?

7. У чому полягає відмінність між оцінкою ризику канцерогенних і неканцерогенних речовин?

8. Яким чином розраховується коефіцієнт небезпеки?

9. Якою є гранична величина неканцерогенного ризику, що не потребує термінових заходів, однак не може розглядатися як досить прийнятна?

10. Якою є бажана (цільова) величина канцерогенного ризику?

## КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

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

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

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

Максимальне оцінювання:

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

Практичні роботи приймаються за контрольними запитаннями до кожної з робіт. Оцінювання практичних робіт здійснюється шляхом розрахунку середнього арифметичного балу за складеними практичними роботами.

### Критерії оцінювання практичної роботи

За кожен практичну роботу здобувач вищої освіти може отримати наступну кількість балів:

**40 балів:** виявлено підвищений рівень засвоєння обсягу знань і набуття вмінь; якісно, ретельно, самостійно та в повному обсязі виконано завдання. Матеріал викладено в логічній послідовності, без мовних помилок, а власні висновки студента відповідають темі практичного завдання.

**30 балів:** показано оволодіння достатнім обсягом знань і вмінь під час виконання завдання; продемонстровано самостійність в отриманні розрахунково-аналітичних даних, але з незначними неточностями; точність і чіткість мови, а власні висновки студента відповідають темі практичного завдання.

**20 балів:** недостатньо показано оволодіння обсягом знань і вмінь під час виконання завдання; продемонстровано не самостійність в отриманні розрахунково-аналітичних даних, зміст роботи викладений не завжди у логічній послідовності, в роботі зафіксовані не значні помилки, а власні висновки студента не завжди відповідають темі практичного завдання.

**10 балів:** виявлено змістові й лексичні помилки, зміст роботи викладено не чітко й нелогічно, але продемонстровані знання й уміння в межах навчальної програми.

**0 балів:** наведено неправильну відповідь, до якої не надано жодних пояснень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Наказ Міністерства охорони здоров'я України Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря» № 89 від 17.01.2022 р. URL: <https://moz.gov.ua/uk/decrees/nakaz-moz-ukraini-vid-17012022--89-pro-zatverdzhennja-metodichnih--rekomendacij-ocinka-riziku-dlja--zdorovja-naselennja-vid-zabrudnennja-atmosfernogo-povitrja> – Загол. з екрану.
2. Міжнародна онлайн-платформа World Air Quality Index (WAQI), яка надає в режимі реального часу дані про якість повітря в різних містах і регіонах світу. URL: <https://aqicn.org/> – Загол. з екрану.
3. Громадський моніторинг стану якості повітря. URL: <https://reborn.eco-city.org.ua/> – Загол. з екрану.
4. Центр екологічного моніторингу ДОР. URL: <https://ecomonitoring.info/> – Загол. з екрану.
5. Набори даних ЦЕМ ДОР на порталі відкритих даних. URL: <https://data.gov.ua/organization/kp-tsentri-ekologichnoho-monitorynhu-dor> – Загол. з екрану.
6. Щомісячні дані забруднення атмосферного повітря Українського гідрометеорологічного центру ДСНС. URL: <https://www.meteo.gov.ua/ua/Shchomisyachni-dani> – Загол. з екрану.
7. Щомісячні дані забруднення атмосферного повітря у м. Дніпро Комплексної лабораторії спостережень за забрудненням природного середовища Дніпропетровського регіонального ЦГМ. URL: <https://dniprorada.gov.ua/uk/page/departament-ekologichnoi-politiki-dniprovskoj-miskoi-radi> – Загол. з екрану.
8. Інформаційно-аналітичний огляд стану атмосферного повітря Департаменту екології та природних ресурсів Дніпропетровської обласної державної адміністрації (щодокади). URL: <https://adm.dp.gov.ua/file-storage/atmosferne-povitrya> – Загол. з екрану.
9. Демографічна статистика. URL: [https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/ds.htm](https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ds.htm) – Загол. з екрану.
10. Візуалізатор даних «Global Human Settlement Layer» (GHSL) - для дослідження та аналізу людських поселень та урбанізації. URL: <https://human-settlement.emergency.copernicus.eu/visualisation.php> – Загол. з екрану.
11. The Global Health Observatory (GHO) - глобальна платформа ВООЗ, яка надає доступ до широкого спектра статистичних даних про стан здоров'я у світі. URL: <https://www.who.int/data/gho/data/indicators> – Загол. з екрану.
12. Статистичний збірник «Таблиці народжуваності, смертності та середньої очікуваної тривалості життя». URL: [https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/publnasel\\_u.htm](https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publnasel_u.htm) – Загол. з екрану.
13. Медична статистична звітність на порталі відкритих даних. URL: [https://data.gov.ua/dataset/medychna\\_zvitnist\\_moz](https://data.gov.ua/dataset/medychna_zvitnist_moz) – Загол. з екрану.
14. GBD Compare – інтерактивні карти смертності від різних причин. URL: <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare> – Загол. з екрану.
15. Громадське здоров'я України: профілі регіонів. URL: <https://phc.org.ua/regionalni-sistemi-gromadskogo-zdorovya/gromadske-zdorovya-ukraini-profil-regioniv> – Загол. з екрану.
16. Європейська система моделювання забруднення повітря ЕМЕП. URL: <https://www.emep.int/> – Загол. з екрану.
17. Air Quality viewer ЕЕА — вебкарта Європейського агентства з навколишнього середовища (ЕЕА) та його експертного центру (ЕТС), яка показує результати оцінки якості повітря в Європі. URL: <https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=cce58848199e45ea8236bfd19969df54> – Загол. з екрану.
18. Проект HRAPIE. URL: <https://surl.li/kkgch> – Загол. з екрану.
19. Particulate Matter (PM) Basics. URL: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>. – Загол. з екрану.
20. GAINS —аналітична система для оцінки майбутнього потенціалу та витрат на

зменшення впливу забруднення повітря на здоров'я людини та навколишнє середовище. URL: <https://gains.iiasa.ac.at/models/> – Загол. з екрану.

