

2.3. Оцінка експозиції

Оцінка впливу – це міждисциплінарний напрямок досліджень, який вимагає комплексної участі фахівців різного профілю: гігієністів, токсикологів, епідеміологів, хіміків, профпатологів, клініцистів, метеорологів, математиків, інженерів, а також вчених у галузі соціальних дисциплін.

Експозиція (вплив) – контакт організму (рецептора) з хімічним, фізичним або біологічним агентом. Величина експозиції визначається як виміряна або розрахована кількість агента в конкретному об'єкті навколишнього середовища, що знаходиться в зіткненні з так званими прикордонними органами людини (легені, травний тракт, шкіра) протягом будь-якого точно встановленого часу. Експозиція може бути виражена як загальна кількість речовини в навколишньому середовищі (в одиницях маси, наприклад, мг), або як величина впливу – маса речовини, віднесена до одиниці часу (наприклад, мг/день), або як величина впливу, нормалізована з урахуванням маси тіла, мг/(кг·день).

Оцінка експозиції є етапом оцінки ризику, в процесі якого встановлюється кількісне надходження агента (хімічного, фізичного, біологічного) в організм різними шляхами (інгаляційним, пероральним, нашкірним) в результаті контакту з різними об'єктами навколишнього середовища (повітрям, водою, ґрунтом, продуктами харчування).

Оцінка експозиції полягає у вимірюванні або визначенні (якісному і кількісному) частоти, тривалості та шляхів впливу хімічних сполук, що знаходяться в навколишньому середовищі. Оцінка експозиції описує також природу впливу, розміри і характер експонованих популяцій.

Найбільш важливими кроками при оцінці експозиції є [6]:

- визначення маршрутів впливу;
- ідентифікація того середовища, яке переносить забруднюючу речовину;
- визначення концентрацій забруднюючої речовини;
- визначення часу, частоти і тривалості впливу;
- ідентифікація популяції, що піддається впливу.

На етапі оцінки експозиції проводиться остаточне уточнення сценарію впливу, що характеризує шлях (рух) речовини від місця його утворення до точки впливу на людину. З урахуванням обраного сценарію здійснюється аналіз наявних даних про рівні впливу хімічних речовин на людину – концентраціях речовини у всіх середовищах в аналізованій точці впливу. Сценарій впливу складається виходячи з цілей проекту та концептуальної моделі досліджуваної території.

Повний сценарій експозиції, що відображає вплив на населення в реальних умовах, включає оцінку надходження хімічних речовин в організм людини одночасно з різних середовищ (атмосферне повітря, питна вода, вода поверхневого водоймища, ґрунт, продукти харчування) різними шляхами (пероральний, інгаляційний, накожний). Такий тип експозиції характеризується як багатосередовищний і комплексний вплив.

Залежно від мети проекту сценарій впливу може передбачати оцінку надходження хімічних речовин тільки з одного середовища (наприклад, атмосферного повітря) і одним шляхом (наприклад, інгаляційним). У деяких випадках сценарій впливу може обмежуватися оцінкою надходження шкідливих агентів від певних джерел викидів (наприклад, тільки стаціонарні джерела / промислові підприємства або автотранспорт).

У всіх випадках, з метою створення найбільш сприятливих умов для подальшого процесу управління ризиком, **на стадії оцінки експозиції обов'язковим є виявлення [6]:**

- конкретного місця контакту людини із шкідливим агентом;
- відносного внеску кожного специфічного джерела забруднення цим агентом у цьому місці;
- факторів навколишнього середовища, що впливають на характер впливу, що дозволяє забезпечити ефективні і раціональні заходи щодо зниження ризику.

Загалом на етапі оцінки експозиції проводиться аналіз [6]:

- джерел забруднення навколишнього середовища;

- механізмів утворення і надходження забруднювачів;
- транспорту, накопичення і трансформації хімічних речовин у різних об'єктах зовнішнього середовища;
- середовищ, що впливають на людину, і шляхів надходження хімічних речовин з кожного впливаючого середовища;
- концентрацій забруднюючих речовин або продуктів їх трансформації в різних середовищах в точці впливу на людину (місце його перебування);
- населення та його чутливих підгруп, потенційно схильних досліджуваному впливу.

