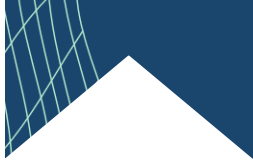


**НОКСОЛОГІЯ ТА ІНЖЕНЕРНА БЕЗПЕКА:**

**методичні вказівки  
до виконання практичних робіт**

Запоріжжя 2024



УДК 502/504(62 + 66)  
Нок 79

Рекомендовано Науково-методичною радою  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
(протокол № 8 від 12.07.2024 р.)

**Укладач**

Максимова Н.М., канд. техн. наук, доцент.

Нок 79 Ноксологія та інженерна безпека виробництва : методичні рекомендації до виконання практичних завдань / уклад. Н. М. Максимова. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 118 с.

У методичних рекомендаціях наведено тематику практичних завдань, методичні пояснення щодо порядку їх виконання, тестові завдання для самоперевірки тощо.

УДК 502/504(62 + 66)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
Практична робота № 1. Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря	8
1.1 Загальні положення	8
1.2 Коротка характеристика зв'язку між показниками здоров'я населення та станом довкілля	10
1.3 Оцінка ризику	11
1.4 Управління та інформування про ризики	17
1.5 Завдання та приклад вирішення	18
1.5.1 Приклад розрахунку канцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря бенз(а)піреном та N-нітрозодиметиламіном	18
1.5.2 Приклад оцінки ризику розвитку неканцерогенних ефектів, пов'язаних із забрудненням повітря	20
1.5.3 Приклад оцінки неканцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням повітря	20
1.5.4 Завдання № 1	23
1.5.5 Завдання № 2	24
Рекомендована література	25
Питання для самоперевірки	27
Тести для контролю	27
Практична робота № 2. Оцінка канцерогенного ризику для здоров'я населення від споживання хлорованої питної води	30
2.1 Загальні відомості	30
2.2 Характеристика хлорорганічних сполук – продуктів хлорування питної вод	30
2.3 Аналіз небезпеки і оцінки ризику	31
2.4 Приклад розрахункового визначення канцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням питної води хлорорганічними сполуками	33
2.5 Завдання з розрахункового визначення канцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням питної води хлорорганічними сполуками	35
Рекомендована література	35
Питання для самоперевірки	36
Тести для контролю	36
Практична робота № 3. Розрахунок кількості викидів забруднюючих речовин при збагаченні вугілля	38
3.1 Загальні відомості та вихідні дані до завдання	38
3.2 Розрахунок викидів забруднюючих речовин від	46

	сушильних установок і аспіраційних систем	
3.2.1	Розрахунок викидів забруднюючих речовин від сушильних установок	46
3.2.2	Розрахунок викидів забруднюючих речовин від аспіраційних систем	50
3.3	Алгоритм розрахунку викидів забруднюючих речовин неорганізованими джерелами	51
3.3.1	Розрахунок викидів забруднюючих речовин від породних відвалів	51
3.3.2	Розрахунок викидів забруднюючих речовин від складів та хвостосховищ	54
3.3.3	Розрахунок викидів забруднюючих речовин при вантажно-розвантажувальних роботах	58
3.4	Приклад розрахунку викидів забруднюючих речовин вуглезбагачувальним підприємством	59
3.4.1	Сушильна установка	59
3.4.2	Аспіраційна система	65
3.4.3	Діючий породний відвал, який не горить	66
3.4.4	Недіючий породний відвал, що горить	67
3.4.5	Склад вугільного концентрату	67
3.4.6	Мулонакопичувач	68
3.4.7	Навантажувально-розвантажувальні роботи	69
3.4.8	Розрахунок викидів забруднюючих речовин, що здуваються при транспортуванні гірської маси відкритим стрічковим конвеєром	69
3.5	Викиди забруднюючих речовин під час роботи вуглезбагачувального підприємства	70
	Рекомендована література	70
	Питання для самоперевірки	71
	Тести для контролю	71
	Практична робота № 4. Розрахунок стійкості низового укусу земляної греблі методом круглоциліндричних поверхонь	75
4.1	Теоретичні відомості	75
4.2	Розрахунок стійкості низового укусу земляної греблі методом круглоциліндричних поверхонь	83
4.3	Завдання	95
	Рекомендована література	97
	Питання для самоперевірки	98
	Тести для контролю	98
	Додаток А Приклад титульного аркушу комплекту практичних робіт, виконаних здобувачем	105
	Додаток Б Референтні концентрації речовин за хронічного інгаляційного впливу	106
	Додаток В Фактори канцерогенного потенціалу речовин	110
	Додаток Г Класифікація рівнів неканцерогенного ризику	114

Додаток Д Приклад розрахунку сумарного неканцерогенного ризику впливу сполук (HI) на критичні органи та системи організму	115
Додаток Е Приклад розрахунку канцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря формальдегідом та N-нітрозодиметиламіном	116
Додаток Ж Класифікація рівнів канцерогенного ризику	118

## ВСТУП

В методичних вказівках розглядаються низка питань, зокрема варіанти методичних підходів до оцінки ризику впливів на здоров'я населення на прикладі оцінки канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря та оцінки канцерогенного ризику для здоров'я населення від споживання хлорованої питної води. Також приділяється увага питанням техногенного впливу на атмосферне повітря на прикладі визначення кількості викидів забруднюючих речовин на різних технологічних етапах при збагаченні вугілля. Остання робота присвячена визначенню стійкості схилу методом круглоциліндричних поверхонь на прикладі розгляду низового укосу земляної однорідної греблі. Наразі існує велика кількість методів розрахунку стійкості зсувонебезпечних схилів, найпоширенішим з яких на практиці є метод круглоциліндричних поверхонь ковзання. Наприклад, даний метод рекомендовано за ДБН В.2.4-3-2010 при розрахунку стійкості природних схилів значення необхідно приймати як для споруд, що можуть прийти в непридатний для експлуатації стан у випадку руйнування схилу.

Перелічені питання розширюють професійні навички, світогляд та екологічну свідомість здобувачів вищої освіти.

Рівень сформованості знань та навичок здобувача вищої освіти з освітнього компоненту за виконання практичної роботи оцінюють за бальною шкалою, яка наведена як в семестровому графіку, так і в силабусі та робочій програмі.

Таблиця – Критерії оцінення індивідуальних завдань

Відсотки від кількості балів, %	Пояснення
90-100	ставиться здобувачу вищої освіти, який демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу, достовірний рівень розвитку умінь і навичок, уміння приймати необхідні рішення в нестандартних ситуаціях, вільне володіння науковими термінами, високу комунікативну культуру
74-89	ставиться здобувачу вищої освіти, який виявляє дещо обмежені знання навчального матеріалу, допускає окремі несуттєві помилки та неточності
60-73	ставиться здобувачу вищої освіти, який засвоїв основний навчальний матеріал, володіє необхідними умінями та навичками для вирішення стандартних завдань, проте, при цьому допускає неточності, не виявляє самостійності суджень, демонструє недоліки комунікативної культури
1-60	ставиться здобувачу вищої освіти, який не володіє необхідними знаннями, умінями, навичками, науковими термінами, демонструє низький рівень комунікативної культури, в роботі значна кількість помилок та недоліків

Як приклад оформлення пояснювальної та розрахунково-графічної частини практичних робіт слід орієнтуватись на відповідні приклади рішення, які наведені за змістом методичних вказівок. Титульний аркуш студенських робіт наведено наприкінці вступу методичних вказівок, в додатку А.

Результати неформальної або інформальної освіти можуть бути визнані в рамках оцінювання окремих практичних робіт за узгодженням з викладачем.

Результати участі у науковій роботі (статті, тези виступів, конкурсні наукові роботи тощо) можуть бути визнані в рамках оцінювання окремих практичних робіт за узгодженням з викладачем.

## Практична робота № 1

# Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря

### 1.1 Загальні положення

Методичні рекомендації "Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря", затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 18.10.2023 р. № 1811 [4], та призначені 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.

У даних методичних рекомендаціях [4] 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;

- індивідуальний ризик – оцінка ймовірності розвитку негативного ефекту у індивіда, наприклад, ризик розвитку раку у одного індивіда із 1000 осіб, які зазнавали впливу (ризик 1 на 1 000 або  $10^{-3}$ );

- канцерогенний ризик – імовірність розвитку новоутворень протягом життя людини, що обумовлена впливом потенційного канцерогена;

- 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 діючої дози/концентрації хімічної речовини до її безпечного /референтного/ рівня впливу;

– індекс небезпеки – сума коефіцієнтів небезпеки для речовин з однорідним механізмом дії або сума коефіцієнтів небезпеки для різних шляхів надходження хімічної речовини);

– одиничний ризик (UR) – верхня межа додаткового ризику протягом життя, який обумовлений впливом хімічної речовини в концентрації 1 мкг/м<sup>3</sup> (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 концентрація (RfC) – концентрація, безперервний щоденний вплив якої протягом життя на населення (включаючи чутливі групи), ймовірно, не призведе до виникнення несприятливих неракових ефектів у здоров'ї;

– ризик для здоров'я – ймовірність 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 впливу речовини протягом життя (LADD) – потенційна добова доза впливу речовини, усереднена за період життя людини (період усереднення експозиції для канцерогенів – 70 років).

– фактор канцерогенного потенціалу (SF) — фактор, що характеризує ступінь розвитку канцерогенного ризику зі збільшенням діючої 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.

Інші терміни вживаються у значенні, наведеному в Законах України «Про систему громадського здоров'я», «Про охорону атмосферного повітря», «Про забезпечення хімічної безпеки та управління хімічною продукцією» [1-3].

## **1.2 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 [4].

У той же час, шляхом проведення належним чином спланованих епідеміологічних та еколого-гігієнічних досліджень можна виявити і кількісно оцінити ризик розвитку захворювань, пов'язаних зі 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 [4]:

- оцінка ризику;
- управління ризиком;
- 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 ймовірність і медико-соціальну значимість можливих порушень здоров'я за різних сценаріїв його впливу, а ще й встановлювати першочерговість і пріоритетність заходів з управління факторами ризику на індивідуальному та популяційному рівнях [4].

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 [4].

Отже, сучасна методологія оцінки ризиків для здоров'я та управління

ними у разі впровадження її у практику роботи обласних центрів контролю та профілактики хвороб МОЗ України, установ охорони здоров'я тощо дозволяє вирішити як традиційні, так і нові задачі профілактичної медицини з урахуванням комплексу соціально-економічних та екологічних проблем.

### 1.3 Оцінка ризику

Повна, або базова, схема оцінки ризику передбачає проведення чотирьох взаємопов'язаних етапів, а саме [4]:

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

Головним завданням етапу «Ідентифікація небезпеки» 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 [4].

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.

Етап оцінки ризику «Оцінка експозиції», 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, установлення терміну дії і загальної тривалості впливу, оцінки чисельності популяції, яка знаходиться або вірогідно може знаходитись під впливом шкідливого чинника [4].

Кількісна характеристика експозиції передбачає визначення концентрації хімічних сполук, що впливають на людину, орієнтуючись на дані [4]:

- 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 і матеріали щодо стану забруднення атмосферного повітря, отримані Державною службою України з надзвичайних ситуацій та її територіальними органами [4].

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% довірчої межі. При визначенні ризиків гострих (екстремальних, аварійних) ситуацій терміном до 24 год використовуються максимальні концентрації [4].

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 їхні 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 [4].

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

Важливо орієнтуватися на переліки загальнопоширених забруднюючих речовин атмосферного повітря, показників та інгредієнтів атмосферних опадів [5, 7].

Головним завданням етапу «Характеристика небезпеки» 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 з ефективних доз (критичний ефект). Органи та системи організму людини, які зазнають негативного впливу за дії найменшої із ефективних доз, називають критичними [4].

При цьому міжнародна методологія оцінки ризику передбачає,

що [4]:

- 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: максимальна недіюча доза і мінімальна доза, що викликає пороговий ефект. Дані показники є основою для установа рівнів мінімального ризику – референтних доз (RfD) і 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 ймовірність за даного методичного підходу неможливо. У зв'язку з цим кінцевими характеристиками оцінки експозиції на основі референтних доз і концентрацій є коефіцієнти (HQ) та індекси (HI) небезпеки. Якщо референтна доза не перевищена, то ніяких регулюючих втручань не потрібно. У випадку, коли вплив речовини перевищує референтну дозу, виникає небезпека, величину якої можна оцінити лише за допомогою вивчення залежності "доза-відповідь" та спектру шкідливих ефектів [4].

Значення референтних концентрацій деяких хімічних речовин, а також критичних органів та систем, на які вони впливають у першу чергу, наведено у додатку Б [4].

Для оцінки ризику генотоксичних канцерогенів основним параметром є фактор канцерогенного потенціалу SF, що відображає ступінь наростання канцерогенного ризику на одну одиницю зі збільшенням дози впливу і має розмірність  $(\text{мг/кг} \cdot \text{доба})^{-1}$  [4].

Значення фактора канцерогенного потенціалу деяких хімічних речовин за повітряного шляху надходження наведено у додатку В [4].

Етап «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. Характеристика ризику є сполучною ланкою між оцінкою ризику для здоров'я та управлінням ризиком [4].

Оцінку ризику розвитку неканцерогенних ефектів здійснюють шляхом визначення коефіцієнтів небезпеки (HQ) – порівняння фактичного рівня впливу сполук з безпечними (референтними) [4]:

$$HQ = \frac{C}{RfC}, \quad (1.1)$$

де  $HQ$  – коефіцієнт небезпеки;

$C$  – рівень впливу речовини, мг/м<sup>3</sup>;

$RfC$  – безпечний рівень впливу (референтна концентрація), мг/м<sup>3</sup>.

Якщо розрахований коефіцієнт небезпеки речовини менший за одиницю, то можливість розвитку у людини шкідливих ефектів за щоденного надходження речовини протягом життя несуттєва і такий вплив характеризується як допустимий.

У випадку перевищення коефіцієнтом небезпеки одиниці вірогідність виникнення шкідливих ефектів зростає пропорційно збільшенню  $HQ$ .

Досліджувані речовини ранжують за величиною коефіцієнта небезпеки для визначення найбільш пріоритетних забруднювачів, що дає змогу конкретизувати напрямок профілактичних заходів.

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

Оцінку ризику розвитку неканцерогенних ефектів за комбінованого впливу хімічних речовин проводять на основі розрахунку індексу небезпеки за формулою [4]:

$$HI = \sum HQ_i, \quad (1.2)$$

де  $HQ_i$  – коефіцієнти небезпеки і тих компонентів суміші хімічних речовин, що впливають

Розрахунок індексів небезпеки, як правило, проводять з урахуванням критичних органів та систем, які у першу чергу зазнають негативного впливу досліджуваних речовин. Як свідчать результати наукових досліджень, за впливу компонентів суміші на одні і ті ж органи або системи організму найбільш ймовірним 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 експертів, такий підхід хоча і може перебільшувати небезпеку для здоров'я, однак має більшу перевагу порівняно з роздільною, незалежною оцінкою кожного із компонентів.

Класифікацію рівнів неканцерогенного ризику наведено у додатку Г [4].

Така градація рівнів неканцерогенного ризику дає змогу обґрунтувати проведення відповідних заходів з його мінімізації як для окремих сполук, так і забруднення повітряного середовища у цілому. За рекомендаціями US EPA, за високого рівня ризику необхідно проведення термінових оздоровчих та інших заходів щодо його зниження. За

насторожуючого рівня ризику необхідний постійний контроль, розробка і проведення планових оздоровчих заходів. За допустимого рівня ризику здійснюється постійний контроль за цими сполуками, передбачається планування і проведення додаткових заходів щодо його зниження. За мінімального (цільового) рівня ризику не потребується заходів з його зниження. Ці рівні підлягають періодичному контролю з метою підтримання якості даного об'єкта середовища проживання людини на сприятливому рівні.

Оцінку ризику розвитку канцерогенних ефектів проводять з урахуванням середньої добової дози сполуки, що може надходити до організму людини протягом природної тривалості життя (LADD), та фактора її канцерогенного потенціалу SF. Середня добова доза (або надходження) розраховується за формулою, що враховує концентрацію, яка впливає на людину, тривалість контакту зі сполукою, частоту дії, масу тіла та час осереднення впливу [4]:

$$LADD = \frac{C \cdot CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365}, \quad (1.3)$$

- де *LADD* – надходження (або середня добова доза), мг/(кг·доба);  
*C* – концентрація сполуки у забрудненому повітряному середовищі, мг/м<sup>3</sup>;  
*CR* – швидкість надходження повітря до організму, м<sup>3</sup>/добу (20 м<sup>3</sup>/добу);  
*EF* – частота впливу, днів на рік;  
*ED* – тривалість впливу, років (для канцерогенів 70 років);  
*BW* – маса тіла людини, кг (70 кг);  
*AT* – період усереднення експозиції, років (для канцерогенів – 70 років);  
 365 – кількість днів на рік

Величину факторів канцерогенного потенціалу сполук знаходять у базах даних інтегрованої інформаційної системи про ризики IRIS (U.S.EPA), Агентства США з охорони навколишнього середовища EPA, Міжнародного агентства з вивчення раку (на укр. мові – МАВР, на англ. мові – IARC) [4, 8, 10-12].

Розрахунок індивідуального канцерогенного ризику CR здійснюють за формулою [4]:

$$CR = LADD \cdot SF, \quad (1.4)$$

- де *LADD* – середня добова доза сполуки протягом життя, мг/(кг·доба);  
*SF* – фактор канцерогенного потенціалу сполуки, (мг/(кг·доба))<sup>-1</sup>

При застосуванні величини одиничного ризику розрахункова

формула набуває вигляду:

$$CR = LADD \cdot UR, \quad (1.5)$$

де  $LADD$  – середня концентрація речовини в атмосферному повітрі за весь період усереднення експозиції,  $\text{мг/м}^3$ ;

$SF$  – одиничний ризик,  $(\text{мг/м}^3)^{-1}$

Канцерогенний ризик за комбінованої дії декількох хімічних сполук розглядають як адитивний і розраховують за формулою

$$CR_A = \sum CR_i, \quad (1.6)$$

де  $CR_A$  – сумарний канцерогенний ризик за аерогенного шляху надходження сполук;

$CR_i$  – канцерогенний ризик  $i$ -тої канцерогенної речовини

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:

$$PCR = CR \cdot POP, \quad (1.7)$$

де  $CR$  – індивідуальний канцерогенний ризик;

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

При аналізі доцільно групувати досліджувані канцерогени з урахуванням виду та/або локалізації пухлин. У цьому випадку розрахунок сумарного канцерогенного ризику здійснюють окремо для кожної групи (наприклад, для раку легень, пухлин печінки тощо).

У додатках Д та Е [4] наведено приклади розрахунку канцерогенного та неканцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря формальдегідом та N – нітрозодиметиламіном, діоксидом азоту та аміаком відповідно.

При оцінці ризиків для здоров'я, зумовлених впливом забруднювачів атмосферного повітря, доцільно орієнтуватися на класифікацію рівнів канцерогенного ризику, рекомендовану US EPA, наведену у додатку Ж [4].

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 [4]:

- 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.

## **1.4 Управління та інформування про ризики**

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 [4].

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 тих вигод, які будуть отримані в результаті реалізації заходів.

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 центри контролю та профілактики хвороб у межах області, міст Києва та Севастополя, Автономної Республіки Крим (на рівні регіону) спільно з місцевими органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування, 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 [4].

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

## 1.5 Завдання та приклад вирішення

### 1.5.1 Приклад розрахунку канцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря бенз(а)піреном та N-нітрозодиметиламіном

#### Завдання (приклад)

Розглянемо приклад розрахунку канцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря бенз(а)піреном (а) та N-нітрозодиметиламіном (б). Слід розрахувати середню добову дозу впливу канцерогена LADD на населення м. Дніпро, де концентрація в атмосферному повітрі становить: бенз(а)пірену –  $0,95 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup> та N-нітрозодиметиламіну – 0,000064 мг/м<sup>3</sup>. Кількість населення в м. Дніпро становить 940 948 чоловік.

#### Рішення

Використовуючи стандартні дескриптори експозиції та дані щодо факторів канцерогенного потенціалу сполук, проводять розрахунок за формулою (1.3):

$$LADD = C \cdot CR \cdot EF \cdot ED / (BW \cdot AT \cdot 365)$$

Параметр	Характеристика	Стандартне значення	
LADD	Середня добова доза канцерогена, мг/(кг·доба)	-	
C	Середня концентрація в атмосферному повітрі, мг/м <sup>3</sup>	бенз(а)пірену	$0,95 \cdot 10^{-6}$ мг/м <sup>3</sup>
		N-нітрозодиметиламіну	0,000064 мг/м <sup>3</sup>
CR	Швидкість надходження сполуки до організму із забрудненим атмосферним повітрям	20,0 м <sup>3</sup>	
EF	Частота впливу, днів на рік	365 днів	
ED	Тривалість впливу, років	70 років	
BW	Середня маса тіла дорослої людини, кг	70 кг	
AT	Період осереднення експозиції, років	для канцерогенів 70 років	
365	Днів у році		
	SF для інгаляційного впливу бенз(а)пірену	$3,1 \text{ (мг/(кг \cdot доба))}^{-1}$	
	SF для інгаляційного впливу N-нітрозодиметиламіну	$49,0 \text{ (мг/(кг \cdot доба))}^{-1}$	

Примітка. Фактор канцерогенного потенціалу сполуки SF, (мг/(кг·доба))<sup>-1</sup>, обрано за дод. В [4].

а) для бенз(а)пірену:

$$\text{LADD} = 0,95 \cdot 10^{-6} \cdot 20,0 \cdot 365 \cdot 70 / (70 \cdot 70 \cdot 365) = 0,000\ 000\ 2714 = 2,714 \cdot 10^{-7} \text{ мг/(кг·доба)}$$

Величина індивідуального канцерогенного ризику впливу цієї концентрації бенз(а)пірену буде складати:

$$\text{CR} = \text{LADD} \cdot \text{SF} = 2,714 \cdot 10^{-7} \cdot 3,1 = 8,4 \cdot 10^{-7},$$

б) для N-нітрозодиметиламіну:

$$\text{LADD} = 0,000064 \cdot 20,0 \cdot 365 \cdot 70 / (70 \cdot 70 \cdot 365) = 0,000018 \text{ мг/(кг·доба)}$$

Величина індивідуального канцерогенного ризику впливу цієї концентрації N-нітрозодиметиламіну буде складати:

$$\text{CR} = \text{LADD} \cdot \text{SF} = 0,000018 \cdot 49,0 = 9,0 \cdot 10^{-4}$$

В теперішній час, у зв'язку з розвитком промисловості, зростанням процесів урбанізації створюються умови надходження в навколишнє середовище і організм людини одночасно декількох шкідливих хімічних речовин. У зв'язку з цим з'явилось таке поняття, як комбінована дія хімічних речовин. Існують три основні типи комбінованої дії хімічних речовин:

- синергізм, коли одна речовина посилює дію іншої;
- антагонізм, коли одна речовина послаблює дію іншої;
- сумація або адитивна дія, коли дія речовин в комбінації сумується.

Накопичені токсикологічними дослідженнями дані свідчать про те, що в більшості випадків промислові викиди і скиди шкідливих речовин в комбінації діють за типом сумації, тобто дія їх додається. Це важливо враховувати при оцінці якості повітряного середовища.

Канцерогенний ризик за комбінованої дії декількох хімічних сполук розглядають як адитивний і розраховують за формулою (1.6):

$$\text{CR}_A = \sum \text{CR}_i = 0,0084 \cdot 10^{-4} + 9,0 \cdot 10^{-4} = 9,0084 \cdot 10^{-4}$$

За класифікацією рівнів канцерогенного ризику (див. дод. Е) визначено середній ризик, оскільки:  $9,0 \cdot 10^{-4}$  можна віднести до діапазону  $10^{-3} - 10^{-4}$ . Середній – прийнятний для виробничих умов, але неприйнятний для населення; потребує динамічного контролю і поглибленого вивчення джерел викиду і можливих наслідків шкідливої дії для вирішення питання про заходи з його зниження.

Визначення популяційного ризику (PCR), який відображає додаткову (до фонові) кількість випадків новоутворень, які можуть виникнути протягом життя внаслідок впливу досліджуваного фактора. Враховуючи,

що кількість населення в досліджуваному місті Дніпро становить 940 948 чоловік і вважаючи, що всі мешканці міста підпадають під вплив даного фактора, розраховуємо величину популяційного ризику (PCR) за формулою (1.7):

$$PCR = CR \cdot POP = 9,0084 \cdot 10^{-4} \cdot 940\,948 = 847,64$$

де CR – індивідуальний канцерогенний ризик;

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

Висновки. Індивідуальний канцерогенний ризик впливу концентрації бенз(а)пірену  $C = 0,95 \cdot 10^{-6}$  для мешканця м. Дніпро становить  $CR = 8,4 \cdot 10^{-7}$ , а індивідуальний канцерогенний ризик впливу концентрації N-нітрозодиметиламіну  $C = 0,000064$  мг/м<sup>3</sup> становить  $CR = 9,0 \cdot 10^{-4}$ . Канцерогенний ризик за комбінованої дії бенз(а)пірену та N-нітрозодиметиламіну при адитивної дії становить  $CR_A = 9,0 \cdot 10^{-4}$ . Виявлено середній рівень ризику ( $10^{-3} - 10^{-4}$ ), тобто ризик прийнятний для виробничих умов, але неприйнятний для населення; потребує динамічного контролю і поглибленого вивчення джерел викиду і можливих наслідків шкідливої дії для вирішення питання про заходи з його зниження. Необхідне здійснення заходів з усунення або зниження ризику. Величина популяційного ризику, за умови, що всі мешканці міста Дніпро підпадають під вплив даного фактора,  $PCR = 847,64$ .

### **1.5.2 Приклад оцінки ризику розвитку неканцерогенних ефектів, пов'язаних із забрудненням повітря**

Завдання (приклад)

Необхідно виконати оцінку ризику розвитку неканцерогенних ефектів для мешканців міста Дніпро, пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря аміаком, якщо його концентрація у повітрі дорівнює 0,14 мг/м<sup>3</sup>.

Рішення

Визначення коефіцієнтів небезпеки (HQ) – порівняння фактичного рівня впливу сполук з безпечними (референтними) виконують за формулою (1.1):

$$HQ = \frac{C}{RfC} = \frac{0,14}{0,5} = 0,28$$

$HQ = 0,28 < 1$  – розрахований коефіцієнт небезпеки речовини менший за одиницю, то можливість розвитку у людини шкідливих

ефектів за щоденного надходження речовини протягом життя несуттєва і такий вплив характеризується як допустимий

де  $RfC = 0,28$  – безпечний рівень впливу (референтна концентрація аміаку),  $\text{мг/м}^3$  (див. дод. Б)

Висновки. Ризик розвитку неканцерогенних ефектів оцінено як допустимий (див. дод. Г) [4] за умови концентрації аміаку у повітрі  $0,14 \text{ мг/м}^3$ .

### 1.5.3 Приклад оцінки неканцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням повітря

Завдання (приклад)

Необхідно оцінити ризик розвитку неканцерогенних ефектів за комбінованого впливу хімічних речовин ( $HI$ ) 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 (референтні дози) наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для розрахунку

Речовина	Концентрація $C$ , $\text{мг/м}^3$	$RfC$ , $\text{мг/м}^3$	Критичні органи
А	0,099	0,04	органи дихання
Б	0,075	0,10	печінка
С	0,09	0,10	органи дихання
Д	0,004	0,007	печінка

Рішення

Оцінку ризику розвитку неканцерогенних ефектів здійснюють шляхом визначення коефіцієнтів небезпеки ( $HQ$ ) – порівняння фактичного рівня впливу сполук з безпечними (референтними) за формулою (1.1):

$$HQ = \frac{C}{RfC}$$

Коефіцієнти небезпеки для чотирьох речовин складуть:

$HQ_A = C_A / RfC_A = 0,099/0,04 = 2,475 \approx 2,48$  (органи дихання);  
 $HQ_A = 2,48 > 1$  – вірогідність виникнення шкідливих ефектів зростає пропорційно збільшенню  $HQ_A$ ;

$HQ_B = C_B / RfC_B = 0,075/0,10 = 0,75$  (печінка);  
 $HQ_B = 0,75 < 1$  – можливість розвитку у людини шкідливих ефектів за щоденного надходження речовини протягом життя несуттєва і такий

вплив характеризується як допустимий;

$HQ_C = C_C / RfC_C = 0,09/0,10 = 0,90$  (органи дихання);  
 $HQ_C = 0,90 < 1$  – можливість розвитку у людини шкідливих ефектів за щоденного надходження речовини протягом життя несуттєва і такий вплив характеризується як допустимий;

$HQ_D = C_D / RfC_D = 0,004/0,007 = 0,57$  (печінка);  
 $HQ_D = 0,57 < 1$  – можливість розвитку у людини шкідливих ефектів за щоденного надходження речовини протягом життя несуттєва і такий вплив характеризується як допустимий.

Виконані розрахунки сумарного неканцерогенного ризику ( $HI$ ) з урахуванням критичних органів та систем, які в першу чергу зазнають негативного впливу хімічних речовин, зводимо в табл. 1.2. За величинами отриманих коефіцієнтів небезпеки розвитку неканцерогенних ефектів ( $HQ$ ) для окремих сполук виконують оцінку рівнів ризику відповідно до дод. Г (див. колонка 6, табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Приклад розрахунку сумарного неканцерогенного ризику впливу сполук ( $HI$ ) на критичні органи та системи організму

Речовина	C, мг/м <sup>3</sup>	RfC, мг/м <sup>3</sup>	HQ	Критичні органи	Рівень ризику (див. дод. В) [4]
1	2	3	4	5	6
А	0,099	0,04	2,48	органи дихання	Насторожуючий
Б	0,075	0,10	0,75	печінка	Допустимий
С	0,09	0,10	0,90	органи дихання	Допустимий
Д	0,004	0,007	0,57	печінка	Допустимий
Сумарний ризик	HI загальний		4,70		Насторожуючий
	HI органи дихання		3,38		Насторожуючий
	HI печінка		1,32		Допустимий

Оцінку ризику розвитку неканцерогенних ефектів за комбінованого впливу хімічних речовин проводять на основі розрахунку індексу небезпеки за формулою (1.2):

$$HI_{\text{загальний}} = \sum HQ_i = 2,48 + 0,75 + 0,90 + 0,57 = 4,70 - \text{насторожуючий рівень ризику}$$

Оцінку ризику розвитку неканцерогенних ефектів за комбінованого впливу хімічних речовин проводять на основі розрахунку індексу небезпеки з урахуванням критичних органів та систем, які зазнають негативного впливу досліджуваних речовин за формулою (1.2):

$$HI_{\text{органи дихання}} = HQ_A + HQ_C = 2,48 + 0,90 = 3,38 - \text{насторожуючий рівень ризику};$$

$HI$  печінка =  $HQ_B + HQ_D = 0,75 + 0,57 = 1,32$  – допустимий рівень ризику

Найбільший внесок як у величину загального індексу небезпеки  $HI$  загальний, так і в ризик впливу на органи дихання, справляє речовина А (див. табл. 1.2).

Висновки. Сумарний неканцерогенний ризик від чотирьох умовних хімічних речовин становить 4,70; ця величина є насторожуючою, бо існує імовірність розвитку шкідливих ефектів, яка зростає пропорційно збільшенню коефіцієнтів небезпеки. Як критичні органи та системи, які найімовірніше постраждають від впливу такої комбінації хімічних речовин, є органи дихання. Найбільший внесок як у величину загального індексу небезпеки  $HI$  загальний, так і в ризик впливу на органи дихання, справляє речовина А

### 1.5.4 Завдання № 1

Виконайте розрахунок середньодобової дози впливу забруднюючої речовини на населення міста, концентрація якої в атмосферному повітрі наведена в табл. 1.3. Під час оцінки індивідуального канцерогенного ризику використовуйте дані розподілу часу перебування у приміщенні та поза ним з урахуванням власного способу життя. Під час розв'язання завдання № 1 виконайте розрахункову частину, проаналізуйте отримані результати та зробіть відповідні висновки (див. п. 1.5.1 та/або дод. Е).