21. Європейська система моделювання забруднення повітря - EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme). URL: <https://www.emep.int/> – Загол. з екрану.

22. Наказ Міністерства охорони здоров'я України №1811 від 18.11.23 р. «Про затвердження методичних рекомендацій «Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1811282-23#Text> – Загол. з екрану.

23. Аналіз та оцінка екологічних ризиків: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 7.070802 «Прикладна екологія та збалансоване природокористування» / К.В. Белоконь; Запоріж. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2013. – 176 с.

24. Постанова Кабінету Міністрів України від №827 від 14 серпня 2019 року «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/827-2019-p/print><https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0184282-07-Text> – Загол. з екрану.

25. Наказ Міністерства охорони здоров'я України №813 від 10.05.24 р. «Про затвердження державних медико-санітарних нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0763-24#n9> – Загол. з екрану.

26. Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 1192 від 09.07.2024 р. «Про затвердження державних медико-санітарних нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1107-24#Text> – Загол. з екрану.

27. Дніпропетровська обласна державна адміністрація. Регіональна доповідь та Екологічний паспорт. URL: <https://adm.dp.gov.ua/pro-oblast/ekologiya-pro-oblast/ekologiya> – Загол. з екрану.

28. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/regionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-seredovyshha-v-ukrayini/> – Загол. з екрану.

29. Екологічний словник. Словники та енциклопедії на Академіку. Бензпірен. URL: <https://ecolog.academic.ru/dic.nsf/ecolog/1258/%D0%91%D0%B5%D0%BD%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D1%80%D0%B5%D0%BD> – Загол. з екрану.

30. Дніпро (місто) : URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BD%D1%96%D0%BF%D1%80%D0%BE\\_\(%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%82%D0%BE\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BD%D1%96%D0%BF%D1%80%D0%BE_(%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%82%D0%BE)) – Загол. з екрану.

31. Дихання. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BD%D1%96%D0%BF%D1%80%D0%BE\\_\(%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%82%D0%BE\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BD%D1%96%D0%BF%D1%80%D0%BE_(%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%82%D0%BE)) – Загол. з екрану.

32. Аміак. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D1%96%D0%B0%D0%BA> – Загол. з екрану.

### Додаток 1. Рекомендовані значення факторів експозиції

Фактор експозиції	Величина
Маса тіла, кг	
- середній дорослий	60
- дорослий чоловік	70
- доросла жінка	58
- середня величина	64
- рекомендована ВООЗ	60
Площа поверхні тіла, см <sup>2</sup>	
- дорослий чоловік	18 000
- доросла жінка	16 000
Об'єм дихання, л/8 годин	
- дорослий чоловік	3 600
- доросла жінка	2 900
- дитина (10 років)	2 300
легка/не виробнича діяльність	
- дорослий чоловік	9 600
- доросла жінка	9 100
- дитина (10 років)	6 240
Інгаляція за добу, м <sup>3</sup> (8 годин відпочинку, 16 годин легкої або невиробничої діяльності)	
- дорослий чоловік	23
- доросла жінка	21
- дитина (10 років)	15
- середній дорослий	22
Швидкість інгаляції, м <sup>3</sup> /доба	
- діти (вік 1 рік і менше)	4,5
- діти (вік 1-12 років)	8,7
- дорослі жінки	11,3
- дорослі чоловіки	15,2
Час, що проводиться у приміщенні, год/доба	
- діти 3-11 років	19 (будні дні)
	17 (вихідні)
- дорослі	21 (будні дні)
	16,4 (вихідні)
Час, що проводиться поза приміщенням, год/доба	
- діти 3-11 років	5 (будні дні); 7 (вихідні)
- дорослі	1,5 (будні дні); 2 (вихідні)
Період осереднення експозиції, років	
- неканцерогени (діти )	6
- неканцерогени (дорослі)	30
- канцерогени	70