Визначення експозиції є складовою частиною не тільки оцінки ризику, а й процесу управління ризиком, тому що **дозволяє встановити [6]:**

- розподіл концентрацій в часі і просторі в різних об'єктах навколишнього середовища;
- популяції або субпопуляції з високим і низьким ризиком;
- пріоритетні, ефективні та найбільш економічні програми і заходи щодо зниження ризику;
- внесок у рівні впливу від різних джерел забруднення;
- фактори, що впливають на попадання забруднювачів у навколишнє середовище, шляхи поширення шкідливих речовин і шляхи надходження в організм людини;
- відповідність заходів, що застосовуються для зниження забруднення, досягненню безпечних для здоров'я рівнів.

Процес оцінки експозиції зазвичай складається з трьох основних етапів [6].

Перший етап – характеристика навколишнього оточення, яка передбачає аналіз основних фізичних параметрів досліджуваної області та характеристику популяцій, потенційно схильних до впливу.

Другий етап – ідентифікація маршрутів впливу, джерел забруднення, потенційних шляхів поширення і точок впливу на людину.

Третій етап – кількісна характеристика експозиції передбачає встановлення та оцінку величини, частоти і тривалості впливів для кожного аналізованого

шляху, ідентифікованого на другому етапі. Найчастіше цей етап складається з двох стадій: оцінки впливаючих концентрацій і розрахунку надходження.

2.3.1. Характеристика зони впливу

На першому етапі оцінки експозиції проводиться детальний опис фізичного середовища і деталізована історична характеристика досліджуваної території.

Необхідні дані для аналізу повинні включати інформацію про [6]:

- топографію;
- гдрогеологію;
- рослинний і тваринний світ;
- земельні ресурси та їх використання;
- господарську діяльність людини.

Історичний огляд повинен містити відомості про сільськогосподарську, промислову і комерційну діяльність, характеристику селітебних зон.

Характеристика фізичного середовища включає в себе аналіз наступних властивостей і показників [6]:

- клімат (температурний режим, кількість опадів, відносна вологість, особливості топографії, висота місцевості, кількість днів зі стійким сніговим покривом, процес циркуляції повітряних мас і т.д.);

- метеоумови (наприклад, швидкість і напрям вітру, повторюваність штилів, туманів, приземних інверсій температури та ін.);

- геологічна будова;

- рослинність (наприклад, трав'яний покрив, деревна рослинність та ін.);

- тип ґрунту (наприклад, кислий, основний, органічний, піщаний і ін.);

- гідрологію підземних водних джерел (наприклад, глибина, напрямок і тип водного потоку);

- місця розташування і опис поверхневих водойм (наприклад, тип, швидкість течії води, солоність та ін.).

На підставі характеристик фізичного середовища досліджуваної області та

аналізу історичних даних використання земельних ресурсів робиться попередній висновок про потенційні шляхи шкідливого впливу, маючи на увазі всі взаємодіючі середовища і фактори навколишнього середовища - ґрунт, підземні та поверхневі води, опади, повітряне середовище, біоту, а також можливий транспорт шкідливої речовини з одного середовища в інше.

Характеристика населення, потенційно схильного до впливу на досліджуваній території і поблизу від неї, передбачає аналіз місць проживання (локалізація і відстань від джерела забруднення навколишнього середовища), видів діяльності, виявлення чутливих підгруп.

В аналіз слід включати всі групи популяції, потенційно схильних до дії досліджуваних факторів, навіть якщо вони проживають далеко від джерела забруднення (наприклад, населення, яке споживає забруднену водопровідну воду або продукти харчування, вирощені на забрудненому ґрунті). Крім того, в аналіз слід включати і населення, яке може піддаватися впливам в майбутньому, наприклад в результаті міграції хімічних речовин із забрудненої зони.