Таблиця 1.3 – Вихідні дані для завдання №1 за варіантами\*

№ варіанту	Населений пункт	Чисельність населення, чол.	Забруднююча речовина атмосферного повітря	Концентрація, $1 \cdot 10^{-6}$ мг/м <sup>3</sup>
1	м. Вінниця	369739	Бенз(а)пірен	0.931
2	м. Київ	2952301	Бенз(а)пірен	0.912
3	м. Луцьк	215986	Бенз(а)пірен	0.894
4	м. Кривий Ріг	603904	Бенз(а)пірен	0.876
5	м. Ковель	67575	Бенз(а)пірен	0.859
6	м. Дніпро	968502	Бенз(а)пірен	0.842
7	м. Кам'янське	226845	Бенз(а)пірен	0.825
8	м. Нікополь	105160	Бенз(а)пірен	0.849
9	м. Павлоград	101430	Бенз(а)пірен	0.875
10	м. Новомосковськ	69855	Бенз(а)пірен	0.901
11	м. Житомир	261624	Бенз(а)пірен	0.928
12	м. Калуш	65088	Бенз(а)пірен	0.956
13	м. Біла Церква	207273	Бенз(а)пірен	0.985
14	м. Бориспіль	64117	Бенз(а)пірен	0.975
15	м. Миколаїв	470011	Бенз(а)пірен	0.965
16	м. Полтава	279593	Бенз(а)пірен	0.956
17	м. Кременчук	215271	Бенз(а)пірен	0.946
18	м. Горішні Плавні	50414	Бенз(а)пірен	0.936
19	м. Київ	2952301	Бенз(а)пірен	0.927
20	м. Луцьк	215986	Бенз(а)пірен	0.918
21	м. Кривий Ріг	603904	Бенз(а)пірен	0.909
22	м. Ковель	67575	Бенз(а)пірен	0.927
23	м. Дніпро	968502	Бенз(а)пірен	0.945

№ варіанту	Населений пункт	Чисельність населення, чол.	Забруднююча речовина атмосферного повітря	Концентрація, $1 \cdot 10^{-6}$ мг/м <sup>3</sup>
24	м. Кам'янське	226845	Бенз(а)пірен	0.964
25	м. Нікополь	105160	Бенз(а)пірен	0.984
26	м. Павлоград	101430	Бенз(а)пірен	0.944
27	м. Київ	2952301	Бенз(а)пірен	0.906
28	м. Новомосковськ	69855	Бенз(а)пірен	0.870
29	м. Житомир	261624	Бенз(а)пірен	0.835
30	м. Калуш	65088	Бенз(а)пірен	0.802
31	м. Біла Церква	207273	Бенз(а)пірен	0.834
32	м. Бориспіль	64117	Бенз(а)пірен	0.867
33	м. Миколаїв	470011	Бенз(а)пірен	0.902
34	м. Полтава	279593	Бенз(а)пірен	0.938
35	м. Кременчук	215271	Бенз(а)пірен	0.976
36	м. Горішні Плавні	50414	Бенз(а)пірен	0.966
37	м. Новомосковськ	69855	Бенз(а)пірен	0.956
38	м. Житомир	261624	Бенз(а)пірен	0.947
39	м. Калуш	65088	Бенз(а)пірен	0.937
40	м. Біла Церква	207273	Бенз(а)пірен	0.928
41	м. Бориспіль	64117	Бенз(а)пірен	0.919
42	м. Миколаїв	470011	Бенз(а)пірен	0.909
43	м. Полтава	279593	Бенз(а)пірен	0.900
44	м. Кременчук	215271	Бенз(а)пірен	0.891
45	м. Горішні Плавні	50414	Бенз(а)пірен	0.882
46	м. Новомосковськ	69855	Бенз(а)пірен	0.874
47	м. Житомир	261624	Бенз(а)пірен	0.865
48	м. Калуш	65088	Бенз(а)пірен	0.856
49	м. Біла Церква	207273	Бенз(а)пірен	0.848
50	м. Київ	2952301	Бенз(а)пірен	0.839
51	м. Луцьк	215986	Бенз(а)пірен	0.831
52	м. Кривий Ріг	603904	Бенз(а)пірен	0.822
53	м. Ковель	67575	Бенз(а)пірен	0.814
54	м. Дніпро	968502	Бенз(а)пірен	0.806
55	м. Кам'янське	226845	Бенз(а)пірен	0.798
56	м. Нікополь	105160	Бенз(а)пірен	0.790
57	м. Павлоград	101430	Бенз(а)пірен	0.782
58	м. Київ	2952301	Бенз(а)пірен	0.774
59	м. Луцьк	215986	Бенз(а)пірен	0.767
60	м. Кривий Ріг	603904	Бенз(а)пірен	0.759

Примітка. Використано дані по чисельності населення по деяким містам України станом на 01.01.2022 р. за даними Мінфін ([URL: https://index.minfin.com.ua/ua/reference/people/town/](https://index.minfin.com.ua/ua/reference/people/town/)) [9].

### 1.5.5 Завдання № 2

Оцініть ризик розвитку неканцерогенних ефектів, пов'язаних із забрудненням повітря. Концентрація забруднюючої речовини в атмосферному повітрі наведена в табл. 1.4. Під час розв'язання завдання № 2 виконайте розрахункову частину, проаналізуйте отримані результати та зробіть відповідні висновки (див. п. 1.5.2 та/або дод. Д).

Таблиця 1.4 – Вихідні дані для індивідуального завдання №1 за варіантами\*

№ варіанту	Населений пункт (спостереження)	Забруднююча речовина атмосферного повітря	Концентрація, мг/м <sup>3</sup>
1	Місто Херсон (дані за 2019 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,152
2	Місто Київ (дані за 2019 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,120
3	Місто Вінниця (дані за 2019 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,112
4	Місто Дніпро (дані за 2019 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,112
5	Місто Чернігів (дані за 2019 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,100
6	Місто Біла Церква (дані за 2019 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,092
7	Місто Житомир (дані за 2019 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,092
8	Місто Бровари (дані за 2019 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,080
9	Місто Запоріжжя (дані за 2019 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,080
10	Місто Луцьк (дані за 2019 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,080
11	Місто Обухів (дані за 2019 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,080
12	Місто Українка (дані за 2019 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,080
13	Місто Херсон (дані за 2020 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,14
14	Місто Київ (дані за 2020 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,12
15	Місто Вінниця (дані за 2020 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,12
16	Місто Житомир (дані за 2020 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,10
17	Місто Дніпро (дані за 2020 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,10
18	Місто Біла Церква (дані за 2020 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,092
19	Місто Обухів (дані за 2020 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,092
20	Місто Чернігів (дані за 2020 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,092
21	Місто Українка (дані за 2020 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,08
22	Місто Бровари (дані за 2020 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,08
23	Місто Кам'янське (дані за 2020 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,08
24	Місто Київ (дані за 2018 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,132
25	Місто Дніпро (дані за 2018 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,12
26	Місто Херсон (дані за 2018 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,112
27	Місто Біла Церква (дані за 2018 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,092
28	Місто Житомир (дані за 2018 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,092
29	Місто Луцьк (дані за 2018 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,092
30	Місто Чернігів (дані за 2018 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,092
31	Місто Дніпро (дані за 2017 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,132
32	Місто Київ (дані за 2017 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,120
33	Місто Луцьк (дані за 2017 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,100
34	Місто Слов'янськ (дані за 2017 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,100
35	Місто Херсон (дані за 2017 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,100
36	Місто Біла Церква (дані за 2017 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,092
37	Місто Запоріжжя (дані за 2017 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,092
38	Місто Бровари (дані за 2017 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,080
39	Місто Житомир (дані за 2017 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,080
40	Місто Українка (дані за 2017 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,080
41	Місто Чернігів (дані за 2017 р.)	Азоту діоксид (NO <sub>2</sub> )	0,080

Примітка. «\*» Враховані дані моніторингу рівня забруднення атмосферного повітря, які наведені у Національній доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2017-2020 рр. [6] та розміщені на офіційному сайті Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України в розділі Екологічного моніторингу.

### Рекомендована література

1. Про систему громадського здоров'я : Закон України від 6.09.2022 р. № 2573-IX. Дата оновлення: 11.02.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2573-20#Text> (дата звернення:

30.05.2024).

2. Про охорону атмосферного повітря : Закон України від 16.10. 1992 р. № 2707-XII. Дата оновлення: 01.10.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text> (дата звернення: 30.05.2024).

3. Про забезпечення хімічної безпеки та управління хімічною продукцією : Закон України від 1.12.2022 р. № 2804-IX. Дата оновлення: 01.12.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2804-20#Text> (дата звернення: 30.05.2024).

4. Методичні рекомендації «Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря» : затв. наказом Міністерства охорони здоров'я України від 18.10.2023 р. № 1811. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1811282-23#Text> (дата звернення: 30.05.2024).

5. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 14.01.2020 № 52 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#top> (дата звернення: 30.05.2024).

6. Національні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoring/natsionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-pryrodnogo-seredovishha-v-ukrayini/> (дата звернення: 30.05.2024).

7. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря : Постанова Кабінету Міністрів України від 14.08.2019 р. №827. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text> (дата звернення: 30.05.2024).

8. До питання перегляду нормативної бази хімічних канцерогенів у повітряному середовищі за критерієм ризику / І. О. Черниченко та ін. *Environment & Health*. 2022. № 2 (103). С. 42-48. DOI: <https://doi.org/10.32402/dovkil2022.02.042> (дата звернення: 30.05.2024).

9. Чисельність населення по великих містах України на 01.01.2022. *Мінфін*. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/reference/people/town/> (дата звернення: 30.05.2024).

10. International Agency for Research on Cancer=Міжнародне агентство з вивчення раку IARC. *World Health Organization*. URL: <https://www.iarc.who.int/> (дата звернення: 30.05.2024).

11. IRIS Assessments. *United States Environmental Protection Agency*. URL: [https://iris.epa.gov/AtoZ/?list\\_type=erd](https://iris.epa.gov/AtoZ/?list_type=erd) (дата звернення: 30.05.2024).

12. U.S. Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/> (дата звернення: 30.05.2024).

## Питання для самоперевірки

- 1 Поясніть зміст поняття «методологія оцінки ризику».
- 2 З яких етапів складається базова схема оцінки ризику?
- 3 Які дані враховують під час визначення концентрації хімічних сполук, що впливають на людину?
- 4 За якими критеріями здійснюється вибір пріоритетних речовин антропогенного походження?
- 5 Як прийнято називати органи та системи організму людини, які зазнають негативного впливу за дії найменшої із ефективних доз?

## Тести для контролю

Одна вірна відповідь на тестове завдання.

- 1) Як називають ймовірність розвитку негативних наслідків для здоров'я у окремих індивідів або групи осіб, які зазнали певного впливу хімічної речовини (відповідно до Методичних рекомендацій "Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря", затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 18.10.2023 р. № 1811)?
  - a) фактор канцерогенного потенціалу
  - b) кумулятивний ризик
  - c) індекс небезпеки
  - d) ризик для здоров'я
- 2) З яких елементів складається методологія оцінки канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря?
  - a) невизначеність, маршрут впливу, фактор канцерогенного потенціалу
  - b) ідентифікація небезпеки, оцінка експозиції, характеристика небезпеки, характеристика ризику
  - c) оцінка ризику, управління ризиком, інформування про ризик
  - d) ідентифікація небезпеки, оцінка експозиції, характеристика небезпеки
- 3) З яких етапів складається базова схема оцінки канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря?
  - a) невизначеність, маршрут впливу, фактор канцерогенного потенціалу
  - b) оцінка ризику, управління ризиком, інформування про ризик
  - c) ідентифікація небезпеки, оцінка експозиції, характеристика небезпеки, характеристика ризику
  - d) ідентифікація небезпеки, оцінка експозиції, характеристика

## небезпеки

4) На якому етапі оцінки ризику, у процесі якого встановлюється кількісний рівень надходження речовини до організму людини певним шляхом?

- a) оцінка ризику
- b) оцінка експозиції
- c) управління ризиком
- d) ідентифікація небезпеки

5) Як прийнято називати той шкідливий ефект, який виникає за впливу найменшої з ефективних доз, у методології оцінки канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря?

- a) канцерогенні речовини негенотоксичної дії
- b) критичний ефект
- c) неканцерогенні речовини
- d) референтні дози

6) Як визначають характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів під час оцінки канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря?

a) здійснюють шляхом порівняння гранично допустимих концентрацій з безпечними (референтними) рівнями впливу та визначенням коефіцієнта небезпеки

b) здійснюють шляхом порівняння максимально недіючих рівнів з безпечними (референтними) рівнями впливу та визначенням коефіцієнта небезпеки

c) здійснюють шляхом якісного аналізу залежності «доза-відповідь»

d) здійснюють шляхом порівняння фактичних рівнів експозиції з безпечними (референтними) рівнями впливу та визначенням коефіцієнта небезпеки

7) Оберіть характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів, пов'язаних із забрудненням повітря, за умови, що коефіцієнт небезпеки  $HQ > 1$ ?

a) ризик виникнення шкідливих ефектів розглядають як зневажливо малий

b) гранична величина, що не потребує термінових заходів, однак не може розглядатися як досить прийнятна

c) мінімальний (De Minimis) – бажана (цільова) величина ризику при проведенні оздоровчих і природоохоронних заходів

d) імовірність розвитку шкідливих ефектів зростає пропорційно

збільшенню HQ

8) Як називають процес розповсюдження результатів визначення ступеня ризику для здоров'я людини і рішень щодо його контролю?

- a) управління ризиком
- b) оцінка експозиції
- c) характеристика небезпеки
- d) інформування про ризик

Практична робота № 2  
**Оцінка канцерогенного ризику для здоров'я населення від  
споживання хлорованої питної води**

## **2.1 Загальні відомості**

Затверджені методичні вказівки "Оцінка канцерогенного ризику для здоров'я населення від споживання хлорованої питної води" наказом Міністерство охорони здоров'я України від 21.10.2005 № 545 [1].

Методичні вказівки призначені для установ та закладів державної санітарно-епідеміологічної служби, що здійснюють оцінку рівня забруднення питної води хлорорганічними сполуками, які утворюються у процесі хлорування, а також можуть бути використані підприємствами, установами, організаціями та закладами, що вирішують питання розробки та впровадження нових технологій водопідготовки з метою перевірки дотримання вимог Державних санітарних правил і норм "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10) [2].

Терміни та визначення, які вживаються у даних методичних вказівках [1]:

- ризик – імовірність того чи іншого несприятливого результату (ефекту) під впливом тих чи інших чинників для здоров'я окремої особи, певної частини населення або населення у цілому;
- канцерогенний ризик – очікувана частота випадків онкологічних хвороб, зумовлених дією певної дози канцерогенного чинника;
- індивідуальний канцерогенний ризик – імовірність появи у окремої людини захворювання на рак внаслідок дії факторів ризику за певний проміжок часу або протягом усього життя;
- популяційний канцерогенний ризик характеризує загальне число очікуваних онкозахворювань (додаткових до фонових) у конкретній популяції (наприклад, у населенні міста, району тощо).
- оцінка ризику – наукове визначення генезису і масштабів ризику у конкретній ситуації;
- управління ризиком – аналіз ситуації та розробка рішень, спрямованих на мінімізацію ризику.

## **2.2 Характеристика хлорорганічних сполук – продуктів хлорування питної вод**

Забруднення питної води хлорорганічними сполуками (далі - ХОС) відбувається за рахунок утворення їх у процесі хлорування вихідної води. У питній воді міст багатьох країн світу виявляється близько 300 ХОС - аліфатичних, зокрема тригалометанів, ароматичних, сумарна кількість яких може варіювати від 0,1 до 1000 мкг/дм<sup>3</sup>. З усіх представників ХОС найбільш численну групу складають хлорвмісні аліфатичні сполуки,

індикаторним показником яких є хлороформ - питома вага його сягає 75% загального вмісту речовин цього класу [1].

Більшості ХОС притаманна токсичність та виражені кумулятивні властивості, для 20 з них існують різного ступеня докази канцерогенної активності. Найбільш небезпечними серед них є хлороформ, чотирихлористий вуглець, трихлоретилен, тетрахлоретан, тетрахлоретилен (перхлоретилен), дихлорметан, 1,2-дихлоретан тощо. Деякі з цих сполук мають мутагенні властивості (тетрахлоретан, трихлоретилен, дибромхлорметан, тетрахлоретилен, 1,2-дихлоретан).

Епідеміологічні спостереження закордонних дослідників [1, 3] свідчать про наявність прямого зв'язку між рівнем захворюваності на рак нирок, сечового міхура, кишківника та інших локалізацій з тривалим вживанням хлорованої питної води, яка містить ХОС і, перш за все, хлороформ.

За результатами моніторингових досліджень, в Україні вміст хлороформу у питній воді водопровідної мережі міст Дніпровського басейну (зокрема Києва, Дніпро, Запоріжжя, Нікополя) складає 0,03-0,2 мг/дм<sup>3</sup>, а в окремі періоди (весняний паводок, період цвітіння водойм тощо) значно підвищується [1].

Наявність ХОС у питній воді з огляду на існуючий закордонний досвід та матеріали вітчизняних експериментальних і натурних спостережень варто розглядати як один із дійових чинників ризику підвищення онкологічної захворюваності населення.

З огляду на вищезазначене, первинна профілактика раку потребує при впровадженні Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10) більш широко провадити дослідження якості питної води з метою визначення умов утворення ХОС та їх реального рівня у питній воді в залежності від вмісту органічних речовин у вихідній воді, температури води у водоймах, сезонних особливостей режиму хлорування тощо.

У першу чергу необхідно контролювати вміст хлороформу як одного із найбільш небезпечних і найбільш часто ідентифікованих сполук із ряду тригалометанів. Проте, для визначення канцерогенного ризику необхідно враховувати і інші ХОС, для яких визначено потенціали ризику, хоча може і не бути обґрунтованих гігієнічних стандартів.

## **2.3 Аналіз безпеки і оцінки ризику**

Аналіз ризику для здоров'я людини, пов'язаний із забрудненням навколишнього середовища, передбачає такі умови [1]:

- 1) існування джерела ризику (шкідливої речовини чи суміші сполук);
  - 2) присутність даного джерела ризику у певній, небезпечній для здоров'я людини, дозі або концентрації;
  - 3) реальність впливу означеної дози шкідливого чинника на людину;
- Із урахуванням зазначеного, оцінка ризику включає 4 етапи:

1. Ідентифікація небезпеки - врахування усіх хімічних речовин, що забруднюють навколишнє середовище, визначення шкідливого характеру їх дії на людей або екосистеми.

2. Оцінка експозиції - оцінка того, якими шляхами і через які об'єкти середовища, на якому кількісному рівні і за якої тривалості впливу має місце реальна чи очікувана експозиція; це також оцінка отриманих доз та чисельності населення, що підлягає впливу такої експозиції.

Оцінка експозиції базується, по-перше, на фактичних даних моніторингу забруднення різних компонентів довкілля, по-друге - на математичному моделюванні поведінки забруднювачів у різних об'єктах і накопичення їх у біосередовищах людини [1].

Прикладом такого моделювання є розрахунок середньодобової дози шкідливої речовини (СДД) (мг/кг або мкг/кг), яка може надходити до організму з питною водою [1]:

$$СДД = \frac{[C_{cp} \cdot ОП]}{[MT]} \quad (2.1)$$

де  $C_{cp}$  – середня арифметична концентрація токсичної речовини у відповідному компоненті середовища (мг/дм<sup>3</sup> або мкг/дм<sup>3</sup>);  
 $ОП$  – об'єм питної води, що споживається за добу (3 дм<sup>3</sup>);  
 $MT$  – вага тіла (70 кг)

Оцінка залежності "доза-ефект" - пошук кількісних закономірностей, що пов'язують дозу речовини з виникненням шкідливих для здоров'я ефектів. Аналіз провадиться окремо для канцерогенних та неканцерогенних речовин [1].

Як правило, реакція організму на вплив шкідливого чинника визначається експериментально на рівні досить високих, явно діючих доз, а оцінка реального навантаження здійснюється методом екстраполяції. Зважаючи на обмеженість існуючих на сьогодні знань щодо механізмів процесів, що протікають в організмі, а також складність математично-статистичного аналізу, який застосовується для описання біологічних (канцерогенних) ефектів, очевидно, що отримати точний і в той же час достатньо простий математичний вираз, який пов'язував би величину ефекту з рівнем та тривалістю дії канцерогенної речовини (залежність "доза-час-ефект"), можна лише у рамках певних обмежень - як за механізмом, так і за умов експерименту [1].

При відсутності даних із експериментального визначення канцерогенних ризиків останні рекомендується розраховувати за допомогою офіційних даних, розроблених фахівцями US EPA [3], в яких наводяться уніфіковані характеристики потенціалів канцерогенних або неканцерогенних ризиків окремих сполук [1].

Зважаючи на викладене, для розрахунку ризику застосовується

лінійна залежність:

$$\text{Ризик} = SFo \cdot \text{СДД} \quad (2.2)$$

де  $SFo$  – величина потенціалу канцерогенного ризику за перорального надходження тієї чи іншої канцерогенної сполуки (кг/мг-доба або кг/мкг-доба)<sup>-1</sup>

Характеристика ризику - аналіз всіх отриманих даних, розрахунків ризиків для популяції і її окремих підгруп, порівняння ризиків з допустимими (прийнятними) рівнями, порівняльна оцінка і ранжування різних ризиків за ступенем їх статистичної, медико-біологічної і соціальної значущості. Мета даного етапу – встановлення медичних пріоритетів і тих ризиків, які повинні бути попереджені або знижені до припустимого для даного суспільства рівня [1].

При необхідності визначення ризику за рахунок дії комбінації речовин (наприклад, хлороформ, трихлоретилен, чотири-хлористий вуглець, дибромхлор-метан), загальний ризик буде дорівнювати сумі ризиків окремих сполук [1]:

$$\text{Ризик}^{\text{сума } n} = \sum_n^i \text{Ризик} \quad (2.3)$$

Запропоновані підходи дозволяють визначати не тільки ступінь небезпеки існуючого стану забруднення питної води для здоров'я населення, а й оцінювати ефективність заходів щодо зменшення рівня вмісту шкідливих речовин у воді за показниками кількості попереджених захворювань на злоякісні новоутворення у даному регіоні (місті, районі, області).

Аналогічно можна визначити канцерогенний ризик, пов'язаний із забрудненням питної води іншими речовинами, зокрема нітратами [4], металами [5].

## **2.4 Приклад розрахункового визначення канцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням питної води хлорорганічними сполуками**

Наведений приклад відповідає додатку 2 до методичних вказівок "Оцінка канцерогенного ризику для здоров'я населення від споживання хлорованої питної води" [1].

Для практичного використання системи оцінки ризику використовують, як правило, лінійну модель (формули (2.1), (2.2)) [1].

Рівень ХОС, зокрема хлороформу, доля якого складає 70-90% від їх загальної кількості, у питній воді залежить від багатьох факторів, провідним з яких є кількість хлору, що вводиться в процесі водопідготовки

для очищення та знезараження. Похідними для утворення хлороформу та інших ХОС є органічні сполуки природного (гумінові та фульвокислоти) та техногенного походження (ароматичні й аліфатичні вуглеводні, дифеніли, нафталін, пестициди тощо), що містяться у необробленій воді. Різний вміст похідних екзогенного синтезу ХОС обумовлює різний рівень забруднення питної води хлороформом [1].

Для прикладу, використовуючи величину канцерогенного потенціалу (табл. 2.1), розрахуємо ризик дії хлороформу, який міститься у питній воді у концентрації 0,3 мг/л, з використанням наведеної вище методики УА ЕРА [1].

Таблиця 2.1 – Стандартні критерії розрахунку канцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням води хлороорганічними сполуками [1]

Величина потенціалу ризику	Хімічні сполуки			
	хлороформ	трихлоретилен	чотири-хлористий вуглець	дибромхлорметан
Канцерогенний потенціал перорального ризику, (мг/кг-доба) <sup>-1</sup>	0,031	0,0153	0,15	0,094

В основу розрахунку покладаються такі вимоги [1]:

- ризик визначається з огляду на щоденне споживання води з даною концентрацією хлороформу протягом всього життя людини;
- існують дані щодо канцерогенного потенціалу сполуки;
- середньодобове споживання води становить 3 дм<sup>3</sup>;
- середня вага людини – 70 кг;
- розрахований ризик є кумулятивним за 70 років (середня тривалість життя).

Таким чином, середньодобова доза (СДД) хлороформу, що надходить в організм з питною водою, складає за формулою (2.1) [1]:

$$СДД = \frac{(3 \text{ дм}^3 \cdot 0,3 \frac{\text{мг}}{\text{дм}^3})}{70 \text{ кг}} = 0,0128 \frac{\text{мг}}{\text{кг}}$$

Тоді ризик визначаємо за формулою (2.2):

$$\text{Ризик} = SFo \cdot СДД = 0,031 \cdot 0,0128 = 0,0003968 \approx 397 \cdot 10^{-6}$$

**Висновок.** За вживання протягом життя питної води із вмістом хлороформу 0,3 мг/дм<sup>3</sup> можна очікувати розвиток 397 додаткових випадків захворювання на рак у когорті населення чисельністю 1 млн. (397 · 10<sup>-6</sup>).

Таким же чином можна розрахувати канцерогенний ризик дії інших

сполук.

## 2.5 Завдання з розрахункового визначення канцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням питної води хлорорганічними сполуками

Визначте канцерогенний ризик дії хлороформу, який міститься у питній воді у концентрації  $C$  мг/л (табл. 2.2), використовуючи величину канцерогенного потенціалу  $0,031$  (мг/кг-доба)<sup>-1</sup> (див. табл. 2.1) [1].

В основу розрахунку покладаються такі вимоги:

- ризик визначається з огляду на щоденне споживання води з даною концентрацією хлороформу протягом всього життя людини;
- існують дані щодо канцерогенного потенціалу сполуки;
- середньодобове споживання води становить  $3 \text{ дм}^3$ ;
- середня вага людини –  $70 \text{ кг}$ ;
- розрахований ризик є кумулятивним за  $70$  років (середня тривалість життя).

Таблиця 2.2 – Вихідні дані за варіантами щодо вмісту хлороформу у питній воді

№ варіанту	Концентрація $C$ , мг/л
1	0,28
2	0,29
3	0,27
4	0,25
5	0,24
6	0,22
7	0,20
8	0,21
9	0,35
10	0,36
11	0,37
12	0,38
13	0,39
14	0,41
15	0,40

№ варіанту	Концентрація $C$ , мг/л
16	0,31
17	0,23
18	0,32
19	0,33
20	0,34
21	0,42
22	0,43
23	0,44
24	0,45
25	0,46
26	0,47
27	0,48
28	0,49
29	0,50
30	0,15

### Рекомендована література

1. Методичні вказівки "Оцінка канцерогенного ризику для здоров'я населення від споживання хлорованої питної води" : затв. наказом Міністерство охорони здоров'я України від 21.10.2005 р. № 545. *Нормативно-директивні документи МОЗ України*. URL: <https://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=4448> (дата звернення: 30.05.2024).

2. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 р. № 400.

Дата оновлення: 22.03.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення: 20.06.2024).

3. Framework for Cumulative Risk Assessment. *United States Environmental Protection Agency*. URL: <https://www.epa.gov/risk/framework-cumulative-risk-assessment> (дата звернення: 30.05.2024).

4. Evaluation of carcinogenic risks related to nitrate exposure in drinking water in Iran / M. Darvishmotevalli et. al. *MethodsX*. 2019. Vol. 6. P. 1716-1727. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.07.008> (дата звернення: 30.05.2024).

5. Assessing the carcinogenic and non-carcinogenic health risks of metals in the drinking water of Isfahan, Iran / M. Moradnia et. al. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14(1). № 5029. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55615-3> (дата звернення: 30.05.2024).

### Питання для самоперевірки

1. З якою метою виконують характеристику ризику?
2. На підставі яких методичних вказівок визначається канцерогенний ризик для здоров'я населення від споживання хлорованої питної води?
3. На відповідність до вимог якого стандарту перевіряється якість питної води?

### Тести для контролю

Одна вірна відповідь на тестове завдання.

1) Чому дорівнює величина ризику =  $S_{Fo} \cdot C_{ДД}$ , якщо вважається, що за вживання протягом життя питної води із певним вмістом хлороформу можна очікувати розвиток 397 додаткових випадків захворювання на рак у когорті населення чисельністю 1 млн.?

- a) 0,0397
- b) 0,00397
- c) 0,0000397
- d) 0,000397

2) Чому дорівнює величина ризику =  $S_{Fo} \cdot C_{ДД}$ , якщо вважається, що за вживання протягом життя питної води із певним вмістом хлороформу можна очікувати розвиток 1100 додаткових випадків захворювання на рак у когорті населення чисельністю 1 млн.?

- a) 0,11
- b) 0,011
- c) 0,00011
- d) 0,0011

3) Чому дорівнює величина ризику =  $S_{Fo} \cdot C_{ДД}$ , якщо вважається,

що за вживання протягом життя питної води із певним вмістом хлороформу можна очікувати розвиток 25 додаткових випадків захворювання на рак у когорті населення чисельністю 1 млн.?

- a) 0,0025
- b) 0,00025
- c) 0,0000025
- d) 0,000025

4) Визначте канцерогенний ризик дії хлороформу, якщо середньодобова доза (СДД) хлороформу, що надходить в організм з питною водою, складає 0,0128 мг/кг, а канцерогенний потенціал –  $SFo = 0,031 \text{ (мг/кг-доба)}^{-1}$ ?

- a) 0,0397
- b) 0,00397
- c) 0,0000397
- d) 0,000397

5) Визначте канцерогенний ризик дії хлороформу, якщо середньодобова доза (СДД) хлороформу, що надходить в організм з питною водою, складає 0,0100 мг/кг, а канцерогенний потенціал –  $SFo = 0,031 \text{ (мг/кг-доба)}^{-1}$ ?

- a) 0,0031
- b) 0,00031
- c) 0,0000031
- d) 0,00031

6) Визначте канцерогенний ризик дії хлороформу, якщо середньодобова доза (СДД) хлороформу, що надходить в організм з питною водою, складає 0,0110 мг/кг, а канцерогенний потенціал –  $SFo = 0,031 \text{ (мг/кг-доба)}^{-1}$ ?

- a) 0,0341
- b) 0,00341
- c) 0,0000341
- d) 0,000341

Практична робота № 3  
**Розрахунок кількості викидів забруднюючих речовин при  
збагаченні вугілля**

### **3.1 Загальні відомості та вихідні дані до завдання**

Розрахунок кількості шкідливих викидів при збагаченні рядового вугілля на збагачувальних фабриках здійснюється відповідно до галузевої методики розрахунку кількості відхідних, уловлених і шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу підприємствами з видобутку та переробки вугілля.

В даній роботі розглянуті рекомендації [1-2].

До організованих джерел забруднень повітряного басейну при збагаченні вугілля належать: котельні; сушильні відділення; аспіраційні системи.

До неорганізованих джерел забруднень відносяться: порідні відвали; відкриті склади рядового вугілля та концентрату; навантажувально-розвантажувальні роботи; мулонакопичувачі. Існують різні розрахункові методичні підходи щодо розрахункового визначення кількості викидів забруднюючих речовин від неорганізованих стаціонарних джерел викидів [3].

Основними шкідливими речовинами у викидах перерахованих джерел є тверді частинки, діоксид сірки, оксид вуглецю, оксиди азоту (у перерахунку на діоксид азоту), сірководень (для породних відвалів), оксиди ванадію (при спалюванні в котлоагрегатах мазуту).

Вихідною інформацією для розрахунку служать дані щодо роботи вуглезбагачувального підприємства із зазначенням обсягів переробки рядового вугілля та часу роботи; параметри котельних установок з витратою вугілля, що спалюється, і коефіцієнт корисної дії (ККД) пиловловлення, аспіраційних установок з продуктивністю і ККД пиловловлення, сушильних установок з витратою просушеного вугілля, що спалюється в топках, і ККД пиловловлення; показники площі поверхні породних відвалів із зазначенням часу припинення подачі породи та наявності вогнищ займання; відкритих складів вугілля із займаною площею, вологістю продуктів та швидкістю вітру; мулонакопичувачів із займаною площею та відсотком пляжної зони; вантажно-транспортних робіт із зазначенням механізмів, вологості продуктів та висоти їх скидання, а також швидкості вітру.

Вихідні дані щодо джерел викидів для умовної вуглезбагачувальної фабрики за варіантами наведені в табл. 3.1-3.3 [1-2].

Виробниче об'єднання за табл. 3.7 кожний обирає самостійно. У прикладі наведені розрахунки по ДП «ДОНЕЦЬКВУГЛЕЗБАГАЧЕННЯ».