**Додаток 2. Референтні концентрації  
за хронічного інгаляційного впливу**

Речовина	CAS	RfCi, мг/м <sup>3</sup>	Джерело	Критичні органи/системи
Азоту діоксид	10102-44-0	0,04	WHO	Органи дихання
Азотна кислота	4697-37-2	0,04	CalEPA	Органи дихання
Акрилова к-та	79-10-7	0,001	IRIS	Органи дихання
Акрилонітрил	107-13-1	0,002	IRIS	Органи дихання
Акролеїн	107-02-8	0,00002	IRIS	Органи дихання
Алюміній та сполуки	7429-90-5	0,005	NCEA	ЦНС, органи дихання
Аміак	7664-41-7	0,1	IRIS	Органи дихання
Анілін	62-53-3	0,001	IRIS	Селезінка, кров
Ацетальдегід	75-07-0	0,009	IRIS	Органи дихання
Ацетон	67-64-1	30	ATSDR	Печінка, нирки, ЦНС
Ацетонітрил	75-05-8	0,06	IRIS	Системн.
Ацетонціангідрин	75-86-5	0,01	HEAST	Печінка, органи дихання
Ацетофенон	98-86-2	0,00002	IRIS	ЦНС, органи дихання
Барій та сполуки	7440-39-3	0,0005	HEAST	Репрод.
Бензол	71-43-2	0,06	CalEPA	Розвиток, кров, ЦНС
Берилій та сполуки	7440-41-7	0,00002	IRIS	Органи дихання, імун.
Бромметан	74-83-9	0,005	IRIS	ЦНС, органи дихання, розвиток
Брометен	593-60-2	0,003	IRIS	Печінка, ШКТ
Бутадиєн, 1,3-	106-99-0	0,008	CalEPA	Репрод.
Бутанол, 2	78-92-2	0,3	IRIS	ЦНС
Бутеноксид, 1-	106-88-7	0,02	IRIS	Органи дихання
Бутилацетат	123-86-4	0,7	IWA	Органи дихання
Бутоксіетанол, 2-	111-76-2	13	IRIS	Кров
Ванадій та сполуки	7440-62-2	0,00007	EPA	Органи дихання
Завислі частинки (PM 10)		0,05	NAAQS	Органи дихання
Завислі частинки (PM 2,5)		0,015	NAAQS	Органи дихання
Завислі частинки (TSP)		0,1		Органи дихання
Вінілацетат	108-05-4	0,2	IRIS	Органи дихання
Вінілхлорид	75-01-4	0,005		розвиток
Водень сульфід	7783-06-4	0,001	IRIS	Органи дихання
Водень фтористий	7664-39-3	0,03	CalEPA	Кісткова сист., органи дихання

Речовина	CAS	RfCi, мг/м <sup>3</sup>	Джерело	Критичні органи/системи
Водень хлорид	7647-01-0	0,02	IRIS	Органи дихання
Водень ціанід	74-90-8	0,003	IRIS	Серц.-суд. сист., ЦНС, гормон.
Гексаметилен-діізоціанат	822-06-0	0,00001	IRIS	Органи дихання
Гексан	110-54-3	0,2	IRIS	ЦНС, органи дих.
Гексанон, 2-	591-78-6	0,005	NCEA	ЦНС, органи дих.
Гексахлорбензол	118-74-1	0,003	CalEPA	Печінка
Гексахлорбутадиєн	87-68-3	0,09	CalEPA	Розвиток, систем.
Гексахлоретан	67-72-1	0,08	CalEPA	ЦНС, системн.
Гідразин	302-01-2	0,0002	CalEPA	Печінка, гормон.
Ді (2-етилгексил) фталат	117-81-7	0,01	CalEPA	Печінка, органи дихання
Диброметан, 1,2-	106-93-4	0,0008	CalEPA	Нирки, печінка, розвиток, репрод.
Діванадій пентооксид	1314-62-1	0,00007	CalEPA	Органи дихання
Ділильних двигунів емісії		0,005	IRIS	Органи дихання
Діетиламін	124-40-3	0,00002	IRIS	Органи дихання
Диметилгідразин, 1,1-	57-14-7	0,00001	ATSDR	Печінка
Діоксан, 1,4-	123-91-1	0,8	EPA	Печінка, нирки, кров
Дифтор-1-хлоретан, 1,1-	75-68-3	50	IRIS	ЦНС
Дихлорбензол, 1,2-	95-50-1	0,2	HEAST	Нирки, розвиток, маса тіла
Дихлорбензол, 1,3	541-73-1	0,008	NCEA	Нирки, розвиток
Дихлорбензол, 1,4-	106-46-7	0,8	IRIS	Печінка, нирки, розвиток
Дихлордіфторметан	75-71-8	0,2	HEAST	Печінка, розвиток
Дихлорметан	75-09-2	0,4	CalEPA	Печінка, ЦНС, серц.-суд. сист.
Дихлорпропан, 1,2-	78-87-5	0,004	IRIS	Органи дихання
Дихлорпропен, 1,3-	542-75-6	0,02	IRIS	Органи дихання
Дихлорпропен, транс-1,3-	10061-02-6	0,02	IRIS	Органи дихання
Дихлорпропен, цис-1,3-	10061-01-5	0,02	IRIS	Органи дихання
Дихлорфторметан	75-43-4	0,6	IRIS	Системн.
Дихлоретан, 1,1-	75-34-3	0,5	HEAST	Нирки
Дихлоретан, 1,2-	107-06-2	0,4	CalEPA	Розвиток
Дихлоретилен, 1,2-	540-59-0	0,06	IRIS	Печінка, біохім., розвиток
Епіхлоргідрин	106-89-8	0,001	IRIS	Органи дихання
Етанол	64-17-5	100		Органи дихання,