Оцінка людської діяльності зазвичай проводиться за наступною схемою [6].

1. Визначення часу, який потенційно експонована популяція проводить в забрудненій зоні. Наприклад, якщо популяція віднесена до виробничого сценарію впливу, то максимальною оцінкою щоденного періоду експозиції є величина - 8 год (типовий робочий день). Якщо ж популяція віднесена до сценарію житлової зони, то максимальна денна експозиція може бути прийнята рівною 24 год.

2. Визначення часу, який потенційно експонована популяція проводить у приміщенні, на відкритій місцевості, у транспорті і т.д. з урахуванням характеру діяльності людини протягом доби. Наприклад, службовці можуть проводити практично весь свій робочий день в приміщенні, в той час як будівельні робітники велику частину часу знаходяться на відкритій місцевості.

3. Визначення залежності людської діяльності від сезону року.

4. Визначення можливості тимчасового або постійного перебування населення в забрудненій зоні. Наприклад, діти можуть гратися поблизу забрудненої зони, а населення житлових районів може періодично входити в цю зону або перетинати її.

5. Ідентифікація будь-яких специфічних для досліджуваної зони характеристик популяції, які можуть впливати на експозицію. Наприклад, якщо забруднена зона розташована поблизу місць лову риби, то потенційно експонована популяція найімовірніше може споживати значно більше забруднених рибних продуктів, ніж популяція, яка проживає далеко від даного водоймища.

Вхідні параметри (фактори, дескриптори експозиції), що використовуються в рівняннях для розрахунків експозицій, по можливості, повинні відображати специфічні, регіональні особливості досліджуваних популяцій і прийнятих сценаріїв впливу. У разі відсутності або неможливості їх одержання застосовуються стандартні (прийняті «за замовчуванням») чинники експозиції (додаток Г).

При аналізі інформації про досліджувану зону слід виявити всі субпопуляції, які можуть мати підвищений ризик хімічних впливів, обумовлений їх підвищеною чутливістю, особливостями діяльності та/або попередніми впливами від інших джерел.

Найбільш чутливими до дії хімічних речовин субпопуляціями в ряді випадків можуть бути новонароджені і діти, особи похилого віку, вагітні та жінки, а також хворі хронічними захворюваннями.

Субпопуляції, схильні до підвищеного ризику внаслідок особливостей їх діяльності та активності, зазвичай включають дітей (зокрема, через можливість їх контакту з ґрунтом), осіб, які можуть у відносно великих кількостях споживати рибу, що спіймали в місцевих водоймах, або вирощені в даній місцевості продукти харчування (наприклад, овочі).

Субпопуляції підвищеного ризику, пов'язаного з попередніми впливами, включають індивідуумів, які контактували з хімічними речовинами на

виробництві, а також осіб, які раніше проживали на забруднених територіях.

Виявлення субпопуляцій, що вимагають підвищеної уваги, проводиться на основі встановлення місця знаходження в досліджуваній зоні шкіл, дитячих дошкільних установ, лікарень і поліклінік, житлових зон, місць відпочинку та рибної ловлі, основних промислових і сільськогосподарських об'єктів.

Для сценаріїв житлових районів при оцінці ризику потрібно враховувати вплив на дітей: окремо до 6 років, від 6 років до 18 років; і на дорослих - від 18 років і старше. У разі можливого надходження хімічних речовин в організм дитини з молоком матері доцільно додатково оцінювати вплив на грудних дітей (0-1 рік).

Виділення вікових груп, відповідних важливим періодам життя окремої когорти, необхідно для оцінки ризику можливого тривалого впливу на одну і ту ж популяцію від дитячого віку до старості.

2.3.2. Шляхи поширення хімічних речовин у навколишньому середовищі та їх вплив на людину

Маршрут впливу/шлях хімічної речовини

Основним завданням аналізу шляхів впливу є встановлення зв'язку між джерелами викиду забруднювачів, їх місцезнаходженням, способами попадання хімічних речовин у навколишнє середовище і місцями розташування різних популяцій населення і їх діяльністю.

