

2.4. Характеристика ризику для здоров'я населення

Характеристика ризику інтегрує дані про небезпеку аналізованих хімічних речовин, величину експозиції, параметри залежності «доза-відповідь», отримані на всіх попередніх етапах досліджень, з метою кількісної та якісної оцінки ризику, виявлення та оцінки порівняльної значущості існуючих проблем для здоров'я населення.

На цьому етапі здійснюється розгляд всіх припущень, наукових гіпотез і невизначеностей, які здатні спотворити результати аналізу ризику і кінцеві висновки.

Характеристика ризику є сполучною ланкою між оцінкою ризику для здоров'я та управлінням ризиком.

Характеристика ризику здійснюється у відповідності з наступними етапами.

1. Узагальнення результатів оцінки експозиції і залежностей «доза (концентрація) – відповідь».

2. Розрахунок значень ризику для окремих маршрутів і шляхів надходження хімічних речовин.

3. Розрахунок ризиків для умов агрегованої (надходження однієї хімічної сполуки в організм людини всіма можливими шляхами з різних об'єктів навколишнього середовища) і кумулятивної (одночасний вплив декількох хімічних речовин) експозиції.

4. Виявлення та аналіз невизначеностей оцінки ризику.

5. Узагальнення результатів оцінки ризику та представлення отриманих даних особам, що беруть участь в управлінні ризиками.

Провідними принципами характеристики ризику є [6]:

- інтеграція інформації, отриманої в процесі ідентифікації небезпеки, оцінки експозиції та залежності «доза – відповідь»;

- характеристика та обговорення факторів невизначеностей та варіабельності результатів;

- представлення інформації про характеристики ризику у зрозумілій і доказовій формі з вказівкою на достовірність та обмеження характеристик ризику.

У процесі характеристики ризиків використовується **величина умовно прийнятого ризику** – ймовірність настання події, негативні наслідки якої настільки незначні, що заради одержуваної вигоди від фактора ризику людина, або група людей, або суспільство в цілому готові піти на цей ризик.

2.4.1. Оцінка ризику канцерогенних ефектів

Характеристика канцерогенного ризику здійснюється поетапно [6].

1. Узагальнення та аналіз всієї наявної інформації про шкідливі фактори, особливості їх дії на організм людини, рівні експозиції.

2. Розрахунок індивідуального канцерогенного ризику для кожної речовини, що надходить в організм людини аналізованими шляхами.

3. Розрахунок індивідуального канцерогенного ризику для кожного канцерогенного компонента досліджуваної суміші хімічних речовин, а також сумарного канцерогенного ризику для всієї суміші.

4. Розрахунок сумарних канцерогенних ризиків для кожного з аналізованих шляхів надходження, а також загального сумарного канцерогенного ризику для всіх речовин і всіх аналізованих шляхів їх надходження в організм.

5. Розрахунок популяційних канцерогенних ризиків.

6. Обговорення та оцінка джерел невизначеності та варіабельності результатів характеристики ризику.

7. Узагальнення та представлення результатів характеристики ризику.

Розрахунок **індивідуального канцерогенного ризику** здійснюється з використанням даних про величину експозиції та значення факторів канцерогенного потенціалу (фактор нахилу, одиничний ризик). Як правило, для канцерогенних хімічних речовин додаткова вірогідність розвитку раку у індивідуума на всьому протязі життя (ICR) оцінюється з урахуванням

середньодобової дози протягом життя (LADD):

$$ICR = LADD \cdot SF, \quad (2.9)$$

де $LADD$ – середньодобова доза протягом життя, мг/(кг·день);

SF – фактор нахилу, (мг/(кг·день))⁻¹.

При застосуванні величини **одиничного ризику** розрахункова формула набуває вигляду:

$$ICR = LADC \cdot UR, \quad (2.10)$$

або

$$ICR = C \cdot UR, \quad (2.11)$$

де $LADC$ – середня концентрація речовини в атмосферному повітрі за весь період усереднення експозиції, мг/м³;

UR – одиничний ризик, (мг/м³)⁻¹;

C – середня річна концентрація i -тої речовини.