Речовина	CAS	RfCi, мг/м <sup>3</sup>	Джерело	Критичні органи/системи
				ЦНС
Етиленбензол	100-41-4	1	IRIS	Розвиток, печінка, нирки, гормон.
Етилен	74-85-1	0,1	CalEPA	Кров
Етиленоксид	75-21-8	0,005	CalEPA	Кров, мутаген.
Етилмеркаптан	75-08-1	0,001	IWA	Органи дихання
Етоксietанол, 2-	110-80-5	0,2	IRIS	Репрод., кров
Етоксietилацетат, 2-	111-15-9	0,3	EPA	Репрод., кров
Ізопропілбензол	98-82-8	0,4	IRIS	Нирки, гормон.
Ізофорон	78-59-1	0,012	EPA	Маса тіла
Кадмій та сполуки	7440-43-9	0,0002	ATSDR	Нирки, органи дихання
Керосин	8008-20-6	0,01	ATSDR	Печінка
Кобальт та сполуки	7440-48-4	0,00005	CalEPA	Органи дихання
Ксилол	1330-20-7	0,3	IRIS	ЦНС, кров, біохім.
о-Ксилол	95-47-6	0,44	CEPA	Розвиток
Марганець та сполуки	7439-96-5	0,00005	IRIS	ЦНС
Мідь та сполуки	7440-50-8	0,00002	CalEPA	Органи дихання, системн.
Метанол	67-56-1	4	CalEPA	Розвиток
Меліл-2-пентанол, 4-	108-10-1	0,08	HEAST	Печінка, нирки
Метилізоціанат	624-83-9	0,001	CalEPA	Органи дихання, системн.
Метилмеркаптан	74-93-1	0,001	IWA	Органи дихання, ЦНС
Метилметакрилат	80-62-6	0,7	IRIS	Органи дихання
Метил-трет-бутиловий ефір	1634-04-4	3	IRIS	Печінка, нирки
Перилен	198-55-0	0,07	MADEP	Нирки
Піридин	110-86-1	0,007	EPA	Печінка, біохім.
п-Ксилол	106-42-3	0,44	CEPA	Розвиток, ЦНС, органи дихання
Поліхлоровані біфеніли	1136-36-3	0,0012	CalEPA	Печінка, нирки, гормон.
Пропілен	115-07-1	3	CalEPA	Органи дихання
Пропілен оксид	75-56-9	0,03	IRIS	Органи дихання
Ртуть та сполуки	7439-97-6	0,003	IRIS	ЦНС
Свинець та його неорганічні сполуки	7439-92-1	0,00015	CalEPA	ЦНС, розвиток, кров
Селен	7782-79-2	0,00008	CalEPA	Органи дихання, системн.
Сірки діоксид	7446-09-5	0,08	NAAQS	Органи дихання
Сірковуглець	75-15-0	0,7	IRIS	ЦНС, розвиток
Стирол	100-42-5	1	IRIS	ЦНС
Стиролу оксид	96-09-3	0,006	CalEPA	Органи дихання,

Речовина	CAS	RfCi, мг/м <sup>3</sup>	Джерело	Критичні органи/системи системн.
Тетрахлордibenзо-п-діоксин, 2,3,7,8-	1746-01-6	0,00000004	CalEPA	Печінка, розвиток, гормон., репрод., кров
Тетрахлордibenзофуран, 2,3,7,8,-	51207-31-9	0,00000004	CalEPA	Печінка, розвиток, гормон., репрод., кров
Тетрахлоретан	56-23-5	0,04	CalEPA	Печінка, розвиток
Тетрахлоретан, 1,1,2,2,-	79-34-5	0,2	NCEA	Печінка
Тетрахлоретилен	127-18-4	0,035	CalEPA	Нирки, печінка, розвиток, ЦНС
Тетрахлорфенол	25167-83-3	0,09	CalEPA	Печінка
Толуілендіізоціанат, 2,4-	584-84-9	0,00007		Органи дихання
Толуол	108-88-3	0,4	IRIS	ЦНС, розвиток, органи дихання
Толуол-2,6-діізоціанал	91-08-7	0,00007		Органи дихання
Толуолдіізоціанат (суміш ізомерів)		0,00007	CalEPA	Органи дихання
Тоулолдіізоціанат, 1,3-	26471-62-5	0,00007	IRIS	Органи дихання
Трикрезол	1319-77-3	0,004	CalEPA	Кров
Триметилбензол, 1,2,4-	95-63-6	0,006	NCEA	ЦНС, нирки, біохім.
Триметилбензол, 1,3,5-	108-67-8	0,006	NCEA	ЦНС, нирки, біохім.
Трихлорбензол, 1,2,4-	120-82-1	0,2	HEAST	Печінка
Трихлорбензол, 1,3,5-	108-70-3	0,0036	HC	Розвиток, нирки, органи дихання
Трихлорфторметан	75-69-4	20	CalEPA	Розвиток, нирки, органи дихання
Трихлоретан, 1,1,1-	71-55-6	1	NCEA	Нирки, розвиток, ЦНС
Трихлоретан, 1,1,2-	79-00-5	0,4	CalEPA	Розвиток, ЦНС
Трихлоретилен	79-01-6	0,6	CalEPA	Розвиток
Триетиламін	121-44-8	0,007	IRIS	Органи дихання
Вуглецю оксид	630-08-0			ЦНС, серц.-суд., кров
Фенол	108-95-2	0,006	EPA	Серц.-суд. сист., нирки, ЦНС, печінка
бендегід	50-00-0	0,003	CalEPA	Органи дихання, імун.
Фосген	75-44-5	0,0003	CalEPA	Органи дихання
Фосфор	7723-14-0	0,00007	CalEPA	Репрод., системн., волосся
Фосфорна кислота	7664-38-2	0,01	IRIS	Органи дихання

Речовина	CAS	RfCi, мг/м <sup>3</sup>	Джерело	Критичні органи/системи
Фталевий ангідрид	85-44-9	0,01	CalEPA	Органи дихання
Флориди	16984-48-8	0,03	CalEPA	Органи дихання, кісткова сист.
Фурфурол	98-01-1	0,05	HEAST	Органи дихання
Хлор	7782-05-5	0,0002	CalEPA	Органи дихання
Хлор діоксид	10049-04-4	0,0002	IRIS	Органи дихання
Хлор-1,2-дибромпропан, 3-	96-12-8	0,0002	IRIS	Репрод.
Хлорацетофенон, альфа-	532-27-4	0,00003	IRIS	Органи дихання
Хлорбензол	108-90-7	0,059	NCEA	Печінка, нирки
Хлорбутадієн, -1,3-,2-	126-99-8	0,007	HEAST	Органи дихання, розвиток
Хлордіоксини і дібензофурани		0,00000004	CalEPA	Печінка, репрод., розвиток, гормон.
Хлордифторметан	75-45-6	50	IRIS	Нирки, ендокрин. (наднирники, гіпофіз), розвиток
Хлорметан	74-87-3	0,1	ATSDR	ЦНС
Хлороформ	67-66-3	0,098	ATSDR	Печінка, розвиток, нирки
Хлорпікрин	76-06-2	0,004	CalEPA	Печінка, органи дихання, системн.
Хлор пропан, 2-	75-29-6	0,1	HEAST	Печінка
Хлорфенол, 2-	95-57-8	0,0014	EPA	Розвиток, репрод.
Хлоретан	75-00-3	10	IRIS	Розвиток, ШКТ
Хром (III)	16065-83-1			Органи дихання
Хром (VI)	18540-29-9	0,0001	IRIS	Органи дихання
Хромової кислота	7783-94-5	0,00001	IRIS	Органи дихання
Ціаніди	57-12-5	0,003	IRIS	Нервова сист., гормон.
Циклогексан	110-82-7	0,28	NATICH	ЦНС, органи дихання
Циклогексанол	108-93-0	0,00002	EPA	М'язова сист.
Цинк та сполуки	7440-66-6	0,0009	CalEPA	Органи дихання

**Примітка.** WHO – Всесвітня організація охорони здоров'я, CalEPA – каліфорнійське Агентство з охорони навколишнього середовища, IRIS – інтегрована інформаційна система про ризики (U.S.EPA), NCEA – Національний центр оцінки навколишнього середовища (U.S.EPA), ATSDR – Агентство з реєстрації токсичних сполук і захворювань, HEAST – зводні таблиці оцінок ефектів для здоров'я (U.S.EPA), IWA – рекомендації з оцінки ризику впливу промислових відходів (Канада), NAAQS – американські національні стандарти якості атмосферного повітря, EPA – публікації Агентства США з охорони навколишнього середовища, CEPA – Канадське Агентство з охорони навколишнього середовища, MAssDEP – Массачузетський департамент з охорони навколишнього середовища, HC – публікації Міністерства охорони здоров'я Канади; NATICH – база даних U.S.EPA.

### Додаток 3. Фактори канцерогенного потенціалу

Речовина	CAS	<i>SFi</i> , (мг/кг·доба) <sup>-1</sup>	Джерело
Азасерин	115-02-6	11	C
Азатіоприн	446-86-6	1,8	C
Азобензол	103-33-3	0,11	I
Акриламід	79-06-1	4,5	I
Акрилонітрил	107-13-1	0,24	I
Актиноміцин D	50-76-0	8700	C
Алар	1596-84-5	0,018	C
Алдрин	309-00-2	17	I
Алліл хлористий	107-05-1	<b>0,021</b>	C
Аміно-2-метилантрахінон,1-	82-28-0	0,15	C
Аміно-3-метил-9Н-піридо[2,3-b]індол,2-	68006-83-7	1,2	C
Аміно-6-метилдіпіридилдо (1,2-а:3Т,2Т-d) імідазол,2-	67730-11-4	4,8	C
2-Аміно-9Н-піридо[2,3-b]індол	26148-68-5	0,4	C
Аміно-9-етилкарбазол,3-, гідрохлорид	6109-97-3	0,078	C
Аміноазотолуол,о-	97-56-3	3,8	C
Амінодіпіридо(1,2-а:3Т,2Т-d) імідазол,2-	67730-10-3	1,4	C
Амінодіфеніл,4-	92-67-1	21	C
Амітрол	61-82-5	0,91	C
Анілін	62-53-3	0,0057	C
Араміт	140-57-8	0,025	I
Аурамін	492-80-8	0,88	C
Ацетальдегід	75-07-0	0,0077	I
Ацетамід	60-35-5	0,07	C
Ацетиламінофлуорен	53-96-3	3,8	C
Ацетофенетидин,п-	62-44-2	0,0022	C
Бенз[а]антрацен	56-55-3	0,31	N
Бензо[б]флуорантен	205-99-2	0,39	C
Бензо[і]флуорантен	205-82-3	0,39	C
Бензо[к]флуорантен	207-08-9	0,031	N
Бенз(а)пірен	50-32-8	3,1	N
Бензол	71-43-2	0,027	I
Берилій	7440-41-7	8,4	I
Берилій оксид	1304-56-9	7	C
Берилій сульфат (1:1)	13510-19-1	3000	C
Біс(2-хлорізопроріловий)ефір	39638-32-9	0,035	H
Біс(2-хлоретилловий)ефір	111-44-4	1,15	I
Біс(п-хлорфеніл)-1,1- діхлоретилен, 2,2-	72-55-9	0,34	C
Біфінелол, 2-,натрієва сіль	132-27-4	0,003	C
Бромдіфеніли		30	C