Маршрут впливу/шлях хімічної речовини описує механізм, за допомогою якого індивідуум або популяція піддаються впливу хімічної речовини, точку впливу і шлях надходження. Кожен шлях характеризує механізм впливу досліджуваних факторів на населення, пов'язаних з певними джерелами забруднення навколишнього середовища.

Якщо точка впливу віддалена від джерела, то маршрут впливу включає в себе також транспортне (у разі міжсередовищних переходів) та впливаюче

середовища.

Оцінка маршруту впливу включає характеристики [6]:

- джерел забруднення, викидів і скидів хімічних речовин, місць їх знаходження;
- ймовірної поведінки (долі) хімічних сполук у навколишньому середовищі (персистентність, деградація, розподіл, транспорт, переходи між середовищами);
- місць проживання та видів діяльності експонованих популяцій.

Складовими частинами повного маршруту впливу є чотири основні елементи [6]:

- джерело і механізм надходження хімічної речовини у навколишнє середовище;
- середовища, які сприймають, транспортують і впливають;
- місце потенційного контакту людини з забрудненим довкіллям (точка впливу / рецепторна точка);
- шлях надходження при контакті людини з хімічною речовиною - пероральний, інгаляційний, шкірна абсорбція при споживанні води, продуктів харчування, диханні і через шкірні покриви.

Основні джерела надходження хімічних речовин у навколишнє середовище

До джерел надходження хімічних речовин у навколишнє середовище відносяться такі процеси, як виробництво/отримання, очищення, обробка, вивезення, зберігання, транспортування, мимовільне/випадкове отримання (в результаті побічних реакцій) речовини і природні джерела.

Середа, забруднена внаслідок попереднього надходження хімічної речовини з джерела забруднення, може, у свою чергу, стати джерелом забруднення по відношенню до інших середовищ. Наприклад, ґрунт, забруднений внаслідок

розливу хімічної речовини, може стати джерелом забруднення підземних або поверхневих вододжерел.

У ряді випадків джерело само по собі є точкою впливу (наприклад, забруднений ґрунт). У таких ситуаціях шлях впливу складається з джерела, точки впливу та шляху надходження.

Процеси переносу, накопичення і трансформації хімічних речовин у навколишньому середовищі. Розподілення між середовищами

Речовина, що одного разу потрапила в навколишнє середовище, може переноситися в незміненому вигляді або трансформуватися в ході фізичних процесів (випаровування, абсорбція/десорбція), зазнавати хімічні трансформації, такі як фотоліз, гідроліз, окислення або відновлення, піддаватися біотрансформації (біодеградація або акумуляція в одній або декількох середовищах).

В узагальненому вигляді ці процеси можуть бути представлені таким чином:

- транспорт (перенесення хімічної речовини та її переходи між середовищами);
- фізична трансформація (наприклад, випаровування, осадження);
- хімічна трансформація (фотоліз, гідроліз, окислення, відновлення і т.д.);
- біологічна трансформація (наприклад, біодеградація);
- акумуляція в одній або декількох середовищах, включаючи сприймаючу забруднення середу.

Вплив з навколишнього середовища може бути прямим (наприклад, вдихання атмосферного повітря) або непрямим (наприклад, вдихання парів шкідливих речовин, що випарувалися з підземних вод, ґрунту і проникли в повітря приміщень).

Підсумкова характеристика і остаточне формування сценаріїв впливу проводиться на основі визначення пріоритетних шляхів надходження, тому що шлях впливу визначає ступінь абсорбції.

Повний маршрут впливу оцінюється при сценарії багатосередовищної експозиції, коли аналізуються практично всі можливі шляхи надходження речовини (табл. 2.8).

Таблиця 2.8

Приклад сценарію багатосередовищного впливу

Середовище	Шлях надходження		
	інгаляція	перорально	нашкірно
Атмосферне повітря	+	-	-
Водопровідна вода	+	+	+
Ґрунт	+	+	+
Вода відкритого водоймища (плавання)	+	+	+
Харчові продукти	-	+	-

Сценарій повного маршруту впливу являє собою поєднання різних маршрутів впливу досліджуваних хімічних речовин.