Таблиця 3.1 – Вихідні дані щодо варіантів при переробці вугілля марки «Г» [1-2]

№ варіанту	Загальні дані					
	Коефіцієнт шламоутворення вугілля $K_{ш}$ , ч.од.	Швидкість вітру $V_v$ , м/с	Кількість днів снігового покриву $T_c$ , дні	Максимальна висота пересипання $h_{пер.}$ , м	Річний об'єм переробки $Q_{р.у.}$ , тис. т/рік	Час роботи фабрики $T_{ф.}$ , год./рік
1	2	3	4	5	6	7
0	0,10	6,0	180	1,5	3500	6000
1	0,09	5,0	150	1,6	3400	6500
2	0,09	4,0	120	1,7	3400	7000
3	0,08	5,0	140	1,6	3200	6100
4	0,07	3,0	130	1,4	3100	6200
5	0,06	3,5	150	1,3	3000	6300
6	0,05	4,5	160	1,5	2900	6400
7	0,06	5,5	170	1,4	2800	6500
8	0,07	6,0	180	1,5	2700	6600
9	0,08	7,0	175	1,3	2600	6700
10	0,09	6,5	165	1,6	2500	6800
11	0,10	5,4	155	1,4	2600	6900
12	0,11	3,2	150	1,7	2700	7000
13	0,09	3,7	140	1,6	2800	7000
14	0,08	4,1	145	1,5	2900	6900
15	0,07	4,2	135	1,3	3000	6800
16	0,06	5,3	130	1,4	3100	6700
17	0,05	5,2	140	1,5	3200	6600
18	0,10	5,1	170	1,6	3300	6500
19	0,11	5,0	180	1,7	3400	6400
20	0,09	2,7	165	1,7	5500	6300
21	0,08	2,9	170	1,6	3600	6200
22	0,07	3,1	150	1,5	3500	6100
23	0,06	3,3	155	1,4	3400	6000
24	0,05	3,7	145	1,3	3300	6200
25	0,06	3,9	140	1,3	3200	6400
26	0,07	4,1	180	1,4	3100	6600
27	0,08	4,3	175	1,7	3000	6800
28	0,09	4,6	135	1,8	2900	7000
29	0,10	4,8	185	1,9	2800	7100
30	0,11	5,2	190	2,0	2500	6100

Продовження табл. 3.1

№	Діючий породний відвал				
	Кількість породи П, $m^3/рік$	Вологість породи $W_n$ , %	Площа поверхні відвалу, яка пилить $S_0$ , $m^2$	Коефіцієнт корисної дії ККД пилопригнічення $\eta_0^1$ , ч.од.	Тип обладнання, формування відвалу
1	8	9	10	11	12
0	162400	11,5	130000	0	Бульдозер
1	170000	11,0	140000	0	Бульдозер
2	180000	10,0	140000	0,2	Автосамоскид
3	140000	9,8	150000	0,3	Автосамоскид
4	190000	9,5	160000	0,4	Автосамоскид
5	200000	9,0	170000	0,2	Автосамоскид
6	210000	8,5	180000	0,1	Автосамоскид
7	220000	12,3	190000	0,3	Бульдозер
8	230000	13,4	200000	0	Бульдозер
9	240000	11,7	220000	0	Бульдозер
10	250000	15,4	220000	0	Автосамоскид
11	260000	9,9	230000	0,1	Автосамоскид
12	270000	9,8	240000	0,2	Автосамоскид

№	Діючий породний відвал				
	Кількість породи П, м <sup>3</sup> /рік	Вологість породи W <sub>п</sub> , %	Площа поверхні відвалу, яка пилить S <sub>0</sub> , м <sup>2</sup>	Коефіцієнт корисної дії ККД пилопригнічення $\eta_0^1$ , ч.од.	Тип обладнання, формування відвалу
1	8	9	10	11	12
13	280000	10,3	250000	0,3	Автосамоскид
14	290000	11,4	260000	0,4	Автосамоскид
15	300000	14,3	270000	0,4	Бульдозер
16	310000	15,3	280000	0,3	Бульдозер
17	320000	13,9	290000	0,2	Бульдозер
18	330000	9,7	300000	0,1	Автосамоскид
19	340000	13,2	310000	0	Автосамоскид
20	350000	12,4	320000	0	Автосамоскид
21	360000	12,7	330000	0,1	Автосамоскид
22	370000	13,6	340000	0,2	Автосамоскид
23	380000	13,9	350000	0,3	Бульдозер
24	390000	12,1	360000	0,4	Бульдозер
25	400000	11,7	370000	0,3	Бульдозер
26	410000	11,9	380000	0,2	Автосамоскид
27	420000	10,9	390000	0,1	Автосамоскид
28	430000	10,9	400000	0	Автосамоскид
29	440000	4,8	130000	0	Автосамоскид
30	450000	13,1	180000	0,1	Автосамоскид

Продовження табл. 3.1

№варіанту	Не діючий відвал, який горить				Відкритий стрічковий конвеєр			
	Площа поверхні відвалу, яка пилить S	ККД пилопригнічення $\eta_0$ , ч.од.	ККД заходів зі зниження очагів горіння $\eta_{ог}$ , ч.од.	Кількість повних років, що минули після зупинення експлуатації відвалу T <sub>0</sub> , років	Довжина стрічкового конвеєру L <sub>ск</sub> , м	Ширина стрічки V <sub>ск</sub> , м	Час роботи T <sub>ск</sub> , год./рік	ККД пилопригнічення $\eta_{ск}^1$ , ч.од.
1	13	14	15	16	17	18	19	20
0	130000	0	0	1	1000	1,4	6000	0,8
1	140000	0	0	2	900	1,6	5000	0,85
2	140000	0,05	0	2	600	1,4	5500	0,85
3	150000	0,08	0,15	3	700	1,6	6200	0,87
4	160000	0,10	0,20	4	800	1,4	6300	0,89
5	170000	0,15	0,25	5	900	1,6	6400	0,90
6	180000	0,13	0,15	5	1000	1,6	6500	0,91
7	190000	0,13	0,1	4	1100	1,4	6700	0,92
8	200000	0,12	0,30	3	1100	1,4	5600	0,93
9	130000	0,11	0	2	1000	1,6	5700	0,94
10	150000	0,10	0	1	600	1,4	5800	0,95
11	170000	0,09	0	1	700	1,6	5900	0,94
12	190000	0,08	0,25	1	800	1,6	6000	0,93
13	210000	0,05	0,30	2	900	1,4	5000	0,92
14	220000	0	0,35	2	600	1,6	5100	0,91
15	230000	0	0,15	3	700	1,4	5200	0,90
16	240000	0	0,10	3	800	1,4	5300	0,89
17	250000	0,15	0,05	4	600	1,2	5400	0,88
18	260000	0,14	0	4	600	1,4	5500	0,86
19	270000	0,13	0	5	600	1,6	5600	0,85
20	280000	0,12	0,15	5	800	1,2	5700	0,84
21	290000	0,11	0,25	6	800	1,4	5800	0,83
22	300000	0,10	0,35	6	800	1,6	5900	0,82
23	290000	0	0,30	2	900	1,4	6000	0,81
24	270000	0	0,20	2	900	1,6	6100	0,80

№ варіанту	Не діючий відвал, який горить				Відкритий стрічковий конвеєр			
	Площа поверхні відвалу, яка пилить S	ККД пилопригнічення $\eta_0$ , ч.од.	ККД заходів зі зниження очагів горіння $\eta_{ог}$ , ч.од.	Кількість повних років, що минули після зупинення експлуатації відвалу $T_0$ , років	Довжина стрічкового конвеєру $L_{ск}$ , м	Ширина стрічки $V_{ск}$ , м	Час роботи $T_{ск}$ , год./рік	ККД пилопригнічення $\eta_{пск}$ , ч.од.
1	13	14	15	16	17	18	19	20
25	31000	0,10	0,10	3	1000	1,4	6200	0,78
26	320000	0,11	0,20	3	1000	1,6	6300	0,76
27	330000	0,12	0,30	1	1100	1,4	6400	0,74
28	340000	0,13	0	0	1100	1,6	6500	0,72
29	350000	0,14	0	1	500	1,2	6600	0,70
30	360000	0,15	0	0	600	1,2	6700	0,65

Продовження табл. 3.1

№	Склад вугілля						
	Вологість $W_p$ , %	Навантаження $G$ , т/год.	Крупність, мм	Поверхня пиління в плані F, м <sup>2</sup>	Фактична поверхня $F_{факт.}$ , м <sup>2</sup>	Відкритість складських сторін	Коефіцієнт пилопригнічення
1	21	22	23	24	25	26	27
0	6,0	7,0	10-50	1000	1400	4	0
1	6,5	7,5	10-50	1100	1500	4	0
2	6,5	10,0	0-1	1100	1450	3	0
3	7,0	8,5	1-3	1200	1470	2	0
4	7,2	7,6	3-5	1300	1520	1	0
5	8,0	8,4	5-10	1400	1580	0	0
6	8,5	9,2	10-50	1500	1840	0	0
7	8,2	9,6	50-100	1600	1970	1	0
8	8,4	12,3	50-100	1700	2010	2	0
9	8,1	15,4	25-100	1800	2110	3	0
10	7,9	13,2	25-50	1900	2320	4	0
11	8,3	11,6	10-25	2000	2400	4	0
12	7,5	10,5	5-10	2100	2500	3	0
13	8,5	9,3	3-5	2200	2620	3	0
14	7,3	8,4	1-3	2300	2580	2	0
15	7,6	7,5	3-7	2400	2900	2	0
16	7,9	7,9	0-10	2500	3000	1	0
17	6,6	7,6	0-50	2600	3300	1	0
18	6,8	8,1	0-100	2700	3600	4	0
19	6,9	8,9	3-10	2800	3900	4	0
20	7,1	10,2	3-50	2900	4200	4	0
21	7,3	13,4	5-10	3000	4600	4	0
22	7,5	12,5	5-50	2800	3800	3	0
23	7,9	16,3	5-100	2600	3700	3	0
24	8,3	20,4	0-1	2400	3680	3	0
25	10,2	18,6	0-3	2200	3520	3	0
26	9,4	17,5	1-3	2000	3470	2	0
27	10,5	15,4	5-10	1800	2900	2	0
28	11,3	16,7	0-10	1600	2800	2	0
29	10,8	18,4	10-50	1400	2600	2	0
30	7,6	19,2	0-50	1200	1920	1	0

Продовження табл. 3.1

№ варіанту	Сушильна установка			Навантажувально-розвантажувальні роботи	
	Час роботи $T_{cy}$ , год./рік	Середньорічна витрата палива, $Q_{cy}$ , т/рік	Нища теплота згорання палива $Q^r$ МДж/кг	Кількість вугілля, яка відвантажується $Q_n$ , т/рік	Вологість $W_k$ , %
1	28	29	30	31	32
0	2300	1733	17,5	1200000	8,5
1	2350	1700	17,0	1250000	8,0
2	2400	2000	16,5	1300000	9,0
3	2450	1800	16,8	1500000	9,3
4	2500	1850	16,9	1400000	8,5
5	2310	1900	17,0	1600000	8,4
6	2420	1950	17,1	1650000	8,8
7	2330	2000	17,2	1550000	7,2
8	2340	2010	17,3	1600000	10,3
9	2380	2020	17,4	1650000	11,4
10	2400	2030	17,5	1700000	9,2
11	2420	2040	17,6	1750000	8,8
12	2450	2050	17,7	1750000	7,3
13	2500	2150	17,8	1600000	7,8
14	2520	2170	17,9	1650000	8,1
15	2550	2180	17,8	1500000	9,2
16	2600	2200	17,7	1550000	8,5
17	2620	2250	17,6	1400000	9,3
18	2640	2300	17,5	1450000	10,2
19	2670	2350	17,4	1300000	11,6
20	2650	2360	17,3	1350000	7,3
21	2680	2400	17,2	1350000	6,8
22	2700	2450	17,1	1400000	5,4
23	2710	2480	17,0	1450000	9,3
24	2730	2500	16,9	1500000	6,8
25	2550	2400	16,8	1550000	7,2
26	2580	2300	16,7	1600000	7,5
27	2600	2200	16,6	1650000	7,7
28	2650	2500	16,5	1700000	8,0
29	2700	2550	16,4	1750000	8,5
30	2750	2600	16,0	1800000	9,0

Продовження табл. 3.1

№ варіанту	Аспіраційна система				Мулонакопичувач		
	Потужність аспіраційної системи $V_a$ , $h \cdot m^3/год$	Час роботи аспіраційної системи $T_a$ , год/рік	Концентрація твердих часток у відпрацьованому повітрі $C_a$ , $г/н \cdot м^3$	ККД вловлення $\eta_a$ , ч.од.	Площа мулонакопичувача $F_{mul}$ , га	Коефіцієнт пляжної зони $f_{пл}$ , ч.од.	Вологість верхнього шару матеріалу $W_{mul}$ , %
1	33	34	35	36	37	38	39
0	27500	3219	4,4	0,85	13,5	0,6	13,6
1	28500	3200	2,8	0,80	13	0,5	13,1
2	30000	3400	3,3	0,82	12	0,7	10,3
3	32000	3620	0,1	0,75	12,3	0,8	9,8
4	26000	3500	0,2	0,68	12,6	0,9	9,7
5	26500	3280	0,3	0,72	11	0,7	8,3
6	28000	3190	0,5	0,71	11,2	0,8	8,5
7	28500	3250	0,7	0,85	11,4	0,6	11,7
8	29000	3270	1,1	0,87	11,7	0,5	9,3
9	29500	4000	1,2	0,92	12,4	0,4	8,4

№ варіанту	Аспіраційна система				Мулонакопичувач		
	Потужність аспіраційної системи $V_a$ , $\text{н}\cdot\text{м}^3/\text{год}$	Час роботи аспіраційної системи $T_a$ , год/рік	Концентрація твердих часток у відпрацьованому повітрі $C_a$ , $\text{г}/\text{н}\cdot\text{м}^3$	ККД вловлення $\eta_a$ , ч.од.	Площа мулонакопичувача $F_{\text{мул}}$ , га	Коефіцієнт пляжної зони $f_{\text{пл}}$ , ч.од.	Вологість верхнього шару матеріалу $W_{\text{мул}}$ , %
1	33	34	35	36	37	38	39
10	30000	4200	1,3	0,91	12,7	0,5	6,5
11	30500	4100	1,4	0,89	12	0,4	6,7
12	31000	4300	1,5	0,83	12,3	0,6	9,3
13	31500	4280	1,6	0,81	12,6	0,4	10,8
14	33000	4520	1,7	0,79	11	0,7	12,4
15	35500	4580	1,8	0,77	11,2	0,8	16,5
16	36500	4620	1,9	0,75	11,4	0,9	12,4
17	37500	4630	2,0	0,73	11,7	0,7	10,3
18	38500	3270	2,1	0,71	12,4	0,8	9,8
19	39000	3100	2,2	0,69	12,7	0,6	7,9
20	40000	3710	2,3	0,81	12	0,5	8,1
21	25200	3820	2,4	0,85	12,3	0,4	8,5
22	26300	3940	2,5	0,87	12,6	0,5	8,9
23	27400	4050	2,6	0,89	11	0,6	11,2
24	27600	4120	2,7	0,91	11,2	0,7	5,9
25	28200	4310	2,8	0,83	11,4	0,8	13,4
26	28600	4440	2,9	0,85	11,7	0,7	14,5
27	29300	4500	3,0	0,65	12,4	0,6	16,8
28	30500	2790	3,1	0,69	12,7	0,5	9,3
29	32100	3219	3,2	0,72	12	0,4	8,7
30	34800	3400	3,9	0,78	12,3	0,4	7,2

Таблиця 3.2 – Вихідні постійні дані для розрахунку викидів забруднюючих речовин від сушильних установок [1-2]

Позначення та найменування показників	Числові значення
<b>а) для розрахунку оксидів азоту</b>	
$(k_{\text{NO}_x})_0$ , показник емісії оксидів азоту без урахування заходів щодо зниження викидів, г/ГДж	250
$Q_{\text{ф}}$ , фактична теплова потужність енергетичної установки МВт	10,467
$Q_{\text{н}}$ , номінальна теплова потужність енергетичної установки МВт	11,630
$z$ , емпіричний коефіцієнт, який залежить від виду енергетичної установки, її потужності, типу палива тощо	1,15
$f_{\text{н}}$ , ступінь зменшення викиду $\text{NO}_x$	0,886
$\eta_I$ , ефективність первинних заходів (азотоочисні установки)	0
$\eta_{II}$ , ефективність вторинних заходів (азотоочисні установки)	0
$\beta$ , коефіцієнт роботи азотоочисної установки	0
<b>б) для розрахунку викидів сірчистого ангідриду</b>	
$S'$ , вміст сірки в паливі на робочу масу, %	3,2
$\eta_p$ , ефективність зв'язування сірки золою або сорбентом в енергетичній установці	0,05
$\eta_{II}$ , ефективність очищення димових газів від оксидів сірки	0
$\beta$ , коефіцієнт роботи сіркоочисної установки	0

Позначення та найменування показників	Числові значення
<b>в) для розрахунку викидів оксиду вуглецю</b>	
$K_{CO}$ , показник емісії оксиду вуглецю, г/Дж	121
<b>г) для розрахунку викидів діоксиду вуглецю</b>	
$C^r$ , масовий вміст вуглецю в паливі, %	44
$A^r$ , масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %	34,6
$a_{вун}$ , частина золи, яка видаляється у вигляді летючої золи	0,8
$\Gamma_{вун}$ , масовий вміст горючих речовин при винесенні твердих частинок, %	1,5
$\Gamma_{шл.}$ , масовий вміст горючих речовин у шлаці, %	0,5
<b>д) для розрахунку викидів твердих частинок</b>	
$A^r$ , масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %	34,6
$a_{вун}$ , частина золи, яка видаляється у вигляді летючої золи	0,8
$Q_{C^r}$ , теплота згоряння вуглецю до $CO_2$ , МДж/кг	32,68
$\Gamma_{ун}$ , масовий вміст горючих речовин при винесенні твердих частинок, %	1,5
$q_4$ , втрати тепла, пов'язані з механічним недопалом палива, %	0
$\eta_{зу}$ , ефективність очищення димових газів	0,994
$k_{meS}$ , показник емісії твердих продуктів взаємодії оксидів сірки та твердих частинок сорбенту, г/ГДж	0
<b>е) для розрахунку викидів важких металів</b>	
$C_{в.м.}$ , масовий вміст важкого металу в паливі, мг/кг	див. табл. 3.3
$a_{вун}$ , частина золи, яка виходить із котла у вигляді летючої золи	0,8
$f_{зб}$ , коефіцієнт збагачення важкого металу	див. табл. 3.3
$\eta_{зу}$ , ефективність золоуловлюючої установки	0,994
$f_r$ , частина важкого металу, що виходить у газоподібній формі	див. табл. 3.3
$\eta_{гзу}$ , ефективність уловлювання газоподібної фракції важкого металу в золоуловлюючій установці	0
<b>ж) для розрахунку викидів оксиду азоту</b>	
$K_{N_2O}$ , показник емісії оксиду азоту, г/ГДж	56
<b>к) для розрахунку викидів метану</b>	
$K_{CH_4}$ , показник емісії метану, г/ГДж	1,0

Таблиця 3.3 – Вміст важких металів  $C_{в.м.}$  у робочій масі палива і параметри  $f_{зб}$  та  $f_r$  [1-2]

№ варіанту	As			Cd			Cr			Cu		
	$C_{в.м.}$	$f_{зб}$	$f_r$	$C_{в.м.}$	$f_{зб}$	$f_r$	$C_{в.м.}$	$f_{зб}$	$f_r$	$C_{в.м.}$	$f_{зб}$	$f_r$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	20	0,82	0,025	0	0,68	0,018	47	0,585	0,002	29	0,609	0,008
1	24	0,82	0,025	1	0,68	0,018	46	0,585	0,002	30	0,609	0,008
2	25	0,82	0,025	2	0,68	0,018	45	0,585	0,002	30	0,609	0,008
3	27	0,82	0,025	3	0,68	0,018	50	0,585	0,002	31	0,609	0,008
4	28	0,82	0,025	4	0,68	0,018	52	0,585	0,002	32	0,609	0,008

№ варіанту	As			Cd			Cr			Cu		
	$C_{e.m.}$	$f_{36}$	$f_r$	$C_{e.m.}$	$f_{36}$	$f_r$	$C_{e.m.}$	$f_{36}$	$f_r$	$C_{e.m.}$	$f_{36}$	$f_r$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	30	0,82	0,025	5	0,68	0,018	55	0,585	0,002	33	0,609	0,008
6	29	0,82	0,025	2	0,68	0,018	54	0,585	0,002	34	0,609	0,008
7	28	0,82	0,025	3	0,68	0,018	48	0,585	0,002	35	0,609	0,008
8	27	0,82	0,025	4	0,68	0,018	50	0,585	0,002	36	0,609	0,008
9	26	0,82	0,025	5	0,68	0,018	52	0,585	0,002	37	0,609	0,008
10	25	0,82	0,025	6	0,68	0,018	49	0,585	0,002	38	0,609	0,008
11	24	0,82	0,025	3	0,68	0,018	47	0,585	0,002	39	0,609	0,008
12	23	0,82	0,025	4	0,68	0,018	45	0,585	0,002	40	0,609	0,008
13	22	0,82	0,025	5	0,68	0,018	43	0,585	0,002	41	0,609	0,008
14	21	0,82	0,025	6	0,68	0,018	39	0,585	0,002	42	0,609	0,008
15	20	0,82	0,025	7	0,68	0,018	34	0,585	0,002	43	0,609	0,008
16	19	0,82	0,025	8	0,68	0,018	35	0,585	0,002	44	0,609	0,008
17	18	0,82	0,025	9	0,68	0,018	20	0,585	0,002	45	0,609	0,008
18	17	0,82	0,025	10	0,68	0,018	25	0,585	0,002	25	0,609	0,008
19	15	0,82	0,025	9	0,68	0,018	29	0,585	0,002	27	0,609	0,008
20	16	0,82	0,025	8	0,68	0,018	31	0,585	0,002	29	0,609	0,008
21	17	0,82	0,025	7	0,68	0,018	40	0,585	0,002	30	0,609	0,008
22	18	0,82	0,025	6	0,68	0,018	48	0,585	0,002	31	0,609	0,008
23	19	0,82	0,025	5	0,68	0,018	52	0,585	0,002	33	0,609	0,008
24	20	0,82	0,025	4	0,68	0,018	54	0,585	0,002	36	0,609	0,008
25	21	0,82	0,025	3	0,68	0,018	56	0,585	0,002	38	0,609	0,008
26	22	0,82	0,025	2	0,68	0,018	58	0,585	0,002	22	0,609	0,008
27	23	0,82	0,025	1	0,68	0,018	60	0,585	0,002	24	0,609	0,008
28	24	0,82	0,025	0	0,68	0,018	42	0,585	0,002	26	0,609	0,008
29	25	0,82	0,025	0	0,68	0,018	40	0,585	0,002	29	0,609	0,008
30	26	0,82	0,025	2	0,68	0,018	30	0,585	0,002	30	0,609	0,008

Продовження табл. 3.3

№ варіанту	Hg			Ni			Pb		
	$C_{e.m.}$	$f_{36}$	$f_r$	$C_{e.m.}$	$f_{36}$	$f_r$	$C_{e.m.}$	$f_{36}$	$f_r$
1	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	0,16	0	0,864	26	0,886	0,012	16	0,939	0,024
1	0,15	0	0,864	25	0,886	0,012	15	0,939	0,024
2	0,17	0	0,864	27	0,886	0,012	14	0,939	0,024
3	0,18	0	0,864	28	0,886	0,012	13	0,939	0,024
4	0,19	0	0,864	29	0,886	0,012	12	0,939	0,024
5	0,20	0	0,864	30	0,886	0,012	11	0,939	0,024
6	0,21	0	0,864	31	0,886	0,012	12	0,939	0,024
7	0,22	0	0,864	32	0,886	0,012	13	0,939	0,024
8	0,23	0	0,864	33	0,886	0,012	14	0,939	0,024
9	0,24	0	0,864	34	0,886	0,012	15	0,939	0,024
10	0,25	0	0,864	35	0,886	0,012	16	0,939	0,024
11	0,24	0	0,864	34	0,886	0,012	17	0,939	0,024
12	0,23	0	0,864	33	0,886	0,012	18	0,939	0,024
13	0,22	0	0,864	32	0,886	0,012	19	0,939	0,024
14	0,21	0	0,864	31	0,886	0,012	20	0,939	0,024
15	0,20	0	0,864	31	0,886	0,012	21	0,939	0,024
16	0,19	0	0,864	29	0,886	0,012	22	0,939	0,024
17	0,18	0	0,864	28	0,886	0,012	23	0,939	0,024
18	0,17	0	0,864	27	0,886	0,012	22	0,939	0,024
19	0,16	0	0,864	26	0,886	0,012	21	0,939	0,024
20	0,15	0	0,864	25	0,886	0,012	20	0,939	0,024
21	0,14	0	0,864	24	0,886	0,012	19	0,939	0,024
22	0,13	0	0,864	23	0,886	0,012	18	0,939	0,024
23	0,12	0	0,864	22	0,886	0,012	17	0,939	0,024

№ варіанту	Hg			Ni			Pb		
	$C_{в.м.}$	$f_{зб}$	$f_r$	$C_{в.м.}$	$f_{зб}$	$f_r$	$C_{в.м.}$	$f_{зб}$	$f_r$
1	14	15	16	17	18	19	20	21	22
24	0,11	0	0,864	21	0,886	0,012	16	0,939	0,024
25	0,11	0	0,864	22	0,886	0,012	15	0,939	0,024
26	0,12	0	0,864	23	0,886	0,012	14	0,939	0,024
27	0,13	0	0,864	25	0,886	0,012	13	0,939	0,024
28	0,14	0	0,864	27	0,886	0,012	12	0,939	0,024
29	0,15	0	0,864	29	0,886	0,012	11	0,939	0,024
30	0,16	0	0,864	31	0,886	0,012	19	0,939	0,024

Продовження табл. 3.3

№ варіанту	Se			Zn		
	$C_{в.м.}$	$f_{зб}$	$f_r$	$C_{в.м.}$	$f_{зб}$	$f_r$
1	23	24	25	26	27	28
0	0	0,783	0,021	40	0,833	0,025
1	0,1	0,783	0,021	42	0,833	0,025
2	0,2	0,783	0,021	43	0,833	0,025
3	0,3	0,783	0,021	41	0,833	0,025
4	0,4	0,783	0,021	42	0,833	0,025
5	0,5	0,783	0,021	44	0,833	0,025
6	0,6	0,783	0,021	45	0,833	0,025
7	0,7	0,783	0,021	46	0,833	0,025
8	0,8	0,783	0,021	47	0,833	0,025
9	0,6	0,783	0,021	48	0,833	0,025
10	0,5	0,783	0,021	49	0,833	0,025
11	0,4	0,783	0,021	51	0,833	0,025
12	0,3	0,783	0,021	49	0,833	0,025
13	0,2	0,783	0,021	42	0,833	0,025
14	0,1	0,783	0,021	43	0,833	0,025
15	0	0,783	0,021	44	0,833	0,025
16	0,1	0,783	0,021	41	0,833	0,025
17	0,2	0,783	0,021	39	0,833	0,025
18	0,3	0,783	0,021	37	0,833	0,025
19	0,4	0,783	0,021	35	0,833	0,025
20	0,5	0,783	0,021	33	0,833	0,025
21	0,6	0,783	0,021	31	0,833	0,025
22	0,7	0,783	0,021	29	0,833	0,025
23	0,8	0,783	0,021	27	0,833	0,025
24	0,6	0,783	0,021	25	0,833	0,025
25	0,5	0,783	0,021	31	0,833	0,025
26	0,4	0,783	0,021	33	0,833	0,025
27	0,3	0,783	0,021	35	0,833	0,025
28	0,2	0,783	0,021	37	0,833	0,025
29	0,1	0,783	0,021	39	0,833	0,025
30	0	0,783	0,021	41	0,833	0,025

### 3.2 Розрахунок викидів забруднюючих речовин від сушильних установок і аспіраційних систем

#### 3.2.1 Розрахунок викидів забруднюючих речовин від сушильних установок

При сушінні вугілля на збагачувальних фабриках (ЗФ) в атмосферу викидаються шкідливі речовини, які утворюються як при спалюванні палива, так і безпосередньо в процесі сушіння вугілля (до 97% від

загального викиду). Основними інгредієнтами у викидах сушильних агрегатів є тверді частинки, що виділяються в процесі сушіння вугілля, та тверді частинки, діоксид сірки, оксиди азоту та оксид вуглецю, що виділяються при спалюванні палива. Основним паливом при сушінні є вугілля (до 98%) [1-2].

Розрахунок викидів в атмосферу забруднюючих речовин від сушильної установки виконується відповідно до методики ГКД 34.02.305-2002 «Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок» [4] та матеріалів за показниками емісії (питомих викидів) «Показники емісії (питомі викиди) забруднюючих речовин від процесів, електро-, газозварювання, наплавлювання, електро-газорізання та напилювання металів» [5].

Валовий викид  $j$ -ого забруднюючої речовини  $E_j$ , т, який викидається в атмосферу з димовими газами енергетичної установки за проміжок часу  $P$ , визначається як сума валових викидів цієї речовини під час спалювання різних видів палива, у тому числі під час їх одночасного спалювання:

$$E_j = \sum_i E_{ji} = 10^6 \sum_i k_{ji} B_i (Q_i^r)_i, \quad (3.1)$$

- де  $E_{ji}$  – валовий викид  $j$  – ої забруднюючої речовини під час спалювання  $i$  – го палива за проміжок часу  $T$ , т;  
 $k_{ji}$  – показник емісії  $j$ -го забруднюючої речовини для  $i$ -го палива, г/ГДж;  
 $B_i$  – витрати  $i$  – го палива за проміжок часу  $T$ , т;  
 $(Q_i^r)$  – нижча робоча теплота згорання  $i$  – го палива, МДж/кг

### Розрахунок показника емісії викидів оксидів азоту

Під час спалювання органічного палива утворюються оксиди азоту  $NO_x$  (оксид азоту  $NO$  та діоксид азоту  $NO_2$ ), викиди яких визначаються у перерахунку на  $NO_2$ . Показник емісії оксидів азоту  $k_{NO_x}$ , г/ГДж, з урахуванням заходів щодо зниження викидів, розраховується за формулою [1-2]:

$$k_{NO_x} = (k_{NO_x})_0 f_n (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II} \beta), \quad (3.2)$$

- де  $(k_{NO_x})_0$  – показник емісії оксидів азоту без урахування заходів щодо зниження викидів, г/ГДж (приймається у відповідності з табл. 3.2);  
 $f_n$  – ступінь зменшення викиду  $NO_x$  під час роботи з низьким навантаженням;  
 $\eta_I$  – ефективність первинних (режимно-технологічних) заходів скорочення викидів;  
 $\eta_{II}$  – ефективність вторинних заходів (азотоочисні установки);

$\beta$  – коефіцієнт роботи азотоочисної установки

Під час роботи енергетичної установки на низьких навантаженнях зменшується температура процесу горіння палива, завдяки чому скорочується викид оксидів азоту. Ступінь зменшення викиду  $NO_x$  при цьому визначається за такою формулою:

$$f_H = (Q_{\phi} / Q_H)^z \quad (3.3)$$

- де  $f_H$  – ступінь зменшення викиду  $NO_x$  під час роботи на низькому навантаженні;  
 $Q_{\phi}$  – фактична теплова потужність енергетичної установки, МВт;  
 $Q_H$  – номінальна теплова потужність енергетичної установки, МВт;  
 $z$  – емпіричний коефіцієнт, який залежить від виду енергетичної установки, її потужності, типу палива тощо

#### **Розрахунок показника емісії викидів сірчистого ангідриду**

Показник емісії  $k_{SO_2}$ , г/ГДж, оксидів сірки  $SO_2$  та  $SO_3$ , у перерахунок на оксид сірки  $SO_2$ , які надходять в атмосферу з димовими газами, розраховується за формулою [2-3]:

$$k_{SO_2} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \frac{2S^r}{100} (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta) \quad (3.4)$$

- де  $Q_i^r$  – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;  
 $S^r$  – вміст сірки в паливі на робочу масу, %;  
 $\eta_I$  – ефективність зв'язування сірки золою або сорбентом в енергетичній установці;  
 $\eta_{II}$  – ефективність очищення димових газів від оксидів сірки;  
 $\beta$  – коефіцієнт роботи сіркоочисної установки

#### **Розрахунок показника емісії викидів оксиду вуглецю**

Показник емісії викидів оксиду вуглецю  $k_{CO}$  приймається відповідно до табл. 3.2(в) [1-2].

#### **Розрахунок показника емісії викидів діоксиду вуглецю**

Показник емісії діоксиду вуглецю  $k_{CO_2}$ , г/ГДж, під час спалювання органічного палива визначається за такою формулою [1-2]:

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_C, \quad (3.5)$$

- де  $C$  – масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %;  
 $Q_i^r$  – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

$\varepsilon_C$  – ступінь окислення вуглецю палива

Ефективність процесу горіння визначає ступінь окиснення вуглецю палива  $\varepsilon_C$ . За повного згоряння палива ступінь окислення дорівнює одиниці, але за наявності недопалення палива її значення зменшується. Ступінь окислення вуглецю палива  $\varepsilon_C$  в енергетичній установці розраховується за формулою:

$$\varepsilon_C = 1 - \frac{A^r}{C^r} \cdot \left( a_{\text{вин}} \frac{\Gamma_{\text{вин}}}{100 - \Gamma_{\text{вин}}} + (1 - a_{\text{вин}}) \frac{\Gamma_{\text{шл}}}{100 - \Gamma_{\text{шл}}} \right), \quad (3.6)$$

- де  $A^r$  – масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %;  
 $C^r$  – масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %;  
 $a_{\text{вин}}$  – частина золи, яка видаляється у вигляді летючої золи;  
 $\Gamma_{\text{вин}}$  – масовий вміст горючих речовин при винесенні твердих частинок, %;  
 $\Gamma_{\text{шл}}$  – масовий вміст горючих речовин у шлаку, %

### Розрахунок показника емісії викидів твердих частинок

Показник емісії речовини у вигляді твердих частинок розраховується за формулою [1-2]:

$$k_{\text{ТВ}} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \left( a_{\text{вин}} \frac{A^r}{100} + \frac{q_4}{100} \cdot \frac{Q_i^r}{Q_C} \right) (1 - \eta_{\text{зу}}) + k_{\text{ТВ}S}, \quad (3.7)$$

- де  $k_{\text{ТВ}}$  – показник емісії твердих частинок, г/ГДж;  
 $Q_i^r$  – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;  
 $A^r$  – масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %;  
 $a_{\text{вин}}$  – частина золи, яка виходить із котла у вигляді летючої золи;  
 $Q_C$  – теплота згоряння вуглецю до  $\text{CO}_2$ , яка дорівнює 32,68 МДж/кг;  
 $q_4$  – втрати тепла, пов'язані з механічним недопалом палива, %;  
 $\eta_{\text{зу}}$  – ефективність очищення димових газів від твердих частинок;  
 $k_{\text{ТВ}S}$  – показник емісії твердих продуктів взаємодії сорбенту та оксидів сірки та твердих частинок сорбенту, г/ГДж

### Розрахунок показника емісії важких металів

При спалюванні твердого палива показник емісії важкого металу визначається за формулою [1-2]:

$$k_{\text{ВМ}} = \frac{C_{\text{ВМ}}}{Q_i^r} \cdot [a_{\text{вин}} f_{\text{зб}} (1 - \eta_{\text{зу}}) (1 - f_{\Gamma}) + f_{\Gamma} (1 - \eta_{\text{Гзу}})], \quad (3.8)$$

- де  $C_{\text{ВМ}}$  – масовий вміст важкого металу у паливі, мг/кг;  
 $Q_i^r$  – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

- $a_{\text{вн}}$  – частина золи, яка виходить із котла у вигляді летючої золи;
- $f_{\text{зб}}$  – коефіцієнт збагачення важкого металу;
- $\eta_{\text{зу}}$  – ефективність золоуловлюючої установки;
- $f_{\text{г}}$  – частина важкого металу, що виходить у газоподібній формі;
- $\eta_{\text{гзу}}$  – ефективність уловлення газоподібної фракції важкого металу в золоуловлюючій установці

### Розрахунок показника емісії оксиду азоту

Показник емісії оксиду азоту  $K_{\text{N}_2\text{O}}$  приймається відповідно до табл. 3.2(ж) [1-2].

### Розрахунок показника емісії метану

Показник емісії метану  $K_{\text{CH}_4}$  приймається відповідно до табл. 3.2(к). Кількісні значення викидів забруднюючих речовин в атмосферу (г/с, т/рік) від кожного джерела викидів зводяться до підсумкової таблиці, яка наводиться в кінці практичної роботи.

## 3.2.2 Розрахунок викидів забруднюючих речовин від аспіраційних систем

Кількість твердих частинок, що відходять, для аспіраційних систем збагачення і брикетування вугілля ЗФ, поверхневого комплексу шахт і розрізів визначається за формулою [1-2]:

$$M_o^a = C_a \cdot V_a \cdot T_a \cdot 10^{-6}, \text{ т/рік}, \quad (3.9)$$

- де  $C_a$  – концентрація твердих частинок у повітрі, що відходить, г/н·м<sup>3</sup>. Визначається шляхом вимірювань (за відсутності результатів вимірювань для ЗФ та поверхневих комплексів концентрація приймається 0,1-2,0 г/н·м<sup>3</sup>)\*;
- $V_a$  – обсяг газів, що відходять (продуктивність аспіраційної установки), н·м<sup>3</sup>/год. Визначається шляхом вимірювань;
- $T_a$  – річна кількість робочих годин аспіраційної установки, год/рік

Примітка. «\*» Концентрації з цього діапазону спостерігаються у 95% випадків [1-2].

Кількість уловлених твердих частинок визначається за формулою:

$$M_y^a = M_o^a \cdot \eta_a, \text{ т/рік}, \quad (3.10)$$

- де  $\eta_a$  – ступінь уловлювання твердих частинок в пиловловлюючій установці, ч. од. Визначається за даними фактичних вимірів

Кількість твердих частинок, що викидаються в атмосферу,

визначається за формулою:

$$M_B^a = M_o^a - M_y^a, \text{ т/рік.} \quad (3.11)$$

### **3.3 Алгоритм розрахунку викидів забруднюючих речовин неорганізованими джерелами**

Неорганізованими викидами є викиди у вигляді спрямованих потоків, що виникають за рахунок негерметичності обладнання, відсутності або незадовільної роботи засобів пилопригнічення в місцях завантаження, вивантаження або зберігання продукту, що палить. Основними шкідливими речовинами, що надходять від неорганізованих стаціонарних джерел забруднення навколишнього середовища у вугільній промисловості є пиловікиди та газоподібні компоненти ( $CO_x$ ,  $SO_x$ ,  $NO_x$  та інші) [1-2].