Речовина	CAS	$SFi$ , (мг/кг·доба) <sup>-1</sup>	Джерело
Бромдихлорметан	75-27-4	0,13	С
Бромформ	75-25-2	0,0039	I
Брометен	593-60-2	0,11	Н
Бутадієн, 1,3-	106-99-0	1,8	I
Бутіролактон, бета-	3068-88-0	1	С
Вінілхлорид	75-01-4	0,3	Н
Гексахлоран	608-73-1	1,78	I
Гексахлорбензол	118-74-1	1,6	I
Гексахлорбутадієн	87-68-3	0,077	I
Гексахлордібензо-п-діоксин	34465-46-8	3300	С
Гексахлордібензо-п-діоксин, 1,2,3,4,7,8,-	39227-28-6	16000	Н
Гексахлордібензо-п-діоксин, 1,2,3,7,8,9-	19408-74-3	4550	I
Гексахлордібензо-п-діоксин, 1,2,3,6,7,8-	57653-85-7	16000	Н
Гексахлордібензофуран, 1,2,3,4,7,8-	70648-26-9	16000	Н
Гексахлордібензофуран, 1,2,3,6,7,8-	57117-44-9	16000	Н
Гексахлордібензофуран, 1,2,3,7,8,9-	72918-21-9	16000	Н
Гексахлордібензофуран, 2,3,4,6,7,8-	60851-34-5	16000	Н
Гексахлоретан	67-72-1	0,014	I
Гептахлор	76-44-8	4,5	I
Гептахлордібензо-п-діоксин, 1,2,3,4,6,7,8-	35822-46-9	1600	Н
Гептахлордібензофуран, 1,2,3,4,6,7,8-	67562-39-4	1600	Н
Гептахлордібензофуран, 1,2,3,4,7,8,9-		1300	С
Гептахлорепоксид	1024-57-3	9,1	I
Гідразин	302-01-2	17,1	I
Гідразин сульфат	10034-93-2	17	I
Гіромітрин	16568-02-8	10	С
Дакарбазин	4342-03-4	49	С
ДДТ	50-29-3	0,34	I
Ді(2-етилгексил)фталат	117-81-7	0,0084	С
Діаміноанізол, 2,4-, сульфат	39156-41-7	0,013	С
Діаміноанізол, 2,4-	615-05-4	0,023	С
Діамінодіфенілметан, 4,4Т-	101-77-9	1,6	С
Дибенз[а, j]акрідин	224-42-0	0,39	С
Дибенз(а, h)антрацен	53-70-3	3,1	Н
Дибенз[а, h]акрідин	226-36-8	0,39	С
Дибенз[f, j]антрацен	194-59-2	1,9	С
Дибензо[а, h]пірен	189-64-0	39	С
Дибензо[а, i]пірен	189-55-9	39	С
Дибензо[а, l]пірен	191-30-0	39	С
Дибромхлорметан	124-48-1	0,094	С
Диброметан, 1,2-	106-93-4	0,77	I

Речовина	CAS	$SFi$ , (мг/кг·доба) <sup>-1</sup>	Джерело
Дигідроксіантрахінон, 1,8-	117-10-2	0,076	С
Дигідросафрол	94-58-6	0,044	С
Дигліциділрезорциновий ефір	101-90-6	1,7	С
Диметилбенз[а]антрацен, 7,12-	57-97-6	250	С
Диметилгідразин, 1,1-	57-14-7	550	С
Диметилкарбамоілхлорид	79-44-7	13	С
Динітропірен, 1,6-	42397-64-8	39	С
Динітропірен, 1,8-	42397-65-9	39	С
Динітротолуол, 2,4-	121-14-2	0,31	С
Діоксан, 1,4-	123-91-1	0,027	С
Дифенілгідразин, 1,2-	122-66-7	0,77	I
Дихлорбензол, 1,4-	106-46-7	0,04	С
Дихлорбут-2-ен, 1,4-	764-41-0	9,3	Н
Дихло рдіметиловий ефір, 1,1Т-	542-88-1	217	I
Дихлорізопропіловий ефір, 2,2Т-	108-60-1	0,035	Н
Дихлорметан	75-09-2	0,0016	I
Дихлорофос	62-73-7	0,29	С
Дихлорпропан, 1,2-	78-87-5	0,063	С
Дихлорпропен, транс-1,3-	10061-02-6	0,13	Н
Дихлорпропен, цис-1,3-	10061-01-5	0,13	Н
Дихлоретан, 1,1-	75-34-3	0,0057	С
Дихлоретан, 1,2-	107-06-2	0,091	I
Дихлоретилен, 1,1-	75-35-4	0,18	I
Діелдрін	60-57-1	16	I
Діетилстілбестрол	56-53-1	490	Н
Епіхлоргідрин	106-89-8	0,0042	I
Естрадіол	50-28-2	39	С
Етиленімін	151-56-4	65	С
Естрадіол	50-28-2	39	С
Етиленімін	151-56-4	65	С
Індено[1,2,3-с,d]пірен	193-39-5	0,31	Н
Кадмій	7440-43-9	6,3	I
Калію бромат	7758-01-2	0,49	С
Кам'яновугільні смоли	8007-45-2	2,17	I
Каптан	133-06-2	0,0023	С
Каптофол	2425-06-1	0,15	С
Кепон	143-50-0	16	С
Купферон	135-20-6	0,22	С
Лізіокарпін	303-34-4	7,8	С
Ліндан	58-89-9	1,1	С
Ліндан,альфа-	319-84-6	6,3	I
Ліндан,бета-	<b>319-85-7</b>	1,85	I
Мелфалан	148-82-3	130	С
Метил-1-нітроантрахінон, 2-	129-15-7	4,3	С
Метил-1-хлорпроп-1-ен, 2	513-37-1	0,045	С