При включенні в аналіз лише деяких із зазначених елементів сценарій буде відображати неповний маршрут впливу. Формування такого сценарію доцільно в тих випадках, коли одночасний вплив хімічних речовин на одну популяцію населення всіма можливими шляхами мало ймовірно, у зв'язку з чим слід поділяти сценарії на подсценарії, що відображають причинні співвідношення між різними шляхами впливу.

Неповний маршрут впливу аналізується також при сценарії, який передбачає оцінку ризику від надходження хімічних речовин тільки з одного середовища (наприклад, атмосферного повітря, повітря приміщень, питної води, продуктів харчування і т.д.) і одним шляхом (наприклад, інгаляційним).

Шлях впливу, при якому ймовірність контакту людини з хімічною речовиною найбільш висока і який призводить до накопичення його концентрації, називається **головним (принциповим) шляхом впливу**.

Виключення того чи іншого шляху впливу з подальшого аналізу має проводитися з великою обережністю, так як це може призводити до істотних

невизначеностей і помилок в оцінці величини експозиції.

Аргументами для виключення шляхів впливу з аналізу можуть бути такі положення [6]:

- експозиція, обумовлена даним шляхом впливу, набагато менше в порівнянні з іншими шляхами, що включають те ж середовище і ті ж самі точки впливу;
- потенційна ступінь експозиції при даному шляху впливу мізерно мала;
- ймовірність експозиції дуже низька і ризики, пов'язані з наявністю даного шляху впливу, не високі.

2.3.3. Визначення ступеня впливу (кількісна характеристика експозиції)

Визначення концентрацій у точці впливу

Кількісна характеристика експозиції передбачає спочатку оцінку впливаючих концентрацій для кожного аналізованого шляху впливу, ідентифікованого на попередньому етапі.

Оцінка впливаючих концентрацій включає визначення концентрацій хімічних речовин, що впливають на людину протягом періоду експозиції.

Концентрація – це вміст конкретного забруднювача в конкретному середовищі (наприклад, повітряному) на одиницю його обсягу (наприклад, мг/м³) в певний проміжок часу. Усі виміри концентрацій прямо або опосередковано пов'язані з тимчасовим інтервалом. Навіть так звані прилади безперервної дії мають граничний, часом досить короткий час відгуку, і тому їх показання відображають середнє (або наближене до середнього) значення фактичних концентрацій протягом обмеженого часу.

Концентрації в точці впливу оцінюються з використанням даних, отриманих за допомогою двох основних підходів кількісної характеристики експозиції: прямого і непрямого.

Прямі методи дослідження включають персональний моніторинг

забруднювачів у зоні дихання і використання біологічних маркерів.

Непрямі методи включають безпосереднє вимірювання зразків проб у різних середовищах, моделювання розповсюдження хімічних речовин у навколишньому середовищі, анкетування, використання добових щоденників і моделі експозиції.

Програма досліджень з оцінки експозиції повинна включати сумісне використання даних методів для досягнення основної мети - найбільш точного встановлення реальних рівнів впливу несприятливих факторів навколишнього середовища на організм людини.

Концентрації, що впливають, найчастіше оцінюються на основі [6]:

- 1) результатів моніторингу об'єктів навколишнього середовища;
- 2) моделювання поширення та поведінки хімічних речовин у навколишньому середовищі;
- 3) комбінації результатів моніторингу з даними, отриманими із застосуванням моделювання;
- 4) моделей експозиції.

При оцінці ризику по повній (базовій) схемі використовуються результати моніторингу концентрацій хімічних речовин в аналізованих об'єктах навколишнього середовища та/або дані, отримані на основі моделювання розсіювання забруднювачів за період не менше 3-5 років з урахуванням інвентаризації викидів.