Розрахунок обсягу неорганізованих викидів необхідний обліку допустимих валових викидів підприємств, розташованих у зонах підвищеного забруднення атмосфери. У вуглезбагаченні джерелами неорганізованих викидів є вузли пересипання матеріалів, перевалочні роботи на складі, сховища матеріалів, що пилять, вузли завантаження продукції в неспеціалізований транспорт навалом; хвостосховища, транспорт та механізми, дороги з покриттями та без покриття, вантажні роботи.

В атмосферу зазвичай надходить пил, розмір якого менше 10 мкм. Великі частинки або відразу падають на ґрунт, або осідають із повітря через нетривалий час. Винесення в атмосферу найдрібніших мінеральних частинок пилу у вільному стані у вигляді аерозолів забруднює повітряний простір головним чином поблизу підприємств та на нетривалий час, але завдає певної шкоди народному господарству.

Пил, осідаючи на землю, поверхню водойм, будівель, споруд виступає в основній своїй ролі джерела забруднення ґрунту та водойм, що зумовлює накопичення шкідливих речовин до і вище граничних концентрацій.

#### **3.3.1 Розрахунок викидів забруднюючих речовин від породних відвалів**

Відвали вугільних шахт та збагачувальних фабрик відносяться до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, оскільки є не тільки джерелами постійного виділення шкідливих речовин, а й у ряді випадків причиною зсувів із переміщенням породної маси на значні відстані. Тому згідно з Правилами безпеки у вугільних шахтах не допускається експлуатація палаючих відвалів. В Україні налічується приблизно 220 породних відвалів, які слід віднести до категорії палаючих, оскільки на них, незважаючи на заходи пожежогасіння, що вживаються, є окремі осередки

займання, з яких постійно виділяються шкідливі речовини.

### Розрахунок викидів твердих частинок

Викиди твердих частинок в атмосферу відвалами визначаються як сума викидів при формуванні відвалів і при здуванні частинок з їхньої поверхні, що пилить.

Кількість твердих частинок, що виділяються при формуванні відвалів, визначається за такою формулою [1-2]:

$$M_{\phi} = K_0 \cdot K_1 \cdot q_{\phi}^0 \cdot \Pi (1 - \eta_0^1) \cdot 10^{-6}, \text{ т/грік}, \quad (3.12)$$

- де  $K_0$  – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу (приймається відповідно до даних табл. 3.4);
- $K_1$  – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру (приймається відповідно до даних табл. 3.5);
- $q_{\phi}^0$  – питома виділення твердих частинок з 1 м<sup>3</sup> породи, що подається у відвал, г/м<sup>3</sup> (приймається відповідно до даних табл. 3.6);
- $\Pi$  – кількість породи, що подається у відвал, м<sup>3</sup>/год;
- $\eta_0^1$  – ефективність застосовуваних засобів пилопригнічення (визначається експериментально або приймається за довідковими даними), ч. од.

Таблиця 3.4 – Залежність величини  $K_0$  від вологості матеріалу [1-2]

Вологість матеріалу, %	$K_0$
до 0,5	2,0
0,5-1,0	1,5
1,0-3,0	1,3
3,0-5,0	1,2
5,0-7,0	1,0
7,0-8,0	0,7
8,0-9,0	0,3
9,0-10,0	0,2
понад 10,0	0,1

Таблиця 3.5 – Залежність коефіцієнта  $K_1$  від швидкості вітру\* [1-2]

Швидкість вітру, м/с	$K_1$
До 2	1,0
2-5	1,2
5-7	1,4
7-10	1,7

Примітка. «\*» Розмір коефіцієнта  $K_1$  визначається за значенням найчастіше повторюваної даної території швидкості вітру.

Таблиця 3.6 – Питоме виділення твердих частинок для формування відвалів [1-2]

Найменування обладнання	Питоме виділення твердих частинок $q_{\phi}^{0*}$ , г/м <sup>3</sup>
Відвалування плоских відвалів	
Драглайн ЕШ-15/90, ЕШ-20/90	18,0
Драглайн ЕШ-10/70	26,6
Драглайн ЕШ-4/40, ЕШ-6/45, ЕШ-5/45	64,0
Відвалоутворювач ВШР-5250/190	2,7
Бульдозер	5,6
Розвантаження автосамоскида	10,0
Розвантаження думпкара	10,0
Відвалоутворення териконів	20,0

Примітка. «\*» Дані наведені без урахування засобів пилопригнічення. За інших рівних умов питоме виділення твердих частинок для механічних лопат приймається вдвічі меншим, ніж для драглайнів.

Кількість твердих частинок, що здуваються з поверхні породних відвалів, визначається за такою формулою:

$$M_o^c = 86,4 \cdot K_o \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_o \cdot q_c \cdot K_m \cdot (365 - T_c) \cdot (1 - \eta^1), \text{ т/рік}, \quad (3.13)$$

- де  $K_2$  – коефіцієнт, що враховує ефективність здування твердих частинок та чисельно рівний: 1,0 – для діючих відвалів; 0,2 – у перші три роки після припинення експлуатації; 0,1 – у наступні роки до повного озеленення відвалу;
- $S_o$  – площа пилу поверхні відвалу, м<sup>2</sup>;
- $q_c$  – питоме здування твердих частинок з поверхні відвалу, яка пилить (приймається рівною  $0,1 \cdot 10^{-6}$  кг/м<sup>2</sup>·с);
- $K_m$  – коефіцієнт подрібнення гірничої маси (приймається рівним 0,1);
- $T_c$  – річна кількість днів зі стійким сніговим покривом

### Розрахунок викидів газоподібних речовин

Газоподібні шкідливі речовини викидаються в атмосферу породними відвалами, що горять.

Кількість шкідливих речовин, що виділяються, визначається за формулою [1-2]:

$$M_{\Gamma} = q_{cp}^o \cdot n, \text{ т/рік}, \quad (3.14)$$

- де  $q_{cp}^o$  – середній викид шкідливих речовин (діоксид сірки, оксид вуглецю, оксиди азоту, сірководень) з одного палаючого відвалу, що діє, т/рік (приймається відповідно до даних табл. 3.7);

$n$  – кількість діючих палаючих відвалів

Таблиця 3.7 – Середній викид шкідливих речовин з діючого палаючого відвалу [1-2]

Виробниче об'єднання	Середній викид шкідливих речовин з діючого палаючого відвалу, $q_{cp}^o$ , т/рік				
	всього	в тому числі			
		діоксид сірки	оксид вуглецю	оксиди азоту	сірководень
ДП «ДОНЕЦЬКВУГІЛЛЯ»	3647,6	314,5	3144,5	31,4	157,2
ДП «ДОНЕЦЬКВУГЛЕЗБАГАЧЕННЯ»	5261,7	453,6	4536,0	45,3	226,8
ДП "МАКІЇВВУГІЛЛЯ" (раніше Макіїввугілля)	2742,4	236,4	2364,2	23,6	118,2
ДП "МАКІЇВВУГІЛЛЯ" (раніше Радянськевугілля)	353,1	30,4	304,5	3,0	15,2
ДП "КРАСНОАРМІЙСЬКВУГІЛЛЯ"	1665,4	143,6	1435,7	14,3	71,8
ДП «СЕЛІДІВВУГІЛЛЯ»	1401,1	120,8	1207,9	12,0	60,4
ДП «ДОБРОПІЛЛЯВУГІЛЛЯ-ВИДОБУТОК»	832,5	71,8	717,7	7,1	35,9
ДП "АРТЕМВУГІЛЛЯ"	4503,9	388,2	3882,8	38,8	194,1
ДП «ДЗЕРЖИНСЬКВУГІЛЛЯ»	1828,0	157,6	1575,9	15,7	78,8
ДП "ОРДЖОНІКІДЗЕВУГІЛЛЯ"	2833,5	244,3	2442,7	24,4	122,1
ДП "ШАХТАРСЬКАНТРАЦИТ"	1377,6	118,8	1187,6	11,8	59,4
ДП «ТОРЕЗАНТРАЦИТ»	3751,4	323,4	3234,0	32,3	161,7
ДП «ПЕРВОМАЙСЬКВУГІЛЛЯ»	2718,5	234,4	2343,5	23,4	117,2
АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ЛИСИЧАНСЬКВУГІЛЛЯ»	2549,6	219,8	2198,0	21,9	109,9
ДП «ДОНБАСАНТРАЦИТ»	1594,5	137,5	1374,5	13,8	68,7
ДП «АНТРАЦИТ»	1250,2	107,8	1077,7	10,8	53,9
ДП "РОВЕНЬКИАНТРАЦИТ"	1147,4	98,9	989,1	9,9	49,5
ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "КРАСНОДОНВУГІЛЛЯ"	556,0	47,9	479,3	4,8	24,0
ДП «СВЕРДЛОВАНТРАЦИТ»	1865,8	160,8	1608,5	16,1	80,4
ДП «Львіввугілля» і ДП «Волиньвугілля»	561,2	48,4	483,8	4,8	24,2

Для недіючих палаючих відвалів формула (3.14) має вид:

$$M_{\Gamma} = q_{cp}^o \cdot n_1 \cdot K_3, \text{ т/год}, \quad (3.15)$$

де  $n_1$  – кількість недіючих палаючих відвалів;

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує зниження кількості шкідливих речовин, що викидаються після припинення експлуатації відвалів і чисельно рівний: 0,5 – у перший рік після припинення експлуатації; 0,3 – на другий рік; 0,1 – у третій та наступні роки

### 3.3.2 Розрахунок викидів забруднюючих речовин від складів та хвостосховищ

Питомий обсяг викидів можна охарактеризувати наступним рівнянням:

$$q = A + B = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7 \cdot G \cdot 10^6 \cdot B^r}{3600} + k_3 k_4 k_5 k_6 k_7 q' F, \text{ г/с}, \quad (3.16)$$

- де  $A$  – викиди при переробці (сипання, перевалка, переміщення) матеріалу, г/с;
- $B$  – викиди при статичному зберіганні матеріалу;
- $k_1$  – вагова частка пилової фракції у матеріалі. Визначається шляхом відмивання та просіву середньої проби з виділенням фракції пилу розміром 0-200 мкм або по табл. 3.8 [1-2];
- $k_2$  – частка пилу (від усієї маси пилу, що переходить в аерозоль або з табл. 3.8 [1-2];
- $k_3$  – коефіцієнт, що враховує місцеві метеоумови та приймається відповідно з табл. 3.9 [1-2];
- $k_4$  – коефіцієнт, що враховує місцеві умови, ступінь захищеності вузла від зовнішніх впливів, умови пилоутворення. Береться за даними табл. 3.10 [1-2];
- $k_5$  – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу і приймається відповідно до даних табл. 3.11 [1-2];
- $k_6$  – коефіцієнт, що враховує профіль поверхні матеріалу, що складається в межах 1,3-1,6 в залежності від крупності матеріалу і ступеня заповнення. Для хвостосховищ  $k_6 = 1$ ;
- $k_7$  – коефіцієнт, що враховує крупність матеріалу і приймається відповідно до табл. 3.12 [1-2];
- $F$  – поверхня пиління в плані, м<sup>2</sup>;
- $q'$  – винесення пилу з одного квадратного метра фактичної поверхні в умовах, коли  $k_3 = 1$  та  $k_5 = 1$ , приймається відповідно до даних табл. 3.13 [1-2];
- $G$  – сумарна кількість матеріалу, що переробляється, т/год;
- $B'$  – коефіцієнт, що враховує висоту пересипання і приймається відповідно до табл. 3.14 [1-2]

Склади та хвостосховища розглядаються як рівномірно розподілені джерела пиловиділень.

Перевірка фактичного дисперсного складу пилу, і уточнення значення  $k_2$  проводиться шляхом відбору проб запиленого повітря на межах об'єкта пиління (склади, хвостосховища) при швидкості вітру 2 м/с, що дме в напрямку точки відбору проби [1-2].

Таблиця 3.8 – Значення коефіцієнтів  $k_1$ ,  $k_2$  для визначення викидів пилу [1-2]

№ п/п	Найменування матеріалу	Щільність матеріалу, г/см <sup>3</sup>	Вагова частка пилової фракції $k_1$ в матеріалі	Частка пилу, що переходить в аерозоль $k_2$
1	2	3	4	5
1	Огарки	3,9	0,04	0,03
2	Клінкер	3,2	0,01	0,003
3	Цемент	3,1	0,04	0,03

№ п/п	Найменування матеріалу	Щільність матеріалу, г/см <sup>3</sup>	Вагова частка пилової функції $k_1$ в матеріалі	Частка пилу, що переходить в аерозоль $k_2$
1	2	3	4	5
4	Вапняк	2,7	0,04	0,02
5	Мергель	2,7	0,05	0,02
6	Вапно комове	2,7	0,07	0,02
7	Вапно мелене	2,7	0,07	0,05
8	Граніт	2,8	0,02	0,04
9	Мармур	2,8	0,04	0,06
10	Крейда	2,7	0,05	0,07
11	Гіпс комовий	2,6	0,03	0,02
12	Гіпс молотий	2,6	0,08	0,04
13	Доломіт	2,7	0,05	0,02
14	Опока	2,65	0,03	0,01
15	Пегматит	2,6	0,04	0,04
16	Гнейс	2,9	0,05	0,02
17	Каолін	2,7	0,06	0,04
18	Нефелін	2,7	0,06	0,02
19	Глина	2,7	0,05	0,02
20	Пісок	2,6	0,05	0,03
21	Піщаник	2,65	0,04	0,01
22	Слюда	2,8	0,02	0,01
23	Польовий шпат	2,5	0,07	0,01
24	Шлак	2,5-3,0	0,05	0,02
25	Діорит	2,8	0,03	0,06
26	Порфіроїди	2,7	0,03	0,07
27	Графіт	2,2-2,7	0,03	0,04
28	Вугілля	1,3	0,03	0,02
29	Зола	2,5	0,06	0,04
30	Діатоміт	2,3	0,03	0,02
31	Перліт	2,4	0,04	0,06
32	Керамзит	2,5	0,06	0,02
33	Вермикуліт	2,6	0,06	0,04
34	Аглопорит	2,5	0,06	0,04
35	Туф	2,6	0,03	0,02
36	Пемза	2,5	0,03	0,06
37	Сульфат	2,7	0,05	0,02
38	Шамот	2,6	0,04	0,02
39	Суміш піску та вапна	2,6	0,05	0,01
40	Цегла, біл	-	0,05	0,01
41	Мінеральна вата	-	0,05	0,01
42	Щебінь *	-	0,04	0,02

Примітка. «\*» – слід брати за тим матеріалом, з якого роблять щебінь.

Таблиця 3.9 – Залежність величини  $k_3$  від швидкості вітру [1-2]

Швидкість вітру, м/с	$k_3$
до 2	1,0
до 5	1,2
до 7	1,4
до 10	1,7
до 12	2,0
до 14	2,3
до 16	2,6
до 18	2,8
до 20 та вище	3,0

Таблиця 3.10 – Залежність величини  $k_4$  від місцевих умов [1-2]

Місцеві умови	$k_4^*$
Склади, сховища відкриті:	
а) з чотирьох сторін	1,0
б) з трьох сторін	0,8
в) з двох сторін повністю	0,6
г) з двох сторін частково	0,5
г') з одного боку	0,1
д) завантажувальний рукав	0,2
е) закритий з чотирьох сторін **	0,1

Примітка. «\*» – коефіцієнти, що враховують місцеві умови при статичному зберіганні.

«\*\*» – при переведенні неорганізованих джерел вузла пересипки в організовані вважати викид пилу в атмосферу до 30% від нормативного показника при аспірації вузла.

Таблиця 3.11 – Залежність величини  $k_5$  від вологості матеріалів [1-2]

Вологість матеріалів, %*	$k_5$
0-0,5	1,0
до 1,0	0,9
до 3,0	0,8
до 5,0	0,7
до 7,0	0,6
до 8,0	0,4
до 9,0	0,2
до 10,0	0,1
понад 10	0,01

Примітка. «\*» – для піску на складах при вологості 3% і більше – викиди не рахують.

Таблиця 3.12 – Залежність величини  $k_7$  від місцевих умов [1-2]

Розмір шматка, мм *	$k_7$
500	0,1
500-100	0,2
100-50	0,4
50-10	0,5
10-5	0,6
5-3	0,7
3-1	0,8
1	1,0

Примітка. «\*» – у разі більшого діапазону матеріалу, коефіцієнт  $k_7$  приймається як середньозважений коефіцієнт за складовими класами.

Таблиця 3.13 – Залежність величини  $q'$  за умови  $k_3 = 1$  та  $k_5 = 1$  [1-2]

Матеріал, який складовано	$q'$ , г/м <sup>2</sup> ·с
Клінкер, шлак	0,002
Щебінь, пісок, кварц	0,002
Мергель, вапняк, недогарки, цемент	0,003
Сухі глинисті матеріали	0,004
Хвости азбестових фабрик, піщаник, вапно	0,005
Вугілля, гіпс, крейда	0,005

Таблиця 3.14 – Залежність величини  $B'$  від висоти пересипання [1-2]

Висота пересипання матеріалу	$B'$
0,5	0,4
1,0	0,5
1,5	0,6
2,0	0,7
4,0	1,0
6,0	1,5
8,0	2,0
10,0	2,5

Загальний обсяг викидів

$$M_B = 1,44 \cdot q \cdot (365 - T_c) \cdot 10^{-3}, \text{ т/рік}, \quad (3.17)$$

де  $T_c$  – число днів у році зі стійким сніговим покривом, днів

### 3.3.3 Розрахунок викидів забруднюючих речовин при вантажно-розвантажувальних роботах

Інтенсивними неорганізованими джерелами пилоутворення є місця пересипання гірської маси, навантаження у відкриті вагони, напіввагони, бункери, автосамоскиди, переміщення бульдозером та інші.

Кількість твердих частинок, що виділяються при проведенні всіх видів навантажувально-розвантажувальних робіт, визначається за

формулою [1-2]:

$$M_n = K_0 \cdot K_1 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot q_n \cdot Q_n (1 - \eta^1) \cdot 10^{-6}, \text{ т/рік}, \quad (3.18)$$

де  $q_n$  – питоме виділення твердих частинок з тони вугілля, що відвантажується (перевантажується), г/т (приймається рівним 3,0 г/т);

$Q_n$  – кількість вугілля, що відвантажується (перевантажується), т/рік

Значення коефіцієнтів  $K$  в формулах приймається:  $K_0$  – за табл. 3.4;  $K_1$  – за табл. 3.5;  $K_4$  – за табл. 3.10;  $K_5$  – за табл. 3.14 [1-2].

Кількість твердих частинок, що здуваються при транспортуванні гірської маси відкритим стрічковим конвеєром, визначається за такою формулою:

$$M_{ск} = 3,6 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot q_{ск} \cdot L_{ск} \cdot B_{ск} \cdot f_{подр} \cdot T_{ск} (1 - \eta^{пск}), \text{ т/год}, \quad (3.19)$$

де  $q_{ск}$  – питоме здування твердих частинок із стрічкового конвеєра приймається рівним  $3 \cdot 10^{-5}$  кг/м<sup>2</sup>·с;

$B_{ск}$  – ширина конвеєрної стрічки, м;

$L_{ск}$  – довжина конвеєра, м;

$f_{подр}$  – коефіцієнт подрібнення гірської маси (приймається рівним 0,1);

$T_{ск}$  – річна кількість робочих годин, год./рік

При підстановці у формулу (3.19) значень  $q_{ск}$  та  $f_{подр}$  отримуємо формулу:

$$M_k = 10,8 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot L_{ск} \cdot B_{ск} \cdot T_{ск} (1 - \eta^{пск}) \cdot 10^{-6}, \text{ т/рік}. \quad (3.20)$$

### 3.4 Приклад розрахунку викидів забруднюючих речовин вуглезабачувальним підприємством

Приклад розрахунку викидів забруднюючих речовин виконано варіанта № 0 при збагаченні вугілля марки «Г». Умови варіанта № 0 наведено у табл. 3.1-3.3 [1-2]. Кількість джерел викидів одного типу прийнято  $n = 1$  за всіма варіантами.

#### 3.4.1 Сушильна установка

##### *Викид оксидів азоту*

Визначення ступеня зменшення викиду  $NO_x$  здійснюється за рівнянням (3.3) з урахуванням даних таблиці 3.2(а) [1-2]:

$$f_H = (Q_{\phi} / Q_H)^z = (10,467 / 11,630)^{1,15} = 0,886.$$

Визначення показника емісії оксидів азоту здійснюється за рівнянням (3.2) з урахуванням даних табл. 3.2(а)

$$\begin{aligned} k_{NOx} &= (k_{NOx})_0 \cdot f_H (1 - \eta_I) (1 - \eta_{II}\beta) = \\ &= 250 \cdot 0,886(1 - 0)(1 - 0 \cdot 0) = 221,5 \text{ г/ГДж.} \end{aligned}$$

Визначення валового викиду оксидів азоту здійснюється за рівнянням (3.1) та даних табл. 3.1:

$$E_{NOx} = 10^{-6} \cdot k_{NOx} \cdot Q_{cy} \cdot Q^r = 10^{-6} \cdot 221,5 \cdot 1733 \cdot 17,5 = 6,718 \text{ т/рік.}$$

Визначення секундного викиду оксидів азоту

$$\ell_{NOx} = \frac{1000 E_{NOx}}{3,6 T_{cy}} = \frac{1000 \cdot 6,718}{3,6 \cdot 2300} = 0,811 \text{ г/с.}$$

#### *Викид сірчистого ангідриду*

Визначення показника емісії сірчистого ангідриду здійснюється за рівнянням (3.4) та даних табл. 3.1 та 3.2(б):

$$\begin{aligned} k_{SO_2} &= \frac{10^6 \cdot 2S^r}{Q_i^r \cdot 100} (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta) = \\ &= \frac{10^6 \cdot 2 \cdot 3,2}{17,5 \cdot 100} (1 - 0,05)(1 - 0 \cdot 0) = 3474,286 \text{ г/ГДж} \end{aligned}$$

Визначення валового викиду сірчистого ангідриду здійснюється за рівнянням (3.1) та даних табл. 3.1

$$E_{SO_2} = 10^{-6} \cdot k_{SO_2} \cdot Q_{cy} \cdot Q_i^r = 10^{-6} \cdot 3474,286 \cdot 1733 \cdot 17,5 = 105,366 \text{ т/рік.}$$

Визначення секундного викиду сірчистого ангідриду

$$\ell_{SO_2} = \frac{1000 E_{SO_2}}{3,6 T_{cy}} = \frac{1000 \cdot 105,366}{3,6 \cdot 2300} = 12,725 \text{ г/с.}$$

#### *Викид оксиду вуглецю*

Визначення валового викиду оксиду вуглецю здійснюється за рівнянням (3.1) та даних табл. 3.1 та 3.2(в)

$$E_{CO} = 10^{-6} \cdot k_{CO} \cdot Q_{cy} \cdot Q_i^r = 10^{-6} \cdot 121 \cdot 1733 \cdot 17,5 = 3,670 \text{ т/рік.}$$

Визначення секундного викиду оксиду вуглецю

$$\ell_{CO} = \frac{1000E_{CO}}{3,6T_{cy}} = \frac{1000 \cdot 3,670}{3,6 \cdot 2300} = 0,443 \text{ г/с.}$$

*Викид діоксиду вуглецю*

Визначення ступеня окиснення вуглецю палива  $\epsilon_C$  здійснюється за рівнянням (3.6) та даних табл. 3.2(г)

$$\begin{aligned} \epsilon_C &= 1 - \frac{A^r}{C^r} \left( a_{\text{вин}} \frac{\Gamma_{\text{вин}}}{100 - \Gamma_{\text{вин}}} + (1 - a_{\text{вин}}) \frac{\Gamma_{\text{шл}}}{100 - \Gamma_{\text{шл}}} \right) = \\ &= 1 - \frac{34,6}{44,0} \left( 0,8 \frac{1,5}{100 - 1,5} + (1 - 0,8) \frac{0,5}{100 - 0,5} \right) = 0,99. \end{aligned}$$

Визначення показника емісії діоксиду вуглецю здійснюється за рівнянням (3.5) та даних табл. 3.1 та 3.2(г)

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \epsilon_C = \frac{44}{12} \cdot \frac{44}{100} \cdot \frac{10^6}{17,5} \cdot 0,99 = 91268,571 \text{ г/ГДж.}$$

Визначення валового викиду діоксиду вуглецю здійснюється за рівнянням (3.1) та даних табл. 3.1:

$$E_{CO_2} = 10^{-6} \cdot k_{CO_2} \cdot Q_{cy} \cdot Q_i^r = 10^{-6} \cdot 91\,268,571 \cdot 1\,733 \cdot 17,5 = 2767,948 \text{ т/год.}$$

Визначення секундного викиду діоксиду вуглецю

$$\ell_{CO_2} = \frac{1000E_{CO_2}}{3,6T_{cy}} = \frac{1000 \cdot 2767,948}{3,6 \cdot 2300} = 334,293 \text{ г/с.}$$

*Викид твердих частинок*

Визначення показника емісії твердих частинок здійснюється за рівнянням (3.7) та даних табл. 3.1 та 3.2(д)

$$\begin{aligned} k_{\text{ТВ}} &= \frac{10^6}{Q_i^r} \left( a_{\text{вин}} \frac{A^r}{100} + \frac{q_4}{100} \cdot \frac{Q_i^r}{Q_C} \right) (1 - \eta_{\text{зв}}) + k_{\text{ТВS}} = \\ &= \frac{10^6}{17,5} \left( 0,8 \frac{34,6}{100} + \frac{0}{100} \cdot \frac{17,5}{32,68} \right) (1 - 0,994) + 0 = 94,903 \text{ г/ГДж.} \end{aligned}$$

Визначення валового викиду твердих частинок здійснюється за рівнянням (3.1) та даних табл. 3.1

$$E_{\text{ТВ}} = 10^{-6} \cdot k_{\text{ТВ}} \cdot Q_{\text{Су}} \cdot Q_i^r = 10^{-6} \cdot 94,903 \cdot 1733 \cdot 17,5 = 2,878 \text{ т/рік.}$$

Визначення секундного викиду твердих часток

$$\ell_{\text{ТВ}} = \frac{1000E_{\text{ТВ}}}{3,6T_{\text{Су}}} = \frac{1000 \cdot 2,878}{3,6 \cdot 2300} = 0,348 \text{ г/с.}$$

### Викид важких металів

Визначення показника емісії викиду важких металів здійснюється за рівнянням (3.8) та даних табл. 3.1, 3.2(е) та 3.3 [1-2].

1. Показник емісії для *As*

$$k_{\text{As}} = \frac{C_{\text{в.м. As}}}{Q_i^r} [a_{\text{в.ин}} f_{\text{зб. As}} (1 - \eta_{\text{зу}}) (1 - f_{\text{г. As}}) + f_{\text{г. As}} (1 - \eta_{\text{гзу}})] =$$

$$= \frac{20}{17,5} [0,8 \cdot 0,82 (1 - 0,994) (1 - 0,025) + 0,025 (1 - 0)] = 0,033 \text{ г/ГДж}$$

2. Показник емісії для *Cd*

$$k_{\text{Cd}} = \frac{C_{\text{в.м. Cd}}}{Q_i^r} [a_{\text{в.ин}} f_{\text{зб. Cd}} (1 - \eta_{\text{зу}}) (1 - f_{\text{г. Cd}}) + f_{\text{г. Cd}} (1 - \eta_{\text{гзу}})] =$$

$$= \frac{0}{17,5} [0,8 \cdot 0,68 (1 - 0,994) (1 - 0,018) + 0,018 (1 - 0)] = 0 \text{ г/ГДж}$$

3. Показник емісії для *Cr*

$$k_{\text{Cr}} = \frac{C_{\text{в.м. Cr}}}{Q_i^r} [a_{\text{в.ин}} f_{\text{зб. Cr}} (1 - \eta_{\text{зу}}) (1 - f_{\text{г. Cr}}) + f_{\text{г. Cr}} (1 - \eta_{\text{гзу}})] =$$

$$= \frac{47}{17,5} [0,8 \cdot 0,585 (1 - 0,994) (1 - 0,002) + 0,002 (1 - 0)] = 0,013 \text{ г/ГДж}$$

4. Показник емісії для *Cu*

$$k_{\text{Cu}} = \frac{C_{\text{в.м. Cu}}}{Q_i^r} [a_{\text{в.ин}} f_{\text{зб. Cu}} (1 - \eta_{\text{зу}}) (1 - f_{\text{г. Cu}}) + f_{\text{г. Cu}} (1 - \eta_{\text{гзу}})] =$$

$$= \frac{29}{17,5} [0,8 \cdot 0,609 (1 - 0,994) (1 - 0,008) + 0,008 (1 - 0)] = 0,018 \text{ г/ГДж}$$

5. Показник емісії для *Hg*

$$k_{Hg} = \frac{C_{\text{в.м.}Hg}}{Q_i^r} [a_{\text{вин}} f_{\text{зб.}Hg} (1 - \eta_{\text{зy}}) (1 - f_{\text{г.}Hg}) + f_{\text{г}Hg} (1 - \eta_{\text{гзy}})] =$$

$$= \frac{0,16}{17,5} [0,8 \cdot 0(1 - 0,994)(1 - 0,864) + 0,864(1 - 0)] = 0,0079 \text{ г/ГДж}$$

6. Показник емісії для *Ni*

$$k_{Ni} = \frac{C_{\text{в.м.}Ni}}{Q_i^r} [a_{\text{вин}} f_{\text{зб.}Ni} (1 - \eta_{\text{зy}}) (1 - f_{\text{г.}Ni}) + f_{\text{г}Ni} (1 - \eta_{\text{гзy}})] =$$

$$\frac{26}{17,5} [0,8 \cdot 0,886(1 - 0,994)(1 - 0,012) + 0,012(1 - 0)] = 0,0241 \text{ г/ГДж}$$

7. Показник емісії для *Pb*

$$k_{Pb} = \frac{C_{\text{в.м.}Pb}}{Q_i^r} [a_{\text{вин}} f_{\text{зб.}Pb} (1 - \eta_{\text{зy}}) (1 - f_{\text{г.}Pb}) + f_{\text{г}Pb} (1 - \eta_{\text{гзy}})] =$$

$$= \frac{16}{17,5} [0,8 \cdot 0,939(1 - 0,994)(1 - 0,024) + 0,024(1 - 0)] = 0,026 \text{ г/ГДж}$$

8. Показник емісії для *Se*

$$k_{Se} = \frac{C_{\text{в.м.}Se}}{Q_i^r} [a_{\text{вин}} f_{\text{зб.}Se} (1 - \eta_{\text{зy}}) (1 - f_{\text{г.}Se}) + f_{\text{г}Se} (1 - \eta_{\text{гзy}})] =$$

$$= \frac{0}{17,5} [0,8 \cdot 0,783(1 - 0,994)(1 - 0,021) + 0,021(1 - 0)] = 0 \text{ г/ГДж}$$

9. Показник емісії для *Zn*

$$k_{Zn} = \frac{C_{\text{в.м.}Zn}}{Q_i^r} [a_{\text{вин}} f_{\text{зб.}Zn} (1 - \eta_{\text{зy}}) (1 - f_{\text{г.}Zn}) + f_{\text{г}Zn} (1 - \eta_{\text{гзy}})] =$$

$$= \frac{40}{17,5} [0,8 \cdot 0,833(1 - 0,994)(1 - 0,025) + 0,025(1 - 0)] = 0,066 \text{ г/ГДж}$$

Визначення валового викиду важких металів здійснюється за рівнянням (3.1) та даних табл. 3.1 [1-2].