Одиничний ризик розраховують із використанням величини SF , стандартної величини маси тіла людини (70 кг) та добового споживання повітря (20 м³):

$$UR_i \text{ (мг/м}^3\text{)} = SF_i \text{ (мг/кг·доба)}^{-1} \times 1/70 \text{ кг} \times 20 \text{ (м}^3\text{/доба)}. \quad (2.12)$$

Визначення величин **популяційних канцерогенних ризиків (PCR)**, що відображають додаткове (до фонового) число випадків злоякісних новоутворень, здатних виникнути протягом життя внаслідок впливу досліджуваного фактора, проводиться за формулою:

$$PCR = ICR \cdot POP, \quad (2.13)$$

де ICR – індивідуальний канцерогенний ризик;

POP – чисельність досліджуваної популяції, чол.

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

$$PCRa = \frac{ICR \cdot POP}{70}. \quad (2.14)$$

Індивідуальний та популяційний канцерогенні ризики характеризують верхню межу можливого канцерогенного ризику протягом періоду, відповідного середньої тривалості життя людини (70 років).

При поглибленому аналізі канцерогенних ризиків, пов'язаних з впливом хімічних речовин, що відносяться до груп 1, 2А за класифікацією МАВР, доцільно групувати досліджувані канцерогени з урахуванням виду та/або локалізації пухлин. У цьому випадку розрахунок сумарних канцерогенних ризиків здійснюється окремо для кожної виділеної групи (наприклад, рак легенів, пухлини печінки тощо).

При впливі декількох канцерогенів **сумарний канцерогенний ризик** для даного шляху надходження (наприклад, перорального або інгаляційного) розраховується за формулою:

$$ICR_T = \sum ICR_j, \quad (2.15)$$

де ICR_T – загальний канцерогенний ризик для шляху надходження T ;

ICR_j – канцерогенний ризик для j -ої канцерогенної речовини.

При розрахунку сумарних канцерогенних ризиків необхідно приймати до уваги відмінності в ступені вираженості канцерогенної дії хімічних речовин при різних шляхах надходження. У тих випадках, коли значення факторів канцерогенного потенціалу при різних шляхах впливу різняться, розрахунок ризиків на основі сумарних доз правомірний тільки для однакових шляхів

надходження (наприклад, розрахунок ризику по сумарній дозі, отриманої людиною при інгаляції речовини, що міститься в атмосферному повітрі, водопровідній воді, ґрунті, воді плавального басейну або річки).

Основою для здійснення розрахунків сумарних ризиків **при комплексному надходженні одного хімічного канцерогену** є зведені таблиці, що складаються для кожної j -ї аналізованого речовини (табл. 2.10).

Таблиця 2.10

Зведена таблиця для аналізу канцерогенного ризику при багатомаршрутній, багатосередовищній експозиції j -ї хімічної речовини

Шлях надходження	Об'єкти навколишнього середовища					
	повітря	ґрунт	питна вода	відкрите водоймище	продукти	сума
Інгаляція	CR_{ai}	CR_{si}	CR_{wi}	CR_{ri}	-	CR_i
Перорально	-	CR_{so}	CR_{wo}	CR_{ro}	CR_{fo}	CR_o
Нашкірно	-	CR_{sd}	CR_{wd}	CR_{rd}	-	CR_d
Сума	CR_a	CR_s	CR_w	CR_r	CR_f	CR_{sum}

Примітка. CR – індивідуальний додатковий канцерогенний ризик. Індекси відносяться до різних об'єктів та шляхів надходження речовини: i – інгаляція, o – перорально, d – нашкірно, a – повітря, s – ґрунт, w – питна вода, r – відкрите водоймище (рекреаційне використання), f – продукти харчування. Величина CR_{sum} – відбиває сумарний канцерогенний ризик при вступі j -ї речовини різними шляхами з різних середовищ.

При одночасній присутності в навколишньому середовищі кількох канцерогенних речовин аналогічні розрахунки проводяться спочатку для кожної досліджуваної речовини, а потім суміші в цілому. Наприклад, **при комплексному надходженні одночасно декількох канцерогенів** аналіз канцерогенних ризиків здійснюється на основі таблиці 2.11.

Таблиця 2.11

**Приклад зведеної таблиці для аналізу канцерогенних ризиків при
одночасному впливі декількох хімічних речовин**

Шлях надходження	Речовина 1	Речовина 2	Речовина n	Сума
<i>Атмосферне повітря</i>				
Інгаляція	CR_{ai1}	CR_{ai2}	CR_{ain}	ΣECR_{aij}
<i>Питна вода</i>				
Перорально	CR_{wo1}	CR_{wo2}	CR_{won}	ΣSCR_{woj}
Інгаляція	CR_{wi1}	CR_{wi2}	CR_{win}	ΣSCR_{wij}
Нашкірно	CR_{wd1}	CR_{wd2}	CR_{wdn}	ΣSCR_{wdj}
Сума	ΣCR_{w1}	ΣCR_{w2}	ΣCR_{wn}	ΣCR_{wj}
<i>Ґрунт</i>				
Перорально	CR_{so1}	CR_{so2}	CR_{son}	ΣSCR_{soj}
Інгаляція	CR_{si1}	CR_{si2}	CR_{sin}	ΣSCR_{sij}
Нашкірно	CR_{sd1}	CR_{sd2}	CR_{sdn}	ΣSCR_{sdj}
Сума	ΣCR_{s1}	ΣCR_{s2}	ΣCR_{sn}	ΣCR_{sj}
<i>Відкрите водоймище</i>				
Перорально	CR_{ro1}	CR_{ro2}	CR_{ron}	ΣSCR_{roj}
Інгаляція	CR_{ri1}	CR_{ri2}	CR_{rin}	ΣSCR_{rij}
Нашкірно	CR_{rd1}	CR_{rd2}	CR_{rdn}	ΣSCR_{rdj}
Сума	ΣCR_{r1}	ΣCR_{r2}	ΣCR_{rn}	ΣCR_{rj}
Шлях надходження	Речовина 1	Речовина 2	Речовина n	Сума
<i>Продукти харчування</i>				
Перорально	CR_{fo1}	CR_{fo2}	CR_{fon}	ΣSCR_{fj}
<i>Сумарне надходження</i>				

Сумарне інгаляційне надходження	$CR_{ai1} + CR_{wi1} + CR_{si1} + CR_{ri1}$	$CR_{ai2} + CR_{wi2} + CR_{si2} + CR_{ri2}$	$CR_{ain} + CR_{win} + CR_{sin} + CR_{rin}$	$CR_{aij} + CR_{wij} + CR_{sij} + CR_{rij}$
Сумарне пероральне надходження	$CR_{wo1} + CR_{so1} + CR_{ro1} + CR_{fo1}$	$CR_{wo2} + CR_{so2} + CR_{ro2} + CR_{fo2}$	$CR_{won} + CR_{son} + CR_{ron} + CR_{fon}$	$CR_{woj} + CR_{soj} + CR_{roj} + CR_{foj}$
Сумарне нашкірне надходження	$CR_{wd1} + CR_{sd1} + CR_{rd1}$	$CR_{wd2} + CR_{sd2} + CR_{rd2}$	$CR_{wdn} + CR_{sdn} + CR_{rdn}$	$CR_{wdj} + CR_{sdj} + CR_{rdj}$
Сума по усім середовищам і шляхам	$\Sigma CR1$	$\Sigma CR2$	ΣCRn	ΣCRj

Примітка. CR – індивідуальний додатковий канцерогенний ризик. Індекси відносяться до різних об'єктів та шляхів надходження речовини: i – інгаляція, o – перорально, d – нашкірно, a – повітря, s – ґрунт, w – питна вода, r – відкрите водоймище (рекреаційне використання), f – продукти харчування.

За наявності на досліджуваній території декількох точок впливу (рецепторних точок) всі вищевказані розрахунки проводяться як окремо для кожної з них, так і сумарно. При цьому одночасно може розраховуватися канцерогенний ризик, пов'язаний з тим чи іншим джерелом забруднення навколишнього середовища. Наприклад, якщо джерелами забруднення навколишнього середовища в досліджуваному населеному пункті є промислові підприємства, а також автотранспорт (джерела 1 ... j), то їх внесок у сумарний канцерогенний ризик може бути оцінений з використанням таблиці 2.12.

Канцерогенний ризик на території, що вивчається, від усіх врахованих джерел забруднення довкілля

Рецепторна точка	Підприємство 1 (джерело 1)	Автотранспорт (джерело 2)	Підприємство j (джерело j)	Сума
1	CR_{11}	CR_{21}	CR_{j1}	TCR_1
2	CR_{12}	CR_{22}	CR_{j2}	TCR_2
i	CR_{1i}	CR_{2i}	CR_{ji}	TCR_i
Сума	$CR_{11} + CR_{12} +$ CR_{1i}	$CR_{21} + CR_{22} +$ CR_{2i}	$CR_{j1} + CR_{j2} +$ CR_{ji}	TCR
Внесок, %	VCR_1	VCR_2	VCR_j	100

Примітка. TCR – сумарний канцерогенний ризик на досліджуваній території від усіх врахованих джерел забруднення довкілля; $TCR_1, TCR_2, \dots, TCR_i$ – сумарні канцерогенні ризики від усіх джерел в окремих рецепторних точках; $VCR_1, VCR_2, \dots, VCR_j$ – вклад даного джерела у величину сумарного канцерогенного ризику (TCR).

Подібні розрахунки, зокрема, є необхідними для порівняльної оцінки рівнів канцерогенного ризику від різних джерел і на різних ділянках досліджуваної території, а також виявлення вкладу кожного з цих джерел і ділянок в сумарну величину ризику для усієї аналізованої території.

Найбільшу цінність результати характеристики канцерогенних ризиків представляють для порівняльної оцінки впливу факторів навколишнього середовища на різних територіях, у різні часові періоди, до і після проведення оздоровчих заходів, для порівняння ефективності та можливого впливу на здоров'я людини різних технологічних процесів і природоохоронних заходів.

2.4.2. Оцінка ризику неканцерогенних ефектів при гострих і хронічних впливах

Характеристика ризику розвитку неканцерогенних ефектів здійснюється або шляхом порівняння фактичних рівнів експозиції з безпечними рівнями впливу (індекс/коефіцієнт небезпеки), або на основі параметрів залежності «концентрація – відповідь», отриманих в епідеміологічних дослідженнях.

Характеристика ризику розвитку неканцерогенних ефектів для окремих речовин проводиться на основі розрахунку коефіцієнта небезпеки (HQ) за формулою:

$$HQ = \frac{AD}{RfD}, \quad (2.16)$$

або

$$HQ = \frac{AC}{RfC}, \quad (2.17)$$

де HQ – коефіцієнт небезпеки;

AD – середня доза, мг/кг;

AC – середня концентрація, мг/м³;

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

RfC – референтна (безпечна) концентрація, мг/м³.

Коефіцієнт небезпеки розраховується окремо для умов короткочасних (гострих), підгострих і тривалих впливів хімічних речовин. При цьому період усереднення експозицій та відповідних безпечних рівнів впливу повинен бути аналогічним.

2.4.3. Оцінка ризику при багатосередовищних, комбінованих і комплексних впливах

Характеристика ризику розвитку неканцерогенних ефектів при комбінованому і комплексному впливі хімічних сполук проводиться на основі розрахунку **індексу небезпеки (HI)**.

Індекс небезпеки для умов одночасного надходження декількох речовин одним і тим же шляхом (наприклад, інгаляційним або пероральним) розраховується за формулою:

$$HI_j = HQ_1 + HQ_2 + \dots + HQ_n, \quad (2.18)$$

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

При комплексному надходженні хімічної речовини в організм людини з навколишнього середовища одночасно декількома шляхами, а також при багатосередовищній і багатомаршрутній дії критерієм ризику є сумарний індекс небезпеки (THI), який розраховується по формулі:

$$THI = \sum HI_j, \quad (2.19)$$

де HI_j – індекси небезпеки для окремих шляхів надходження або окремих маршрутів дії.