Характеристика концентрацій у точці впливу

Концентрація в точці впливу (місце перебування людини) може являти собою середню арифметичну величину концентрації, що впливає протягом періоду експозиції, або максимальну концентрацію в обмежений період часу.

Для оцінки ризику, обумовленого хронічними впливами хімічних речовин, застосовуються середньорічні концентрації та їхні верхні 95%-ві довірчі межі, встановлені за середньодобовими концентраціями. Для

розрахунку вищевказаних величин, як правило, використовуються дані 3-річних спостережень, але не менше ніж за 1 рік.

Для оцінки гострих впливів, включаючи аварійний вплив (тривалість експозиції не більше 24 год), використовуються максимальні концентрації і 95-й процентиль.

У скринінгових дослідженнях для оцінки хронічних впливів допустимо використання середньорічних концентрацій, а для оцінки гострих впливів – максимальних концентрацій за період спостереження.

У тих випадках, коли є велика варіабельність концентрацій або, навпаки, всього два їх значення в точці впливу, в якості обґрунтованої оцінки доцільно використовувати максимальну з наявних концентрацій.

Експозиція і доза

Експозиція характеризує контакт організму з хімічним агентом. Якщо експозиція має місце протягом певного періоду часу, то загальна експозиція повинна бути розділена на той часовий інтервал, який цікавить дослідника. Отримана таким чином величина являє собою середню величину експозиції на одиницю часу.

Середня експозиція може бути також виражена як функція маси тіла. Отримана стандартизована за часом і масою тіла експозиція носить назву «надходження».

Розрахунок надходження передбачає кількісне встановлення експозицій для кожної хімічної речовини при конкретних шляхах впливу. Розрахункові оцінки надходження виражаються в одиницях маси хімічної сполуки, що знаходиться в контакті з одиницею маси тіла людини, і мають розмірність мг/(кг·день).

Надходження хімічних речовин зазвичай розраховується за формулами, що враховують впливаючі концентрації, величину контакту, частоту і тривалість впливів, масу тіла і час осереднення експозиції.

Загальна формула для розрахунку величини надходження хімічної речовини має наступний вигляд [6]:

$$I = \frac{C \cdot CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT}, \quad (2.5)$$

де I – надходження (кількість хімічної речовини на кордоні обміну), мг/кг маси тіла в день;

C – концентрація хімічної речовини; середня концентрація, що впливає в період експозиції (наприклад, мг/л води);

CR – величина контакту; кількість забрудненого середовища, що контактує з тілом людини в одиницю часу або за один випадок впливу (наприклад, л/день);

EF – частота впливів, число днів/рік;

ED – тривалість впливу, число років;

BW – маса тіла: середня маса тіла в період експозиції, кг;

AT – час осереднення; період осереднення експозиції, число днів.

Для розрахунку надходження використовуються три категорії змінних [6]:

- 1) пов'язані з хімічною речовиною - впливаючі концентрації;
- 2) описуючі експоновану популяцію - величина контакту, частота і тривалість впливу, маса тіла;
- 3) зумовлені дослідником - час осереднення експозиції.

Вибір часу осереднення експозиції залежить від виду оцінюваних токсичних ефектів [6]:

- для речовин з гострою дією надходження розраховується шляхом осереднення на дуже короткі проміжки часу, які можуть призвести до розвитку несприятливого ефекту (на один вплив або на добу);

- при вивченні тривалих впливів хімічних речовин, що не володіють канцерогенною дією, надходження розраховують шляхом їх осереднення

протягом періоду експозиції (наприклад, субхронічне або хронічне щоденне надходження);

- для канцерогенів розрахунок надходження проводять шляхом ділення загальної накопиченої дози на тривалість життя (хронічне щоденне надходження, яке часто називається довічним середньодобовим надходженням).

Розрахунок добових доз

Найважливішим параметром, що відображає дію хімічної речовини на організм, є доза, оскільки вона безпосередньо вказує на кількість забрудника, що володіє потенційним ефектом відносно органу-мішені.

Доза – це кількість забрудника, отримана організмом із збільшенням часу дії з врахуванням маси тіла.

Результатом даного етапу оцінки ризику є визначення середньої добової дози (ADD/LADD), формула розрахунку якої за інгаляційного впливу речовини з атмосферного повітря має вигляд [6]:

$$ADD = \frac{[(Ca \cdot Tout \cdot Vout) + (Ch \cdot Tin \cdot Vin) \cdot EF \cdot ED]}{DW \cdot AT \cdot 365}, \quad (2.6)$$

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

Ca – концентрація речовини в атмосферному повітрі, мг/м³, 1,0·*Ca*;

Ch – концентрація речовини у повітрі приміщення, мг/м³;

Tout – час, що проводиться поза приміщенням, год/доба, 8 год/доба;

Tin – час, що проводиться у приміщенні, год/доба, 16 год/доба;

Vout – швидкість дихання поза приміщенням, м³/год, 1,4 м³/год;

Vin – швидкість дихання у приміщенні, м³/год, 0,63 м³/год;

EF – частота впливу, днів/рік, 350 днів/рік;

ED – тривалість впливу, років, 30 років, діти – 6 років;

BW – маса тіла, кг, 70 кг, діти – 15 кг;

AT – період осереднення експозиції, років, 30 років, діти - 6 років, канцерогени – 70 років.

365 – число днів у році.

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

При оцінці канцерогенних ризиків використовують середні добові дози, усереднені з врахуванням очікуваної середньої тривалості життя людини (70 років). Такі дози позначаються як LADD. Стандартне рівняння для розрахунку LADD має наступний вигляд:

$$LADD = \frac{C \cdot CR \cdot ED \cdot EF}{BW \cdot AT \cdot 365}, \quad (2.7)$$

де $LADD$ – середня добова доза або надходження (I), мг/(кг·день);

C – концентрація речовини в забрудненому середовищі, мг/л, мг/м³, мг/см², мг/кг;

CR – швидкість надходження впливаючого середовища (питної води, повітря, продуктів харчування і так далі), л/день, м³/день, кг/день і др.;

ED – тривалість дії, років;

EF – частота дії, днів/рік;

BW – маса тіла людини, кг;

AT – період усереднювання експозиції (для канцерогенів $AT = 70$ років);

365 – число днів в році.

Для умов довічної експозиції в житловій зоні, тривалість якої включає більш одного вікового періоду життя, враховувалася дія: на дітей до 6 років, від 6 років до 18 років, на дорослих від 18 років. Для гострої дії розрахунок здійснювався за середніми параметрами людини.

В якості змінних виступає час усереднення експозиції, який залежить від виду токсичних ефектів, що оцінюються (табл. 2.9).

На останньому етапі розраховується довічна добова доза (*LADD*) з однієї або декількох хронічних добових доз (*ADDch*), як середньозважена доза для трьох періодів життя за формулою:

$$LADD = \frac{(EDb \cdot ADDchb) + (EDc \cdot ADDchc) + (EDa \cdot ADDcha)}{AT}, \quad (2.8)$$

де *LADD* – довічна середня добова доза, мг/(кг·день);

EDb – тривалість експозиції для дітей молодшого віку (0 - < 6 років) – 6 років;

EDc – тривалість експозиції для дітей старшого віку (6 - < 18 років) – 12 років;

EDa – тривалість експозиції для дорослих (18 і більше років) - 18 років;

ADDchb – хронічна середня добова доза для дітей молодшого віку, мг/(кг·день);

ADDchc – хронічна середня добова доза для дітей старшого віку, мг/(кг·день);

ADDcha – хронічна добова доза для дорослого, мг/(кг·день);

AT – час осереднення, число років.

Таблиця 2.9

Характеристика експозиції [6]

Параметр	Характеристика	Стандартне значення
<i>CR</i>	Швидкість надходження, м ³ /день	діти до 6 років – 4; діти від 6 до 18 років – 20; дорослі від 18 років – 22; середня людина – 20
<i>EF</i>	Частота дії, днів/рік	сценарій селітебний – 350
<i>ED</i>	Тривалість дії, років	діти до 6 років – 6; діти від 6 до 18 років – 12; дорослі від 18 років – 52; канцерогени – 70

<i>BW</i>	Маса тіла, кг	діти до 6 років – 15; діти від 6 до 18 років – 42; дорослі від 18 років – 70; середня людина – 60
<i>AT</i>	Період усереднювання експозиції, років	діти до 6 років – 6; діти від 6 до 18 років – 12; дорослі від 18 років – 52; канцерогени – 70

Тривалість впливу є ряд років, протягом яких триває даний спосіб впливу. У знаменнику стоїть середній час – період, на який усереднюється загальна доза або розподіляється пропорційно по блоках років.

Для канцерогенних ефектів середній час враховує тривалість життя людини, незважаючи на тривалість впливу.

Для умов експозиції в житловій зоні, тривалість якої може бути більше одного вікового періоду життя, необхідно розраховувати добову і хронічну *ADD* окремо для кожного періоду життя, тому що різним віковим періодам властиві специфічні значення величин контакту і маси тіла.

2.3.4. Аналіз невизначеностей при проведенні оцінки експозиції

При обговоренні можливих джерел невизначеностей необхідно розрізняти два основних поняття:

- **варіабельність**, яка являє собою неоднорідність або мінливість параметрів популяції рослин, тварин або людини, фізичних властивостей природного середовища тощо; будучи фундаментальною властивістю природи, варіабельність зазвичай не піддається зниженню шляхом проведення додаткових досліджень або вимірювань;

- **невизначеність**, яка представляє собою часткову відсутність уявлення або даних про певні, пов'язані, в даному випадку, з оцінкою ризику, параметри, процеси або моделі; оскільки невизначеність є властивістю, властивим самому

процесу оцінки ризику, в деяких випадках вона може бути зменшена за допомогою додаткових досліджень або вимірювань.

Можливі невизначеності поділяються на три категорії:

- обумовлені відсутністю або неповнотою інформації, необхідної для коректного визначення ризику;

- пов'язані з деякими параметрами, що використовуються для оцінки експозиції і розрахунку ризиків (невизначеність параметрів);

- зумовлені прогалинами в науковій теорії, необхідної для передбачення на основі причинних зв'язків (невизначеності моделі).

В цілому найбільший вплив на достовірність підсумкових оцінок ризику надають невизначеності, які пов'язані з оцінкою експозиції. Досить високий ступінь невизначеності може бути пов'язаний із встановленням токсикологічних параметрів в експериментальних умовах і їх екстраполяцією на оцінювані групи населення.

Джерелами невизначеностей при оцінці експозиції можуть бути:

- вихідні припущення про поточне та перспективне землекористування;

- вибір або виключення з аналізу тих чи інших шляхів впливу;

- результати моніторингу, особливо якщо вони не відображають поточний стан навколишнього середовища;

- помилки вимірювань, помилки в відборі проб, використання узагальнених або сурогатних даних;

- моделі експозиції, вихідні припущення і параметри, що вводяться в моделі, які використовуються для розрахунку концентрацій в точці впливу;

- значення фізіологічних факторів експозиції, вибрані для розрахунку величини надходження хімічних речовин;

- припущення про частоту і тривалість різних видів діяльності населення;

- обрані значення часу осереднення експозиції (наприклад, короткочасний вплив високих доз може призводити до такого ж канцерогенного ефекту, що і хронічна дія малих доз).

Поряд з аналізом невизначеностей, при оцінці експозиції необхідно проводити і аналіз варіабельності. Варіабельність впливу пов'язана з активністю індивідуумів, їх поведінкою, а також з показниками емісії забруднюючих речовин, фізико-хімічними процесами, що змінюють концентрації хімічних речовин у різних середовищах.

Виділяють три типи варіабельності при оцінці експозиції:

- варіабельність місця знаходження (просторова варіабельність);
- варіабельність у часі (тимчасова варіабельність);
- варіабельність серед індивідів (міжіндивідуальна варіабельність).