1. Валовий та секундний викид для *As*

$$E_{As} = 10^{-6} \cdot k_{As} \cdot Q_{cy} \cdot Q_i^r = 10^{-6} \cdot 0,033 \cdot 1733 \cdot 17,5 = 0,001 \text{ т/рік.}$$

$$\ell_{As} = \frac{1000 E_{As}}{3,6 T_{cy}} = \frac{1000 \cdot 0,001}{3,6 \cdot 2300} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ г/с.}$$

## 2. Валовий та секундний викид для Cd

$$E_{Cd} = 10^{-6} \cdot k_{Cd} \cdot Q_{cy} \cdot Q_i^r = 10^{-6} \cdot 0 \cdot 1733 \cdot 17,5 = 0 \text{ т/рік.}$$

$$\ell_{Cd} = \frac{1000E_{Cd}}{3,6T_{cy}} = \frac{1000 \cdot 0}{3,6 \cdot 2300} = 0 \text{ г/с.}$$

## 3. Валовий та секундний викид для Cr

$$E_{Cr} = 10^{-6} \cdot k_{Cr} \cdot Q_{cy} \cdot Q_i^r = 10^{-6} \cdot 0,013 \cdot 1733 \cdot 17,5 = 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ т/рік.}$$

$$\ell_{Cr} = \frac{1000E_{Cr}}{3,6T_{cy}} = \frac{1000 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4}}{3,6 \cdot 2300} = 4,6 \cdot 10^{-5} \text{ г/с.}$$

## 4. Валовий та секундний викид для Cu

$$E_{Cu} = 10^{-6} \cdot k_{Cu} \cdot Q_{cy} \cdot Q_i^r = 10^{-6} \cdot 0,018 \cdot 1733 \cdot 17,5 = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ т/рік.}$$

$$\ell_{Cu} = \frac{1000E_{Cu}}{3,6T_{cy}} = \frac{1000 \cdot 5,5 \cdot 10^{-4}}{3,6 \cdot 2300} = 6,6 \cdot 10^{-5} \text{ г/с.}$$

## 5. Валовий та секундний викид для Hg

$$E_{Hg} = 10^{-6} \cdot k_{Hg} \cdot Q_{cy} \cdot Q_i^r = 10^{-6} \cdot 0,0079 \cdot 1733 \cdot 17,5 = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ т/рік.}$$

$$\ell_{Hg} = \frac{1000E_{Hg}}{3,6T_{cy}} = \frac{1000 \cdot 2,4 \cdot 10^{-4}}{3,6 \cdot 2300} = 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ г/с.}$$

## 6. Валовий та секундний викид для Ni

$$E_{Ni} = 10^{-6} \cdot k_{Ni} \cdot Q_{cy} \cdot Q_i^r = 10^{-6} \cdot 0,0241 \cdot 1733 \cdot 17,5 = 7,3 \cdot 10^{-4} \text{ т/рік.}$$

$$\ell_{Ni} = \frac{1000E_{Ni}}{3,6T_{cy}} = \frac{1000 \cdot 7,3 \cdot 10^{-4}}{3,6 \cdot 2300} = 8,8 \cdot 10^{-5} \text{ г/с.}$$

## 7. Валовий та секундний викид для Pb

$$E_{Pb} = 10^{-6} \cdot k_{Pb} \cdot Q_{cy} \cdot Q_i^r = 10^{-6} \cdot 0,026 \cdot 1733 \cdot 17,5 = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ т/рік.}$$

$$\ell_{Pb} = \frac{1000E_{Pb}}{3,6T_{cy}} = \frac{1000 \cdot 7,9 \cdot 10^{-4}}{3,6 \cdot 2300} = 9,5 \cdot 10^{-5} \text{ г/с.}$$

## 8. Валовий та секундний викид для Se

$$E_{Se} = 10^{-6} \cdot k_{Se} \cdot Q_{cy} \cdot Q_i^r = 10^{-6} \cdot 0 \cdot 1733 \cdot 17,5 = 0 \text{ т/рік.}$$

$$\ell_{Se} = \frac{1000E_{Se}}{3,6T_{cy}} = \frac{1000 \cdot 0}{3,6 \cdot 2300} = 0 \text{ г/с.}$$

## 9. Валовий та секундний викид для Zn

$$E_{Zn} = 10^{-6} \cdot k_{Zn} \cdot Q_{cy} \cdot Q_i^r = 10^{-6} \cdot 0,066 \cdot 1733 \cdot 17,5 = 0,002 \text{ т/рік.}$$

$$\ell_{Zn} = \frac{1000E_{Zn}}{3,6T_{cy}} = \frac{1000 \cdot 0,002}{3,6 \cdot 2300} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ г/с.}$$

### *Викид оксиду азоту*

Визначення валового викиду оксиду азоту здійснюється за рівнянням (3.1) та даних табл. 3.1 та 3.2(ж) [1-2]

$$E_{N_2O} = 10^{-6} \cdot k_{N_2O} \cdot Q_{cy} \cdot Q_i^r = 10^{-6} \cdot 56 \cdot 1733 \cdot 17,5 = 1,698 \text{ т/рік.}$$

Визначення секундного викиду оксиду азоту

$$\ell_{N_2O} = \frac{1000E_{N_2O}}{3,6T_{cy}} = \frac{1000 \cdot 1,698}{3,6 \cdot 2300} = 0,205 \text{ г/с}$$

### *Викид метану*

Визначення валового викиду метану здійснюється за рівнянням (3.1) та даних табл. 3.1 та 3.2(к) [1-2]

$$E_{CH_4} = 10^{-6} \cdot k_{CH_4} \cdot Q_{cy} \cdot Q_i^r = 10^{-6} \cdot 1 \cdot 1733 \cdot 17,5 = 0,03 \text{ т/рік}$$

Визначення секундного викиду метану

$$\ell_{CH_4} = \frac{1000E_{CH_4}}{3,6T_{cy}} = \frac{1000 \cdot 0,03}{3,6 \cdot 2300} = 0,004 \text{ г/с}$$

## 3.4.2 Аспіраційна система

На фабриці є аспіраційна система потужністю  $V_a = 27\,500 \text{ н} \cdot \text{м}^3/\text{год.}$  Час її роботи  $T_a = 3219$  годин на рік. Концентрація пилу повітря, що потрапляє в аспіраційну систему  $C_a = 4,4 \text{ г}/(\text{н} \cdot \text{м}^3/\text{год.})$ , коефіцієнт уловлювання  $\eta_a = 0,85$  [1-2].

Розрахунок відхідних твердих частинок для аспіраційної системи здійснюється за рівнянням (3.9) та даних табл. 3.1 [1-2]:

$$M_{0^a} = C_a \cdot V_a \cdot T_a \cdot 10^{-6} = 4,4 \cdot 27500 \cdot 3219 \cdot 10^{-6} = 389,5 \text{ т/рік}$$

Кількість уловлених твердих частинок визначається за рівнянням (3.10)

$$M_{y^a} = M_{0^a} \cdot \eta_a = 389,5 \cdot 0,85 = 331,1 \text{ т/рік}$$

Кількість твердих частинок, що викидаються в атмосферу, визначається за рівнянням (3.11)

$$M_B^a = M_{0^a} - M_{y^a} = 389,5 - 331,1 = 58,4 \text{ т/рік}$$

Секундний викид твердих частинок в атмосферу аспіраційною системою

$$m_B^a = \frac{1000 M_B^a}{3,6 T_a} = \frac{1000 \cdot 58,4}{3,6 \cdot 3219} = 5,04 \text{ г/с}$$

### 3.4.3 Діючий породний відвал, який не горить

На фабриці є плоский діючий породний відвал, який не горить. Порода подається автосамоскидами і планувальні роботи бульдозером. Щорічно у відвал подається  $\Pi = 162\,400 \text{ м}^3/\text{рік}$  породи з вологістю  $W_n = 11,5\%$ . Площа поверхні відвалу, яка пилить, дорівнює  $S_0 = 130\,000 \text{ м}^2$ . Пилопригнічення на даному відвалі не проводиться. Для місцевості, де розташований відвал, характерні: швидкість вітру, що часто повторюється  $V_e = 6,0 \text{ м/с}$  та  $T_c = 180$  днів зі стійким сніговим покривом [1-2].

Так як відвал не горить, тоді до забруднюючих речовин відносяться тільки тверді частинки. Викиди твердих частинок в атмосферу відвалами визначаються як сума викидів при формуванні і при здуванні частинок з поверхні, що пилить.

Кількість часток, що виділяються під час формування відвалу, визначається за формулою (3.12):

$$\begin{aligned} M_{0^{\phi}} &= K_0 \cdot K_1 \cdot q_{\phi}^0 \cdot \Pi (1 - \eta_0^1) \cdot 10^{-6} = \\ &= 0,1 \cdot 1,4 \cdot 10 \cdot 162400 \cdot (1 - 0) \cdot 10^{-6} = 0,195 \text{ т/рік} \end{aligned}$$

Кількість твердих частинок, що здуваються з поверхні породного відвалу, визначається за формулою (3.13)

$$\begin{aligned} M_{0^c} &= 86,4 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot q_c \cdot K_m \cdot (365 - T_c) (1 - \eta_0^1) = \\ &= 86,4 \cdot 0,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 130000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot (365 - 180) (1 - 0) = 2,49 \text{ т/рік.} \end{aligned}$$

Разом викидів твердих частинок

$$M_o = M_o^{\phi} + M_o^c = 0,195 + 2,49 = 2,685 \text{ т/рік.}$$

### 3.4.4 Недіючий породний відвал, що горить

На балансі фабрики знаходиться недіючий породний відвал, що горить другий рік ( $n_1 = 1$ ). Викидами забруднюючих речовин є тверді частинки, що здуваються з поверхні породного відвалу і газоподібні речовини, що виділяються в результаті його горіння. Заходи щодо пилопригнічення та зниження вогнищ горіння не проводяться  $\eta_o = 0$  та  $\eta_r = 0$  [1-2].

Кількість твердих частинок, що здуваються з поверхні породного відвалу, визначається за формулою (3.13) та даними табл. 3.1:

$$\begin{aligned} M_o^c &= 86,4 \cdot K_o \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_o \cdot q_c \cdot K_m \cdot (365 - T_c)(1 - \eta^1) = \\ &= 86,4 \cdot 0,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 130\,000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot (365 - 180)(1 - 0) = 2,49 \text{ т/рік.} \end{aligned}$$

Кількість газоподібних шкідливих речовин, що виділяються, визначається за формулою (3.15) і даними табл. 3.7 [2-3]:

а) викиди діоксиду сірки

$$M_{SO_2} = q_{SO_2} \cdot n_1 \cdot K_3 = 453,6 \cdot 1 \cdot 0,3 = 136,08 \text{ т/рік;}$$

б) викиди оксидів азоту

$$M_{NO_x} = q_{NO_x} \cdot n_1 \cdot K_3 = 45,3 \cdot 1 \cdot 0,3 = 13,59 \text{ т/рік;}$$

в) викиди сірководню

$$M_{H_2S} = q_{H_2S} \cdot n_1 \cdot K_3 = 226,8 \cdot 1 \cdot 0,3 = 67,83 \text{ т/рік;}$$

г) викиди оксиду вуглецю

$$M_{CO} = q_{CO} \cdot n_1 \cdot K_3 = 4536,0 \cdot 1 \cdot 0,3 = 1360,8 \text{ т/рік}$$

### 3.4.5 Склад вугільного концентрату

На балансі знаходиться один склад готової вугільної товарної продукції відкритого типу з усіх боків (див. вихідні дані). Кількість вугілля

вологістю 6% і крупністю 10-50 мм, що надходить складу, становить 7 т/год. Висота пересипу – 1,5 м, площа основи штабелів вугілля – 1000 м<sup>2</sup>, фактична поверхня матеріалу – 1400 м<sup>2</sup>. Пилопригнічення не застосовується. Для місцевості, де розташований склад, характерна часта повторюваність швидкості вітру 6 м/с і 180 днів протягом року снігового покриву [1-2].

Викидами забруднюючих речовин в атмосферу є тверді частинки, що піднімаються в повітря при пересипанні та переміщенні матеріалу внаслідок здування вітром.

Питомий викид твердих частинок зі складу вугільної товарної продукції визначається за формулою (3.16)

$$q = A + B = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7 \cdot G \cdot 10^6 \cdot B'}{3600} + k_3 k_4 k_5 k_6 k_7 q \cdot F =$$

$$= \frac{0,03 \cdot 0,02 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 0,6 \cdot 0,5 \cdot 7 \cdot 10^6 \cdot 0,6}{3600} + 1,4 \cdot 1,0 \cdot 0,6 \cdot 1,4 \cdot 0,5 \cdot 0,005 \cdot 1000 =$$

$$= 0,294 + 2,94 = 3,234 \text{ г/с}$$

$$\text{де } k_6 = \frac{F_{\text{факт}}}{F} = \frac{1400}{1000} = 1,4$$

Загальний обсяг викидів твердих частинок зі складу визначається за формулою (3.17):

$$M_{\text{ск}} = 1,44 \cdot q \cdot (365 - T_c) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 1,44 \cdot 3,234 \cdot (365 - 180) \cdot 10^{-3} = 0,861 \text{ т/рік}$$

### 3.4.6 Мулонакопичувач

На фабриці є один мулонакопичувач площею  $F_{\text{мул}} = 13,5$  га. Пляжна зона становить  $f_{\text{пл}} = 0,6$ . Вологість верхнього шару матеріалу пляжної зони мулонакопичувача становить  $W_{\text{мул}} = 13,6$  %. Для місцевості, де розташований відкритий з усіх боків мулонакопичувач, швидкість вітру, що часто повторюється, дорівнює  $V_8 = 6$  м/с. Пилопригнічення не здійснюється  $\eta_{\text{мул}}^n = 0$  [1-2].

Забруднюючою речовиною від мулонакопичувача є тверді частинки.

Питомий викид твердих частинок від мулонакопичувача визначається за частиною  $B$  формули (3.16).

$$q_{\text{мул}} = B = k_3 k_4 k_5 k_6 k_7 q \cdot F_{\text{пл}} = 1,4 \cdot 1,0 \cdot 0,01 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,005 \cdot 81000 = 5,67 \text{ г/с}$$

$$\text{де } F_{\text{пл}} = f_{\text{пл}} \cdot F_{\text{мул}} = 0,6 \cdot 13,5 = 8,1 \text{ га або } 81000 \text{ м}^2.$$

Загальний обсяг викидів твердих частинок з мулонакопичувача визначається за формулою (3.17)

$$M_{\text{мул}} = 1,44 \cdot q_{\text{мул}} \cdot (365 - T_c) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 1,44 \cdot 5,67 \cdot (365 - 180) \cdot 10^{-3} = 1,51 \text{ т/рік}$$

### 3.4.7 Навантажувально-розвантажувальні роботи

На фабриці всіма видами вантажно-розвантажувальних робіт здійснюється відвантаження 1200 тис. т за рік вугільного концентрату з вологістю  $W_k = 8,5\%$  при висоті пересипки  $h_{\text{пер}} = 1,5 \text{ м}$  [1-2].

Для місцевості, де проходять вантажно-розвантажувальні роботи, швидкість вітру  $V_e = 6 \text{ м/с}$ , що часто повторюється. Пилопригнічення не здійснюється  $\eta^1 = 0$ .

Забруднюючою речовиною у цьому виді робіт є тверді частки.

Кількість викидів твердих частинок від усіх видів вантажно-розвантажувальних робіт визначається за формулою (3.18):

$$M_n = K_0 \cdot K_1 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot q_n \cdot Q_n (1 - \eta^1) \cdot 10^{-6} =$$

$$= 0,3 \cdot 1,4 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 3,0 \cdot 1200000 \cdot (1 - 0) \cdot 10^{-6} = 0,454 \text{ т/рік}$$

### 3.4.8 Розрахунок викидів забруднюючих речовин, що здуваються при транспортуванні гірської маси відкритим стрічковим конвеєром

Вугілля на фабрику подається відкритим стрічковим конвеєром, довжина якого  $L_{\text{ск}} = 1000 \text{ м}$  та ширина стрічки  $B_{\text{ск}} = 1,4 \text{ м}$ . Час роботи  $T_{\text{ск}} = 6000 \text{ год/рік}$ , вологість матеріалу  $W_e = 6,2\%$ .

Для місцевості, де проходить стрічковий конвеєр швидкість вітру  $V_e = 6 \text{ м/с}$ , що часто повторюється, пилопригнічення здійснюється  $\eta^{\text{пск}} = 0,8$ .

Забруднюючою речовиною у цьому виді робіт є тверді частки. Кількість викидів твердих частинок при транспортуванні гірської маси відкритим стрічковим конвеєром визначається за формулою (3.19)

$$M_{\text{ск}} = 3,6 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot q_{\text{ск}} \cdot L_{\text{ск}} \cdot B_{\text{ск}} \cdot f_{\text{подр}} \cdot T_{\text{ск}} (1 - \eta^{\text{пск}}) =$$

$$= 3,6 \cdot 1,0 \cdot 1,4 \cdot 3,0 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 \cdot 1,4 \cdot 0,1 \cdot 6000 \cdot (1 - 0,8) = 25,4 \text{ т/рік.}$$

### 3.5 Викиди забруднюючих речовин під час роботи вуглезбагачувального підприємства

Кількість забруднюючих речовин, яка розрахована у пп. 3.4.1-3.4.8 для вуглезбагачувального підприємства, зведена у табл. 3.15.

Таблиця 3.15 – Зведена таблиця викидів забруднюючих речовин

№ п/п	Найменування забруднюючої речовини	Кількість викидів за джерелами, т/рік								Разом
		Сушильна установка	Аспіраційна система	Діючий відвал, що не горить	Недіючий відвал, що горить	Склад вугілля	Мулонакопичувач	Навантаження концентрату	Відкритий стрічковий конвеєр рядового вугілля	
1	Оксиду азоту ( $N_2O$ )	1,698	-	-	13,59	-	-	-	-	15,288
2	Оксиди азоту ( $NOx$ )	6,718	-	-		-	-	-	-	6,718
3	Сірководень	-	-	-	67,83	-	-	-	-	67,83
4	Сірчистий ангідрид	105,366	-	-	136,08	-	-	-	-	241,446
5	Оксид вуглецю	3,670	-	-	1360,8	-	-	-	-	1364,47
6	Діоксид вуглецю	2767,948	-	-	-	-	-	-	-	2767,948
7	Метан	0,03	-	-	-	-	-	-	-	0,03
8	Миш'як, неорганічні сполуки	0,001	-	-	-	-	-	-	-	0,001
9	Кадмій	0	-	-	-	-	-	-	-	0
10	Хром шестивалентний	$3,9 \cdot 10^{-4}$	-	-	-	-	-	-	-	$3,9 \cdot 10^{-4}$
11	Міді оксид (у перерахунку на мідь)	$5,5 \cdot 10^{-4}$	-	-	-	-	-	-	-	$5,5 \cdot 10^{-4}$
12	Ртуть металева	$2,4 \cdot 10^{-4}$	-	-	-	-	-	-	-	$2,4 \cdot 10^{-4}$
13	Нікель металевий	$7,3 \cdot 10^{-4}$	-	-	-	-	-	-	-	$7,3 \cdot 10^{-4}$
14	Свинець та його неорганічні сполуки (у перерахунку на свинець)	$7,9 \cdot 10^{-4}$	-	-	-	-	-	-	-	$7,9 \cdot 10^{-4}$
15	Селеніум	0	-	-	-	-	-	-	-	0
16	Цинку оксид (у перерахунку на цинк)	0,002	-	-	-	-	-	-	-	0,002
17	Пил неорганічний, що містить двоокис кремнію від 20 до 70%	2,878	58,4	2,685	2,49	0,861	1,51	0,454	25,4	94,678

#### Рекомендована література

1. Технологічно-екологічний інжиніринг при збагаченні корисних копалин : навч. посібник / А. Д. Полулях, П. І. Пілов, А. І. Єгурнов, Д. А. Полулях. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2012. 713 с.

2. Практикум з технологічно-екологічного інжинірингу при збагаченні корисних копалин : навч. посібник / А. Д. Полулях, П. І. Пілов, А. І. Єгурнов, Д. А. Полулях. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2011. 90 с.

3. Вплив відвалу розкривних порід гранітного кар'єру на якість ґрунтів

о прилеглих територій / Н. М. Максимова та ін. *Збірник наукових праць НГУ*. 2021. № 65. С. 179-194. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.179> (дата звернення: 30.05.2024).

4. ГКД 34.02.305-2002. Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. [Чинний від 2002-07-01]. Вид. офіц. Київ. 2002. 24 с.

5. Показники емісії (питомі викиди) забруднюючих речовин від процесів, електро-, газозварювання, наплавлювання, електро-газорізання та напилювання металів. [Чинний від 2003-01-11]. Вид. офіц. Київ. 2003. 17 с.

### Питання для самоперевірки

1. Перелічить основні джерела викидів під час збагачення вугілля.
2. Як Ви розумієте показник «емісії шкідливих речовин»?
3. Які параметри впливають на кількість викидів забруднюючих речовин від сушильних установок і аспіраційних систем?

### Тести для контролю

Одна вірна відповідь на тестове запитання.

1) Визначте кількість твердих частинок, що виділяються при формуванні відвалів за умови:  $K_0 = 0,1$  – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу;  $K_1 = 1,4$  – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру;  $q_{\phi}^0 = 10$  – питома виділення твердих частинок з  $1 \text{ м}^3$  породи, що подається у відвал,  $\text{г/м}^3$ ;  $\Pi = 162\,400$  – кількість породи, що подається у відвал,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  $\eta_0^1 = 0$  – ефективність застосовуваних засобів пилопригнічення, ч. од.

а)  $M_{\phi} = K_0 \cdot K_1 : q_{\phi}^0 \cdot \Pi (1 - \eta_0^1) = 0,1 \cdot 1,4 : 10 \cdot 162400 \cdot (1 - 0) = 22,7$  т/рік

б)  $M_{\phi} = K_0 \cdot K_1 \cdot q_{\phi}^0 \cdot \Pi (1 - \eta_0^1) = 0,1 \cdot 1,4 \cdot 10 \cdot 162400 \cdot (1 - 0) = 227$  т/рік

в)  $M_{\phi} = K_0 \cdot K_1 : q_{\phi}^0 \cdot \Pi (1 - \eta_0^1) = 0,1 \cdot 1,4 : 10 \cdot 162400 \cdot (1 - 0) \cdot 10^{-6} = 0,0227$  т/рік

г)  $M_{\phi} = K_0 \cdot K_1 \cdot q_{\phi}^0 \cdot \Pi (1 - \eta_0^1) \cdot 10^{-6} = 0,1 \cdot 1,4 \cdot 10 \cdot 162400 \cdot (1 - 0) \cdot 10^{-6} = 0,227$  т/рік

2) Визначте кількість твердих частинок, що виділяються при формуванні відвалів за умови:  $K_0 = 0,1$  – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу;  $K_1 = 1,4$  – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру;  $q_{\phi}^0 = 10$  – питома виділення твердих частинок з  $1 \text{ м}^3$  породи, що подається у відвал,  $\text{г/м}^3$ ;  $\Pi = 100\,000$  – кількість породи, що подається у відвал,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  $\eta_0^1 = 0$  – ефективність застосовуваних засобів пилопригнічення, ч. од.

а)  $M_{\phi} = K_0 \cdot K_1 : q_{\phi}^0 \cdot \Pi (1 - \eta_0^1) = 0,1 \cdot 1,4 : 10 \cdot 100\,000 \cdot (1 - 0) = 1400$  т/рік

б)  $M_{\phi} = K_0 \cdot K_1 \cdot q_{\phi}^0 \cdot \Pi (1 - \eta_0^1) = 0,1 \cdot 1,4 \cdot 10 \cdot 100\,000 \cdot (1 - 0) =$

140 тис. т/рік

с)  $M_o^{\Phi} = K_0 \cdot K_1 : q_{\Phi}^0 \cdot \Pi (1 - \eta_0^1) = 0,1 \cdot 1,4 : 10 \cdot 100\,000 \cdot (1 - 0) \cdot 10^{-6} = 0,0014$  т/рік

д)  $M_o^{\Phi} = K_0 \cdot K_1 \cdot q_{\Phi}^0 \cdot \Pi (1 - \eta_0^1) \cdot 10^{-6} = 0,1 \cdot 1,4 \cdot 10 \cdot 100\,000 \cdot (1 - 0) \cdot 10^{-6} = 0,14$  т/рік

3) Визначте кількість твердих частинок, що виділяються при формуванні відвалів за умови:  $K_0 = 0,1$  – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу;  $K_1 = 1,4$  – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру;  $q_{\Phi}^0 = 10$  – питоме виділення твердих частинок з 1 м<sup>3</sup> породи, що подається у відвал, г/м<sup>3</sup>;  $\Pi = 120\,000$  – кількість породи, що подається у відвал, м<sup>3</sup>/год;  $\eta_0^1 = 0$  – ефективність застосовуваних засобів пилопригнічення, ч. од.

а)  $M_o^{\Phi} = K_0 \cdot K_1 : q_{\Phi}^0 \cdot \Pi (1 - \eta_0^1) = 0,1 \cdot 1,4 : 10 \cdot 120\,000 \cdot (1 - 0) = 1680$  т/рік

б)  $M_o^{\Phi} = K_0 \cdot K_1 \cdot q_{\Phi}^0 \cdot \Pi (1 - \eta_0^1) = 0,1 \cdot 1,4 \cdot 10 \cdot 120\,000 \cdot (1 - 0) = 168$  тис. т/рік

с)  $M_o^{\Phi} = K_0 \cdot K_1 : q_{\Phi}^0 \cdot \Pi (1 - \eta_0^1) = 0,1 \cdot 1,4 : 10 \cdot 120\,000 \cdot (1 - 0) \cdot 10^{-6} = 0,00168$  т/рік

д)  $M_o^{\Phi} = K_0 \cdot K_1 \cdot q_{\Phi}^0 \cdot \Pi (1 - \eta_0^1) \cdot 10^{-6} = 0,1 \cdot 1,4 \cdot 10 \cdot 120\,000 \cdot (1 - 0) \cdot 10^{-6} = 0,168$  т/рік

4) Визначте кількість твердих частинок, що здуваються з поверхні породних відвалів за умови:  $K_0 = 0,1$  – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу;  $K_1 = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру;  $K_2 = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує ефективність здування твердих частинок для діючих відвалів;  $S_0 = 130\,000$  – площа пилу поверхні відвалу, м<sup>2</sup>;  $q_c = 0,1 \cdot 10^{-6}$  – питоме здування твердих частинок з поверхні відвалу, яка пилить, кг/м<sup>2</sup>·с;  $K_M = 0,1$  – коефіцієнт подрібнення гірничої маси;  $T_c = 50$  – річна кількість днів зі стійким сніговим покривом;  $\eta_0^1 = 0$  – ефективність застосовуваних засобів пилопригнічення, ч. од.

а)  $M_o^c = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot q_c \cdot K_M \cdot (365 - T_c) (1 - \eta_0^1) = 0,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 130\,000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot (365 - 50) (1 - 0) = 0,049$  т/рік

б)  $M_o^c = 86,4 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot q_c \cdot K_M \cdot (365 - T_c) (1 - \eta_0^1) = 86,4 \cdot 0,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 130\,000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} : 0,1 \cdot (365 - 50) (1 - 0) = 424,57$  т/рік

с)  $M_o^c = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot q_c : K_M \cdot (365 - T_c) (1 - \eta_0^1) = 0,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 130\,000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} : 0,1 \cdot (365 - 50) (1 - 0) = 4,91$  т/рік

д)  $M_o^c = 86,4 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot q_c \cdot K_M \cdot (365 - T_c) (1 - \eta_0^1) = 86,4 \cdot 0,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 130\,000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot (365 - 50) (1 - 0) = 4,25$  т/рік

5) Визначте кількість твердих частинок, що здуваються з поверхні породних відвалів за умови:  $K_0 = 0,1$  – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу;  $K_1 = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру;  $K_2 = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує ефективність здування твердих частинок для діючих відвалів;  $S_0 = 100\,000$  – площа пилу поверхні відвалу, м<sup>2</sup>;  $q_c = 0,1 \cdot 10^{-6}$  – питоме здування твердих частинок з поверхні відвалу, яка

пилить,  $\text{кг/м}^2\cdot\text{с}$ ;  $K_M = 0,1$  – коефіцієнт подрібнення гірничої маси;  $T_c = 50$  – річна кількість днів зі стійким сніговим покривом;  $\eta_0^1 = 0$  – ефективність застосовуваних засобів пилопригнічення, ч. од.

$$\text{a) } M_o^c = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot q_c \cdot K_M \cdot (365 - T_c) \cdot (1 - \eta_0^1) = 0,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 100000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot (365 - 50) \cdot (1 - 0) = 0,038 \text{ т/рік}$$

$$\text{b) } M_o^c = 86,4 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot q_c \cdot K_M \cdot (365 - T_c) \cdot (1 - \eta_0^1) = 86,4 \cdot 0,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 100000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot (365 - 50) \cdot (1 - 0) = 326,59 \text{ т/рік}$$

$$\text{c) } M_o^c = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot q_c \cdot K_M \cdot (365 - T_c) \cdot (1 - \eta_0^1) = 0,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 100000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot (365 - 50) \cdot (1 - 0) = 3,78 \text{ т/рік}$$

$$\text{d) } M_o^c = 86,4 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot q_c \cdot K_M \cdot (365 - T_c) \cdot (1 - \eta_0^1) = 86,4 \cdot 0,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 100000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot (365 - 50) \cdot (1 - 0) = 3,27 \text{ т/рік}$$

б) Визначте кількість твердих частинок, що здуваються з поверхні породних відвалів за умови:  $K_0 = 0,1$  – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу;  $K_1 = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру;  $K_2 = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує ефективність здування твердих частинок для діючих відвалів;  $S_0 = 100\,000$  – площа пилу поверхні відвалу,  $\text{м}^2$ ;  $q_c = 0,1 \cdot 10^{-6}$  – питоме здування твердих частинок з поверхні відвалу, яка пилить,  $\text{кг/м}^2\cdot\text{с}$ ;  $K_M = 0,1$  – коефіцієнт подрібнення гірничої маси;  $T_c = 45$  – річна кількість днів зі стійким сніговим покривом;  $\eta_0^1 = 0$  – ефективність застосовуваних засобів пилопригнічення, ч. од.

$$\text{a) } M_o^c = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot q_c \cdot K_M \cdot (365 - T_c) \cdot (1 - \eta_0^1) = 0,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 100000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot (365 - 45) \cdot (1 - 0) = 0,038 \text{ т/рік}$$

$$\text{b) } M_o^c = 86,4 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot q_c \cdot K_M \cdot (365 - T_c) \cdot (1 - \eta_0^1) = 86,4 \cdot 0,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 100000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot (365 - 45) \cdot (1 - 0) = 331,78 \text{ т/рік}$$

$$\text{c) } M_o^c = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot q_c \cdot K_M \cdot (365 - T_c) \cdot (1 - \eta_0^1) = 0,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 100000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot (365 - 45) \cdot (1 - 0) = 3,84 \text{ т/рік}$$

$$\text{d) } M_o^c = 86,4 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot q_c \cdot K_M \cdot (365 - T_c) \cdot (1 - \eta_0^1) = 86,4 \cdot 0,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 100000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot (365 - 45) \cdot (1 - 0) = 3,32 \text{ т/рік}$$

7) Визначте загальний обсяг викидів твердих частинок з мулонакопичувача за умови:  $T_c = 50$  – річна кількість днів зі стійким сніговим покривом, дні;  $q_{\text{мул}} = 5,67$  – питомий викид твердих частинок від мулонакопичувача,  $\text{г/с}$ .

$$\text{a) } M_{\text{мул}} = q_{\text{мул}} \cdot (365 - T_c) \cdot 10^{-3} = 5,67 \cdot (365 - 50) \cdot 10^{-3} = 1,79 \text{ т/рік}$$

$$\text{b) } M_{\text{мул}} = 1,44 \cdot q_{\text{мул}} \cdot (365 - T_c) = 1,44 \cdot 5,67 \cdot (365 - 50) = 2570 \text{ т/рік}$$

$$\text{c) } M_{\text{мул}} = 1,44 \cdot q_{\text{мул}} \cdot (365 - T_c) \cdot 10^{-6} = 1,44 \cdot 5,67 \cdot (365 - 50) \cdot 10^{-6} = 0,0026 \text{ т/рік}$$

$$\text{d) } M_{\text{мул}} = 1,44 \cdot q_{\text{мул}} \cdot (365 - T_c) \cdot 10^{-3} = 1,44 \cdot 5,67 \cdot (365 - 50) \cdot 10^{-3} = 2,57 \text{ т/рік}$$

8) Визначте загальний обсяг викидів твердих частинок з мулонакопичувача за умови:  $T_c = 45$  – річна кількість днів зі стійким сніговим покривом, дні;  $q_{\text{мул}} = 5,50$  – питомий викид твердих частинок від мулонакопичувача,  $\text{г/с}$ .

- a)  $M_{\text{мул}} = q_{\text{мул}} \cdot (365 - T_c) \cdot 10^{-3} = 5,50 \cdot (365 - 45) \cdot 10^{-3} = 1,76 \text{ т/рік}$   
 b)  $M_{\text{мул}} = 1,44 \cdot q_{\text{мул}} \cdot (365 - T_c) = 1,44 \cdot 5,50 \cdot (365 - 45) = 2530 \text{ т/рік}$   
 c)  $M_{\text{мул}} = 1,44 \cdot q_{\text{мул}} \cdot (365 - T_c) \cdot 10^{-6} = 1,44 \cdot 5,50 \cdot (365 - 45) \cdot 10^{-6} = 0,0025 \text{ т/рік}$   
 d)  $M_{\text{мул}} = 1,44 \cdot q_{\text{мул}} \cdot (365 - T_c) \cdot 10^{-3} = 1,44 \cdot 5,50 \cdot (365 - 45) \cdot 10^{-3} = 2,53 \text{ т/рік}$

9) Визначте загальний обсяг викидів твердих частинок з мулонакопичувача за умови:  $T_c = 55$  – річна кількість днів зі стійким сніговим покривом, дні;  $q_{\text{мул}} = 5,00$  – питомий викид твердих частинок від мулонакопичувача, г/с.

- a)  $M_{\text{мул}} = q_{\text{мул}} \cdot (365 - T_c) \cdot 10^{-3} = 5,00 \cdot (365 - 55) \cdot 10^{-3} = 1,55 \text{ т/рік}$   
 b)  $M_{\text{мул}} = 1,44 \cdot q_{\text{мул}} \cdot (365 - T_c) = 1,44 \cdot 5,00 \cdot (365 - 55) = 2232 \text{ т/рік}$   
 c)  $M_{\text{мул}} = 1,44 \cdot q_{\text{мул}} \cdot (365 - T_c) \cdot 10^{-6} = 1,44 \cdot 5,00 \cdot (365 - 55) \cdot 10^{-6} = 0,0022 \text{ т/рік}$   
 d)  $M_{\text{мул}} = 1,44 \cdot q_{\text{мул}} \cdot (365 - T_c) \cdot 10^{-3} = 1,44 \cdot 5,00 \cdot (365 - 55) \cdot 10^{-3} = 2,23 \text{ т/рік}$

## Розрахунок стійкості низового укосу земляної греблі методом круглоциліндричних поверхонь

### 4.1 Теоретичні відомості

Нижче наведена частина термінології та визначень понять, які згадуються у ДБН В.1.2-14:2018 [1]:

- аварія – пошкодження, вихід із ладу, руйнування об'єкта, що сталося з техногенних (конструктивних, виробничих, технологічних, експлуатаційних) або природних причин;

- безвідмовність – здатність об'єкта безперервно зберігати працездатний стан протягом заданого строку експлуатації;

- відмова – подія, що полягає в переході об'єкта, його частини або елемента через один із граничних станів (реалізація позаграничного стану);

- відмова-перешкода – відмова, після появи якої починається поступове накопичення збитків;

- відповідальний елемент – елемент, руйнування якого призводить до руйнування або загрози руйнування споруди в цілому;

- вплив – будь-яка причина, в результаті якої в конструкції змінюються внутрішні напруження, деформації або інші параметри стану;

- втрати – спричинені відмовою збитки нематеріального характеру (життя та здоров'я людей, культурні та духовні цінності);

- граничний стан – стан, при перевищенні якого об'єкт перестає задовольняти вимогам, встановленим у проєкті;

- експлуатація об'єкта – використання об'єкта за функціональним призначенням (з проведенням необхідних заходів щодо збереження заданого технічного стану конструкцій), за яким він спроможний виконувати задані функції, зберігаючи значення параметрів, встановлені вимогами проєктної документації;

- нагляд – прийнята на об'єкті система спостереження, фіксації та оцінки технічного стану конструкцій та їх частин;

- надійність об'єкта – властивість об'єкта виконувати задані функції протягом розрахункового строку експлуатації.