При одночасному надходженні речовини А інгаляційно і перорально індекс небезпеки розраховується по формулі:

$$THI = \frac{Ca}{RfC} + \frac{Do}{RfD}, \quad (2.20)$$

де C_a – концентрація речовини в повітрі, що оцінюється ($\text{мг}/\text{м}^3$);

D_o – доза, що отримується при пероральному шляху надходження (мг/кг).

При наскірній дії хімічних речовин, як правило, оцінюється величина поглиненої дози. У зв'язку з відсутністю даних про безпечні рівні при наскірній дії для більшості пріоритетних хімічних речовин як орієнтовної міри допустимої наскірної дії ($RfDd$) використовується величина поглиненої дози, розрахованої виходячи з референтної дози (RfD_o) при пероральному шляху надходження:

$$RfDd = RfD_o \cdot GIABS, \quad (2.21)$$

де $GIABS$ – коефіцієнт абсорбції в шлунково-кишковому тракті.

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.

Речовини, що забруднюють об'єкти навколишнього середовища, повинні бути проранжировані за величиною коефіцієнта небезпеки для визначення найбільш пріоритетних забруднювачів.

В умовах комбінованого впливу сумарний індекс небезпеки характеризує ризик розвитку несприятливих ефектів на критичний орган (систему). За цим індексом можуть бути виділені пріоритетні органи і системи, найбільшою

мірою приголомшувані при впливі хімічних факторів навколишнього середовища.

Якщо вплив однієї речовини не перевищує допустимий, то комбіноване надходження речовин, що чинять вплив на одну систему (орган), може призводити до виникнення порушень у цій системі.

Приклад формату представлення даних наведено в таблиці 2.13.

Як видно із таблиці, найбільший внесок як у сумарну величину НІ, так і в ризик впливу на нирки, має речовина Б. Найменш значущу роль у формуванні ризику відіграє речовина А.

Таблиця 2.13

Приклад розрахунку індексу небезпеки при комбінованому надходженні

Речовина	Доза, мг/кг	RfD, мг/кг	HQ	Критичні органи
А	0,005	0,05	0,1	нирки
Б	16,0	4,0	4,0	печінка
С	0,12	0,4	0,3	нирки
Д	0,08	0,2	0,4	печінка
Сумарний ризик		НІ загальний	4,8	
		НІ нирки	0,4	
		НІ печінка	4,4	

За наявності на досліджуваній території декількох точок дії (рецепторних точок) всі вищевказані розрахунки проводяться як окремо для кожної з них, так і сумарно. При цьому одночасно може розраховуватися канцерогенний ризик, пов'язаний з тим чи іншим джерелом забруднення навколишнього середовища.

При комплексному і/або багатосередовищному надходженні однієї речовини коефіцієнти небезпеки для кожного шляху і кожного середовища дії підсумовуються і розраховується сумарний індекс небезпеки (*ТНІ*). Приклад такої оцінки представлений в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14

Приклад розрахунку індексу небезпеки при комплексній багатосередовищній дії

Середовище Шлях впливу	Інгаляційно	Перорально	Нашкірно	Сума
Атмосферне повітря	HQ_{ai}	-	-	HI_a
Питна вода	HQ_{wi}	HQ_{wo}	HQ_{wd}	HI_w
Ґрунт	HQ_{si}	HQ_{so}	HQ_{sd}	HI_s
Сума	HI_i	HI_o	HI_d	TNI

Примітка. a – атмосферне повітря, w – питна вода, s – ґрунт, i – інгаляційне надходження, o – пероральне надходження, d – нашкірний вплив.

За індексом небезпеки визначаються пріоритетні середовища впливу та шляхи надходження речовини в організм людини. Індекс ТНІ служить для ранжирування речовин, що надходять різними шляхами з багатьох середовищ.

При комбінованому надходженні декількох речовин будь-яким шляхом сумарний індекс небезпеки визначається для речовин, що впливають на одну систему (орган). Приклад формату представлення даних наведено в табл. 2.15.

Таблиця 2.15

Приклад розрахунку індексу небезпеки при комбінованому надходженні

Назва речовини	Критичний орган (система)	HQ
Азоту діоксид	органи дихання	1
Сірки діоксид	органи дихання	2
Зважені речовини	органи дихання	5
ТНІ		8