Речовина	CAS	$SFi$ , (мг/кг·доба) <sup>-1</sup>	Джерело
Метил-2-метоксианілін, 5-	120-71-8	0,15	С
Метил-NT-нітрозо-N-нітрогуанідин,N-	70-25-7	8,3	С
Метиланілін, 2-	95-53-4	0,18	С
Метиланілін, 2-, гідрохлорид	636-21-5	0,13	С
Метілен біс(2-хлоранілін)4,4Т-	101-14-4	0,13	Н
Метилендіанілін, 4,4Т, діхлорид	13552-44-8	1,2	С
Метилметансульфонат	66-27-3	0,099	С
Метилтіоурацил	56-04-2	0,4	С
Метил-трет-бутиловий ефір	1634-04-4	0,00015	Н
Метилхолантрен, 3-	56-49-5	22	С
Метилхрizen, 5-	3697-24-3	3,9	С
Метокси-5-нітроанілін, 2-	99-59-2	0,049	С
Метоксианілін, 2-	90-04-0	0,14	С
Метоксибензамін, 2-,гідрохлорид	134-29-2	0,11	С
Мірекс	2385-85-5	18	С
Мітоміцин С	50-07-7	8200	С
Монокроталін	315-22-0	10	С
Миш'як	7440-38-2	15	І
Нафтиламін, 2-	91-59-8	1,8	С
Нафто(1,2,3,4-def)хрizen	192-65-4	3,9	С
Нікель	7440-02-0	0,91	С
Нікель очищений, пил		0,84	І
Нікель субсульфід	12035-72-2	1,68	І
Нітрилотриоцтова кислота	139-13-9	0,0053	С
Нітрилотриоцтова кислота,тринатрієва сіль моногідрат	18662-53-8	0,01	С
Нітроаценафтен, 5-	602-87-9	0,13	С
Нітрогліцерин	55-63-0	0,014	г
Нітрозо-N-метилсечовина, N-	684-93-5	120	С
Нітрозо-N-метилуретан, N-	615-53-2	110	С
Нітрозо-N-етилсечовина, N-	759-73-9	27	С
Нітрозодибутиламін, N-	924-16-3	5,6	І
Нітрозодиметиламін, N-	62-75-9	49	І
Нітрозодипропіламін, N-	621-64-7	7	С
Нітрозодифеніламін, N-	96-30-6	0,009	С
Нітрозодіетиламін, N-	55-18-5	150	І
Нітрозоіміно)діетанол, 2,2Т-	1116-54-7	2,8	С
Нітрозометилетиламін, N-	10595-95-6	22	С
Нітрозоморфолін, N-	59-89-2	6,7	С
Нітрозонорнікотин, N-	16543-55-8	1,4	С
Нітрозопіперідин, N-	100-75-4	9,4	С
Нітрозопіролідін, N-	930-55-2	2,1	І
(4-Нітрозофеніл)анілін, N-	156-10-5	0,022	С
Нітропірен, 1-	5522-43-0	0,39	С

Речовина	CAS	$SF_i$ , (мг/кг·доба) <sup>-1</sup>	Джерело
Нітропірен, 4-	57835-92-4	0,39	С
Нітропропан, 2-	79-46-9	9,4	Н
Нітроген	1836-75-5	0,082	С
Нітрохрізен, 6-	7496-02-8	39	С
Ніфураден	555-84-0	1,8	С
Ніфуртиазол	3570-75-0	2,3	С
Оксиданілін, 4,4Т-	101-80-4	0,14	С
Октахлордібензо-п-діоксин	3268-87-9	130	С
Октахлордібензофуран, 1,2,3,4,5,6,7,8-	39001-02-0	130	С
Пентахлордібензофуран, 1,2,3,7,8- 9	109719-77- 9	8000	Н
Пентахлордібензофуран, 2,3,4,7,8-	57117-41-6	80000	Н
Пентахлорфенол	87-86-5	0,018	С
Пігмент червоний	5160-02-1	0,0053	С
Харчовий фіолетовий 2	1694-09-3	0,02	С
Поліхлоровані біфеніли	1336-36-3	0,4	І
Понсо 3R	3564-09-8	0,016	С
Понсо МХ	3761-53-3	0,0045	С
Прокарбазин	671-16-9	14	С
Прокарбазин гідрохлорид	366-70-1	12	С
Пропансультон, 1,3-	1120-71-4	2,4	С
Пропілен оксид	75-56-9	0,013	І
Пропілтіоурацил	51-52-5	1	С
Пропіолактон, бета-	57-57-8	14	С
Прямий коричневий 95	16071-86-6	6,7	С
Прямий синій 6	2602-46-2	7,4	С
Прямий чорний 38	1937-37-7	7,4	С
Резерпін	50-55-5	11	С
Сапрол	94-59-7	0,22	С
Свинець	7439-92-1	0,042	С
Свинець ацетат	301-04-2	0,28	С
Свинець ацетат, основний	1335-32-6	0,038	С
Синій N 1	2784-94-3	0,051	С
Стерігматоцистин	10048-13-2	35	С
Стиролоксид	96-09-3	0,16	С
Стрептозоцин	18883-66-4	110	С
Сульфалат	95-06-7	0,19	С
Тетрааміноантрахінон, 1,4,5,8-	2475-45-8	0,0045	С
Тетрагідрофуран	109-99-9	0,0068	Н
Тетраметил-4,4Т- діамінобензофенон, N,N,N,N-	90-94-8	0,86	С
Тетрахлордібензо-п-діоксин, 2,3,7,8-	1746-01-6	150000	Н
Тетрахлордібензофуран, 2,3,7,8-	51207-31-9	16000	Н
Тетрахлордіфенілетан, 4,4-	72-54-8	0,24	С
Тетрахлоретан	56-23-5	0,053	І