- позаграничний стан – перевищення межі, встановленої нормами для граничного стану.

Відповідно до ДБН В.1.2-14:2018 [1] залежно від наслідків, які можуть бути викликані відмовою, розрізняють три категорії відповідальності конструкції та її елементів:

А – конструкції та елементи, відмова яких може призвести до непридатності до експлуатації будівлі (споруди) або її частини;

Б – конструкції та елементи, відмова яких може призвести до ускладнення нормальної експлуатації будівлі (споруди) або до відмови інших конструкцій, які не належать до категорії А;

В – конструкції, відмова яких не призводить до порушення функціонування будівлі (споруди) в цілому або інших конструкцій або їх елементів.

За рекомендаціями п. 6.2.1 – 6.2.3 ДБН В.1.2-14-2018 [1] усі розрахункові вимоги норм формулюються для граничних станів, які визначають межу між допустимими і недопустимими (позаграничними) станами конструкцій. Перехід через граничний стан відповідає одному з видів відмови, самі граничні стани вважаються при цьому допустимими.

Граничні стани можуть бути віднесені до конструкції в цілому, до її окремих елементів, з'єднань або поперечних перерізів. Граничні стани поділяються на дві групи, які, в свою чергу, можуть мати підгрупи.

Перша група містить граничні стани, перехід через які призводить до повної непридатності об'єкта або його елементів до експлуатації і для яких позаграничними станами можуть бути: руйнування будь-якого характеру (в'язке, крихке, в результаті втоми); втрата стійкості форми; втрата стійкості положення; перехід у змінну систему; якісна зміна конфігурації; інші явища, за яких виникає потреба у припиненні експлуатації (наприклад, виникнення перфорації стінки ємкості з токсичними речовинами або надмірні переміщення основи при просадках чи спучуванні ґрунтів).

Друга група містить граничні стани, які ускладнюють нормальну експлуатацію об'єкта або зменшують його довговічність порівняно з розрахунковим строком експлуатації і для яких позаграничними станами є: надмірні переміщення або повороти деяких точок конструкції; недопустимі коливання (надмірні значення амплітуди, частоти, швидкості, прискорення); утворення та розкриття тріщин, досягнення ними гранично допустимих значень розкриття чи довжини; втрата стійкості форми у вигляді локального деформування або втрати стійкості форми перерізу; пошкодження від корозії чи інших видів фізичного зношення, які призводять до необхідності обмеження експлуатації внаслідок зменшення строку експлуатації об'єкта; недопустимі втрати тепла через огорожувальні конструкції, що призводить до збільшення матеріальних витрат на експлуатацію будівлі; недосягнення елементами будівлі необхідного рівня шумоізоляції. Граничні стани цієї групи можуть бути пов'язані з порушенням вимог щодо використання об'єкта без обмежень, порушенням вимог щодо рівня комфорту, зручностей персоналу, вимог до зовнішнього вигляду конструкцій. Досягнення граничного стану другої групи класифікується як відмова-перешкода.

Відповідно до п. 2.1 ДБН В.2.4-3:2010 [2] гідротехнічні споруди залежно від соціально-економічної відповідальності і наслідків можливих гідродинамічних аварій поділяють на класи наслідків (відповідальності). Класи наслідків (відповідальності) призначаються за таблицею 1 ДБН В.1.2-14 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи» (див. табл. 4.1) [1].

Таблиця 4.1 – Класи наслідків (відповідальності) об'єктів (відповідно до табл. 1 ДБН В.1.2-14) [1]

Клас наслідків (відповідальності об'єкта)	Характеристики можливих наслідків відмови об'єкта				
	Можлива небезпека, кількість осіб			Обсяг можливого економічного збитку, м.р.з.п.	Припинення функціонування лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, об'єктів комунікацій, зв'язку, енергетики та інженерних мереж, рівень
	Для здоров'я і життя людей, які постійно перебувають на об'єкті	Для здоров'я і життя людей, які періодично перебувають на об'єкті	Для життєдіяльності людей, які перебувають зовні об'єкті		
СС3 значні наслідки	Понад 400	Понад 1000	Понад 50 000	Понад 50 000	загальнодержавний
СС2 середні наслідки	Понад 50 до 400 включно	Понад 100 до 1000 включно	Понад 100 до 50 000 включно	Понад 2 500 до 50 000 включно	регіональний, місцевий
СС1 незначні наслідки	До 50 включно	До 100 включно	До 100 включно	До 2 500 включно	об'єктовий

Примітка 1. Вважається, що на об'єкті постійно перебувають люди, якщо вони перебувають там більше ніж вісім годин на добу і не менш ніж 150 днів на рік (загалом не менше 1200 год за рік). Особами, що періодично відвідують об'єкт вважаються ті, що заповнюють його не більше восьми годин на добу протягом не більше ніж 150 днів на рік (загалом від 450 до 1200 год за рік). Можливою небезпекою для життєдіяльності людей є ймовірне порушення нормальних умов життєдіяльності більш ніж на три доби відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 24 березня 2004 р. № 368 «Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями».

Примітка 2. Обсяг можливого економічного збитку визначається відповідно до Методики, зазначеній у Постанові Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 р. № 175 «Про затвердження Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру».

Примітка 3. Мінімальний розмір заробітної плати (м.р.з.п.) щорічно встановлюється відповідно до Закону України «Про Державний бюджет України».

Уточнити клас наслідків (відповідальності) гідротехнічних споруд слід за їх технічними параметрами, соціально-економічною відповідальністю та умовами експлуатації за обов'язковим додатком Г ДБН В.2.4-3:2010 [2].

Остаточо клас наслідків (відповідальності) основних гідротехнічних споруд (крім обумовлених в 2.1.5, 2.1.7, 2.1.8 ДБН В.2.4-3:2010 [2]) слід приймати таким, що дорівнює найбільшому його значенню, прийнятому за таблицею 1 ДБН В.1.2-14 (див. табл. 4.1) [1] або за таблицями Г.1, Г.2, Г.3 обов'язкового додатка Г ДБН В.2.4-3:2010 (див. табл. 4.2) [2]. Нижче наведена таблиця 4.2, яка відповідає обов'язковому дод. Г.1 ДБН В.2.4-3:2010 [2]. Замовник проекту гідротехнічних споруд при належному обґрунтуванні може своїм рішенням підвищити клас наслідків (відповідальності) споруди в порівнянні із прийнятим.

Таблиця 4.2 – Клас наслідків (відповідальності) основних гідротехнічних споруд в залежності від їх технічних параметрів (висоти і типу ґрунтів основ) (відповідно до дод. Г.1 ДБН В.2.4-3:2010) [2]

Споруди	Тип ґрунтів основи	Висота споруд, м, при класі наслідків (відповідальності)			
		СС3	СС2		СС1
			СС2-1	СС2-2	
1. Греблі із ґрунтових матеріалів	I	Більше 80	Від 50 до 80	Від 20 до 50	Менше 20
	II	Більше 65	Від 36 до 65	Від 15 до 35	Менше 15
	III	Більше 50	Від 25 до 50	Від 15 до 25	Менше 15
2. Греблі бетонні, залізобетонні; підводні конструкції будівель гідроелектростанцій; судноплавні шлюзи; суднопідйомники та інші споруди, що беруть участь у створенні напірного фронту	I	Більше 100	Від 60 до 100	Від 25 до 60	Менше 25
	II	Більше 50	Від 25 до 50	Від 10 до 25	Менше 10
	III	Більше 25	Від 20 до 25	Від 10 до 20	Менше 10
3. Підпірні стіни	I	Більше 40	Від 25 до 40	Від 15 до 25	Менше 15
	II	Більше 30	Від 20 до 30	Від 12 до 20	Менше 12
	III	Більше 25	Від 18 до 25	Від 10 до 18	Менше 10
4. Морські причальні споруди основного призначення (вантажні, пасажирські, суднобудівні, судноремонтні, яхт-клуби тощо)	I, II, III	Більше 30	Від 25 до 30	Менше 25	-
5. Морські внутрішньопортові огорожувальні споруди; берегові укріплення пасивного захисту; струмененапрямні і наносотримуючі дамби тощо	I, II, III	-	Більше 15	15 і менше	-
6. Огороджувальні споруди сховищ рідких відходів (золошлакосховища, хвостосховища тощо)	I, II, III	Більше 50	Від 20 до 50	Від 10 до 20	10 і менше
7. Огороджувальні споруди (моли, хвилеломи і дамби)	I, II, III	Більше 30	Від 10 до 30	Менше 10	-
8. Сухі і наливні доки; наливні доки-камери; плавучі доки (див. примітку 3)	I	-	Більше 15	15 і менше	-
	II, III	-	Більше 10	10 і менше	-
9. Морські нафтогазопромислові гідротехнічні споруди (стаціонарні бурові платформи на шельфі для видобутку нафти і газу, нафтосховища і нафтогазопромисли) (див. примітку 3)	I, II, III	Будь-яка	-	-	-
10. Естакади у відкритому морі, штучні острови (див. примітку 3)	I, II, III	Більше 25	25 і менше	-	-

Примітка 1. Ґрунти: I – скельні; II – піщані, великоуламкові і глинисті у твердому і напівтвердому стані; III – глинисті водонасичені в пластичному стані.

Примітка 2. Висоту гідротехнічних споруд і оцінку їх основи слід приймати за даними проекту.

Примітка 3. У позиціях 8 (для плавучих доків), 9 і 10 цієї таблиці замість висоти споруди вказана глибина моря в місці установки

Склад основних технічних і програмних засобів систем моніторингу технічного стану гідротехнічних споруд рекомендовано визначати у відповідності до дод. Л ДБН В.2.4-3:2010 з урахуванням класу наслідків (відповідальності) основних гідротехнічних споруд (див. табл. 4.3) [2].

Таблиця 4.3 – Склад основних технічних і програмних засобів систем моніторингу технічного стану гідротехнічних споруд (відповідно до рекомендованого дод. Л, табл. Л.1 ДБН В.2.4-3:2010) [2]

Технічні і програмні засоби моніторингу ГТС	Клас (підклас) наслідків (відповідальності) споруд		
	СС3	СС2	
		СС2-1	СС2-2
1 Система моніторингу	+	+	+
1.1 Правила (інструкція) моніторингу ГТС	+	+	+
1.2 Засоби інструментальних спостережень	+	+	+
1.3 Комп'ютерні засоби	+	+	+
2 Засоби інструментальних спостережень	+	+	+
2.1 Дистанційна контрольовано-вимірвальна апаратура, сумісна з автоматизованими інформаційно-вимірвальними діагностичними системами	+	+	*
2.2 Засоби геодезичного контролю, п'єзметри, мірні водозливи, засоби хімічного аналізу і інші вимірвальні пристрої, що вимагають участі людини в процесі вимірів	+	+	+
2.3 Переносні засоби вимірювання, дефектоскопи, засоби акустичного, електрометричного і радіолокаційного зондування, термометричне обладнання та інші засоби вимірювання та індикації, використовувані при інспекційних обстеженнях	+	+	*
3 Виносні модулі і автономні термінали автоматизованих інформаційно-вимірвальних систем, що забезпечують автоматизований збір інформації про стан ГТС	+	*	*
4 Комп'ютерні програмні засоби	+	+	*
4.1 Програмне забезпечення автоматизованого введення даних вимірів	+	*	*
4.2 Програмне забезпечення первинної обробки даних вимірів	+	+	*
4.3 Програмне забезпечення формалізації звітних матеріалів і графічного оформлення результатів вимірів і аналізу даних спостережень	+	+	*
5 Програмне забезпечення баз даних (БД)	+	+	*
5.1 Інформація про спорудження гідровузла (текстова, графічна, таблична)	+	+	*
5.2 Інструкція про склад спостережень, установлені контрольовано-вимірвальної апаратури (КВА) і системи моніторингу ГТС	+	+	*
5.3 Дані спостережень і результати їхньої первинної обробки	+	+	*
5.4 Дані діагностики і прогнозу стану споруд	+	+	*
5.5 Результати аналізу ризику аварії (рівня безпеки)	+	+	*
6 Інтерфейс користувача інформації БД	+	+	*
6.1 Введення, редагування, корегування інформації БД	+	+	*
6.2 Перегляд результатів вимірів	+	+	*
6.3 Подання відображеної інформації	+	+	*
6.4 Діагностування стану споруд	+	+	*
6.5 Створення звітних матеріалів	+	+	*
7 Програмні засоби діагностування	+	+	*
7.1 Регресійний аналіз результатів спостережень	+	*	*
7.2 Детерміністичні моделі роботи споруд	+	*	*
7.3 Оцінка ризику аварії (рівня безпеки)	+	+	*

Примітка. «+» – обов'язкова вимога, «\*» – рекомендована вимога

Розрахунок стійкості схилів є непростим завданням [3-4]. На практиці як правило розраховується стійкість укосів і схилів, які представлені істотно неоднорідними ґрунтовими масивами. Крім того, у ряді випадків поверхні ковзання відомі заздалегідь (наявність слабких прошарків, поверхні ковзання старих зсувів та ін.), а їхня форма не обов'язково

збігається з передбаченими теорією граничної рівноваги кривими. Фактично на ґрунти, що складають укоси і схили, можуть діяти динамічні (при землетрусах) і гідродинамічні (у випадку водонасичених укосів) сили. Тому в проєктній практиці застосовують інженерні методи розрахунку стійкості, що містять різного роду припущення або спрощення.

Під час перевірки стійкості найпоширенішими є інженерні методи, засновані на силових схемах рівноваги ґрунтових масивів. Одним з найбільш важливих питань при розрахунку стійкості є правильний вибір поверхні, за якою можливе зміщення ґрунту. На основі спостережень за поверхнями ковзання було встановлено, що вони переважно криволінійні. У однорідних зв'язних ґрунтах ці поверхні нагадують циліндричні чи чашоподібні поверхні, а в незв'язних наближаються до площини. При неоднорідному ґрунтовому масиві найчастіше зміщення поверхні має складну ломану форму [4].

Існує велика кількість методів розрахунку зсувонебезпечних схилів.

Найбільш поширеним на практиці є метод круглоциліндричних поверхонь ковзання. Метод круглоциліндричної поверхні ковзання для розрахунку стійкості укосів і схилів був уперше запропонований у 1916 р. Надалі він отримав розвиток у роботах багатьох учених, і на сьогоднішній день вживають декілька його модифікацій, одна з яких розглядається нижче.

Особливістю цього розрахунку є припущення, що стан граничної рівноваги спостерігається тільки в точках вздовж поверхні ковзання, а тіло зсуву є жорстким недеформованим тілом. Суть цього методу полягає у знайденні круглоциліндричної поверхні ковзання з центром в деякій точці  $O$ , яка проходить через підшву укосу, для якої коефіцієнт стійкості буде мінімальним. Для цього клин розбивається на вертикальні відсіки. Метод круглоциліндричних поверхонь ковзання описує складний вид деформації ґрунтового масиву, що характеризується зрізом із обертанням. Порушення стійкості в даному випадку пов'язане зі зсувом, зрізом та переміщенням деякої частини ґрунту по поверхні ковзання. Оцінка стійкості ґрунтових масивів проти зсуву зводиться до визначення коефіцієнта стійкості (ДБН В.1.1-12; ДБН В.1.1-24) [4-6]. Коефіцієнт стійкості – це відношення величини граничних впливів на споруду або її основу до їх розрахункових, реально діючих величин. Він характеризує відношення моментів сил, що утримують частину масиву, до моментів зсувних сил (рис. 4.1) [4]:

$$k_{st} = \frac{\sum M_{упр}}{\sum M_{зс}}, \quad (4.1)$$

$$k_{st} = \frac{\sum N_i \cdot tg\varphi + c \cdot L}{\sum T_i}, \quad (4.2)$$

де  $N_i$  – нормальна складова ваги  $i$ -того блоку поверхні ковзання, кН;  
 $T_i$  – дотична складова ваги  $i$ -того блоку поверхні ковзання, кН;  
 $\varphi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту, град;  
 $c$  – питоме зчеплення ґрунту, кН/м<sup>2</sup>;  
 $L$  – довжина кривої ковзання, м

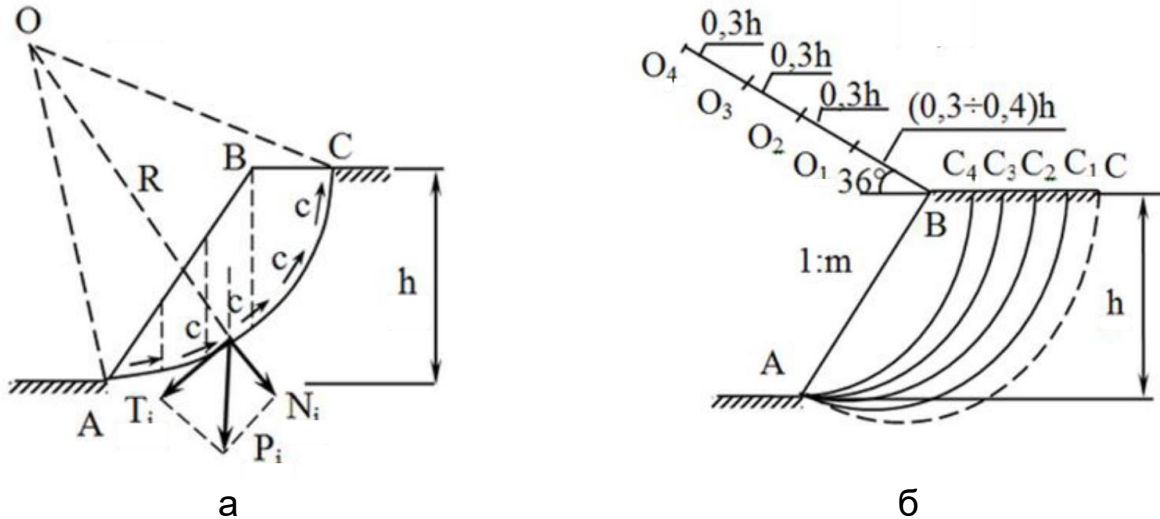


Рисунок 4.1 – Приклад розрахункової схеми [6]: а) вибір центру обертання; б) варіювання центру

Передбачається, що втрата стійкості укосу чи схилу (рис. 4.1) може відбутися в результаті обертання відсіку ґрунтового масиву відносно деякого центра  $O$ .

Центром обертання  $O$  відповідно величиною радіуса  $R$  задаються.

Поверхня ковзання в цьому випадку має вигляд дуги окружності з радіусом  $r$  і центром у точці  $O$ . Масив, що зміщується, розглядається як єдиний недеформований відсік, усі точки якого беруть участь у загальному русі.

При виконанні практичних розрахунків стійкості укосів і схилів за методом круглоциліндричної поверхні слід визначити положення центра обертання  $O$  і радіус  $r$ , які відповідають найбільш небезпечному випадку. Тому проводиться серія розрахунків при різних положеннях центрів обертання  $O$  та значеннях радіусу  $r$ . Найчастіше найбільш небезпечна поверхня ковзання проходить через нижню точку укосу чи схилу. Однак якщо в основі залягають слабкі ґрунти з відносно низькими значеннями міцносних характеристик, то ця умова може не виконуватися.

Тому при виконанні практичних розрахунків роблять так [3-4]:

- задаються координатами центрів обертання  $O_1, O_2, \dots, O_n$  (звичайно ці центри розташовують на одній прямій) і визначають відповідні їм коефіцієнти стійкості  $k_{st,1}, k_{st,2}, \dots, k_{st,n}$ ;
- для відповідних цим центрам обертання поверхням ковзання будують епюру значень цих коефіцієнтів;
- через точку, що відповідає мінімальному коефіцієнту стійкості

$k_{st,i}=k_{st,min}$  проводять нормаль до прямої, на якій розташовані центри обертання  $O_1, O_2, \dots O_n$ ;

- на цій нормалі задаються новими центрами обертання  $O'_1, O'_2, \dots O'_n$ , визначають відповідні їм коефіцієнти стійкості  $k'_{st,1}, k'_{st,2}, \dots k'_{st,n}$  і знову оцінюють мінімальне значення коефіцієнта стійкості.

Цей процес слід повторювати доти, поки не буде знайдено найменше з усіх можливих значення коефіцієнта стійкості  $k_{st,min}$ . Укіс вважається стійким, якщо виконується умова

$$k_{st,min} \leq k_{st}^H, \quad (4.3)$$

де  $k_{st}^H$  – значення нормативного коефіцієнта стійкості.

За рекомендаціями ДБН В.2.4-3-2010 при розрахунку стійкості природних схилів значення необхідно приймати як для споруд, що можуть прийти в непридатний для експлуатації стан у випадку руйнування схилу.

Виконання зазначених розрахунків "вручну" дуже трудомістке, і тому їх виконують на ЕОМ.

Техніка розрахунку стійкості укосів і схилів з використанням методів ламаної і плоскої поверхонь ковзання ідентична викладеній вище. Однак у цьому випадку поверхня ковзання зазвичай відома (тому немає необхідності виконувати розрахунок методом послідовних наближень). Детальний виклад техніки розрахунків з використанням цих методів викладено в нормативній та іншій спеціалізованій літературі.

Загалом методи круглоциліндричної, ламаної і плоскої поверхонь ковзання дозволяють урахувувати вплив на укоси і схили динамічних сил (які виникають, наприклад, при землетрусах) і враховувати наявність у їхній товщі підземних вод (у цьому випадку враховують вплив на стійкість укосів і схилів гідродинамічних сил).

Для підвищення стійкості укосів і схилів звичайно використовують такі інженерні заходи:

1) уположування або створення уступчастого профілю з утворенням горизонтальних площадок (берм);

2) привантаження підшви в нижній частині укосу (схилу) чи влаштування підпірної стінки (цей метод ефективний при відносно невеликій висоті укосу);

3) закріплення поверхні укосу дерном, вимощення каменем, укладання бетонних чи залізобетонних плит;

4) регулювання гідрогеологічного режиму укосу чи схилу шляхом улаштування нагірних каналів і відведенням води з берм (у такий спосіб здійснюється відведення поверхневих вод), а також – шляхом улаштування дренажних систем (у тому числі підземних) з відведенням вод у спеціальну зливову мережу;

5) закріплення укосу з використанням забивних чи набивних паль, вертикальних шахт і горизонтальних штолень, заповнених бетоном (ці

конструкції обов'язково заглиблюють у підстилаючі нерухомі частини масиву);

б) застосування ґрунтових анкерів (звичайно в сполученні з підпірними стінками чи пальовими утримуючими конструкціями).

Необхідно відзначити, що всі перераховані заходи є дуже дорогими і трудомісткими. Тому їх застосовують тільки при належному техніко-економічному обґрунтуванні і ретельному аналізі інженерно-геологічної і гідрогеологічної обстановки.

#### 4.2 Розрахунок стійкості низового укосу земляної греблі методом круглоциліндричних поверхонь

Попередньо вибране креслення укоси перевіряється розрахунком на стійкість.

При деяких умовах експлуатації укоси греблі можуть втратити свою стійкість, в результаті чого відбувається сповзання частини масиву в межах тіла греблі.

Критерієм забезпечення стійкості є виконання для найнебезпечнішої призми обвалення нерівності

$$\gamma_{fc} F \leq \frac{1}{\gamma_n} \left( R \frac{\gamma_c}{\gamma_{m(g)}} \right), \quad (4.4)$$

де  $\gamma_n, \gamma_{fc}, \gamma_c, \gamma_{m(g)}$  – коефіцієнти, відповідно, надійності за відповідальністю, сполучення навантажень, умов роботи, надійності за матеріалами або ґрунтами, значення яких вибираються по [4, 10];

$R$  – узагальнене розрахункове значення сил (або їх моментів) граничного опору зсуву по поверхні, що розглядається;

$F$  – узагальнене розрахункове значення активних сил (або моментів цих сил) відносно центра поверхні ковзання

При пошуку небезпечної поверхні зсуву може бути використана залежність для коефіцієнту стійкості (коефіцієнту запасу стійкості)

$$k_{st} = \frac{R}{F}. \quad (4.5)$$

Тоді умова (4.5) може бути записана як

$$k_{st} \geq [k_{st}], \quad (4.6)$$

де  $[k_{st}]$  – допустиме значення коефіцієнта стійкості

$$[k_{st}] = \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{fc} \cdot \gamma_{m(g)}}{\gamma_c}; \quad (4.7)$$

Для періоду експлуатації при основному розрахунковому сполученні навантажень для категорії відповідальності конструкції та її елементів А [1] значення  $[k_{st}]$  становить: для споруд класу СС2-1 – 1,20; класу СС2-2 – 1,15; класу СС1 – 1,1 (див. табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Значення коефіцієнтів надійності за відповідальністю (коефіцієнти відповідальності) гідротехнічних споруд для різних класів наслідків (відповідальності) споруд (відповідно до табл. 2.2 ДБН В.2.4-3) [2]

Клас (підкласи) наслідків (відповідальності)		Категорія відповідальності конструкції та її елементів	Значення $\gamma_n$ , які використовуються в розрахункових ситуаціях	
			перша група граничних станів	друга група граничних станів
СС3		А	1,250	1,000
		Б	1,200	
		В	1,150	
СС2	СС2-1	А	1,200	1,000
		Б	1,150	
		В	1,100	
	СС2-2	А	1,150	1,000
		Б	1,100	
СС1	А	1,000	1,000	
	Б	0,975		
	В	0,950		

Примітка 1. Категорії відповідальності гідротехнічних конструкцій та їх елементів прийняті у відповідальності з ДБН В.1.2-14.

Примітка 2. Для різних категорій відповідальності конструктивних елементів гідротехнічної споруди допускається застосування різних значень  $\gamma_n$

За рекомендаціями ДБН В.2.4-3-2010 при розрахунку стійкості природних схилів значення необхідно приймати як для споруд, що можуть прийти в непридатний для експлуатації стан у випадку руйнування схилу (див. табл. 4.4) [2].

Для оцінки стійкості укосів найбільшого поширення отримав метод розрахунку по круглоциліндричних поверхнях ковзання, в якому приймається, що оповзання частини ґрунтового масиву проходить по радіальній кривій відносно деякого центру ковзання (точки  $O_1$ ) (рис. 4.2).

Розрахунок стійкості низового укосу гребель виконується для випадків:

- у верхньому б'єфі нормальний підпірний рівень (НПР), дренажі працюють нормально, в тілі греблі встановилася фільтрація; за наявності води в нижньому б'єфі глибина її приймається максимально можливою, але не більше  $0,2H$ , де  $H$  – висота укосу, за більшої глибини в розрахунках вона приймається рівною  $0,2H$ ;

- підпірний рівень і рівень нижнього б'єфу визначаються максимальною витратою, що відносяться до основних поєднань навантажень та впливів (випадок водоскидів без затворів);

- у верхньому б'єфі форсований підпірний рівень води (ФПР), у нижньому б'єфі глибина води максимальна, що відповідає ФПР.

Розрахунок виконується для умов плоскої задачі – розглядається відрізок греблі одиничної довжини. Для розрахунку вибирається переріз греблі з максимальною висотою і проводиться декілька кривих ковзання із різними центрами. Для масивів, обмежених кривими ковзання, обчислюються коефіцієнти стійкості.

Коефіцієнт стійкості  $k_{st}$  для найнебезпечнішої призми обвалення (для якої значення  $k_{st}$  найменше серед одержаних) повинен задовольняти умові (4.6), але не перевищувати значення  $[k_{st}]$  більше, ніж на 10%.

Пошук центру кривої ковзання  $O_1$  проводять графічно за наступною методикою (рис. 4.2) [3]:

1. Спрощують профіль низового укосу греблі. Потім визначають закладання лінії осередненого укосу  $m_{tcp}$ .

В прикладі наведено один з варіантів спрощення профілю низового укосу шляхом з'єднання точки  $B$  низової бровки із точкою  $C$  перетину зовнішнього укосу дренажу з основою. На прикладі наведена ґрунтова гребля висотою 9,0 м, закладання лінії осередненого укосу  $m_{tcp}$  складає 1:2,5 (див. рис. 4.2).

За наведеним прикладом у відповідності до дод. Г ДБН В.2.4-3:2010 визначається клас наслідків (відповідальності) гідротехнічної споруди:

- глинисті водонасичені ґрунти в напівтвердому стані відносяться до II типу;

- гребля із ґрунтових матеріалів, висотою 9 м, тобто менше 15 м, відноситься до гідротехнічних споруд клас наслідків (відповідальності) СС1.

2. Із середини осередненого укосу (точки  $a$ ) проводять два промені: вертикальний та під кутом  $85^\circ$  до лінії осередненого укосу.

3. Із точок  $B$  і  $C$ , як із центрів, проводять дуги кола радіусом  $R_1$  методом засічок визначають положення точки  $O$  – точки перетину дуг.  $R_1$  визначається за залежністю

$$R_1 = \frac{R_B + R_H}{2}, \quad (4.8)$$

де  $R_B$  і  $R_H$  – верхнє і нижнє значення радіусів поверхні ковзання, визначаються за формулами:  $R_H = k_1 H_{gp}$ ,  $R_B = k_2 H_{gp}$ ;

$H_{gp}$  – висота греблі;

$k_1$  і  $k_2$  – коефіцієнти, значення яких вибирають із табл. 4.5 в залежності від  $m_{tcp}$

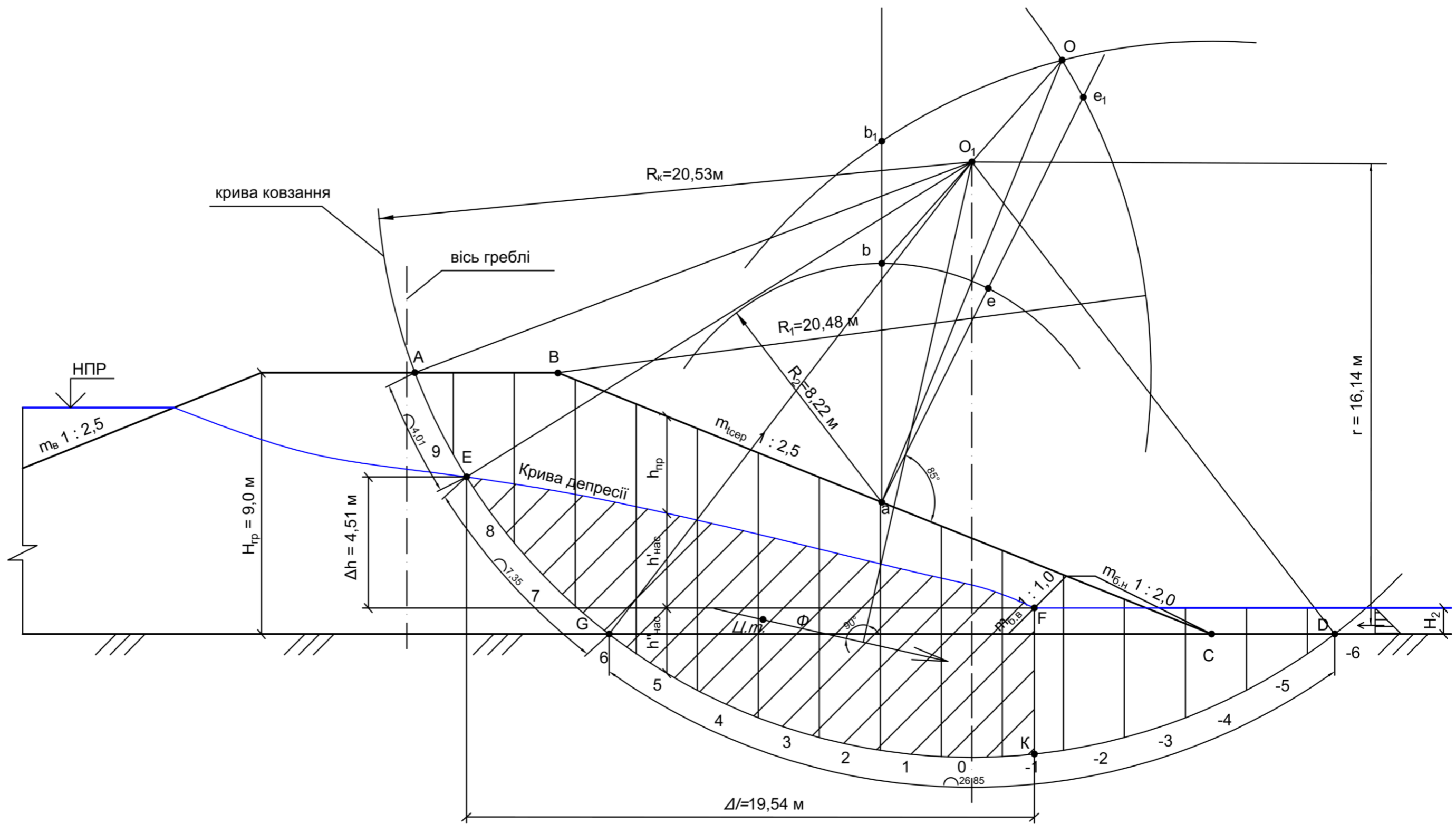


Рисунок 4.2 – До розрахунку стійкості низового укосу земляної греблі за методом круглоциліндричної поверхні ковзання

Таблиця 4.5 – Значення коефіцієнтів  $k_1$  та  $k_2$  за даними

$m_{\text{тсеп}}$	1	2	3	4	5	6
$k_1$	1,1	1,4	1,9	2,5	3,3	4,3
$k_2$	2,2	2,5	3,2	4,7	5,8	6,7

В наведеному прикладі верхнє і нижнє значення радіусів поверхні ковзання становить:  $R_H = k_1 H_{ep} = 1,7 \cdot 9,0 = 15,3$  м,  $R_6 = k_2 H_{ep} = 2,85 \cdot 9,0 = 25,65$  м.

$R_1$  визначається за залежністю (4.8)

$$R_1 = \frac{R_B + R_H}{2} = \frac{15,30 + 25,65}{2} = 20,48 \text{ м.}$$

4. Проводять дугу кола із центом в точці  $a$  і радіусом  $R_2 = aO / 2$ .

Для розглянутого прикладу радіус  $R_2 = aO / 2 = 16,43 / 2 = 8,22$  м.

5. Криволінійний багатокутник  $bb_1Oe_1e$  є зоною пробних центрів кривої ковзання. Як правило, центри найбільш небезпечних кривих зсуву розташовані на лінії  $Ob$ . Вибравши на цій лінії довільну точку  $O_1$ , проводять криву ковзання такого радіусу  $R_K$ , щоб вона захоплювала приблизно половину гребеня і частину основи під подошвою споруди.