Речовина	CAS	$SFi$ , (мг/кг·доба) <sup>-1</sup>	Джерело
Тетрахлоретан, 1,1,1,2-	630-20-6	0,026	I
Тетрахлоретан, 1,1,2,2,-	79-34-5	0,2	I
Тетрахлоретилен	127-18-4	0,002	N
Тіоацетамід	62-55-5	6,1	C
Тіодіанілін,4,4Г-	139-65-1	15	C
Тіосечовина	62-56-6	0,072	C
Тіофосфамід	52-24-4	12	C
Токсафен	8001-35-2	1,1	I
Толуїлендіізоціанат, 2,4-	584-84-9	0,039	C
-2,6-діізоціанат	91-08-7	0,039	C
Толуолдіізоціанат, 1,3-	26471-62-5	0,039	C
Транс-2-[(Диметиламіно) метиліміно]- 5-[2-(5-нітро-2- фурил)вініл]-1,3,4- оксадіазол	55738-54-0	0,44	C
Трет-Бутил-4-метоксифенол, 2-	25013-16-5	0,0002	C
Тріафур	712-68-5	16	C
Триптофан Р1	62450-06-0	26	C
Триптофан Р2	62450-07-1	3,2	C
Трихлорфенол, 2,4,6-	88-06-2	0,011	I
Трихлоретан, 1,1,2-	79-00-5	0,057	I
Трихлоретилен	79-01-6	0,0063	N
Уретан	51-79-6	1	C
Феназопірідин	94-78-0	0,17	C
Феназопірідин гідрохлорид	136-40-3	0,15	C
Фенестерин	3546-10-9	150	C
Фенілен-2,4-діамін	95-80-7	4	C
Фенобарбітал	50-06-6	0,46	C
Феноксibenзамін	56-96-1	3,1	C
Феноксibenзамін гідрохлорид	63-92-3	2,7	C
Формальдегід	50-00-0	0,046	I
Фурацилін	59-87-0	9,4	H
Фуриламід	3688-53-7	0,21	C
Фуріум	531-82-8	1,5	C
Фурмециклокс	60568-05-0	0,03	C
Хлор-1,2-дібромпропан, 3-	96-12-8	0,0024	H
Хлор-5-метиланілін, 2-	7440-41-7	8,4	C
Хлорбензилат	510-15-6	0,27	H
Хлорбутин	305-03-3	440	C
Хлордан	57-74-9	1,3	H
Хлордан технічний	12789-03-6	0,35	I
Хлоровані парафіни C <sub>12</sub> (60% хлору)	108171-26- 2	0,089	C
Хлор метан	74-87-3	0,0063	H
Хлорметоксиметан	107-30-2	2,4	C

Речовина	CAS	$SFi$ , (мг/кг·доба) <sup>-1</sup>	Джерело
Хлороталоніл	1897-45-6	0,0031	С
Хлор-о-фенілендіамін, 4-	95-83-0	0,016	С
Хлороформ	67-66-3	0,081	I
Хлорпропан, 2-	75-29-6	0,13	H
Хлортріанізен	569-57-3	240	С
Хлорендікова кислота	115-28-6	0,091	С
Хлор етан	75-00-3	0,0029	r
Хризен	218-01-9	0,0031	N
Хром (VI)	18540-29-9	42	I
Хромова кислота	7783-94-5	42	I
Циклофосфамід гідрат	6055-19-2	0,57	С
Циклофосфан	50-18-0	0,61	С
Циннамілантранілат	87-29-6	0,0046	С
Епіхлоргідрин	106-89-8	0,0042	I
Естрадіол	50-28-2	39	С
Етиленімін	151-56-4	65	С

**Примітка.** CAS – реєстраційний номер, що є унікальною ідентифікаційною характеристикою індивідуальних речовин або їх сумішей постійного складу; I – інтегрована інформаційна система про ризики IRIS, H – зводні таблиці оцінок ефектів для здоров'я (U.S.EPA) HEAST, С – каліфорнійське Агентство з охорони навколишнього середовища CalEPA, N – база даних NATICH U.S.EPA.

Начальне видання

**БОРИСОВСЬКА** Олена Олександрівна

## **ЕКОЛОГІЧНА ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

**Методичні рекомендації до виконання практичних робіт**  
на тему «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря» для здобувачів ступеня магістра освітньо-професійної програми вищої освіти «Технології захисту навколишнього середовища» та освітньо-наукової програми вищої освіти «Ресурсозбереження у гірничо-металургійному комплексі» зі спеціальності G2 Технології захисту навколишнього середовища

Видано в авторській редакції

Електронний ресурс  
Підписано до видання 12.06.2025. Авт. арк. 4,8.

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