6. Призма обвалення  $ABCD$ , обмежена кривою ковзання, контуром греблі і частиною основи, розбивається вертикальними лініями на відсіки шириною  $b = 0,1R_K$ .

В розглянутому прикладі ширина відсіків становить  $b = 0,1R_K = 0,1 \cdot 20,53 = 2,1$  м.

Вертикаль, опущена із центру кривої ковзання є серединою нульового відсіку. Нумерація відсіків, які розміщені вліво від нульового – додатна, вправо – від'ємна. При вибраній ширині відсіку для кута  $\alpha_n$  між радіус-вектором, проведеним через середину  $n$ -го відсіку та вертикаллю

$$\sin \alpha_n = 0,1 \cdot n, \quad \cos \alpha_n = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_n}, \quad (4.9)$$

де  $n$  – номер відсіку.

Наприклад,

$$\sin \alpha_n = 0,1 \cdot n = 0,1 \cdot 9 = 0,9,$$

$$\cos \alpha_n = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_n} = \sqrt{1 - 0,9^2} = 0,44.$$

Діючими силами є вага відсіку  $G$ , сила тертя по поверхні ковзання  $R_{\text{тр}}$ , сила зчеплення по поверхні ковзання  $R_{\text{зч}}$ , гідродинамічна сила фільтраційного потоку  $\Phi$  (рис. 4.3) [3]. Обертання ґрунтового масиву навколо центру  $O_1$  викликають дотична складова власної ваги масиву  $T =$

$G \sin \alpha$  і гідродинамічна сила  $\Phi$ . Протидіють обертанню сили тертя  $F_{тр}$  і зчеплення  $F_{зч}$ .

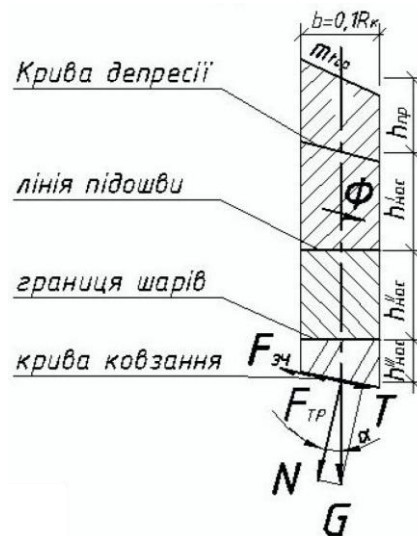


Рисунок 4.3 – Приклад схеми до розрахунку стійкості низового укосу [3]

У загальному випадку виділений відсік ґрунту знаходиться під дією власної ваги, бічного тиску сусідніх мас ґрунту і тиску фільтраційного потоку.

Для знаходження сили власної ваги можна використовувати формулу [3]

$$G = \gamma_{пр} \cdot b \cdot \sum_n h_{пв n} , \quad (4.10)$$

- де  $\gamma_{пр} = \rho_{пр} \cdot g$  – питома вага ґрунту тіла греблі природної вологості, кН/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_{пр}$  – щільність ґрунту тіла греблі природної вологості, т/м<sup>3</sup>;  
 $h_{пв n}$  – приведена до висоти повітряно-сухого ґрунту тіла греблі висота відсіку, знаходиться за залежністю [3]

$$h_{пв} = h_{пр} + h'_{нас} \cdot \frac{\rho'_{нас}}{\rho_{пр}} + h''_{нас} \cdot \frac{\rho''_{нас}}{\rho_{пр}} + h'''_{нас} \cdot \frac{\rho'''_{нас}}{\rho_{пр}} + \dots + h^k_{нас} \cdot \frac{\rho^k_{нас}}{\rho_{пр}} , \quad (4.11)$$

- $h_{пр}$  – середня висота частини відсіку ґрунту, що знаходиться в стані природної вологості, м;  
 $h'_{нас}, h''_{нас} \dots h^k_{нас}$  – висоти частин відсіку, складені ґрунтом тіла греблі у водонасиченому стані та ґрунтами, що залягають в основі, визначаються графічно по розрахунковій схемі греблі, м;

$k$  – кількість видів ґрунтів;  
 $\rho'_{нас}, \rho''_{нас} \dots \rho^k_{нас}$  – щільність ґрунтів відповідних частин відсіків у водонасиченому стані, визначається за залежністю

$$\rho_{нас} = \frac{\rho_s - \rho_0}{1 + e}, \quad (4.12)$$

$\rho_s$  – щільність твердих часток відповідного ґрунту, т/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_0$  – густина води, т/м<sup>3</sup>;  
 $e$  – коефіцієнт пористості

$$e = \frac{n}{1 - n}, \quad (4.13)$$

$n$  – пористість відповідного ґрунту

Наприклад,

$$\rho'_{нас} = \frac{2,7 - 1}{1 + 0,5} = 1,13.$$

Також власну вагу відсіку можна розрахувати за формулою [7]:

$$G_n = (\gamma_{пр} \cdot h_{пр} + \gamma'_{нас} \cdot h_{нас}' + \gamma''_{нас} \cdot h_{нас}'') \cdot b, \quad (4.14)$$

де  $\gamma_{пр}$  – питома вага ґрунту греблі природної вологості вище кривої депресії, кН/м<sup>3</sup>;  
 $\gamma'_{нас}$  – питома вага ґрунту греблі насиченого водою нижче кривої депресії, кН/м<sup>3</sup>;  
 $\gamma''_{нас}$  – питома вага ґрунту підвалини, насиченого водою кН/м<sup>3</sup>;  
 $h_{пр}$  – середня висота товщі ґрунту вище кривої депресії, м;  
 $h_n'$  – середня висота товщі ґрунту нижче кривої депресії, м;  
 $h_n''$  – середня висота товщі ґрунту в підвалині греблі, м;  
 $b$  – ширина відсіку, м

Наприклад, в даному випадку для відсіку № 0

$$G_n = (19,13 \cdot 1,57 + 11,09 \cdot 1,69 + 10,30 \cdot 5,93) \cdot 2,1 = 230,700.$$

При наявності шару води над відсіком вище лінії укусу

$$G_n' = G_n + h_n \cdot b \cdot \gamma_0, \quad (4.15)$$

де  $h_n$  – середня глибина води над відсіком, м.

Наприклад, в даному випадку для відсіку № – 4

$$G'_n = 52,78 + 0,9 \cdot 2,1 \cdot (1 \cdot 9,81) = 71,32.$$

Якщо у відсіку є шари різного ґрунту, то його вага визначається з урахуванням питомої ваги кожного ґрунту.

Сили бічного тиску ґрунту, що діють на вертикальних межах відсіку, взаємно врівноважуються.

Наближене значення тиску фільтраційного потоку, що діє на  $n$ -й відсік, визначають за формулою

$$W_f = \gamma_0 \cdot (h'_n - h''_n) \cdot b / \cos \alpha_n, \quad (4.16)$$

де  $\gamma_0$  – питома вага води, т/м<sup>3</sup>;

$\alpha_n$  – кут нахилу підшви відсіку (площини зсуву в межах відсіку) до горизонту;

$h'_n$  – середня висота смуги ґрунту нижче кривої депресії, м;

$h''_n$  – середня висота смуги ґрунту в підваляні греблі, м.

В даному випадку для відсіку № 4

$$W_f = (1 \cdot 9,81) \cdot (3,69 - 2,44) \cdot 2,1 / 0,92 = 27,99.$$

Силу ваги  $G_n$  переносять на підшву відсіку і розкладають на складові:

нормальну

$$N_n = G_n \cos \alpha_n, \quad (4.17)$$

і дотичну

$$T_n = G_n \cdot \sin \alpha_n. \quad (4.18)$$

В даному випадку для відсіку № 9

$$N_n = 79,14 \cdot 0,44 = 34,82,$$

$$T_n = 79,14 \cdot 0,9 = 71,23.$$

Сила тертя, що виникає на підшві відсіку

$$F_{\text{тр}} = (N_n - W_f) \cdot \text{tg } \varphi_i, \quad (4.19)$$

де  $\varphi_i$  – кут внутрішнього тертя ґрунту.

В даному випадку для відсіку № 9

$$F_{\text{тр}} = (34,82 - 27,99) \cdot 0,42 = 2,87.$$

Крім зазначених сил на масив ґрунту діє тиск води з боку нижнього б'єфа

$$W_0 = 0,5 \cdot \gamma \cdot H_2, \quad (4.20)$$

де  $H_2$  – глибина води в нижньому б'єфі.

В даному випадку

$$W_0 = 0,5 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,45.$$

Для всього масиву відповідно до формул (4.5)-(4.7) сили і моменти, що діють на окремі відсіки підсумовуються і коефіцієнт стійкості укосу може бути знайдений за формулою

$$k_{st} = \frac{\sum [G_n \cdot \cos \alpha_n - W_f] \cdot \text{tg} \varphi_i + \sum c_i \cdot l_i + W_0 \cdot r/R}{\sum G_n \cdot \sin \alpha_n}, \quad (4.21)$$

де  $r$  – радіус дії сили  $W_0$  щодо центру кривої ковзання (див. рис. 4.2)

Сила зчеплення знаходиться за формулою

$$F_{\text{зч}} = \sum_i c_i \cdot l_i, \quad (4.22)$$

де  $l_i$  – довжина ділянки кривої ковзання з постійним значенням питомої зчепності  $c$ , кПа, визначається або графічно, або як довжина дуги кола із центральним кутом  $\beta$  (вимірюється в градусах)

$$l_i = 2\pi \cdot R_K \cdot \beta_k / 360 = \pi \cdot R_K \cdot \beta_k / 180. \quad (4.23)$$

В даному випадку

$$F_{\text{зч}} = 2,5 \cdot 4,01 + 2,0 \cdot 7,35 + 0,2 \cdot 26,85 = 10,03 + 14,70 + 5,37 = 30,10.$$

Кути  $\beta_k$  визначаються графічно по розрахунковому профілю греблі.

В межах тіла обвалення на частину насипу діє гідродинамічна сила  $\Phi$ , значення якої знаходиться за залежністю

$$\Phi = \rho_0 \cdot g \cdot A \cdot I_{\text{ср}}, \quad (4.24)$$

де  $A$  – площа області дії фільтраційного потоку,  $\text{м}^2$ , яка обмежена кривою депресії  $EF$ , частиною кривої ковзання  $EK$  і вертикаллю  $FK$ , що проходить через точку перетину кривої депресії з внутрішнім укосом дренажу, може бути визначена за формулою, в якій враховуються частини відсіків в межах області  $EFK$ ;

$$A = b \cdot \sum_i h_{\text{нас}}^i, \quad (4.25)$$

$$A = 2,1 \cdot ((0,82 + 3,03 + 4,52 + 4,16 + 3,69 + 3,19 + 2,68 + 2,17 + 1,69 + 0,92 + 0,9 + 0,78) + (1,35 + 2,44 + 3,25 + 3,81 + 4,13 + 3,81 + 3,25 + 2,44 + 1,35)) = 135,32,$$

$I_{\text{ср}}$  – середній градієнт (середній уклон кривої депресії), визначається за залежністю

$$I_{\text{ср}} = \Delta h / \Delta l, \quad (4.26)$$

$\Delta h$  – падіння кривої депресії в межах призми обвалення;  
 $\Delta l$  – довжина шляху фільтрації на відповідній ділянці (рис. 4.2).

В даному випадку

$$I_{\text{ср}} = \frac{4,51}{19,54} = 0,231$$

В межах тіла обвалення на частину насипу діє гідродинамічна сила  $\Phi$ , значення якої знаходиться за залежністю

$$\Phi = 1 \cdot 9,81 \cdot 135,32 \cdot 0,231 = 306,65$$

Гідродинамічна сила прикладена в центрі ваги фігури  $EFK$  і направлена паралельно лінії середнього уклону кривої депресії. Плече сили  $r$  відносно центру кривої ковзання визначається по нормалі до напрямку дії сили  $\Phi$ .

Всі розрахунки по визначенню діючих сил рекомендується проводити в табличній формі (див. табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Визначення коефіцієнта стійкості  $k_{St}$

№	$R_K$	$b$	$\sin a_n$	$\cos a_n$	$h_{np}$	$h'$	$h''$	$h'''_{\text{вода НБ}}$	$\rho_{np}$	$\rho_s$	$e'$	$\rho'_{нас}$	$\rho''_s$	$e''$	$\rho''_{нас}$	$\gamma_{np}$	$\gamma'$	$\gamma''$	$G_n$	$G_n'$	$W_f$	$N_n$	$T_n$	$tg \varphi_i$	$F_{mp}$	$c_i$	$l_i$	$F_{3ч}$
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.
9	20.53	2.1	0.9	0.44	1.97				1.95	2.7	0.5	1.13	2.71	0.63	1.05	19.13	11.09	10.3	79.14	79.14	28.15	34.82	71.23	0.42	2.8	2.5	4.01	10.03
8	20.53	2.1	0.8	0.6	3.67	0.82													166.53	166.53	87.92	99.92	133.22	0.42	5.04	2.5		
7	20.53	2.1	0.7	0.71	4	3.03													231.26	231.26	116.4	164.19	161.88	0.32	15.29	2	7.35	14.7
6	20.53	2.1	0.6	0.8	3.73	4.52													255.11	255.11	66.54	204.09	153.07	0.32	44.02	2		
5	20.53	2.1	0.5	0.87	3.34	4.16	1.35												260.26	260.26	27.99	226.43	130.13	0.55	109.14	0.2	26.85	5.37
4	20.53	2.1	0.4	0.92	2.97	3.69	2.44												258.03	258.03	-1.3	237.39	103.21	0.55	131.28	0.2		
3	20.53	2.1	0.3	0.95	2.63	3.19	3.25												250.24	250.24	-23.75	237.73	75.07	0.55	143.81	0.2		
2	20.53	2.1	0.2	0.98	2.3	2.68	3.81												237.22	237.22	-40.79	232.48	47.44	0.55	150.3	0.2		
1	20.53	2.1	0.1	0.99	1.97	2.17	4.13												219.01	219.01	-87.35	216.82	21.9	0.55	167.29	0.2		
0	20.53	2.1	0	1	1.57	1.69	5.93												230.7	230.7	-66.8	230.7	0	0.55	163.63	0.2		
-1	20.53	2.1	-0.1	0.99	1.54	0.92	4.13												172.62	172.62	-61.17	170.89	-17.26	0.55	127.63	0.2		
-2	20.53	2.1	-0.2	0.98	0.72	0.9	3.81												132.29	132.29	-53.56	129.64	-26.46	0.55	100.76	0.2		
-3	20.53	2.1	-0.3	0.95		0.78	3.25												88.46	88.46	-54.64	84.04	-26.54	0.55	76.27	0.2		
-4	20.53	2.1	-0.4	0.92			2.44	0.9											52.78	71.32	-31.97	65.61	-28.53	0.55	53.67	0.2		
-5	20.53	2.1	-0.5	0.87			1.35	0.9											29.2	47.74	0	41.53	-23.87	0.55	22.84	0.2		
-6	20.53	2.1	-0.6	0.8				0.9												18.54		14.83	-11.12	0.55	8.16			
$\Sigma$																						34.82	71.23					
																				$W_{f1}$	116.07	$N_{n1}$	134.74			1313.77		30.1
																				$W_{f2}$	182.94	$N_{n2}$	368.28					
																				$W_{f3}$	-393.34	$N_{n3}$	1888.09					

Коефіцієнт стійкості за формулою (4.21)

$$k_{st} = \frac{\sum [G_n \cdot \cos \alpha_n - W_f] \cdot \operatorname{tg} \phi_i + \sum c_i \cdot li + W_o \cdot \frac{r}{R}}{\sum G_n \cdot \sin \alpha_n} =$$

$$= \frac{\sum [N_n - W_f] \cdot \operatorname{tg} \phi_i + F_{3ч} + W_o \cdot \frac{r}{R}}{\sum T_n} =$$

$$= \frac{[134,74 - 116,07] \cdot 0,42 + [368,28 - 182,94] \cdot 0,32 + [1888,09 - (-393,34)] \cdot 0,55 + 30,10 + 0,45 \cdot \frac{16,14}{20,53}}{763,37} = 1,63$$

В прикладі розглянуте лише одне наближення щодо визначення коефіцієнта стійкості  $k_{st}$  з координатою центру обертання  $O_1$ . Якщо умовно прийняти отриманий коефіцієнт стійкості  $k_{st}$  як визначений для найнебезпечнішої призми обвалення, то слід перевірити виконання умови (4.6), а також  $k_{st}$  перевірити чи не перевищує значення  $[k_{st}]$  більше, ніж на 10%.

В даному випадку слід віднести досліджувану гідротехнічну споруду до категорії відповідальності конструкцій та елементів А відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018.

Для періоду експлуатації при основному розрахунковому сполученні навантажень для категорії відповідальності конструкції та її елементів А (див. рекомендації ДБН В.1.2-14 – 2018) [1] значення  $[k_{st}]$  становить ДБН В.2.4-3:2010 «Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки. Гідротехнічні споруди. Основні положення» [2]: для споруд класу СС1 – 1,1 (див. табл. 4.4).

$$k_{st} \geq [k_{st}],$$

$$1,63 > 1,1.$$

Однак,

$$\frac{(1,63 - 1,10)}{1,10} \cdot 100 = 0,48 \cdot 100 = 48 \%,$$

$$48\% > 10\%.$$

Умова не виконується, що свідчить про доцільність проведення подальших розрахунково-графічних ітерацій з визначення коефіцієнта стійкості  $k_{st}$  для найнебезпечнішої призми обвалення.

Рекомендації дод. Л, табл. Л.1 ДБН В.2.4-3:2010 (див. табл. 4.3) не передбачають склад основних технічних і програмних засобів систем

моніторингу технічного стану гідротехнічних споруд для класів наслідків (відповідальності) СС1.

**Висновки.** За результатами розрахунку стійкості низового укосу земляної греблі клас наслідків (відповідальності) СС1 методом круглоциліндричних поверхонь визначено коефіцієнт стійкості  $k_{St} = 1,63$  за перше наближення.

Для періоду експлуатації при основному розрахунковому сполученні навантажень для категорії відповідальності конструкції та її елементів А значення коефіцієнта стійкості вище за рекомендоване [ $k_{St}$ ] за ДБН В.2.4-3:2010 для споруд класу класу СС1–1,1, однак різниця між ними значно перевищує 10%. Це свідчить про доцільність проведення подальших розрахунково-графічних ітерацій з визначення коефіцієнта стійкості  $k_{St}$  для найнебезпечнішої призми обвалення.

Рекомендації дод. Л, табл. Л.1 ДБН В.2.4-3:2010 не передбачають склад основних технічних і програмних засобів систем моніторингу технічного стану гідротехнічних споруд для класів наслідків (відповідальності) СС1.

### 4.3 Завдання

Визначте стійкість низового укосу земляної греблі методом круглоциліндричних поверхонь та зазначте склад основних технічних і програмних засобів систем моніторингу технічного стану гідротехнічних споруд для класів наслідків (відповідальності) відповідно до рекомендованого дод. Л, табл. Л.1 ДБН В.2.4-3:2010. Вихідні дані наведені у табл. 4.7, рис. 4.4-4.5. Значення куту внутрішнього тертя ґрунту  $\varphi_i$  обирається як в прикладі. Ґрунти основи відносяться, як і в прикладі, до глинистих водонасичених ґрунтів в напівтвердому стані (II тип).

Таблиця 4.7 – Вихідні дані для визначення коефіцієнта стійкості  $k_{St}$  (за варіантами)

№ варіанту	$\rho_{пр}$	$\rho_s$	$e'$	$\rho''_s$	$e''$	$\rho''_{нас}$	$c_i пр$	$c_i'$	$c_i''$
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
0 (приклад)	1,95	2,7	0,5	2,71	0,63	1,05	2,5	2	0,2
1	1,96	2,71	0,49	2,70	0,62	1,04	2,49	1,99	0,19
2	1,94	2,69	0,51	2,72	0,64	1,06	2,51	2,01	0,21
3	1,95	2,70	0,50	2,71	0,63	1,05	2,50	2,00	0,20
4	1,93	2,68	0,52	2,73	0,65	1,07	2,52	2,02	0,22
5	1,94	2,69	0,51	2,72	0,64	1,06	2,51	2,01	0,21
6	1,92	2,67	0,53	2,74	0,66	1,08	2,53	2,03	0,23
7	1,93	2,68	0,52	2,73	0,65	1,07	2,52	2,02	0,22
8	1,91	2,66	0,54	2,75	0,67	1,09	2,54	2,04	0,24
9	1,92	2,67	0,53	2,74	0,66	1,08	2,53	2,03	0,23
10	1,90	2,65	0,55	2,76	0,68	1,10	2,55	2,05	0,25
11	1,91	2,66	0,54	2,75	0,67	1,09	2,54	2,04	0,24
12	1,89	2,64	0,56	2,77	0,69	1,11	2,56	2,06	0,26

№ варіанту	$\rho_{пр}$	$\rho_s$	$e'$	$\rho''_s$	$e''$	$\rho''_{нас}$	$c_{i пр}$	$c_i'$	$c_i''$
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
13	1,90	2,65	0,55	2,76	0,68	1,10	2,55	2,05	0,25
14	1,88	2,63	0,57	2,78	0,70	1,12	2,57	2,07	0,27
15	1,94	2,64	0,56	2,77	0,69	1,11	2,56	2,06	0,26
16	1,95	2,62	0,49	2,79	0,69	1,11	2,58	2,06	0,26
17	1,93	2,63	0,48	2,78	0,68	1,10	2,57	2,05	0,25
18	1,94	2,61	0,50	2,80	0,68	1,12	2,59	2,05	0,27
19	1,92	2,62	0,49	2,79	0,67	1,11	2,58	2,04	0,26
20	1,93	2,60	0,51	2,81	0,67	1,13	2,60	2,04	0,28
21	1,91	2,61	0,50	2,80	0,66	1,12	2,59	2,03	0,27
22	1,92	2,62	0,52	2,82	0,66	1,14	2,61	2,03	0,29
23	1,90	2,63	0,51	2,81	0,65	1,13	2,60	2,02	0,28
24	1,91	2,64	0,53	2,83	0,65	1,15	2,62	2,02	0,30
25	1,89	2,65	0,52	2,82	0,64	1,14	2,61	2,01	0,29
26	1,90	2,66	0,54	2,84	0,64	1,16	2,63	2,01	0,31
27	1,90	2,67	0,53	2,83	0,63	1,15	2,62	2,00	0,30
28	1,91	2,68	0,55	2,85	0,63	1,17	2,64	2,00	0,32
29	1,89	2,69	0,54	2,84	0,62	1,16	2,63	1,99	0,31
30	1,90	2,70	0,56	2,86	0,62	1,18	2,65	1,99	0,33

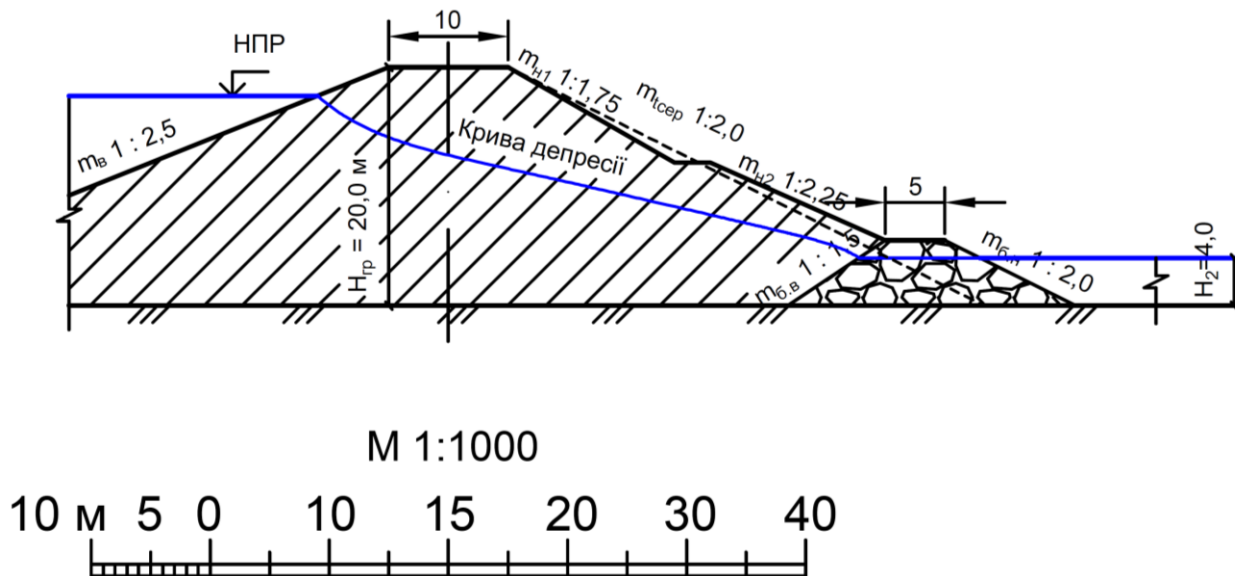


Рисунок 4.4 – Розрахункова схема однорідної ґрунтової греблі (вихідні дані для парних номерів індивідуальних варіантів здобувачів вищої освіти)

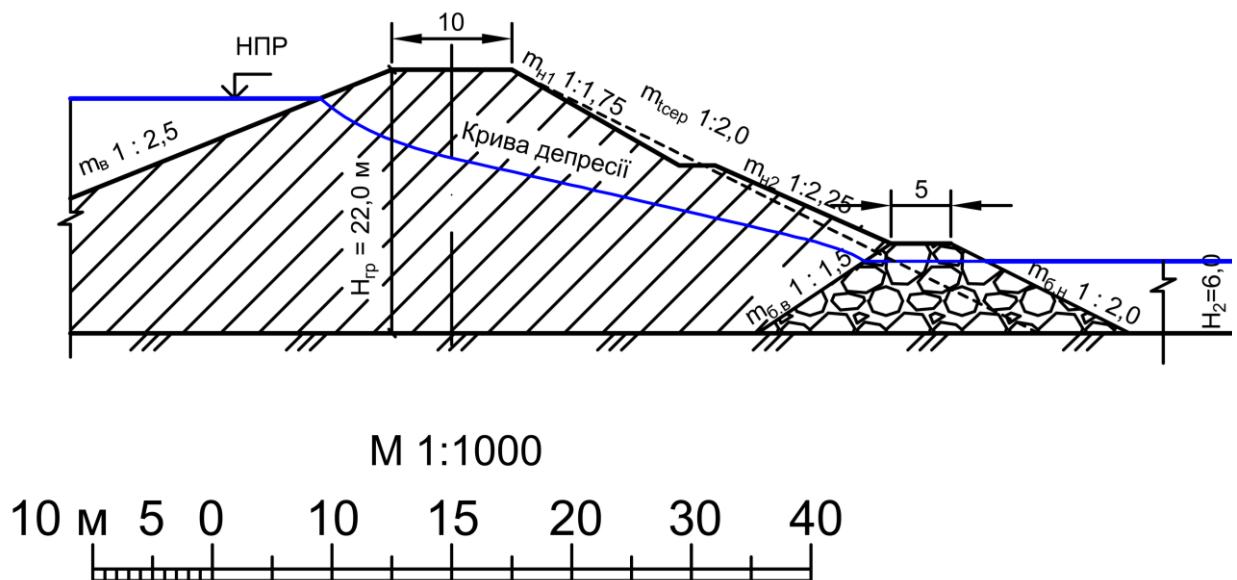


Рисунок 4.5 – Розрахункова схема однорідної ґрунтової греблі (вихідні дані для непарних номерів індивідуальних варіантів здобувачів вищої освіти)

### Рекомендована література

1. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ. 2018. 36 с. (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів).
2. ДБН В.2.4-3:2010. Гідротехнічні споруди. Основні положення. [Чинний від 2011-01-01]. Вид. офіц. Київ. 2010. 39 с. (Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки).
3. Гідротехнічні споруди : навчальний посібник / М. М. Хлапук, Л. А. Шинкарук, А. В. Дем'янюк, О. А. Дмитрієва. Рівне : НУВГП, 2013. 241 с.
4. Тют'їн О. Л., Дубінчик О. І., Кільдєєв В. Р. Критичний огляд методів розрахунку стійкості укосів і схилів. Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. 2023. Вип. 23. С. 79–87. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2023/281155> (дата звернення: 30.05.2024).
5. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво в сейсмічних районах України. [Чинний від 2014-10-01]. Вид. офіц. Київ. 2014. 118 с.
6. ДБН В.1.1-24:2009. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування. [Чинний від 2011-01-01]. Вид. офіц. Київ. 2010. 73 с. (Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі).

## Питання для самоперевірки

1. Скільки категорій відповідальності конструкції та елементів залежно від наслідків, які можуть бути викликані відмовою, розрізняють відповідно до ДБН В.1.2-14:2018?
2. Скільки виділяють класів наслідків (відповідальності) гідротехнічних споруд залежно від соціально-економічної відповідальності і наслідків можливих гідродинамічних аварій?
3. Від чого залежить вибір за ДБН значення коефіцієнтів надійності за відповідальністю (коефіцієнти відповідальності) гідротехнічних споруд?

## Тести для контролю

Одна вірна відповідь на тестове питання.

- 1) Як називають стан, при перевищенні якого об'єкт перестає задовольняти вимогам, встановленим у проекті, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?
  - a) безвідмовність
  - b) позаграничний стан
  - c) граничний стан
  - d) надійність об'єкта
- 2) Як називають здатність об'єкта безперервно зберігати працездатний стан протягом заданого строку експлуатації відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?
  - a) безвідмовність
  - b) позаграничний стан
  - c) граничний стан
  - d) надійність об'єкта
- 3) Як називають використання об'єкта за функціональним призначенням, за яким він спроможний виконувати задані функції, зберігаючи значення параметрів, встановлені вимогами проектною документації, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?
  - a) експлуатація об'єкта
  - b) безвідмовність
  - c) нагляд

d) надійність об'єкта

4) До якої категорії відповідальності належать конструкції та елементи, відмова яких може призвести до непридатності до експлуатації будівлі (споруди) або її частини, відповідно до ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) А
- b) Б
- c) В
- d) Г

5) До якої категорії відповідальності належать конструкції, відмова яких не призводить до порушення функціонування будівлі (споруди) в цілому або інших конструкцій або їх елементів, відповідно до ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) А
- b) Б
- c) В
- d) Г

6) Чому дорівнює середній градієнт (середній уклон кривої депресії) за умови, що: падіння кривої депресії в межах призми обвалення становить 4 м; довжина шляху фільтрації на відповідній ділянці складає 20 м?

- a) 5
- b) 100
- c) 0,2
- d) 16

7) Чому дорівнює середній градієнт (середній уклон кривої депресії) за умови, що: падіння кривої депресії в межах призми обвалення становить 5 м; довжина шляху фільтрації на відповідній ділянці складає 25 м?

- a) 5
- b) 125
- c) 0,2
- d) 20

8) Чому дорівнює середній градієнт (середній уклон кривої депресії) за умови, що: падіння кривої депресії в межах призми обвалення становить 6 м; довжина шляху фільтрації на відповідній

ділянці складає 30 м?

- a) 6
- b) 180
- c) 0,2
- d) 24

9) Для якої групи граничних станів конструкції в цілому, її окремих елементів, з'єднань або поперечних перерізів відноситься такий позаграничний стан, як втрата стійкості форми у вигляді локального деформування або втрати стійкості форми перерізу; пошкодження від корозії чи інших видів фізичного зношення, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) перша група
- b) друга група
- c) третя група
- d) четверта група

10) Для якої групи граничних станів конструкції в цілому, її окремих елементів, з'єднань або поперечних перерізів відноситься такий позаграничний стан, як утворення та розкриття тріщин, досягнення ними гранично допустимих значень розкриття чи довжини, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) перша група
- b) друга група
- c) третя група
- d) четверта група

11) Досягнення граничного стану якої групи класифікується як відмова-перешкода відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) перша група
- b) друга група
- c) третя група
- d) четверта група

12) Для якої групи граничних станів конструкції в цілому, її окремих елементів, з'єднань або поперечних перерізів відноситься такий позаграничний стан, як пошкодження від корозії чи інших видів фізичного зношення, які призводять до необхідності обмеження

експлуатації внаслідок зменшення строку експлуатації об'єкта, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) перша група
- b) друга група
- c) третя група
- d) четверта група

13) Для якої групи граничних станів конструкції в цілому, її окремих елементів, з'єднань або поперечних перерізів відноситься такий позаграничний стан, як недопустимі втрати тепла через огорожувальні конструкції, що призводить до збільшення матеріальних витрат на експлуатацію будівлі, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) перша група
- b) друга група
- c) третя група
- d) четверта група

14) Для якої групи граничних станів конструкції в цілому, її окремих елементів, з'єднань або поперечних перерізів відноситься такий позаграничний стан, як недосягнення елементами будівлі необхідного рівня шумоізоляції, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) перша група
- b) друга група
- c) третя група
- d) четверта група

15) Для якої групи граничних станів конструкції в цілому, її окремих елементів, з'єднань або поперечних перерізів відносяться такі позаграничні стани, як втрата стійкості форми та втрата стійкості положення, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) перша група
- b) друга група
- c) третя група
- d) четверта група

16) Для якої групи граничних станів конструкції в цілому, її окремих елементів, з'єднань або поперечних перерізів відноситься такий позаграничний стан, як виникнення перфорації стінки ємкості з токсичними речовинами, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) перша група
- b) друга група
- c) третя група
- d) четверта група

17) Для якої групи граничних станів конструкції в цілому, її окремих елементів, з'єднань або поперечних перерізів відноситься такий позаграничний стан, як надмірні переміщення основи при просадках чи спучуванні ґрунтів, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) перша група
- b) друга група
- c) третя група
- d) четверта група

18) Яка група граничних станів охоплює ті граничні стани, які ускладнюють нормальну експлуатацію об'єкта або зменшують його довговічність порівняно з розрахунковим строком експлуатації, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) друга група
- b) перша група
- c) третя група
- d) четверта група

19) Яка група граничних станів охоплює ті граничні стани, перехід через які призводить до повної непридатності об'єкта або його елементів до експлуатації, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) друга група
- b) перша група
- c) третя група

d) четверта група

20) Що відноситься до рекомендованих вимог до складу основних технічних і програмних засобів систем моніторингу технічного стану гідротехнічних споруд класу (підкласу) наслідків (відповідальності) СС2-1, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) засоби інструментальних спостережень
- b) виносні модулі і автономні термінали автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем, що забезпечують автоматизований збір інформації про стан гідротехнічної споруди (ГТС)
- c) програмні засоби діагностування
- d) програмне забезпечення баз даних

21) Що відноситься до рекомендованих вимог до складу основних технічних і програмних засобів систем моніторингу технічного стану гідротехнічних споруд класу (підкласу) наслідків (відповідальності) СС2-1, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) дистанційна контрольно-вимірювальна апаратура, сумісна з автоматизованими інформаційно-вимірювальними діагностичними системами
- b) регресійний аналіз результатів спостережень
- c) засоби геодезичного контролю, п'езометри, мірні водозливи, засоби хімічного аналізу і інші вимірювальні пристрої, що вимагають участі людини в процесі вимірів
- d) програмне забезпечення формалізації звітних матеріалів і графічного оформлення результатів вимірів і аналізу даних спостережень

22) Що відноситься до обов'язкових вимог до складу основних технічних і програмних засобів систем моніторингу технічного стану гідротехнічних споруд класу (підкласу) наслідків (відповідальності) СС2-2, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

- a) засоби інструментальних спостережень
- b) виносні модулі і автономні термінали автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем, що забезпечують автоматизований збір інформації про стан гідротехнічної споруди (ГТС)

- c) програмні засоби діагностування
- d) програмне забезпечення баз даних

23) Що відноситься до обов'язкових вимог до складу основних технічних і програмних засобів систем моніторингу технічного стану гідротехнічних споруд (ГТС) класу (підкласу) наслідків (відповідальності) СС2-2, відповідно до рекомендацій ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»?

a) засоби геодезичного контролю, п'єзометри, мірні водозливи, засоби хімічного аналізу і інші вимірювальні пристрої, що вимагають участі людини в процесі вимірів

b) переносні засоби вимірювання, дефектоскопи, засоби акустичного, електрометричного і радіолокаційного зондування, термометричне обладнання та інші засоби вимірювання та індикації, використовувані при інспекційних обстеженнях

c) інструкція про склад спостережень, установлені контрольні-вимірювальні апаратури (КВА) і системи моніторингу гідротехнічних споруд (ГТС)

d) регресійний аналіз результатів спостережень



Додаток А

Приклад титульного аркушу комплекту практичних робіт, виконаних  
здобувачем

**ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»**  
**Кафедра безпеки праці та охорони довкілля**

**НОКСОЛОГІЯ ТА ІНЖЕНЕРНА БЕЗПЕКА:**

**практичні роботи за варіантом № \_**

**Виконав:**  
**здобувач вищої освіти**  
**групи 183-23-1 м**  
**Прізвище І.П.**

**Перевірила:**  
**доц. Максимова Н.М.**

Додаток Б  
до Методичних рекомендацій  
«Оцінка канцерогенного та  
неканцерогенного ризику для  
здоров'я населення від хімічного  
забруднення атмосферного  
повітря» (пункт 10 розділу III) [4]

Референтні концентрації речовин за хронічного інгаляційного впливу [4]

Речовина	CAS	RfC, мг/м <sup>3</sup>	Джерело	Критичні органи/системи
Азоту діоксид	10102-44-0	0,04	EPA	Органи дихання
Азотна кислота	4697-37-2	0,04	CalEPA	Органи дихання
Акриламід	79-06-1	0,0006	IRIS	Нервова система
Акрилова кислота	79-10-7	0,001	IRIS	Нервова система, 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	EPA	Нервова система, органи дихання
Аміак	7664-41-7	0,5	IRIS	Органи дихання
о-Анізидин	90-04-0	0,0002	IRIS	Сечовий міхур, нирки
Анілін	62-53-3	0,001	IRIS	Кров
Ацетальдегід	75-07-0	0,009	IRIS	Органи дихання
Ацетон	67-64-1	30,0	AT SDR	Печінка, нирки, нервова система
Ацетонітрил	75-05-8	0,06	IRIS	Системні ураження
Ацетонціангідрин	75-86-5	0,01	EPA	Печінка, органи дихання
Ацетофенон	98-86-2	0,00002	IRIS	Нервова система, органи дихання
Барій та сполуки	7440-39-3	0,0005	EPA	Репродуктивна система
Бенз/а/пірен	50-32-8	0,000002	IRIS	Розвиток, шкіра
Бензидин	92-87-5	0,01	IRIS	Сечовий міхур
Бензол	71-43-2	0,03	IRIS	Імунна система, кров
Берилій та сполуки	7440-41-7	0,00002	IRIS	Імунна система, органи дихання
Бромметан	74-83-9	0,005	IRIS	Нервова система, органи дихання
Брометен	593-60-2	0,003	IRIS	Печінка, шлунок
1,3-Бутадієн	106-99-0	0,002	CalEPA	Репродуктивна система
Бутанол-2	78-92-2	0,3	IRIS	Нервова система
1-Бутеноксид	106-88-7	0,02	IRIS	Органи дихання
Бутилацетат	123-86-4	0,7	CEPA	Органи дихання
2-Бутоксіетанол	111-76-2	13,0	IRIS	Кров
Ванадій та сполуки	7440-62-2	0,00007	EPA	Органи дихання
Завислі частинки (PM <sub>10</sub> )		0,05	EPA	Органи дихання
Завислі частинки (PM <sub>2.5</sub> )		0,015	EPA	Органи дихання
Завислі частинки (TSP)		0,075	EPA	Органи дихання
Вінілацетат	108-05-4	0,2	IRIS	Органи дихання,
Вінілбромід	593-60-2	0,003	IRIS	Печінка
Вінілхлорид	75-01-4	0,1	IRIS	Печінка
Водень сульфід	7783-06-4	0,001	IRIS	Органи дихання
Водень фтористий	7664-39-3	0,03	CalEPA	Кісткова система, органи дихання
Водень хлористий	7647-01-0	0,02	IRIS	Органи дихання
Водень ціанистий	74-90-8	0,0008	IRIS	Ендокринна система

Речовина	CAS	RfC, мг/м <sup>3</sup>	Джерело	Критичні органи/системи
Вуглецю оксид	630-08-0	3,0	IRIS	Кров, нервова система
Гас	8008-20-6	0,01	AT SDR	Печінка
1,6-Гексаметилендіізоціанат	822-06-0	0,00001	IRIS	Нервова система, органи дихання
Г ексан	110-54-3	0,7	IRIS	Нервова система
2-Г ексанон	591-78-6	0,005	EPA	Нервова система, органи дихання
Гексахлорбензол	118-74-1	0,003	CalEPA	Печінка
Гексахлорбутадиєн	87-68-3	0,09	CalEPA	Розвиток, системні ураження
Гексахлоретан	67-72-1	0,08	IRIS	Нервова система
Гідразин	302-01-2	0,0002	CalEPA	Печінка, ендокринна система
Ді(2-етилгексил)фталат	117-81-7	0,01	CalEPA	Печінка, органи дихання
1,2-Диброметан	106-93-4	0,009	IRIS	Органи дихання
Диванадій пентоксид	1314-62-1	0,00007	CalEPA	Органи дихання
Діетиламін	124-40-3	0,00002	IRIS	Органи дихання
1,1-Диметилгідразин	57-14-7	0,00001	AT SDR	Печінка
1,4-Діоксан	123-91-1	0,8	EPA	Печінка, нирки, кров
1,1-Дифторетан	75-37-6	40,0	IRIS	Системні ураження
1,2-Дихлорбензол	95-50-1	0,2	EPA	Нирки, розвиток
1,3 -Дихлорбензол	541-73-1	0,008	EPA	Нирки, розвиток
1,4-Дихлорбензол	106-46-7	0,8	IRIS	Печінка
Дихлордифторметан	75-71-8	0,2	EPA	Печінка, розвиток
Дихлорметан	75-09-2	0,6	IRIS	Печінка
1,2-Дихлорпропан	78-87-5	0,004	IRIS	Органи дихання
1,3 -Дихлорпропен	542-75-6	0,02	IRIS	Органи дихання
транс-1,3-Дихлорпропен	10061-02-6	0,02	IRIS	Органи дихання
цис-1,3-Дихлорпропен	10061-01-5	0,02	IRIS	Органи дихання
Дихлорфторметан	75-43-4	0,6	IRIS	Системні ураження
1,1-Дихлоретан	75-34-3	0,5	EPA	Нирки
1,2-Дихлоретан	107-06-2	0,4	CalEPA	Розвиток
1,2-Дихлоретилен	540-59-0	0,06	IRIS	Печінка, щитоподібна залоза
Епіхлоргідрин	106-89-8	0,001	IRIS	Органи дихання
Етиленбензол	100-41-4	1,0	IRIS	Розвиток
Етилен	74-85-1	0,1	CalEPA	Кров
Етиленоксид	75-21-8	0,005	CalEPA	Кров, біохімія
Етилмеркаптан	75-08-1	0,001	CEPA	Органи дихання
2-Етоксіетанол	110-80-5	0,2	IRIS	Репродуктивна система, кров
2-Етоксіетилацетат	111-15-9	0,3	EPA	Репродуктивна система, кров
Ізопропілбензол (кумол)	98-82-8	0,4	IRIS	Ендокринна система, нирки
Ізофорон	78-59-1	0,012	EPA	Маса тіла
Кадмій та сполуки	7440-43-9	0,0002	AT SDR	Нирки, органи дихання
Кобальт та сполуки	7440-48-4	0,00005	CalEPA	Органи дихання
Ксилол	1330-20-7	0,1	IRIS	Нервова система
о-Ксилол	95-47-6	0,44	CEPA	Розвиток
Марганець та сполуки	7439-96-5	0,00005	IRIS	Нервова система
Мідь та сполуки	7440-50-8	0,00002	CalEPA	Органи дихання, системні ураження
Метанол	67-56-1	2,0	IRIS	Нервова система, розвиток
4-Метил-2-пентанол	108-10-1	0,08	EPA	Печінка, нирки
Мети ліз оці анат	624-83-9	0,001	CalEPA	Органи дихання, системні ураження
Метилмеркаптан	74-93-1	0,001	CEPA	Органи дихання, нервова система
Метилметакрилат	80-62-6	0,7	IRIS	Нервова система, органи дихання
Метил-трет-бутиловий ефір	1634-04-4	3,0	IRIS	Печінка, нирки
2-Меркаптобензотіазол	149-30-4	0,35	IRIS	Репродуктивна система
Миш'як	7440-38-2	0,00003	IRIS	Легені, шкіра, сечовий міхур

Речовина	CAS	RfC, мг/м <sup>3</sup>	Джерело	Критичні органи/системи
Нафталін	91-20-3	0,003	IRIS	Органи дихання
Нікель	7440-02-0	0,00005	MABP	Легені, порожнини носа
Нітробензол	98-95-3	0,009	IRIS	Нервова система, органи дихання
Озон	10028-15-6	0,03	IRIS	Органи дихання
Пентахлорфенол	87-86-5	0,1	MABP	Наднирники
Перилен	198-55-0	0,071	IRIS	Нирки
Піридин	110-86-1	0,007	EPA	Печінка, біохімія
п-Ксилол	106-42-3	0,44	CEPA	Розвиток, нервова система
Поліхлоровані біфеніли	1136-36-3	0,0012	CalEPA	Печінка, нирки
Пропілен	115-07-1	3,0	CalEPA	Органи дихання
Пропілен оксид	75-56-9	0,03	IRIS	Органи дихання
Ртуть та сполуки	7439-97-6	0,0003	IRIS	Нервова система
Свинець та його неорганічні сполуки	7439-92-1	0,0005	CalEPA	Нервова система, кров
Селен	7782-79-2	0,00008	CalEPA	Органи дихання, системні ураження
Сірки діоксид	7446-09-5	0,05	EPA	Органи дихання
Сірковуглець	75-15-0	0,7	IRIS	Нервова система, розвиток
Стирол	100-42-5	1,0	IRIS	Нервова система
7,8-Стиролу оксид	96-09-3	0,006	CalEPA	Органи дихання, системні ураження
Тетрахлор метан	56-23-5	0,1	IRIS	Печінка
1,1,2,2,-Тетрахлоретан	79-34-5	0,2	EPA	Печінка
Тетрахлоретилен	127-18-4	0,04	CalEPA	Нервова система, очі
Тетрахлорфенол	25167-83-3	0,09	CalEPA	Печінка
2,4-Толуолдіізоціанат	26471-62-5	0,00007	IRIS	Органи дихання
Толуол	108-88-3	0,4	IRIS	Нервова система, розвиток
Трирезол	1319-77-3	0,004	CalEPA	Кров
1,2,4-Триметилбензол	95-63-6	0,006	EPA	Нервова система, нирки
1,3,5-Триметилбензол	108-67-8	0,006	EPA	Нервова система
Трихлортрифторетан	76-13-1	90,0	CalEPA	Маса тіла, нервова система
1,2,4-Трихлорбензол	120-82-1	0,2	EPA	Печінка
1,3,5-Трихлорбензол	108-70-3	0,2	IRIS	Органи дихання, печінка
1,2,3-Трихлор пропан	96-18-4	0,0003	IRIS	Печінка, нервова система
Трихлорфтор метан	75-69-4	20,0	CalEPA	Розвиток, нирки
1,1,1-Трихлоретан	71-55-6	5,0	IRIS	Печінка, нервова система
1,1,2-Трихлоретан	79-00-5	0,4	CalEPA	Розвиток
Трихлоретилен	79-01-6	0,002	IRIS	Розвиток, імунна система
Триетиламін	121-44-8	0,007	IRIS	Органи дихання
Фенол	108-95-2	0,006	EPA	Нервова система, органи дихання
Формальдегід	50-00-0	0,003	CalEPA	Органи дихання, імунна система
Фосген	75-44-5	0,0003	CalEPA	Органи дихання
Фосфор	7723-14-0	0,00007	CalEPA	Репродуктивна система, алопеція
Фосфорна кислота	7664-38-2	0,01	IRIS	Органи дихання
Фталевий ангідрид	85-44-9	0,01	CalEPA	Органи дихання
Фториди	16984-48-8	0,03	CalEPA	Органи дихання, кісткова система
Фурфурол	98-01-1	0,05	EPA	Органи дихання
Хлор	7782-05-5	0,0002	CalEPA	Органи дихання
Хлору ді оксид	10049-04-4	0,0002	IRIS	Органи дихання
3-Хлор-1,2-дибромпропан	96-12-8	0,0002	IRIS	Репродуктивна система
2-Хлорацетофенон	532-27-4	0,00003	IRIS	Органи дихання
Хлорбензол	108-90-7	0,059	EPA	Печінка, нирки
2-Хлорбута-1,3-діен	126-99-8	0,007	EPA	Органи дихання, розвиток
Хлоровані дибензофурані	5120-73-10	0,00000004	CalEPA	Печінка, репродуктивна та

Речовина	CAS	RfC, мг/м <sup>3</sup>	Джерело	Критичні органи/системи
				гормональна система
Хлордифторметан	75-45-6	50,0	IRIS	Нирки, ендокринна система
Хлоретан	75-00-3	10,0	IRIS	Розвиток, шлунок
Хлорметан	74-87-3	0,1	ATSDR	Нервова система, печінка
Хлороформ	67-66-3	0,098	ATSDR	Печінка, розвиток, нирки
Хлорпікрин	76-06-2	0,004	CalEPA	Печінка, органи дихання, системні ураження
2-Хлорпропан	75-29-6	0,1	EPA	Печінка
2-Хлорфенол	95-57-8	0,0014	EPA	Розвиток, репродуктивна система
Хром (VI)	18540-29-9	0,0001	IRIS	Органи дихання
Хромова кислота	7783-94-5	0,000008	IRIS	Органи дихання
Ціаніди	57-12-5	0,003	IRIS	Нервова система, гормональний статус
Циклогексан	110-82-7	6,0	IRIS	Розвиток
Циклогексанол	108-93-0	0,00002	EPA	М'язова система
Цинк та сполуки	7440-66-6	0,0009	CalEPA	Органи дихання

Примітки [4]:

ATSDR – Агентство з реєстрації токсичних сполук і захворювань;

CalEPA – каліфорнійське Агентство з охорони навколишнього середовища;

CEPA – Канадське Агентство з охорони навколишнього середовища;

EPA – Агентство США з охорони навколишнього середовища;

IRIS – інтегрована інформаційна система про ризики (U.S.EPA);

MABP – Міжнародне агентство з вивчення раку.

Додаток В  
до Методичних рекомендацій  
«Оцінка канцерогенного та  
неканцерогенного ризику для  
здоров'я населення від хімічного  
забруднення атмосферного  
повітря» (пункт 11 розділу III) [4]

Фактори канцерогенного потенціалу речовин [4]

Речовина	CAS	SFi, (мг/(кг·доба)) <sup>-1</sup>	Джерело інформації	Група за класифікацією МАБР
Акриламід	79-06-1	4,5	IRIS	2A
Акрилонітрил	107-13-1	0,24	IRIS	2B
2-Аміно-3-метил-9Н-піридо[2,3-b] індол	68006-83-7	1,2	CalEPA	2B
2-Аміно-6-метилдіпіридилдо(1,2-а:3',2'-d)імідазол	67730-11-4	4,8	CalEPA	2B
2-Аміно-9Н-піридо [2,3-b] індол	26148-68-5	0,4	CalEPA	2B
2-Амінодіпіридо(1,2- а:3',2'-d) імідазол	67730-10-3	1,4	CalEPA	2B
4-Амінодіфеніл	92-67-1	21	CalEPA	1
Анілін	62-53-3	0,0057	CalEPA	2A
Аурамін	492-80-8	0,88	CalEPA	2B
Ацетальдегід	75-07-0	0,0077	IRIS	2B
Ацетамід	60-35-5	0,07	CalEPA	2B
Бенз[а]антрацен	56-55-3	0,31	EPA	2B
Бенз(а)пірен	50-32-8	3,1	EPA	1
Бензо[б]флуорантен	205-99-2	0,39	CalEPA	2B
Бензо[і]флуорантен	205-82-3	0,39	CalEPA	2B
Бензо[к]флуорантен	207-08-9	0,031	EPA	2B
Бензидин	92-87-5	234	МАБР	1
Бензилхлорид	100-44-7	0,17	МАБР	2A
Бензин	8006-61-9	0,035	МАБР	2B
Бензол	71-43-2	0,027	IRIS	1
Бензотрихлорид	98-07-7	13,0	МАБР	2A
Берилій	7440-41-7	8,4	IRIS	1
Берилій оксид	1304-56-9	7,0	CalEPA	1
Берилію сульфат	13510-19-1	3000,0	CalEPA	1
Бромдихлорметан	75-27-4	0,13	CalEPA	2B
Бромформ	75-25-2	0,0039	IRIS	3
1,3-Бутадієн	106-99-0	1,8	IRIS	2A
Вінілбромід	593-60-2	0,11	EPA	2A
Вінілхлорид	75-01-4	0,3	EPA	1
Вінліденхлорид	75-35-4	0,18	МАБР	2B
1,2,3,4,5,6-Гексахлорциклогексан	608-73-1	1,78	МАБР	2B
Гідразин	302-01-2	17,1	IRIS	2A
Ді(2-етилгексил)фталат	117-81-7	0,0084	CalEPA	2B
2,4-Діаміноанізол	615-05-4	0,023	CalEPA	2B
Дибенз[а,і]акридин	224-42-0	0,39	CalEPA	2A
Дибенз(а,н)антрацен	53-70-3	3,1	EPA	2A
Дибенз[а,н]акридин	226-36-8	0,39	CalEPA	2B
Дибенз[а,В]пірен	189-64-0	39,0	CalEPA	2B
Дибенз[а,і]пірен	189-55-9	39,0	CalEPA	2B
Дибенз[а,І]пірен	191-30-0	39,0	CalEPA	2A
1,2-Диброметан	106-93-4	0,77	IRIS	2A
1,8 – Дигідроксінантрахінон	117-10-2	0,076	CalEPA	2B
Дигідросафрол	94-58-6	0,044	CalEPA	2B
Дигліциділрезорциновий ефір	101-90-6	1,7	CalEPA	2B

Речовина	CAS	SFi, (мг/(кг·доба)) <sup>1</sup>	Джерело інформації	Група за класифікацією МАБР
3,3-Диметилбензидин	119-93-7	9,2	МАБР	2В
1,1-Диметилгідразин	57-14-7	550,0	CaIЕРА	2В
1,2-Диметилгідразин	540-73-8	550,0	МАБР	2А
Диметилкарбамоїлхлорид	79-44-7	13,0	CaIЕРА	2А
Диметилсульфат	77-78-1	34,0	МАБР	2А
3,3-Диметоксібензидин	119-90-4	0,014	МАБР	2В
1,6-Динітропірен	42397-64-8	39,0	CaIЕРА	2В
1,8-Динітропірен	42397-65-9	39,0	CaIЕРА	2В
2,4-Динітротолуол	121-14-2	0,31	CaIЕРА	2В
2,6-Динітротолуол	606-20-2	0,31	МАБР	2В
1,4-Діоксан	123-91-1	0,027	CaIЕРА	2В
3,3-Дихлорбензидин	91-94-1	1,2	МАБР	2В
1,4-Дихлорбензол	106-46-7	0,04	CaIЕРА	2В
1,1'-Дихлордиметиловий ефір	542-88-1	217,0	IRIS	1
1,2-Дихлоретан	107-06-2	0,091	IRIS	2В
Дихлорметан	75-09-2	0,0016	IRIS	2В
1,2-Дихлорпропан	78-87-5	0,063	CaIЕРА	3
1,3 Дихлорпропен	542-75-6	0,004	МАБР	2В
Етилакрилат	140-88-5	0,048	МАБР	2В
Етилбензол	100-41-4	0,00385	МАБР	2В
Епіхлоргідрин	106-89-8	0,0042	IRIS	2А
Етиленімін	151-56-4	65,0	CaIЕРА	2В
Етилену оксид	75-21-8	0,35	МАБР	1
Індено[1,2,3-с,d]пірен	193-39-5	0,31	ЕРА	2В
Кадмій	7440-43-9	6,3	IRIS	1
Кам'яновугільні смоли	8007-45-2	2,17	IRIS	1
Кобальт і його сполуки	7440-48-4	9,8	МАБР	2В
Кротоновий альдегід	123-73-9	1,9	МАБР	2В
Купферон	135-20-6	0,22	CaIЕРА	2В
2-Меркаптобензотіазол	149-30-4	0,029	МАБР	2А
2-Метил-1-нітроантрахінон	129-15-7	4,3	CaIЕРА	2В
2-Метил-1-хлорпроп-1 -ен	513-37-1	0,045	CaIЕРА	2В
N – Метил-N-нітро-N-нітросогуанідин	70-25-7	8,3	CaIЕРА	2А
4,4'-Метилен біс(2-хлоранілін)	101-14-4	0,13	ЕРА	1
4,4-Метилендіанілін дигідрохлорид	13552-44-8	1,2	CaIЕРА	2В
Метилметансульфонат	66-27-3	0,099	CaIЕРА	2В
5-Метилхрізен	3697-24-3	3,9	CaIЕРА	2В
2-Метоксианілін	90-04-0	0,14	CaIЕРА	2В
2-Метоксіанілін гідрохлорид	134-29-2	0,11	CaIЕРА	2В
Миш'як	7440-38-2	15,0	IRIS	1
2-Нафтиламін	91-59-8	1,8	CaIЕРА	1
Нафто(1,2,3,4-def) хрізен	192-65-4	3,9	CaIЕРА	2В
Нікель	7440-02-0	0,91	CaIЕРА	1
Нікель очищений, пил		0,84	IRIS	1
Нітрилотриоцтова кислота	139-13-9	0,0053	CaIЕРА	2В
5-Нітроаценафтен	602-87-9	0,13	CaIЕРА	2В
N-Нітросо-M-метилсечовина	684-93-5	120,0	CaIЕРА	2А
N-Нітросо-M-метилуретан	615-53-2	110,0	CaIЕРА	2В
N-Нітросо-M-етилсечовина	759-73-9	27,0	CaIЕРА	2А
N-Нітрозодибутиламін	924-16-3	5,6	IRIS	2В
N-Нітрозодиметиламін	62-75-9	49,0	IRIS	2А
N-Нітрозодипропіламін	621-64-7	7,0	CaIЕРА	2В
N-Нітрозодіетиламін	55-18-5	150,0	IRIS	2А
N-Нітрозодіетаноламін	1116-54-7	2,8	CaIЕРА	2В
N-Нітрозометилетиламін	10595-95-6	22	CaIЕРА	2В
N-Нітрозоморфолін	59-89-2	6,7	CaIЕРА	2В
N-Нітрозонорнікотин	16543-55-8	1,4	CaIЕРА	1

Речовина	CAS	SFi, (мг/(кг·доба)) <sup>1</sup>	Джерело інформації	Група за класифікацією МАБР
N-Нітрозопіперідин	100-75-4	9,4	CaIЕРА	2В
N-Нітрозопіролідін	930-55-2	2,1	IRIS	2В
1-Нітропірен	5522-43-0	0,39	CaIЕРА	2А
4-Нітропірен	57835-92-4	0,39	CaIЕРА	2В
2-Нітропропан	79-46-9	9,4	ЕРА	2В
2-Нітрофлуорен	607-57-8	0,039	МАБР	2В
2-Нітрохлорбензол	88-73-3	0,025	МАБР	2В
3 -Нітрохлорбензол	121-73-3	0,018	МАБР	2В
4-Нітрохлорбензол	100-00-5	0,018	МАБР	2В
6-Нітрохрізен	7496-02-8	39,0	CaIЕРА	2В
Пентахлорфенол	87-86-5	0,018	CaIЕРА	1
Пірокатехін	120-80-9	0,009	МАБР	2В
Поліхлоровані біфеніли	1336-36-3	0,4	IRIS	1
1,3-Пропансультон	1120-71-4	2,4	CaIЕРА	2А
Пропіленоксид	75-56-9	0,013	МАБР	2В
Сафрол	94-59-7	0,22	CaIЕРА	2В
Сажа	1333-86-4	0,0155	МАБР	1
Свинець	7439-92-1	0,042	CaIЕРА	2В
Стирол	100-42-5	0,002	МАБР	2А
7,8-Стиролоксид	96-09-3	0,16	CaIЕРА	2А
Сурми триоксид	1309-64-4	0,0004	МАБР	2В
Тетрабромбісфенол А	79-94-7	13,0	МАБР	2А
Тетрагідрофуран	109-99-9	0,0068	ЕРА	2В
Тетрахлорметан	56-23-5	0,053	IRIS	2В
1,1,1,2-Тетрахлоретан	630-20-6	0,026	IRIS	2В
1,1,2,2,-Тетрахлоретан	79-34-5	0,2	IRIS	2В
Тетрахлоретилен	127-18-4	0,002	ЕРА	2А
2,3,7,8-Тетрахлордібензо-п-діоксин	1746-01-6	150000	ЕРА	1
Тіоацетамід	62-55-5	6,1	CaIЕРА	2В
4,4'-Тіодіанілін	139-65-1	15,0	CaIЕРА	2В
2,4-Толуїлендіізоціанат	584-84-9	0,039	CaIЕРА	2В
Толуол-2,6-диізоціанат	91-08-7	0,039	CaIЕРА	2В
1,3 -Т олу олдіізоціанат	26471-62-5	0,039	CaIЕРА	2В
2-Трет-Бутил-4-метоксифенол	25013-16-5	0,0002	CaIЕРА	2В
Трис(2,3-дибромпропіл)фосфат	126-72-7	2,3	МАБР	2А
2,4,6-Трихлорфенол	88-06-2	0,011	IRIS	2В
1,1,2-Трихлоретан	79-00-5	0,057	IRIS	3
Трихлоретилен	79-01-6	0,0063	ЕРА	1
1,2,3Трихлорпропан	96-18-4	7,0	МАБР	2А
Формальдегід	50-00-0	0,046	IRIS	2А
Хінолін	91-22-5	12,0	МАБР	2В
n-Хлоранілін	106-47-8	0,0638	МАБР	2В
Хлорметан	74-87-3	0,0063	ЕРА	3
Хлорметоксиметан	107-30-2	2,4	CaIЕРА	1
4-Хлор-о-толуїдин	95-69-2	0,46	МАБР	2А
4-Хлор-о-фенілендіамін	95-83-0	0,016	CaIЕРА	2В
Хлоропрен	126-99-8	1,1	МАБР	2В
Хлороформ	67-66-3	0,081	IRIS	2В
Хлорендова кислота	115-28-6	0,091	CaIЕРА	2В
Хризен	218-01-9	0,0031	ЕРА	2В
Хром VI	18540-29-9	42,0	IRIS	1
Хромова кислота	7783-94-5	42,0	IRIS	1

Примітки [4]:

CAS – реєстраційний номер, що є унікальною ідентифікаційною характеристикою індивідуальних речовин або їх сумішей постійного складу;

EPA – Агентство США з охорони навколишнього середовища;  
IRIS (U.S.EPA) – інтегрована інформаційна система про ризики;  
CalEPA – каліфорнійське Агентство з охорони навколишнього середовища CalEPA;  
МАВР – Міжнародне агентство з вивчення раку.

Додаток Г  
 до Методичних рекомендацій  
 «Оцінка канцерогенного та  
 неканцерогенного ризику для  
 здоров'я населення від хімічного  
 забруднення атмосферного  
 повітря» (пункт 14 розділу III) [4]

Класифікація рівнів неканцерогенного ризику [4]

<b>Коефіцієнт небезпеки розвитку неканцерогенних ефектів (HQ) для окремих сполук</b>	<b>Індекс небезпеки розвитку не- канцерогенних ефектів (HI) для групи сполук односпрямованої дії</b>	<b>Рівень ризику</b>
>3	>6	Високий
1,1-3	3,1-6	Насторожуючий
0,11-1,0	1,1-3,0	Допустимий
0,1 і менше	1,0 і менше	Мінімальний (цільовий)

Додаток Д  
до Методичних рекомендацій  
«Оцінка канцерогенного та  
неканцерогенного ризику для  
здоров'я населення від хімічного  
забруднення атмосферного  
повітря» (пункт 16 розділу III) [4]

Приклад розрахунку сумарного неканцерогенного ризику впливу  
сполук (HI) на критичні органи та системи організму [4]

Речовина	C, мг/м <sup>3</sup>	RfC, мг/м <sup>3</sup>	HQ	Критичні органи
А	0,099	0,04	2,47	органи дихання
Б	0,075	0,10	0,75	печінка
С	0,09	0,10	0,90	органи дихання
Д	0,004	0,007	0,57	печінка
Сумарний ризик		HI загальний	4,69	
		HI органи дихання	3,37	
		HI печінка	1,32	

Додаток Е  
до Методичних рекомендацій  
«Оцінка канцерогенного та  
неканцерогенного ризику для  
здоров'я населення від хімічного  
забруднення атмосферного  
повітря» (пункт 16 розділу III) [4]

Приклад розрахунку канцерогенного ризику, пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря формальдегідом (а) та N-нітрозодиметиламіном (б) [4]

Розраховують середню добову дозу впливу канцерогена LADD на населення міста, де концентрація в атмосферному повітрі становить: формальдегіду – 0,0039 мг/м<sup>3</sup>, N-нітрозодиметиламіну – 0,000064 мг/м<sup>3</sup>

Використовуючи стандартні дескриптори експозиції та дані щодо факторів канцерогенного потенціалу сполук, проводять розрахунок за формулою:

$$LADD = C \cdot CR \cdot EF \cdot ED / BW \cdot AT \cdot 365$$

Параметр	Характеристика	Стандартне значення
LADD	Середня добова доза канцерогена, мг/(кг·доба)	-
C	Середня концентрація в атмосферному повітрі, мг/м <sup>3</sup>	
	формальдегіду	0,0039 мг/м <sup>3</sup>
	N-нітрозодиметиламіну	0,000064 мг/м <sup>3</sup>
CR	Швидкість надходження сполуки до організму із забрудненим атмосферним повітрям	20,0 м <sup>3</sup>
EF	Частота впливу, днів на рік	365 днів
ED	Тривалість впливу, років	70 років
BW	Середня маса тіла дорослої людини, кг	70 кг
AT	Період осереднення експозиції, років	для канцерогенів 70 років
365	Днів у році	
	SF для інгаляційного впливу формальдегіду	0,046 (мг/(кг · доба)) <sup>-1</sup>
	SF для інгаляційного впливу N-нітрозодиметиламіну	49,0 (мг/(кг · доба)) <sup>-1</sup>

а) для формальдегіду:

$$LADD = 0,0039 \cdot 20,0 \cdot 365 \cdot 70 / (70 \cdot 70 \cdot 365) = 0,00112 \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{доба})$$

Величина індивідуального канцерогенного ризику впливу цієї концентрації формальдегіду буде складати:

$$CR = LADD \cdot SF = 0,00112 \cdot 0,046 = 5,1 \cdot 10^{-5}$$

б) для N-нітрозодиметиламіну:

$$LADD = 0,000064 \cdot 20,0 \cdot 365 \cdot 70 / (70 \cdot 70 \cdot 365) = 0,000018 \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{доба})$$

Величина індивідуального канцерогенного ризику впливу цієї концентрації N-нітрозодиметиламіну буде складати:

$$CR = LADD \cdot SF = 0,000018 \cdot 49,0 = 9,0 \cdot 10^{-4}$$

Додаток Ж  
 до Методичних рекомендацій  
 «Оцінка канцерогенного та  
 неканцерогенного ризику для  
 здоров'я населення від хімічного  
 забруднення атмосферного  
 повітря» (пункт 16 розділу III) [4]

#### Класифікація рівнів канцерогенного ризику [4]

Ризик протягом життя	Рівень ризику
$>10^{-3}$	Високий – не прийнятний для виробничих умов і населення. Необхідне здійснення заходів з усунення або зниження ризику
$10^{-3} - 10^{-4}$	Середній – прийнятний для виробничих умов, але неприйнятний для населення; потребує динамічного контролю і поглибленого вивчення джерел викиду і можливих наслідків шкідливої дії для вирішення питання про заходи з його зниження
$10^{-4} - 10^{-6}$	Низький – допустимий ризик (рівень, на якому, як правило, встановлюються гігієнічні нормативи для населення)
$<10^{-6}$	Мінімальний – бажана (цільова) величина ризику при проведенні оздоровчих і природоохоронних заходів



*Навчально-методичне видання*

**Наталія Миколаївна Максимова**

**НОКСОЛОГІЯ ТА ІНЖЕНЕРНА БЕЗПЕКА:**

**методичні вказівки  
до виконання практичних робіт:**

самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції