

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



ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ**

для студентів освітньо-професійних програм «Екологія» та «Технології захисту навколишнього середовища» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Дніпро
НТУ «ДП»
2020

Екологічна безпека. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт для студентів освітньо-професійних програм «Екологія» та «Технології захисту навколишнього середовища» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти [Текст] / О. О. Борисовська, В. В. Федотов. НТУ «Дніпровська політехніка». — Дніпро: НТУ «ДП», 2020. — 52 с.

Автори:

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

В. В. Федотов, ас.

Затверджено методичними комісіями зі спеціальностей 101 «Екологія» (протокол № 2 від 10.03.2020 р.) та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» (протокол № 2 від 10.03.2020 р.) за поданням кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища (протокол № 8 від «17» лютого 2020 р.).

Подано методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Екологічна безпека» для студентів освітньо-професійних програм «Екологія» та «Технології захисту навколишнього середовища» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти».

Відповідальний за випуск: завідувач кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, д-р. техн. наук, проф. А. В. Павличенко

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Методичні рекомендації призначені для закріплення теоретичних знань, набутих студентами в лекційному курсі, а також формування практичних навичок щодо розрахунку викидів різних забруднюючих речовин у довкілля (промислових газоповітряних сумішей, важких металів та ін.).

Методичні рекомендації включають 3 практичні роботи, тексти яких викладено за типовою структурною схемою – тема, мета роботи, подання теоретичних положень за темою, завдання для самостійного виконання та питання для самоконтролю.

Послідовність проведення практичних робіт відповідає темам лекційних занять, що сприяє практичному закріпленню теоретичних знань з дисципліни.

В результаті виконання практичних робіт студенти повинні набути практичні навички з розрахунку:

- ❖ максимальної приземної концентрації забруднювальної речовини при небезпечній швидкості вітру;
- ❖ відстані до точки з максимальною приземною концентрацією і небезпечної швидкості вітру;
- ❖ границь зони з концентраціями, що перевищують гранично допустиму концентрацію по осі факела викиду та по перпендикуляру від осі факелу викиду;
- ❖ граничнодопустимого викиду, необхідного ефекту очищення і необхідної висоти труби джерела викиду;
- ❖ кількості нафти, що вбралася в ґрунт внаслідок аварійних розливів нафти;
- ❖ маси розчиненої і (або) емульгованої в воді нафти;
- ❖ розмірів збитків, завданих здоров'ю людей та об'єктам національної економіки внаслідок аварійних розливів нафти;
- ❖ викидів важких металів в атмосферу при спалюванні вугілля та сміття та ін.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

РОЗРАХУНОК УМОВ РОЗСІЮВАННЯ ВИКИДІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ

Мета роботи: набуття студентами практичних навичок розрахунку умов розсіювання викидів промислових підприємств в атмосферному повітрі.

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

– ознайомлення з основними положеннями методики розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі забруднювальних речовин, що містяться у викидах підприємств (ОНД-86);

– ознайомлення з прикладом розрахунку умов розсіювання викидів промислових підприємств в атмосферному повітрі;

– самостійний розрахунок умов розсіювання викидів промислових підприємств в атмосферному повітрі.

1.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1.1. Загальні положення

Для того, щоб концентрація забруднювальної речовини у приземному шарі атмосфери не перевищувала гранично допустиму максимально разову концентрацію (ГДКм.р.), пилогазові викиди піддаються розсіюванню в атмосфері через високі труби. При достатньо високій димовій трубі забруднення досягнуть приземного шару атмосфери на значній відстані від труби (рис. 1.1), коли вони вже встигнуть розсіятися у повітрі до гранично допустимих концентрацій.

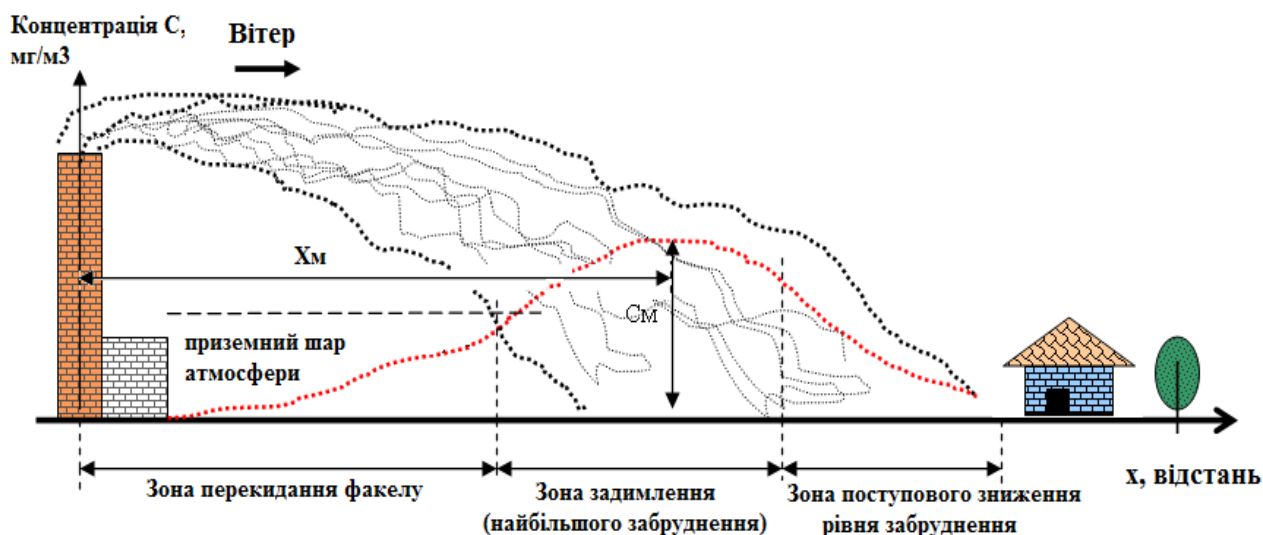


Рис. 1.1 – Схема розсіювання забруднювальної речовини при викиді через вертикальну трубу

Розрахунок розсіювання забруднювальних речовин в атмосфері зводиться до визначення наступних величин:

- максимальної приземної концентрації забруднювальної речовини C_m на відстані X_m від джерела при небезпечній швидкості вітру U_m ;

- максимальної приземної концентрації забруднювальної речовини $C_{m.n.}$ на

відстані $X_{м.п.}$ від джерела при швидкості вітру U , що відрізняється від небезпечної швидкості вітру U_m ;

- концентрації забруднювальних речовин на будь-якій відстані від джерела викиду.

Найбільша концентрація кожної забруднювальної речовини C_m , мг/м³ у приземному шарі атмосфери не повинна перевищувати максимальної разової гранично припустимої концентрації ГДК_{м.р.}:

$$C_m \leq ГДК_{м.р.} \quad (1.1)$$

Якщо ця умова не виконується, то необхідно зменшити величину викидів до значень гранично допустимих викидів (ГДВ), при яких вміст забруднювальних речовин в приземному шарі не перевищує ГДК.

При неможливості зниження величини викидів до рівня ГДВ необхідно розглянути можливість застосування очисних споруд з ефективністю очистки $X_{оч}$ або збільшити висоту джерела викидів до величини H_m , при якій забезпечується дотримання встановлених вимог (концентрація речовини C_m не перевищує ГДК_{м.р.}).

1.1.2. Розрахунок максимальної приземної концентрації забруднювальних речовин при небезпечній швидкості вітру

Максимальне значення приземної концентрації забруднювальної речовини C_m (мг/м³) при викиді газоповітряної суміші з одиночного точкового джерела з круглим устям досягається при несприятливих метеорологічних умовах на відстані X_m (м) від джерела і визначається за формулою:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}, \quad (1.2)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери (для України $A=180$); M – кількість забруднювальної речовини, що викидається в атмосферу, г/с; F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання забруднювальних речовин у повітрі: для газоподібних забруднювальних речовин і дрібнодисперсних аерозолів (пилу, золи і т. п., швидкість упорядкованого осідання яких практично дорівнює нулю) – $F=1$; для дрібнодисперсних аерозолів при середньому експлуатаційному коефіцієнті очищення викидів не менше 90% $F=2$; при коефіцієнті очищення викидів від 75 до 90% $F=2,5$; коефіцієнті очищення викидів менше 75% та при відсутності очистки – $F=3$; m і n – безрозмірні коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з устя джерела викиду; H – висота джерела викиду над рівнем землі, м; V_1 – об'ємна витрата газоповітряної суміші, м³/с; ΔT – різниця між температурою газоповітряної суміші T_2 , що викидається з устя джерела, і температурою атмосферного повітря T_a , °С.

Коефіцієнт m визначають залежно від параметру f за формулою:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}. \quad (1.3)$$

Параметр f визначається виразом:

$$f = \frac{10^3 W_0^2 D}{H^2 \Delta T}, \quad (1.4)$$

де W_0^2 – швидкість виходу газоповітряної суміші з устя джерела викиду, м/с; D – діаметр устя джерела викиду, м.

Значення коефіцієнту n визначається наступним чином:

- при $V_M \leq 0,3$ $n = 3$; (1.5)

- при $0,3 < V_M \leq 2,0$ $n = 3 - \sqrt{(V_M - 0,3)(4,36 - V_M)}$; (1.6)

- при $V_M > 2,0$ $n = 1$. (1.7)

Параметр V_M розраховується за формулою:

$$V_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}}. \quad (1.8)$$

1.1.3. Розрахунок небезпечної швидкості вітру U_M та відстані X_M до точки з максимальною приземною концентрацією речовини C_M

Величина максимальної приземної концентрації забруднювальної речовини C_M при несприятливих метеорологічних умовах спостерігається на осі факелу викиду на відстані X_M від джерела (див. рис. 1.1).

Значення X_M визначається за формулою:

$$X_M = d \cdot H, \quad (1.9)$$

де d – безрозмірна величина, що розраховується наступним чином:

- при $V_M \leq 2,0$ $d = 4,95 \cdot V_M (1 + 0,28 \sqrt[3]{f})$; (1.10)

- при $V_M > 2,0$ $d = 7 \cdot \sqrt[3]{V_M} (1 + 0,28 \sqrt[3]{f})$ (1.11)

Якщо коефіцієнт $F \geq 2$, то величина X_M визначається за формулою:

$$X_M = \frac{5 - F}{4} d \cdot H. \quad (1.12)$$

Величина небезпечної швидкості вітру U_M (м/с) на рівні флюгеру (зазвичай 10 м від рівня землі), при якій спостерігається найбільше значення приземної концентрації забруднювальних речовин у повітрі C_M приймається:

- при $V_M \leq 0,5$ $U_M = 0,5$ м/с; (1.13)

- при $0,5 < V_M \leq 2,0$ $U_M = V_M$; (1.14)

- при $V_M > 2,0$ $U_M = V_M (1 + 0,12 \sqrt[3]{f})$. (1.15)

1.1.4. Розрахунок відстані $X_{M.n.}$ до точки з максимальною приземною концентрацією $C_{M.n.}$ при будь-якій швидкості вітру

Якщо швидкість вітру U відрізняється від небезпечної швидкості U_M , то максимальна величина приземної концентрації забруднювальної речовини $C_{M.n.}$ (мг/м³) розраховується за формулою:

$$C_{M.n.} = r \cdot C_M, \quad (1.16)$$

де r – безрозмірна величина, що визначається у залежності від співвідношення U/U_M за формулами:

- при $U/U_M \leq 1$ $r = 0,67 [U/U_M] + 1,67 [U/U_M]^2 + 1,34 [U/U_M]^3$; (1.17)

- при $U/U_m > 1$ $r = \frac{3[U/U_m]}{2[U/U_m]^2 - [U/U_m] + 2}$. (1.18)

Відстань від джерела викиду $X_{м.п.}$, на якій при швидкості вітру U приземна концентрація забруднювальних речовин сягає максимального значення $C_{м.п.}$ розраховується за формулою:

$$X_{м.п.} = p \cdot X_m, \quad (1.19)$$

де p – безрозмірна величина, що визначається у залежності від співвідношення U/U_m наступним чином:

- при $U/U_m \leq 0,25$ $p = 3$ (1.20)

- при $0,25 < U/U_m \leq 1$ $p = 8,43(1 - U/U_m)^5 + 1$; (1.21)

- при $U/U_m > 1$ $p = 0,32(U/U_m) + 0,68$. (1.22)

1.1.5. Розрахунок приземної концентрації забруднювальних речовин C по осі факелу викиду

Величини приземних концентрацій забруднювальних речовин в атмосфері по осі факелу викиду на різних відстанях від джерела викиду визначаються за формулою:

$$C = S_1 \cdot C, \quad (1.23)$$

де S_1 – безрозмірна величина, що визначається при небезпечній швидкості вітру наступним чином:

- при $X/X_m \leq 1$ $S_1 = 3[X/X_m]^4 - 8[X/X_m]^3 + 6[X/X_m]^2$; (1.24)

- при $1 < X/X_m \leq 8$ $S_1 = \frac{1,13}{0,13[X/X_m]^2 + 1}$; (1.25)

- при $X/X_m > 8$ та $F=1$ $S_1 = \frac{X/X_m}{3,58[X/X_m]^2 - 35,2[X/X_m] + 120}$; (1.26)

- при $X/X_m > 8$ та $F \geq 2$ $S_1 = \frac{1}{0,1[X/X_m]^2 + 2,47[X/X_m] - 17,8}$. (1.27)

Задаючись різними значеннями X , можна розрахувати розподіл приземних концентрацій забруднювальних речовин по осі факелу викиду.

1.1.6. Розрахунок приземної концентрації забруднювальних речовин в атмосфері C_y на відстані y по перпендикуляру від осі факелу викиду

Величини приземних концентрацій забруднювальних речовин в атмосфері C_y на відстані y по перпендикуляру від осі факелу викиду визначаються за формулою:

$$C_y = S_2 \cdot C, \quad (1.28)$$

де S_2 – безрозмірна величина, що визначається за формулою:

$$S_2 = \frac{1}{[1 + 8,4 \cdot U \cdot (Y/X)^2] \cdot [1 + 28,2 \cdot U^2 \cdot (Y/X)^4]}. \quad (1.29)$$

1.1.7. Розрахунок гранично допустимого викиду, необхідного ефекту очищення $X_{оч}$ та мінімальної висоти труби H_m

Якщо в результаті проведених розрахунків з'ясується, що концентрація забруднювальних речовин у приземному шарі перевищує значення ГДК, то необхідно розрахувати величину гранично допустимого викиду (г/с), при якому в приземному шарі повітря забезпечується концентрація, що не перевищує ГДК:

$$ГДВ = \frac{ГДК \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n} \quad (1.30)$$

Для забезпечення необхідного гранично допустимого викиду ефект очищення (%) має дорівнювати:

$$X_{оч} = 100 - \frac{ГДВ \cdot 100}{M} \quad (1.31)$$

Якщо досягнути необхідного ефекту очищення з якоїсь причини неможливо, то слід збільшити висоту труби до величини H_m (м), при якій забезпечується значення максимальної концентрації забруднювальних речовин, що не перевищує ГДК:

$$H_m = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{ГДК \cdot \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}} \quad (1.32)$$

1.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Таблиця 1.1 – Вихідні дані

Речовина	A	W_o , м/с	D, м	H, м	ΔT , °C	V_1 , м ³ /с	M, г/с	ГДК _{м.р.} , мг/м ³
Ангідрид сірчистий	120	6	0,6	22	115	1,35	10	0,5

Завдання:

Розрахувати умови розсіювання викидів промислових підприємств в атмосферному повітрі, а саме:

1. Розрахувати максимальну приземну концентрацію забруднювальної речовини C_m при небезпечній швидкості вітру U_m .

2. Визначити відстань до точки з максимальною приземною концентрацією X_m і небезпечну швидкість вітру U_m .

3. Розрахувати концентрацію забруднювальної речовини $C_{m.n.}$ при швидкості вітру 3 м/с і відстань $X_{m.n.}$ до точки з цієї концентрацією.

4. Визначити границі зони з концентраціями, що перевищують ГДК по осі факела викиду.

5. Визначити ширину зони з концентраціями, що перевищують ГДК по перпендикуляру від осі факелу.

6. Розрахувати ГДВ, необхідний ефект очищення $X_{оч}$ і необхідну висоту труби H_m .

1.2.1. Приклад розрахунку максимальної приземної концентрації забруднювальних речовин C_m при небезпечній швидкості вітру U_m

Максимальне значення приземної концентрації забруднювальної речовини C_m (мг/м³) при викиді газоповітряної суміші з одиночного точкового джерела з круглим устям досягається при несприятливих метеорологічних умовах на відстані X_m (м) від джерела і визначається за формулою (1.2):

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}$$

Коефіцієнт A , що залежить від температурної стратифікації атмосфери (згідно умов завдання) $A=120$.

Безрозмірний коефіцієнт F , що враховує швидкість осідання забруднювальних речовин у повітрі для сірчистого ангідриду (для газу) приймаємо $F=1$.

Визначаємо коефіцієнт m . Він залежить від параметра f , який розраховується за формулою (1.4):

$$f = 1000 \frac{W_0^2 D}{H^2 \Delta T} = \frac{1000 \cdot 6^2 \cdot 0,6}{22^2 \cdot 115} = 0,388.$$

Звідси:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34 \sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,388} + 0,34 \sqrt[3]{0,388}} = 1,02.$$

Щоб визначити коефіцієнт n , знаходимо параметр V_M :

$$V_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}} = 0,65 \sqrt[3]{\frac{1,35 \cdot 115}{22}} = 1,25.$$

При $0,3 < V_M \leq 2,0$ $n = 3 - \sqrt{(V_M - 0,3)(4,36 - V_M)}$;

Тоді: $n = 3 - \sqrt{(1,25 - 0,3)(4,36 - 1,25)} = 1,28$.

Збираємо усі обчислені коефіцієнти у формулу (1.2) та отримуємо:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \Delta T}} = \frac{120 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1,02 \cdot 1,28}{22^2 \cdot \sqrt[3]{1,35 \cdot 115}} = 0,604 \text{ мг/м}^3.$$

Таким чином, при небезпечній швидкості вітру в приземному шарі атмосфери може спостерігатися концентрація сірчистого ангідриду на рівні **0,604 мг/м³**, що в 1,2 рази перевищує ГДК.

1.2.2. Приклад розрахунку небезпечної швидкості вітру U_m та відстані X_m до точки з максимальною приземною концентрацією речовини C_m

Відстань X_m до точки з максимальною приземною концентрацією речовини C_m при $F < 2$ визначається за формулою (1.9):

$$X_m = d \cdot H.$$

При $V_M \leq 2,0$ $d = 4,95 \cdot V_M (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}) = 4,95 \cdot 1,25 (1 + 0,28 \sqrt[3]{0,388}) = 7,45$.

Відстань до точки з максимальною приземною концентрацією C_m :

$$x_m = d \cdot H = 7,45 \cdot 22 = 164 \text{ м.}$$

Значення небезпечної швидкості вітру, при якій спостерігається максимальне значення приземної концентрації, приймається за формулою (1.14):

• при $0,5 \leq V_M < 2,0$ $U_M = V_M$.

Звідси: $U_M = 1,25$ м/с.

Отже, максимальна приземна концентрація сірчистого ангідриду $0,604$ мг/м³ при небезпечній швидкості вітру $1,25$ м/с буде спостерігатися на відстані 164 м від джерела викиду (рис. 1.2).

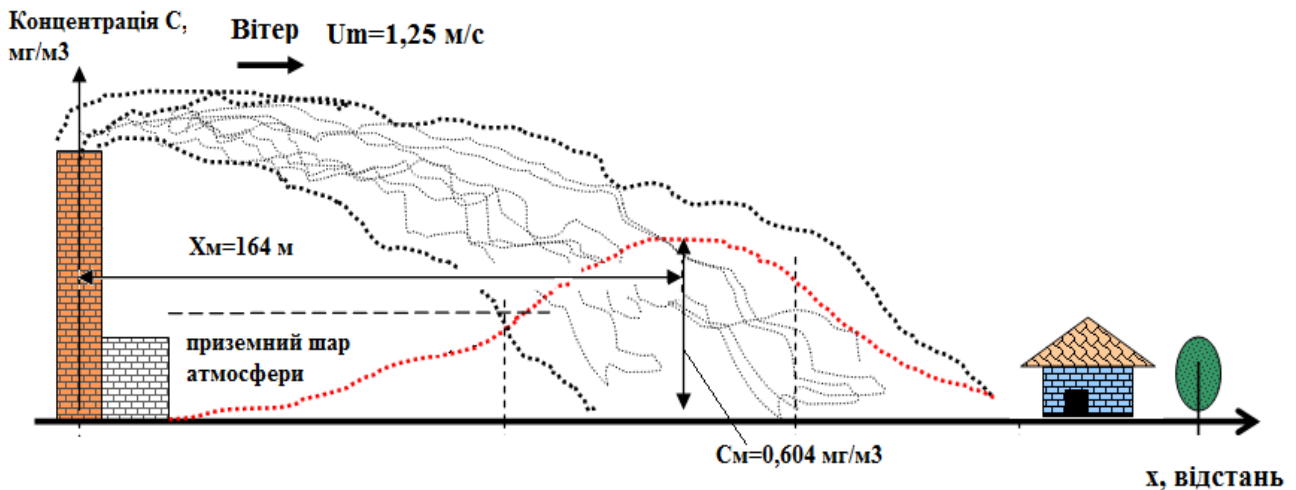


Рис. 1.2. Схема розсіювання забруднювальної речовини при небезпечній швидкості вітру

1.2.3. Приклад розрахунку відстані $X_{м.п.}$ до точки з максимальною приземною концентрацією $C_{м.п.}$ при будь-якій швидкості вітру

Розрахуємо концентрацію забруднювальної речовини $C_{м.п.}$ при швидкості вітру 3 м/с.

Якщо швидкість вітру U відрізняється від небезпечної швидкості U_M , то максимальна величина приземної концентрації забруднювальної речовини $C_{м.п.}$ (мг/м³) розраховується за формулою (1.16):

$$C_{м.п.} = r \cdot C_M.$$

Безрозмірна величина r визначається у залежності від співвідношення U/U_M . Визначимо відношення $U/U_M = 3/1,25 = 2,4$.

При $U/U_M > 1$ величину r визначаємо за формулою (1.18):

$$r = \frac{3(U/U_M)}{2(U/U_M)^2 - (U/U_M) + 2} = r = \frac{3 \cdot 2,4}{2(2,4)^2 - 2,4 + 2} = 0,65.$$

Звідси:

$$C_{м.п.} = r \cdot C_M = 0,65 \cdot 0,604 = 0,39 \text{ мг/м}^3.$$

Тобто якщо швидкість вітру дорівнюватиме 3 м/с, а не $1,25$ м/с (що є небезпечним), то концентрація сірчистого ангідриду буде меншою – $0,39$ мг/м³ замість $0,604$ мг/м³. Очікувана концентрація є навіть меншою за ГДК.

Відстань від джерела викиду $X_{м.п.}$, на якій при швидкості вітру U приземна концентрація забруднювальних речовин сягає максимального

значення $C_{м.п.}$ розраховується за формулою (1.19):

$$X_{м.п.} = p \cdot X_m.$$

Безрозмірна величина p також залежить від співвідношення U/U_m . При $U/U_m > 1$ величину p розраховуємо за формулою (1.22):

$$p = 0,32(U/U_m) + 0,68.$$

$$p = 0,32 \cdot 2,4 + 0,68 = 1,45.$$

Звідси:

$$x_{м.п.} = p \cdot x_m = 1,45 \cdot 164 = 238 \text{ м.}$$

Отже, при швидкості вітру **3 м/с** на відстані $X_{м.п.} = 238$ м від джерела викиду буде спостерігатися концентрація сірчистого ангідриду $C_{м.п.}$ на рівні **0,39 мг/м³**, тобто менше ГДК (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Схема розсіювання забруднювальної речовини при швидкості вітру 3 м/с

1.2.4. Приклад розрахунку приземної концентрації забруднювальних речовин C по осі факела викиду

Визначимо границі зони з концентраціями, що перевищують ГДК по осі факела викиду. Величини приземних концентрацій забруднювальних речовин в атмосфері по осі факела викиду на різних відстанях від джерела визначаються за формулою (1.23):

$$C = S_I \cdot C.$$

Безрозмірна величина S_I визначається при небезпечній швидкості вітру у залежності від співвідношення X/X_m .

Максимальна приземна концентрація сірчистого ангідриду $0,604 \text{ мг/м}^3$, як було встановлено раніше, буде спостерігатися на відстані 164 м від джерела викиду. Отже, ліва границя зони забруднення (зона з концентраціями, що перевищують ГДК) буде перебувати на відстані менше 164 м від джерела викиду (див. рис. 1.2). Для початку розрахунку приймемо $X = 140$ м.

Визначимо відношення $X/X_M=140/164=0,854$.

При $X/X_M \leq 1$ величина S_1 визначається за формулою (1.24):

$$S_1^{140} = 3(x/x_M)^4 - 8(x/x_M)^3 + 6(x/x_M)^2 = 3(0,854)^4 - 8(0,854)^3 + 6(0,854)^2 = 0,989.$$

Звідси:

$$C^{140} = S_1^{140} \cdot C_M = 0,989 \cdot 0,604 = 0,597 \text{ мг/м}^3.$$

Ця концентрація все ще на $0,097 \text{ мг/м}^3$ перевищує ГДК. Отже, ліва границя зони забруднення знаходиться ще трохи лівіше. Прийmemo для розрахунку $X=100 \text{ м}$.

Визначаємо $X/X_M=100/164=0,61$.

При $X/X_M \leq 1$

$$S_1^{100} = 3(x/x_M)^4 - 8(x/x_M)^3 + 6(x/x_M)^2 = 3(0,61)^4 - 8(0,61)^3 + 6(0,61)^2 = 0,83.$$

Звідси:

$$C^{100} = S_1^{100} \cdot C_M = 0,83 \cdot 0,604 = 0,50 \text{ мг/м}^3.$$

Ця концентрація вже відповідає ГДК. Таким чином, зона забруднення починається з відстані **100 м** від джерела викиду.

Як видно на рисунку 1.2, права границя зони забруднення буде знаходитися на відстані понад **164 м** від джерела викиду. Прийmemo для розрахунку $x=250 \text{ м}$.

Визначаємо $X/X_M=250/164=1,524$.

При $1 < X/X_M \leq 8$ параметр S_1 визначається за формулою (1.25):

$$S_1^{250} = \frac{1,13}{0,13(x/x_M)^2 + 1} = \frac{1,13}{0,13(1,524)^2 + 1} = 0,868.$$

Звідси:

$$C^{250} = S_1^{250} \cdot C_M = 0,868 \cdot 0,604 = 0,525 \text{ мг/м}^3.$$

Ця концентрація все ще вища за ГДК на $0,025 \text{ мг/м}^3$.

Отже, права границя зони забруднення знаходиться ще трохи правіше. Прийmemo для розрахунку $X=275 \text{ м}$.

Визначаємо $X/X_M=275/164=1,677$.

При $1 < X/X_M \leq 8$ параметр S_1 визначається за формулою (1.25):

$$S_1^{275} = \frac{1,13}{0,13(x/x_M)^2 + 1} = \frac{1,13}{0,13(1,677)^2 + 1} = 0,827.$$

Звідси:

$$C^{275} = S_1^{275} \cdot C_M = 0,827 \cdot 0,604 = 0,5 \text{ мг/м}^3.$$

Ця концентрація вже відповідає ГДК. Таким чином, зона забруднення починається з відстані **100 м** від джерела викиду по осі факела і закінчується на відстані **275 м** від джерела викиду, тобто довжина зони забруднення становить **175 м** (рис. 1.4).

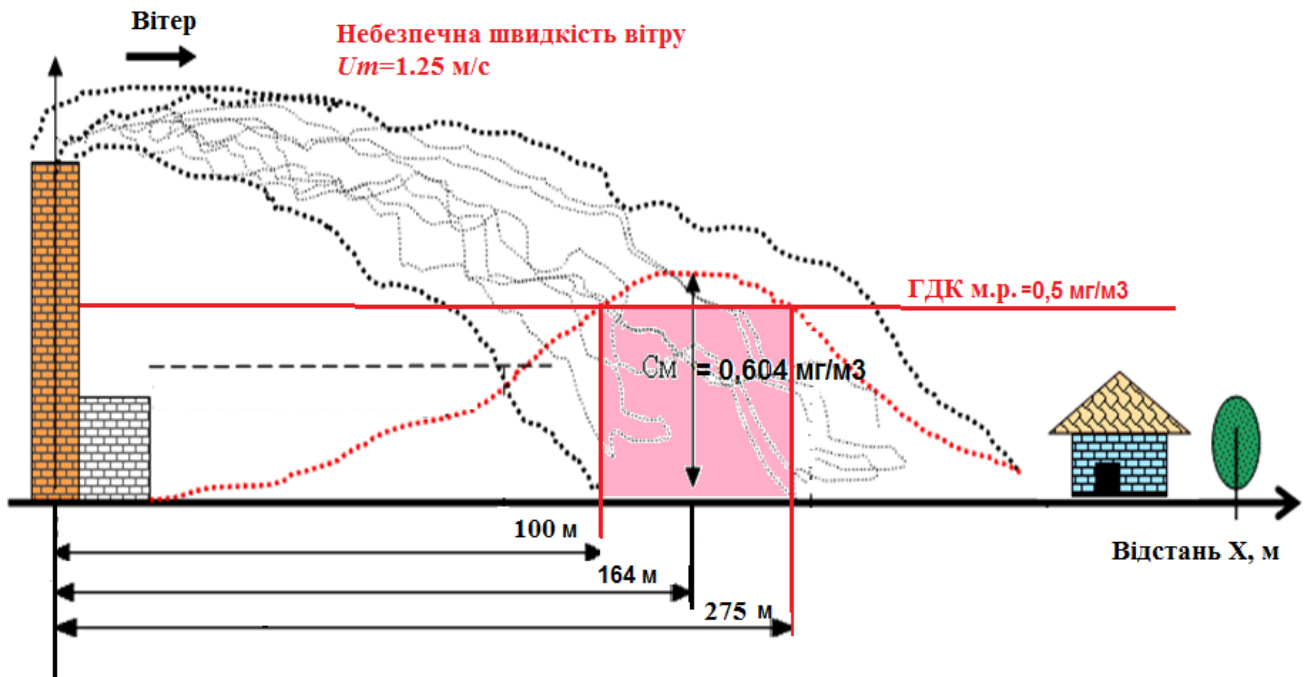


Рис. 1.4. Границі зони забруднення по осі факела викиду

1.2.5. Приклад розрахунку приземної концентрації забруднювальних речовин в атмосфері C_y на відстані y по перпендикуляру від осі факелу викиду

Визначаємо ширину зони з концентраціями, що перевищують ГДК по перпендикуляру від осі факелу.

Величини приземних концентрацій забруднювальних речовин в атмосфері C_y на відстані y по перпендикуляру від осі факелу викиду визначаються за формулою (1.28):

$$C_y = S_2 \cdot C.$$

Безрозмірна величина S_2 визначається за формулою (1.29):

$$S_2 = \frac{1}{\left[1 + 8,4 \cdot U \cdot (Y/X)^2\right] \cdot \left[1 + 28,2 \cdot U^2 \cdot (Y/X)^4\right]}.$$

Як було встановлено раніше, максимальна приземна концентрація сірчистого ангідриду $0,604 \text{ мг/м}^3$ буде спостерігатися на відстані 164 м від джерела викиду по осі факелу викиду (по осі x). Очевидно, що в міру віддалення від точки з найбільшою концентрацією по перпендикуляру від осі факелу викиду (по осі y) концентрація забруднювальної речовини буде поступово знижуватися.

Визначимо концентрацію сірчистого ангідриду на відстані $y=10 \text{ м}$ від центральної осі факелу викиду.

Для цього розрахуємо відношення $y/x = 10/164 = 0,061$.

Звідси:

$$S_2^{10} = \frac{1}{\left[1 + 8,4 \cdot 1,25 \cdot (0,061)^2\right] \cdot \left[1 + 28,2 \cdot 1,25^2 \cdot (0,061)^4\right]} = 0,96.$$

Отже:

$$C_y^{10} = S_2^{10} \cdot C_m = 0,96 \cdot 0,604 = 0,58 \text{ мг/м}^3.$$

Як бачимо, на відстані 10 м по перпендикуляру від центральної осі факелу викиду концентрація сірчистого ангідриду знизилася з **0,604** до **0,58 мг/м³**, але вона все ще вище ГДК на 0,08 мг/м³.

У такому випадку, визначимо концентрацію сірчистого ангідриду на відстані **y=20 м** від центральної осі факела викиду.

Розрахуємо відношення $y/x = 20/164 = 0,122$.

Звідси:

$$S_2^{20} = \left[\frac{1}{1 + 8,4 \cdot 1,25 \cdot (0,122)^2} \cdot \frac{1}{1 + 28,2 \cdot 1,25^2 \cdot (0,122)^4} \right] = 0,86.$$

Тоді отримаємо:

$$C_y^{20} = S_2^{20} \cdot C_m = 0,86 \cdot 0,604 = 0,52 \text{ мг/м}^3.$$

Ця концентрація все ще на 0,02 мг/м³ перевищує ГДК. Отже, ширина зони забруднення становить понад 20 м. Прийемо для розрахунку **y=22 м**.

Відношення $y/x = 22/164 = 0,134$.

Звідси:

$$S_2^{22} = \left[\frac{1}{1 + 8,4 \cdot 1,25 \cdot (0,134)^2} \cdot \frac{1}{1 + 28,2 \cdot 1,25^2 \cdot (0,134)^4} \right] = 0,82.$$

Отримуємо:

$$C_y^{22} = S_2^{22} \cdot C_m = 0,82 \cdot 0,604 = 0,5 \text{ мг/м}^3.$$

Ця концентрація вже відповідає величині ГДК.

Таким чином, ширина зони забруднення становить **22 м** у кожен бік по перпендикуляру від центральної осі факела викиду, а загальна ширина зони забруднення становить **44 м** (рис. 1.5).

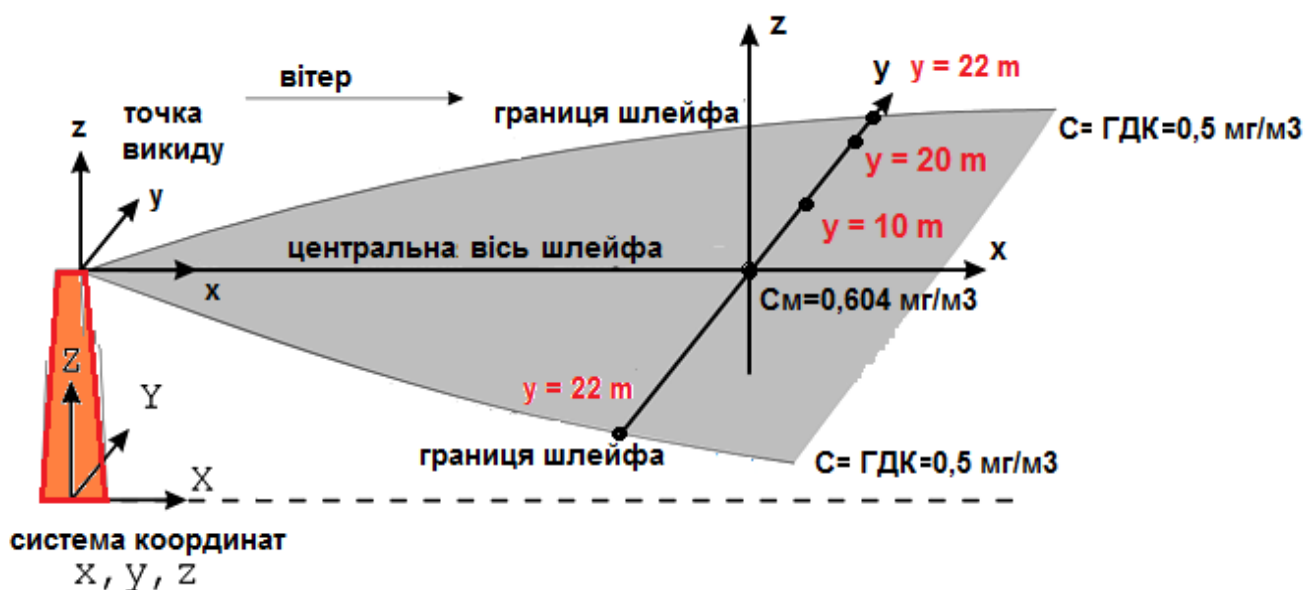


Рис. 1.5. Границі зони забруднення по перпендикуляру від осі факела викиду

1.2.6. Приклад розрахунку гранично допустимого викиду, необхідного ефекту очищення X_{oc} та мінімальної висоти труби H_M

У зв'язку з тим, що за даних умов в приземному шарі атмосфери може спостерігатися концентрація сірчистого ангідриду, що перевищує ГДК ($0,604 > 0,5 \text{ мг/м}^3$), необхідно зменшити масу забруднювальної речовини, що викидається в атмосферу, до величини гранично допустимого викиду. Величину ГДВ розраховуємо за формулою (1.30):

$$ГДВ = \frac{ГДК \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n} = \frac{0,5 \cdot 22^2 \cdot \sqrt[3]{1,35 \cdot 115}}{120 \cdot 1 \cdot 1,02 \cdot 1,28} = 8,28 \text{ г/с.}$$

Згідно умов завдання, кількість забруднюючої речовини M , що викидається в атмосферу, становить **10 г/с**. Отже, цю величину треба зменшити до **8,28 г/с**, тобто на **1,72 г/с**.

Для забезпечення необхідного гранично допустимого викиду очисне обладнання повинно мати наступний коефіцієнт очищення, згідно формули (1.31):

$$X_{oc} = 100 - \frac{ГДВ \cdot 100}{M} = 100 - \frac{8,28 \cdot 100}{10} = 17,2\%.$$

Якщо досягти необхідного ефекту неможливо, то слід збільшити висоту труби до наступної величини, згідно формули (1.32):

$$H_M = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{ГДК^3 \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}} = \sqrt{\frac{120 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1,02 \cdot 1,28}{0,5^3 \sqrt[3]{1,35 \cdot 115}}} = 24,2 \text{ м.}$$

Отже, для забезпечення дотримання норм ГДК в приземному шарі атмосфери висота труби даного джерела викидів повинна бути збільшена з **22 м** до **24,2 м**.

Висновки:

1. При небезпечній швидкості вітру в приземному шарі атмосфери може спостерігатися концентрація сірчистого ангідриду на рівні **0,604 мг/м³**, що в 1,2 рази перевищує ГДК.

2. Небезпечна швидкість вітру становить **1,25 м/с**, максимальна приземна концентрація сірчистого ангідриду за цієї швидкості буде спостерігатися на відстані **164 м** від джерела викиду.

3. Якщо швидкість вітру дорівнюватиме **3 м/с**, то концентрація сірчистого ангідриду буде **0,39 мг/м³** на відстані $X_{m.n.} = 238 \text{ м}$ від джерела викиду.

4. Зона забруднення сірчистим ангідридом починається з відстані **100 м** від джерела викиду по осі факела і закінчується на відстані **275 м** від джерела викиду.

5. Загальна ширина зони забруднення по перпендикуляру від центральної осі факела викиду становить **44 м**.

6. Для зменшення концентрації сірчистого ангідриду з **0,604 мг/м³** до ГДК= $0,5 \text{ мг/м}^3$ треба або зменшити кількість забруднюючої речовини з **10 г/с** до гранично допустимого викиду **8,28 г/с**, або встановити додаткове газоочисне обладнання з ефектом очищення не менше 17,2%, або збільшити висоту труби

джерела викидів з **22 м** до **24,2 м**.

1.2.7. Практичне завдання.

1. Вивчити основні положення методики розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі забруднювальних речовин, що містяться у викидах підприємств (ОНД-86);

2. Ознайомитись з прикладом розрахунку умов розсіювання викидів промислових підприємств в атмосферному повітрі.

3. Самостійно розрахувати умови розсіювання викидів промислових підприємств в атмосферному повітрі:

- 1) розрахувати максимальну приземну концентрацію забруднювальної речовини C_m при небезпечній швидкості вітру U_m ;
- 2) визначити відстань до точки з максимальною приземною концентрацією X_m і небезпечну швидкість вітру U_m ;
- 3) розрахувати концентрацію забруднювальної речовини $C_{m.p.}$ при швидкості вітру $U=3$ м/с і відстань $X_{m.p.}$ до точки з цієї концентрацією;
- 4) визначити границі зони з концентраціями, що перевищують ГДК по осі факела викиду;
- 5) визначити ширину зони з концентраціями, що перевищують ГДК по перпендикуляру від осі факелу викиду;
- 6) розрахувати ГДВ, необхідний ефект очищення X_{oc} і необхідну висоту труби H_m .

Вихідні дані для розрахунку представлені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Вихідні дані для розрахунку умов розсіювання викидів промислових підприємств в атмосферному повітрі

Речовина	Варіант	A	Коеф-т очищення викидів, %	W_o , м/с	D , м	H , м	ΔT , °C	V_1 , м ³ /с	M , г/с	ГДК _{м.р.} , мг/м ³
Сажа	1	140	90	6	0,6	30	115	1,35	16	0,15
	2	160	75-90							
	3	200	<75							
Вуглецю оксид	4	140	-	6	0,6	30	115	1,35	180	5,0
	5	180	-							
	6	200	-							
Ацетон	7	140	-	6	0,6	20	115	1,35	9	0,35
	8	160	-							
	9	200	-							
Азоту диоксид	10	140	-	6	0,6	21	115	1,35	12	0,085
	11	160	-							
	12	200	-							
Ангідрид сірчистий	13	140	-	6	0,6	22	115	1,35	12	0,5
	14	160	-							
	15	200	-							

Питання для самоконтролю

1. Яку концентрацію у приземному шарі атмосфери не повинна перевищувати найбільша концентрація кожної забруднювальної речовини?
2. Як треба діяти при неможливості зниження величини викидів до рівня ГДВ?
3. Які фактори враховуються при визначенні максимального значення приземної концентрації забруднювальної речовини?
4. Від чого залежить відстань від джерела, на якій буде спостерігатися максимальна приземна концентрація забруднювальної речовини?
5. Що таке небезпечна швидкість вітру?
6. Яким чином визначається необхідний коефіцієнт очищення викидів?
7. Який ефект на розсіювання викидів дає збільшення висоти труби?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2 РОЗРАХУНОК ЗБИТКІВ ВІД АВАРІЙНИХ РОЗЛИВІВ НАФТИ

Мета роботи: набуття студентами практичних навичок розрахунку збитків від аварійних розливів нафти.

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

- ознайомлення з основними положеннями і процедурою оцінки ступеня забруднення земель та водних об'єктів внаслідок аварійних розливів нафти;
- ознайомлення з прикладом розрахунку кількості нафти, що вбралася в ґрунт; маси розчиненої і (або) емульгованої в воді нафти та розмірів збитків, завданих здоров'ю людей та об'єктам національної економіки внаслідок аварійних розливів нафти;
- самостійна оцінка ступеня забруднення нафтою ґрунту, водного об'єкту та самостійний розрахунок збитків, завданих здоров'ю людей та об'єктам національної економіки внаслідок аварійної ситуації.

2.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

2.1.1. Загальні положення

Нафти – це природні маслянисті горючі рідини зі своєрідним запахом. Вони мають різноманітну консистенцію – від легкоплинних до густих, малорухомих. Колір нафт у більшості випадків бурий і темнокоричневий (до чорного), рідше жовтий і зеленуватий і зовсім рідко зустрічається майже безбарвна, так звана «біла нафта». Колір нафт залежить від розчинених в них смол.

Нафта являє собою суміш рідких вуглеводнів, в якій розчинені газоподібні та тверді вуглеводні. У незначних кількостях вона містить сірчані й азотні сполуки, органічні кислоти та деякі інші хімічні речовини.

З фізичної точки зору нафта є розчином газоподібних і твердих вуглеводнів у рідині. Природна нафта, що добувається з надр Землі, завжди містить певну кількість розчинених у ній газів (супутніх природних газів), головним чином метану і його гомологів.

Склад і властивості нафт залежать від родовища і можуть коливатися у

доволі широких межах.

Численними хімічними аналізами встановлено, що нафта складається головним чином з *вуглецю* і *водню* – відповідно 79,5-87,5 і 11,0-14,5% від маси (рис. 2.1). Окрім них, у нафтах присутні ще три елементи – *сірка*, *кисень* і *азот*. Їх загальна кількість звичайно складає 0,5-8%. У дуже незначних концентраціях в нафтах зустрічаються *метали* – ванадій, нікель, залізо, алюміній, мідь, магній, барій, стронцій, марганець, хром, кобальт, молібден, калій, натрій, цинк, кальцій, срібло, галій та ін., а також бор, миш'як, йод. Загальний склад металів у нафті рідко перевищує 0,02-0,03% від її маси.

Вказані елементи утворюють різноманітні класи хімічних сполук, з яких і складаються нафти.

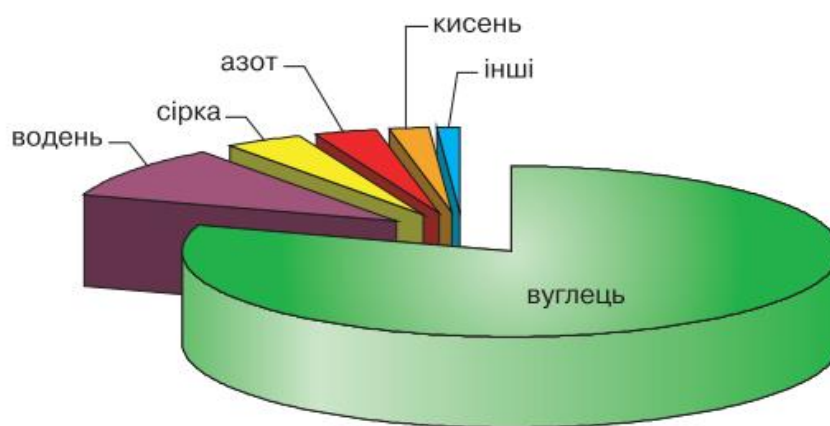


Рис. 2.1. Хімічний склад нафти

Вуглеводні, які складають основу нафти і горючих газів, представлені багатьма індивідуальними сполуками. Хімічний склад нафти до кінця не відомий, але вже встановлено 425 вуглеводневих сполук, кожна з яких у свою чергу є вихідною для більш складних сполук.

Вуглеводні, що входять до складу нафт і природних газів, у залежності від будови молекул поділяються на три основні групи:

- 1) метанові, чи парафінові (*алкани*) – насичені вуглеводні, в яких відсутні подвійні зв'язки; загальна формула C_nH_{2n+2} , де n – число атомів вуглецю;
- 2) нафтонові (*циклани*) – спільна формула C_nH_{2n} , молекули нафтонових вуглеводнів складаються з декількох метиленових груп – CH_2 , з'єднаних у замкнуте кільце;
- 3) ароматичні (*арени*) – формула C_nH_{2n-m} , де n починається з 6, m може бути виражене парними числами від 6 і більше; у структурному відношенні молекула ароматичних вуглеводнів має вигляд замкнутого кільця (циклу), яке об'єднує радикали – CH .

У залежності від молекулярної маси і хімічної структури *метанові вуглеводні* (алкани) знаходяться в газоподібній, рідкій і твердій фазах. Так, перші чотири члени ряду (метан, етан, пропан, бутан) за нормальних умов (101,32 кПа и 0°C) – це газу; вуглеводні від пентану до пентадекану $C_{15}H_{32}$ за тих же умов – це рідини, а від гексадекану $C_{16}H_{34}$ і вище – вже тверді речовини.

Нафтові вуглеводні – важлива складова частина моторного палива і масел. Автомобільним бензинам вони надають високих експлуатаційних властивостей. Нафтові вуглеводні легких фракцій нафт широко використовуються як сировина для отримання ароматичних вуглеводнів, бензолу і толуолу.

Ароматичні вуглеводні – цінні компоненти бензинів, однак вони знижують якість реактивних та дизельних палив, оскільки погіршують характеристики їх згоряння.

2.1.2. Аварійні розливи нафти та нафтопродуктів

Щороку у світі зростає видобуток нафти, а також збільшується кількість надзвичайних ситуацій через розливи нафти і нафтопродуктів.

Аварійні розливи нафти і нафтопродуктів, що мають місце на об'єктах нафтовидобувної та нафтопереробної промисловості, а також при транспортуванні цих продуктів завдають відчутної шкоди екосистемам. За експертними оцінками, на нафтопромислах втрачається від 3 до 7% від усього обсягу видобутої нафти, причому більша частина виділених забруднюючих речовин – до 75% надходить в атмосферу, 20% у водні джерела і 5% в ґрунт.

Жертвами нафтового забруднення щорічно стають багато птахів, планктон, нектон, морські звірі. Нафтова плівка зустрічається навіть в антарктичних водах, де від неї гинуть тюлені та пінгвіни.

На сьогодні намітилися три основні напрями очищення забруднених вод морів і річок від нафти:

- 1) механічне збирання з поверхні вод сміття і нафтових плівок;
- 2) фізико-хімічний вплив на нафтові плівки;
- 3) біологічне розкладання плівок.

Найбільшого поширення набув **механічний метод**. За такого методу великі плавучі агрегати виконують різні за ступенем складності операції – від простого збирання з поверхні плаваючого сміття до виловлювання і сепарації нафтопродуктів. Зібране сміття і нафтовмісні води передаються на берегові станції для знешкодження і утилізації.

Нафтозбірні пристрої, або *скімери*, призначені для збору нафти безпосередньо з поверхні води. Залежно від типу і кількості нафтопродуктів, що розлилися, погодних умов, застосовуються різні типи скімерів, як за конструктивним виконанням, так і за принципом дії.

Олеофільні скімери (рис. 2.2) застосовуються для збору нафтопродуктів з поверхні води. Оснащуються щітковими, дисковими або барабанними валами або їх комбінаціями: щітковий плюс дисковий вал, дисковий плюс барабанний і т.д. Щітки використовуються для збору в'язких нафтопродуктів, диски та барабани – менш в'язких. Коефіцієнт збору нафти з водних поверхонь такими пристроями – 95%.

Вакуумні нафтозбірники (рис. 2.3) також досить ефективні. Такі пристрої працюють на основі вакуумних насосів, які ефективно і досить швидко всмоктують плівки нафти і нафтопродуктів з водної поверхні.

У практиці роботи морських портів України знайшли застосування *бонові загородження*, їх встановлюють:

- з профілактичною метою навколо танкерів, які знаходяться під розвантаженням або завантаженням;
- для огороження суден, що приймають паливо;
- для локалізації і ліквідації нафтових плям, починаючи з джерела розливу або на відстані від нього, або у відкритій водоймі чи поблизу берега (рис 2.4).



Рис. 2.2. Олеофільний скімер



Рис. 2.3. Вакуумний скімер



Рис. 2.4. Судно, обнесене боновими загородженнями

Бонові огороження (рис. 2.5) найбільш ефективно затримують нафтопродукти, якщо вони встановлені перпендикулярно до напрямку течії і ефективно працюють, коли швидкість течії не перевищує 0,2-0,6 м/с. При швидкості течії вище зазначеної, нафтопродукти можуть потрапляти під бони.

У багатьох країнах ведеться розробка також **фізико-хімічних методів**

видалення нафтових плям з поверхні річок і морів. Розроблені хімічні препарати – *сорбенти*, котрі у вигляді порошків або рідин розпилюються на забруднення. Сорбенти поглинають нафту, але, вступаючи з нею в реакцію, розкладають її, утворюючи нові, як правило, шкідливі (а іноді токсичніші, ніж нафта, речовини) хімічні сполуки, що залишаються у воді, своєю чергою забруднюючи її. Доцільність застосування сорбентів полягає в тому, що вони сприяють порушенню нафтового шару, котрий перекриває надходження кисню повітря у воду, забруднює узбережжя, вбиває водоплавних тварин і птахів.



Рис. 2.5. Бонові огороження

До категорій хімічних реагентів для боротьби з розливом нафти належать також *диспергенти* – речовини, що знижують поверхневий натяг плівки, розбиваючи її на краплинки завдяки ПАР (поверхнево-активним речовинам). В результаті покращуються обмінні процеси з атмосферою і проникнення сонячного проміння, а також прискорюється розкладання нафти (рис. 2.6). Але продукти розкладу, якась частка нафти і самого реактиву залишається у товщі води або випадає на дно. В цьому зв'язку, а також через токсичність самих заходів боротьби (реагентів) ці методи можуть застосовуватися лише у деяких екологічних умовах і за обставин, що загрожують більш тяжкими наслідками.

Біологічний метод використовується після застосування механічного та фізико-хімічного методів при товщині плівки не менше 0,1 мм. В основі біологічного методу лежить поняття біоремедіації. *Біоремедіація* – це технологія очищення нафтозабрудненого ґрунту і води, в основі якої лежить використання спеціальних, вуглеводоокислюючих мікроорганізмів або біохімічних препаратів. Кількість мікроорганізмів, здатних асимілювати нафтові вуглеводні, відносно невелика. Насамперед, це – бактерії, в основному представники роду *Pseudomonas*, і певні види грибків і дріжджів. У більшості випадків всі ці мікроорганізми є жорсткими аеробами.

Найбільш ефективно розкладання нафти та нафтопродуктів відбувається в

перший день їх взаємодії з мікроорганізмами. При температурі води 15-25 °С і достатньої насиченості киснем мікроорганізми можуть окислювати нафту зі швидкістю до 2 г/м² водної поверхні за день, однак при низьких температурах бактеріальне окислення відбувається повільно, і нафтопродукти можуть залишатися у водоймах тривалий час – до 50 років.

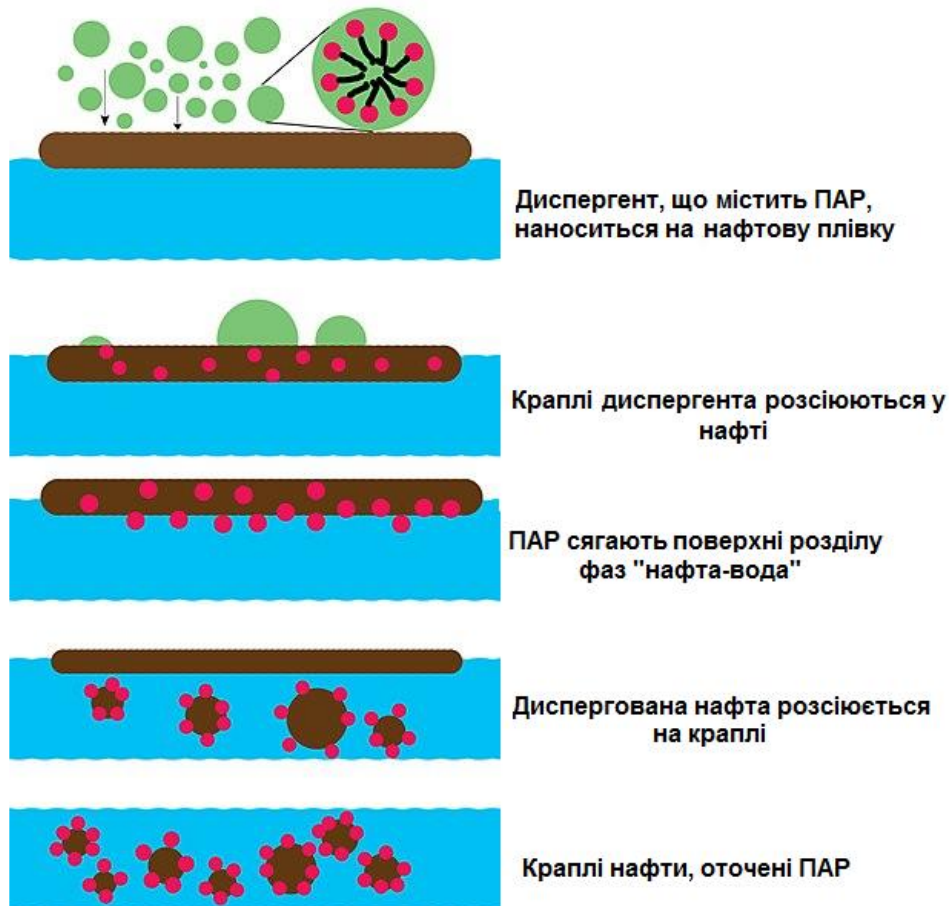


Рис. 2.6. Механізм дії диспергента

Багатофакторність системи «нафта – навколишнє середовище» часто ускладнює прийняття оптимального рішення щодо ліквідації аварійного розливу. Однак аналізуючи способи боротьби з наслідками розливів та їх результативність стосовно до конкретних умов, можна створити ефективну систему заходів, яка дозволить в найкоротші терміни ліквідувати наслідки аварійних розливів нафти і звести до мінімуму екологічну шкоду.

2.1.3. Оцінка шкоди для довкілля від аварійних розливів нафти

Аварійні розливи нафти як один з найбільш поширених видів аварійних ситуацій досить давно знаходяться в центрі уваги природоохоронних служб. До теперішнього часу сформовані алгоритми реагування на аварійні розливи, а також підходи до організації моніторингу стану навколишнього середовища як на протязі робіт по ліквідації розливу, так і для подальшого періоду відновлення порушених природних систем.

Практика спостережень за аварійними розливами нафти свідчить про те, що дані моніторингу повинні включати такі відомості:

- місце і час розливу нафти і нафтопродуктів;
- час припинення аварійного розливу;
- джерело розливу;
- масштаб розливу (обсяг розлитого нафтопродукту або його оцінка по площі нафтової плями і товщині плівки);
- температуру повітря або води (якщо розлив стався на воді);
- напрямок, силу вітру, швидкість течії, висоту хвиль, льодову обстановку (якщо розлив стався на воді);
- напрямок витоку але рельєфу місцевості, характеристику поверхневого шару, рослинного і снігового покриву, відомості про потенційну можливість попадання нафти в водойми, водозабори, каналізацію (якщо розлив стався на земній поверхні).

Залежно від масштабів визначається коло аварійно-технічних заходів по ліквідації наслідків.

2.1.3.1. Оцінка ступеня забруднення земель

Ступінь забруднення земель визначається нафтоємністю ґрунту. Кількість нафти (маса M_{BG} або об'єм V_{BG}), що вбралася в ґрунт, визначається за співвідношенням:

$$M_{BG} = K_H \cdot \rho \cdot V_{GP}, \text{ кг}; \quad (2.1)$$

$$V_{BG} = K_H \cdot V_{GP}, \text{ м}^3. \quad (2.2)$$

Значення нафтоємності ґрунту K_H у залежності від його вологості приймається по табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Нафтоємність ґрунтів, м³/м³

Найменування	Вологість ґрунту, вагові %					
	0	20	40	60	80	100
Глинистий ґрунт	0,20	0,16	0,12	0,08	0,04	0,00
Піски	0,30	0,24	0,18	0,12	0,01	0,00
Супісок, суглинок (середній та важкий)	0,35	0,28	0,21	0,14	0,07	0,00
Суглинок легкий	0,47	0,38	0,28	0,18	0,10	0,00
Гравій	0,48	0,39	0,29	0,19	0,09	0,00
Торф'яний ґрунт	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	0,00

Обсяг нафтонасиченого ґрунту V_{GP} обчислюють за формулою:

$$V_{GP} = F_{GP} \cdot h_{сер}, \text{ м}^3, \quad (2.3)$$

де F_{GP} – площа зони забруднення, м²; $h_{сер}$ – середня глибина просочення ґрунту на всій площі забруднення, м.

Середня глибина просочення ґрунту на всій площі забрудненого ґрунту визначається як середнє арифметичне з шурфовок (не менше 5 рівномірно розподілених по всій поверхні).

2.1.3.2. Оцінка ступеня забруднення водних об'єктів

Ступінь забруднення водних об'єктів визначається масою розчиненої і (або) емульгованої в воді нафти.

Маса нафти, що забруднює товщу води, розраховується за формулами:

- для водойм:

$$M_{H.BM} = 5,8 \cdot 10^{-3} M_p (C_n - C_\phi), \text{ т}, \quad (2.4)$$

- для водотоків:

$$M_{H.BK} = 8,7 \cdot 10^{-4} M_p (C_n - C_\phi), \text{ т}, \quad (2.5)$$

де M_p – маса нафти, розлитої на поверхні водного об'єкта, т; C_n – концентрація насичення, г/м^3 , приймається по табл. 2.2 в залежності від типу водного об'єкта. C_ϕ – фонові концентрації розчиненої і (або) емульгованої нафти у водному об'єкті на глибині 0,3 м поза зоною розливу, г/м^3 .

Таблиця 2.2 – Концентрація насичення води нафтою

Тип водного об'єкта	Концентрація насичення C_n , г/м^3
Водойма	26
Водотік	122

Дані про фонові концентрації C_ϕ можуть бути отримані в місцевих органах, контролюючих водні об'єкти, або визначені за результатами лабораторних аналізів проб води, відібраних поза зоною забруднення.

Маса нафти, розлитої на поверхні водного об'єкта, визначається одним із таких способів:

- за балансом кількості нафти, що вилася з магістрального нафтопроводу при аварії, і її розподілом по компонентам навколишнього природного середовища;
- за результатами інструментальних вимірювань на забрудненій нафтою поверхні водного об'єкта;
- за кількістю нафти, зібраної нафтозбиральними засобами при ліквідації аварійних розливів.

У разі, якщо визначення маси розлитої на водній поверхні нафти проводиться кількома способами, що дають різні результати, у фінальний розрахунок включається більша величина.

Розрахунок маси розлитої на поверхні водного об'єкта нафти за балансом її кількості здійснюється за формулою:

$$M_p = M - M_{\Pi} - M_{ВП}, \text{ т}, \quad (2.6)$$

M – маса нафти, що вилася, т; M_{Π} – маса нафти, що забруднила землю, включаючи ту, що знаходиться на її поверхні, т; $M_{ВП}$ – маса летючих низькомолекулярних вуглеводнів нафти, що випарувалися з поверхні відповідно ґрунту, водного об'єкта, т.

При використанні даних інструментальних вимірювань розрахунок маси нафти, що надійшла у водний об'єкт, здійснюється за формулою:

$$M_p = (m_p - m_\phi) \cdot F_H \cdot 10^{-6} + (C_p - C_\phi) \cdot V_p \cdot 10^{-6}, \text{ т}, \quad (2.7)$$

m_p – питома маса розливої нафти на 1 м² поверхні води, г/м²; m_ϕ – питома маса фонові нафти на 1 м² вільної від розливу поверхні води, г/м²; F_H – площа поверхні води, що вкрита розливою нафтою, м²; C_p – концентрація розчиненої і (або) емульгованої нафти у водному об'єкті на глибині 0,3 м в зоні розливу, г/м³; V_p – обсяг води, в якій на момент інструментальних вимірювань розчинилася розлита нафта, $V_p=0,3 \cdot F_H$, м³.

Для отримання даних інструментальних вимірювань, що входять в формулу (2.7), необхідно:

- в 4-6 точках розливу зробити відбір нафти пробовідбірником з відомою площею поперечного перерізу. Точки відбору проб вибираються так, щоб 2-3 з них знаходилися ближче до центру розливу, а інші 2-3 – на його периферії. З відібраних проб складається загальна проба, в якій ваговим методом визначається маса нафти. За знайденою масою розраховується маса m_p ;

- в точках, в яких проводиться відбір нафти, з глибини 0,3 м відбираються проби води для визначення концентрації C_p розчиненої і емульгованої в воді нафти;

- в 1-2 точках поверхні водного об'єкта, не схильних до впливу розливу нафти, пробовідбірником з відомою площею поперечного перетину відбираються проби води для визначення наявності на ній нафти і її маси. За знайденою масою розраховується маса m_ϕ ;

- в точках, в яких проводиться відбір проб води для знаходження маси m_ϕ , відбираються проби води з глибини 0,3 м для визначення фонові концентрації C_ϕ нафтопродуктів у воді (відбір проб води проводиться у випадках, коли дані про фонові концентрації в місці розливу нафти не відомі).

На основі експертних оцінок характеру поверхні води і зовнішніх ознак нафтової плівки розрахунок маси розливої на поверхні водного об'єкта нафти здійснюється за формулою:

$$M_p = (m_p - m_\phi) \cdot F_H \cdot 10^{-6}, \text{ т.} \quad (2.8)$$

Значення m_p і m_ϕ при оцінці маси розливої нафти даними способом приймаються по табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Маса нафти на 1 м² водної поверхні при різному зовнішньому вигляді нафтової плівки

Зовнішні ознаки нафтової плівки	Маса нафти на 1 м ² водної поверхні, г
Чиста водна поверхня без ознак опалесценції (відсутність ознак кольоровості при різних умовах освітленості)	0
Відсутність плівки і плям, окремі райдужні смуги, що спостерігаються при найбільш сприятливих умовах освітлення і спокійному стані водної поверхні	0,1
Окремі плями і сірі плівки сріблястого нальоту на поверхні води, що спостерігаються при спокійному стані водної поверхні, поява перших ознак кольоровості	0,2
Плями і плівки з яскравими кольоровими смугами, спостерігаються при слабкому хвилюванні	0,4
Нафта у вигляді плям і плівки, що покриває значні ділянки	1,2

Зовнішні ознаки нафтової плівки	Маса нафти на 1 м ² водної поверхні, г
поверхні води та не розривається при хвилюванні, з переходом кольоровості до тьмяної мутно-коричневої	
Поверхня води вкрита суцільним шаром нафти, добре помітної при хвилюванні, кольоровість темна, темно-коричнева	2,4

Спосіб експертних оцінок може застосовуватися у випадках, коли товщина шару нафти в місці розливу значно менше 1 мм.

Маса плівкової нафти, що залишилася на водній поверхні після використання нафтозбиральних засобів при ліквідації наслідків розливів нафти розраховується за формулою:

$$M_{пл.зал} = m_{пл.зал} \cdot F_{н.зал} \cdot 10^{-6}, \text{ т}, \quad (2.9)$$

де $m_{пл,зал}$ – питома маса плівкової нафти на 1 м² поверхні води після завершення збору розлитої нафти, г/м²; значення $m_{пл,зал}$ приймається за табл. 2.3; $F_{н,зал}$ – площа поверхні води, вкрита плівковою нафтою після завершення робіт з ліквідації розливу нафти, м².

Маса нафти, яка приймається для розрахунку збитків від забруднення поверхневих і підземних вод при аварійних розливах нафти M_y розраховується за формулою:

$$M_y = M_{н.вм(вк)} + M_{пл.зал}, \text{ т}. \quad (2.10)$$

Якщо в результаті проведення заходів плівкова нафта повністю видалена, то друга складова формули (2.10) приймається рівною нулю.

2.1.3.3. Оцінка збитків від аварійного розливу нафти

Визначення розмірів збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру, завданих здоров'ю людей та об'єктам національної економіки проводиться згідно з «Методикою оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру», затвердженою Постановою Кабінету Міністрів України.

Збитки від забруднення землі нафтопродуктами розраховуються на базі питомого показника збитків у частках неоподаткованого мінімуму доходів громадян (НМД) з урахуванням відносної екологічної небезпечності забруднюючої речовини та природної захищеності підземних вод у зоні забруднення у розрахунку на 1 тону нафтопродуктів за формулою:

$$Z_{\phi} = Y_n \cdot n \cdot M \cdot L, \quad (2.11)$$

де Y_n – питома величина збитків, завданих навколишньому природному середовищу, в НМД, визначається за табл. 2.4; n – розмір НМД, $n=17$ гривень; M – маса нафтопродукту, що забруднила акваторію, т; L – коефіцієнт, який враховує природну захищеність підземних вод у зоні забруднення ґрунтів: для ґрунтових вод – 1,0; для міжпластових безнапірних вод – 1,3; для міжпластових напірних (артезіанських) вод – 1,6.

Розрахунок збитків від забруднення поверхневих і підземних вод та джерел від скидання сировини та речовин у чистому вигляді (нафта, дизельне паливо, бензин) здійснюється за формулою:

$$Z_a = M \cdot 0,03 \cdot A_i \cdot n \cdot h^k, \quad (2.11)$$

де M – маса речовини, що забруднила ґрунт, кілограмів; A_i – показник відносної небезпечності речовин, визначається як співвідношення $1/S_{гдк}$, де $S_{гдк}$ – гранично допустима концентрація цієї речовини згідно з Санітарними правилами і нормами № 4630-88 або узагальненим переліком ГДК забруднювальних речовин для води рибогосподарських водойм.

Таблиця 2.4 – Питомі величини збитків, спричинених забрудненням підземних вод нафтопродуктами, в розрахунку на 1 тону забруднюючої речовини

Регіон	Питома величина екологічних збитків*	Регіон	Питома величина екологічних збитків
АР Крим	31,84	Закарпатська обл.	51,77
Львівська обл.	16,03	Тернопільська обл.	21,77
Вінницька обл. обл.	50,36	Запорізька обл.	79,97
Миколаївська	90,39	Харківська обл.	26,91
Волинська обл.	17,91	Івано-Франківська обл.	107,36
Одеська обл.	103,12	Херсонська обл.	24,43
Дніпропетровська обл.	109,59	Київська обл.	11,057
Полтавська обл.	17,74	Хмельницька обл.	27,30
Донецька обл.	57,73	Кіровоградська обл.	142,46
Рівненська обл.	14,31	Чернігівська обл.	6,69
Житомирська обл.	102,43	Луганська обл.	19,89
Сумська обл.	15,34	Чернівецька обл.	100,89

Примітка:* у частках НМД.

У разі скидання речовин, для яких не встановлені рівні ГДК або орієнтовно-безпечні рівні впливу (ОБРВ), показник відносної небезпечності береться таким, що дорівнює 100, а при ГДК – «відсутність» – $A_i = 100000$.

n – величина неоподаткованого мінімуму доходів громадян;

h^k – коефіцієнт, що враховує категорію водного об'єкта (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Значення коефіцієнту h^k , що враховує категорію водного об'єкта

Категорія водного об'єкта	h^k
Морські та поверхневі водні об'єкти комунально-побутового водокористування	1,0
Поверхневі об'єкти господарсько-питного використання	1,4
Поверхневі та морські об'єкти рибогосподарського водокористування:	
• I категорії*	2,0
• II категорії**	1,6

Примітка: * водойми і водотоки, які використовуються для збереження і відтворення цінних видів риби, що мають високу чутливість до концентрації кисню у воді; ** водойми для інших рибогосподарських потреб.

2.2 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

2.2.1. Аварійна ситуація – порив магістрального нафтопроводу. Приклад розрахунку шкоди довкіллю

На нафтопроводі на початку квітня стався порив. Аварія сталася у Дніпропетровській області. Нафта розтеклася по місцевості з легким суглинистим ґрунтом з вологістю 20% і вбралася в ґрунт, а також частково потрапила в річку.

За допомогою інструментальних вимірів встановлено, що розлита нафта забруднила 30000 м² рілля при глибині просочення 0,05 м та 80000 м² поверхні річки. Під забрудненою територією знаходяться горизонти підземних міжпластових артезіанських вод. Ділянка акваторії, на якій стався виток нафти, використовувалася для рибогосподарських цілей для збереження і відтворення цінних видів риб.

Нафту частково зібрали з поверхні річки нафтозбиральниками (скімерами) і вивезли з місця аварії. На ліквідацію наслідків знадобилось дві доби. Всю нафту зібрати не вдалося, частина її залишилася на поверхні води у вигляді тонкої плівки з яскравими кольоровими смугами, що спостерігалися при слабкому хвилюванні води.

Таблиця 2.6 – Вихідні дані

Показник	Значення
Глибина просочення ґрунту нафтою	$h_{сер}=0,05$ м
Щільність нафти	$\rho=0,86$ т/м ³
Концентрація розчиненої і емульгованої нафти в воді на глибині 0,3 м до аварії	$C_{\phi} = 0,05$ г/м ³
Концентрація розчиненої і емульгованої нафти в воді на глибині 0,3 м після аварії	$C_p=8$ г/м ³
Питома маса плівкової нафти на 1 м ² площі ріки до аварії	$m_{\phi}=0,2$ г/м ²
Питома маса плівкової нафти на 1 м ² площі річки після аварії	$m_p=70$ г/м ²
Площа нафтонасиченого ґрунту	$F_{ГР}=30000$ м ²
Площа поверхні річки, вкрита розливою нафтою	$F_H=80000$ м ²

Завдання:

1. Оцінити ступінь забруднення земель розливою нафтою.
2. Оцінити ступінь забруднення водного об'єкту розливою нафтою.
3. Розрахувати розмір збитків, завданих здоров'ю людей та об'єктам національної економіки внаслідок аварійного розливу нафти.

2.2.1.1. Оцінка ступеня забруднення земель. Приклад розрахунку

Обсяг нафтонасиченого ґрунту $V_{ГР}$ обчислюємо за формулою (2.3):

$$V_{ГР} = F_{ГР} \cdot h_{сер} = 30000 \cdot 0,05 = 1500 \text{ м}^3.$$

Тут $F_{ГР}$ – площа зони забруднення, згідно умов завдання – 30000 м², $h_{сер}$ – середня глибина просочення ґрунту на всій площі забруднення, згідно умов

завдання – 0,05 м.

Масу нафти, що вбралася в ґрунт M_{BG} визначаємо за співвідношенням (2.1):

$$M_{BG} = K_H \cdot \rho \cdot V_{GP} = 0,38 \cdot 0,86 \cdot 1500 = 490,2 \text{ т.}$$

Значення нафтоємності ґрунту K_H у залежності від його вологості приймаємо по табл. 2.1. Для легких суглинків при вологості 20% $K_H=0,38$.

Таким чином, внаслідок пориву нафтопроводу у ґрунт вбралася **490,2 т** нафти.

2.2.1.2. Оцінка ступеня забруднення водного об'єкту. Приклад розрахунку

Розрахуємо масу нафти M_p , що надійшла у річку. Розрахунки проводимо за формулою (2.7), адже в умовах завдання вказано, що площу забруднення оцінювали з використанням даних інструментальних вимірювань, тому:

$$M_p = (m_p - m_\phi) \cdot F_H \cdot 10^{-6} + (C_p - C_\phi) \cdot V_p \cdot 10^{-6} = (70 - 0,2) \cdot 80000 \cdot 10^{-6} + (8 - 0,05) \cdot V_p \cdot 10^{-6} = (70 - 0,2) \cdot 24000 \cdot 10^{-6} = 5,775 \text{ т.}$$

де m_p – питома маса розливої нафти на 1 м² поверхні води, $m_p=70$ г/м²; m_ϕ – питома маса фонові нафти на 1 м² вільної від розливу поверхні води, $m_\phi=0,2$ г/м²; F_H – площа поверхні води, що вкрита розливою нафтою, $F_H=80000$ м²; C_p – концентрація розчиненої і (або) емульгованої нафти у водному об'єкті на глибині 0,3 м в зоні розливу, $C_p=8$ г/м³; V_p – обсяг води, в якій на момент інструментальних вимірювань розчинилася розлита нафта, $V_p=0,3 \cdot F_H=0,3 \cdot 80000=240000$ м³.

Визначаємо масу нафти, що забруднила товщу води за формулою (2.5) – для річок:

$$M_{H.BK} = 8,7 \cdot 10^{-4} M_p (C_n - C_\phi) = 8,7 \cdot 10^{-4} \cdot 5,775 \cdot (122 - 0,05) = 0,613 \text{ т.}$$

Тут $C_n = 122$ г/м³ згідно табл. 2,2, адже витік нафти стався у водотік.

Розраховуємо масу плівкової нафти, що залишилася на водній поверхні після використання нафтозбиральних засобів за формулою (2.9):

$$M_{ПЛ.ЗАЛ} = m_{ПЛ.ЗАЛ} \cdot F_{H.ЗАЛ} \cdot 10^{-6} = 0,4 \cdot 80000 \cdot 10^{-6} = 0,032 \text{ т.}$$

Тут $m_{ПЛ,зал}$ – питома маса плівкової нафти на 1 м² поверхні води після завершення збору розливої нафти, $m_{ПЛ,зал}=0,4$ г/м²; значення $m_{ПЛ,зал}$ приймаємо за табл. 2.3, адже в умовах завдання говориться про те, що частина нафти залишилася на поверхні води у вигляді тонкої плівки з яскравими кольоровими смугами, що спостерігалися при слабкому хвилюванні води.

$F_{ПЛ,зал}$ – площа поверхні води, вкрита плівковою нафтою після завершення робіт з ліквідації розливу нафти, приймаємо $F_{ПЛ,зал}=80000$ м², адже в умовах завдання не надано інформації щодо зменшення площі забруднення.

Розраховуємо масу нафти, яка приймається для розрахунку збитків від забруднення поверхневих і підземних вод при аварійних розливах нафти M_y за формулою (2.10):

$$M_y = M_{H.BM(BK)} + M_{ПЛ.ЗАЛ} = 0,613 + 0,032 = 0,645 \text{ т.}$$

Отже, маса нафти, розливої на поверхні річки при аварії становить **5,775 т**; маса емульгованої в воді нафти, що визначає ступінь її забруднення, дорівнює

0,613 т, маса плівкової нафти, що залишилася на водній поверхні після ліквідації наслідків аварії становить **0,032 т**. Загальна маса нафти, яка приймається для розрахунку для розрахунку збитків від забруднення дорівнює **0,645 т**.

2.2.1.3. Оцінка збитків від аварійного розливу нафти. Приклад розрахунку

Розрахуємо збитки від забруднення землі нафтопродуктами за формулою (2.11):

$$Z_{\phi} = Y_n \cdot n \cdot M \cdot L = 109,59 \cdot 17 \cdot 490,2 \cdot 1,6 = 1\,461\,212 \text{ грн.}$$

де Y_n – питома величина збитків, завданих навколишньому природному середовищу, в НМД, за таблицею 2.4 для Дніпропетровської області $Y_n=109,59$; n – розмір НМД, $n=17$ гривень; M – маса скинутої на ґрунт нафти, $M=M_{\text{ВГ}}=490,2$ т; L – коефіцієнт, який враховує природну захищеність підземних вод: для міжпластових артезіанських вод – $L=1,6$.

Обчислюємо збитки від забруднення поверхневих вод від скидання нафти за формулою (2.11):

$$Z_a = M \cdot 0,03 \cdot A_i \cdot n \cdot h^k = 645 \cdot 0,03 \cdot 20 \cdot 17 \cdot 2 = 13\,117 \text{ грн.}$$

де M – маса скинутої у річку забруднюючої сировини, кілограмів; A_i – показник відносної небезпечності нафти, визначається як співвідношення $1/\text{Сгдк}$, $A_i=1/0,05=20$, де $0,05 \text{ мг/дм}^3$ – гранично допустима концентрація нафти у воді рибогосподарських водойм (див. додаток 1), адже в умовах завдання зазначено, що ділянка акваторії, на якій стався виток нафти, використовувалася для збереження і відтворення цінних видів риби; n – НДМ, $n=17$ грн.; h^k – коефіцієнт, що враховує категорію водного об'єкта; вибираємо з табл. 2.5 – об'єкти рибогосподарського водокористування I категорії (відтворення цінних видів риби) мають $h^k=2$.

Визначаємо загальний збиток від аварійного розливу нафти:

$$Z = Z_{\phi} + Z_a = 1\,461\,212 + 13\,117 = 1\,474\,329 \text{ грн.}$$

Висновки: при пориві нафтопроводу у ґрунт вбралося **490,2 т** нафти, маса нафти, яка забруднила річку, дорівнює **0,644 т**, а загальний збиток, завданий здоров'ю людей та об'єктам національної економіки від аварійної ситуації становить **1,474 млн. грн.**

2.2.2. Практичне завдання

1. Вивчити основні положення і процедуру оцінки ступеня забруднення земель та водних об'єктів внаслідок аварійних розливів нафти.

2. Ознайомитись з прикладом розрахунку кількості нафти, що вбралася в ґрунт; маси розчиненої і (або) емульгованої в воді нафти та розмірів збитків, завданих здоров'ю людей та об'єктам національної економіки внаслідок аварійних розливів нафти.

3. Самостійно оцінити ступінь забруднення нафтою ґрунту, водного об'єкту та самостійно розрахувати збитки, завдані здоров'ю людей та об'єктам національної економіки внаслідок аварійної ситуації.

Вихідні дані для розрахунку представлені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Вихідні дані для оцінки збитків від аварійного розливу нафти

Показник	Варіант				
	1	2	3	4	5
Глибина просочення ґрунту нафтою $h_{сер}$, м	0,04	0,1	0,08	0,09	0,11
Щільність нафти ρ , т/м ³	0,76	0,85	0,87	0,88	0,89
Концентрація нафти в воді на глибині 0,3 м до аварії C_f , г/м ³	0,04	0,045	0,035	0,03	0,02
Концентрація нафти в воді на глибині 0,3 м після аварії C_p , г/м ³	9	7	8	9	6
Питома маса плівкової нафти на 1 м ² площі ріки до аварії m_f , г/м ²	0,3	0,35	0,34	0,33	0,32
Питома маса плівкової нафти на 1 м ² площі річки після аварії m_p , г/м ²	75	85	95	65	75
Площа нафтонасиченого ґрунту $F_{ГР}$, м ²	33000	31000	34000	32000	36000
Площа поверхні водного об'єкту, вкрита розливою нафтою F_H , м ²	81000	82000	83000	84000	85000
Місце виникнення аварії, обл.	Кіровоградська	Івано-Франківська	Чернівецька	Житомирська	Одеська
Тип ґрунту	суглинок легкий	суглинок легкий	піски	гравій	гравій
Вологість ґрунту, %	0	20	0	20	40
Тип водного об'єкту	водойма	водотік	водойма	водотік	водойма
Тип підземних вод	артезіанські	артезіанські	артезіанські	міжпластові безнапірні	міжпластові безнапірні
Категорія водного об'єкта	господарсько-питного використання	для збереження і відтворення цінних видів риби	для інших рибогосподарських потреб	господарсько-питного використання	для збереження і відтворення цінних видів риби
Ознаки нафтової плівки, що залишилися після збору нафти з води	суцільний шар нафти	тьмяні мутно-коричневі плями і плівки	суцільний шар нафти	суцільний шар нафти	тьмяні мутно-коричневі плями і плівки

Продовження табл. 2.7

Показник	Варіант				
	6	7	8	9	10
Глибина просочення ґрунту нафтою $h_{сер}$, м	0,12	0,04	0,08	0,13	0,14
Щільність нафти ρ , т/м ³	0,9	1,0	0,7	0,75	0,8
Концентрація нафти в воді на глибині 0,3 м до аварії C_f , г/м ³	0,025	0,015	0,01	0,02	0,034
Концентрація нафти в воді на глибині 0,3 м після аварії C_p , г/м ³	5	8	9	6	4
Питома маса плівкової нафти на 1	0,31	0,29	0,28	0,27	0,26

Показник	Варіант				
	6	7	8	9	10
м ² площі ріки до аварії m_f , г/м ²					
Питома маса плівкової нафти на 1 м ² площі річки після аварії m_p , г/м ²	85	99	86	87	78
Площа нафтонасиченого ґрунту F_{GR} , м ²	37000	39000	38000	32000	32000
Площа поверхні водного об'єкту, вкрита розливою нафтою F_H , м ²	86000	87000	88000	89000	90000
Місце виникнення аварії, обл.	Кіровоградська	Івано-Франківська	Чернівецька	Житомирська	Одеська
Тип ґрунту	піски	торф	торф	торф	гравій
Вологість ґрунту, %	0	0	20	40	0
Тип водного об'єкту	водотік	водойма	водотік	водойма	водотік
Тип підземних вод	артезіанські	міжпластові безнапірні	міжпластові безнапірні	артезіанські	артезіанські
Категорія водного об'єкта	для збереження і відтворення цінних видів риби	господарсько-питного використання	для збереження і відтворення цінних видів риби	для інших рибогосподарських потреб	господарсько-питного використання
Ознаки нафтової плівки, що залишилася після збору нафти з води	тьмяні мутно-коричневі плями і плівки	суцільний шар нафти	суцільний шар нафти	суцільний шар нафти	тьмяні мутно-коричневі плями і плівки

Закінчення табл. 2.7

Показник	Варіант				
	11	12	13	14	15
Глибина просочення ґрунту нафтою $h_{сер}$, м	0,06	0,08	0,15	0,07	0,09
Щільність нафти ρ , т/м ³	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
Концентрація нафти в воді на глибині 0,3 м до аварії C_f , г/м ³	0,028	0,024	0,058	0,019	0,057
Концентрація нафти в воді на глибині 0,3 м після аварії C_p , г/м ³	8	9	10	5	6
Питома маса плівкової нафти на 1 м ² площі ріки до аварії m_f , г/м ²	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21
Питома маса плівкової нафти на 1 м ² площі річки після аварії m_p , г/м ²	74	73	81	86	90

Показник	Варіант				
	11	12	13	14	15
Площа нафтонасиченого ґрунту $F_{ГР}$, м ²	38000	39000	37000	34000	35000
Площа поверхні водного об'єкту, вкрита розливою нафтою F_H , м ²	95000	94000	93000	92000	91000
Місце виникнення аварії, обл.	Кіровоградська	Івано-Франківська	Чернівецька	Житомирська	Одеська
Тип ґрунту	гравій	гравій	супісок	супісок	супісок
Вологість ґрунту, %	20	40	0	20	40
Тип водного об'єкту	водойма	водотік	водойма	водотік	водойма
Тип підземних вод	міжпластові і безнапірні	артезіанські	артезіанські	міжпластові безнапірні	артезіанські
Категорія водного об'єкта	господарсько-питного використання	для збереження і відтворення цінних видів риби	для інших рибогосподарських потреб	господарсько-питного використання	для збереження і відтворення цінних видів риби
Ознаки нафтової плівки, що залишилася після збору нафти з води	суцільний шар нафти	тьмяні мутно-коричневі плями і плівки	тьмяні мутно-коричневі плями і плівки	суцільний шар нафти	суцільний шар нафти

Питання для самоконтролю

1. Назвіть основні компоненти нафти.
2. Назвіть основні три групи вуглеводнів, що входять до складу нафти.
3. Назвіть основні три методи очищення води від нафтових забруднень.
4. Для чого використовуються скімери?
5. Для чого використовуються бонові загородження?
6. Розкажіть про механізм дії сорбентів на нафтові плями.
7. Розкажіть про механізм дії диспергентів на нафтові плями.
8. Що таке біоремедіація? Які мікроорганізми використовують для біоремедіації?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3 ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Мета роботи: набуття студентами практичних навичок оцінки екологічної небезпеки важких металів.

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

- ознайомлення з основними небезпечними властивостями важких металів та джерелами їх надходження у довкілля;
- ознайомлення з прикладом розрахунку викидів важких металів в атмосферу при спалюванні вугілля та сміття;
- ознайомлення з прикладом оцінки якості продуктів харчування за

вмістом важких металів;

– самостійний розрахунок викидів важких металів в атмосферу при спалюванні вугілля у котельні, а також при спалюванні сміття на сміттєспалювальному заводі;

– самостійна оцінка якості продуктів харчування за вмістом важких металів.

3.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

3.1.1. Загальні положення

Метали належать до числа головних неорганічних забруднювачів довкілля. До *важких металів* відносять метали з атомною масою понад 50 атомних одиниць і щільністю понад 8 г/см³. Зазвичай до важких металів відносяться: **Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg, V, Cr, Mn і As** та ін.

Гідросфера

Основні джерела надходження токсичних металів у водне середовище – пряме забруднення і стік з суші. Важливу роль у забрудненні гідросфери металами відіграють саме стічні води.

На шляху від місць попадання в воду до океану значна частина металів осідає на дні річок. Крім того, значна частина металів на шляху до океану затримується в водоймах – як в їх донних опадах, так і в біоті.

Природно, що найбільше забруднення металами спостерігається у морях і тих частинах океану, де антропогенна активність висока. Більше за інших забруднені води Перської і Аденської заток Індійського океану, екваторіальна частина Тихого океану, води течії Гольфстрім в Атлантиці, Північне і Середземне моря.

Гострота проблеми забруднення водного середовища токсичними металами визначається:

- високою концентрацією сполук важких металів в прибережних районах океану і внутрішніх морях;
- утворенням високотоксичних металоорганічних комплексів, які включаються в абіотичний компонент екосистеми і поглинаються гідробіонтами;
- накопиченням металів гідробіонтами в дозах, небезпечних для людини.

Атмосфера

Частина техногенних викидів важких металів (ВМ), що надходять в атмосферу в вигляді аерозолів, переноситься на значні відстані і викликає глобальне забруднення. Інша частина з гідрохімічними стоком потрапляє в безстічні водойми, де накопичується в водах і донних відкладеннях і може стати джерелом вторинного забруднення. Основна маса викидів осідає в безпосередній близькості від джерел забруднення – це найчастіше промислові підприємства. Сильне забруднення важкими металами (свинцем, кадмієм і цинком) виявлено поблизу автомагістралей.

Серед природних джерел надходження ВМ в атмосферу також слід виділити вітрову ерозію, виверження вулканів, лісові пожежі, випаровування з поверхні ґрунтів і рослин, надходження з поверхні ґрунту та ін.

Літосфера

Ґрунт є одним з основних концентраторів ВМ у біосфері. Важкі метали, як правило, концентруються в поверхневому шарі ґрунту 0-10 (20) см, де вони присутні в формі обмінних іонів і в необмінній формі, що міцно зафіксована ґрунтовим поглинальним комплексом. Частка водорозчинної форми зазвичай невелика, проте при сильному забрудненні абсолютна кількість водорозчинних важких металів стає самостійним екологічно небезпечним фактором. Надалі ВМ можуть мігрувати в рослини, надходити в річки і озера в результаті змиву і далі, по трофічних ланцюгах – у живі організми.

Вміст і форми міграції важких металів у поверхневих природних водах і ґрунтах екосистем певною мірою залежать від супутніх негативних явищ, характерних для сучасного техногенезу: аерозольних випадінь, кислотних дощів, викидів пилю і диму і т.д.

На відміну від інших політантів, здатних розкладатися під дією фізико-хімічних і біологічних факторів або виводитися з ґрунту, важкі метали зберігаються в ньому тривалий час навіть після усунення джерела забруднення: період напіввидалення ВМ з ґрунтів варіює залежно від виду металів: для *Zn* – від 70 до 510 років, *Cd* – від 13 до 1100 років, *Cu* – від 310 до 1500 років, *Pb* – від 740 до 5900 років. Детоксикація ґрунтів, забруднених ВМ, має певні труднощі.

3.1.2. Токсичність важких металів

Чимало важких металів є *канцерогенами*. Миш'як викликає рак легенів; свинець – рак нирок, шлунка, кишечника; нікель – рак порожнини рота, товстого кишечника; кадмій – практично всі форми раку.

Токсичність важких металів для планктону визначається тим, що планктонні організми (особливо фільтратори) концентрують метали, які через свою нерозкладність зберігаються в живих тканинах необмежений час, сприяють загибелі планктону, а потім з відмерлим планктоном осідають в донних відкладеннях. Крім того, що вони акумулюються організмами, вони концентруються в харчових ланцюгах, що багато в чому визначає різну токсичність металів для різних груп гідробіонтів (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Ступінь токсичності ряду солей важких металів для деяких водних тварин

Речовина	Планктон	Ракоподібні	Молюски	Риби
Мідь	+++	+++	+++	+++
Свинець	-	+	+	+++
Цинк	+	++	++	++
Ртуть	++++	+++	+++	+++
Кадмій	-	++	++	++++

Миш'як

Миш'як широко розповсюджений в породах, що містять фосфати і відповідно зустрічається у вигляді домішок в фосфатних добривах або

детергентах, вироблених з цієї сировини. Звичайні форми миш'яку в природі: H_3AsO_3 чи $\text{As}(\text{OH})_3$ (миш'яковиста кислота) та H_3AsO_4 (миш'якова кислота).

Деяка кількість миш'яку використовується в якості пестициду в вигляді арсенатів натрію і міді для обприскування плодових дерев, але основними антропогенними джерелами миш'яку є спалювання вугілля і виплавка металів.

Якщо середні концентрації миш'яку в повітрі великих міст складають $0,01-0,56 \text{ мкг/м}^3$, то поблизу плавильних підприємств (на відстані кількох кілометрів) вони сягають $1,5-7,9 \text{ мкг/м}^3$, а вміст миш'яку в летючій золі вугільних електростанцій становить $43-312 \text{ мг/кг}$.

У людини гостре отруєння миш'яком викликає появу металевого смаку в роті, блювання, сильні болі в животі, гостру серцево-судинну і ниркову недостатність, судоми. Хронічна інтоксикація (при споживанні води, що містить більше $0,1 \text{ мкг/дм}^3$ миш'яку) викликає гіперпігментацію, кератоз, рак шкіри. Смертельна доза для миш'яку складає $0,06-0,2 \text{ г}$ (від 1 до $2,5 \text{ мг As}$ на кг маси тіла).

Свинець

Щорічно добувається приблизно $3,5 \text{ млн. т}$ свинцю, а з урахуванням повторного вилучення з відходів виробництво свинцю становить $4,1 \text{ млн. т/рік}$.

Забруднення природних вод і повітря свинцем відбувається внаслідок процесу випалу і плавки свинцевих руд з метою отримання металевого свинцю, за рахунок викидів відходів з виробництв, що використовують свинець, а також при спалюванні вугілля, деревини та інших органічних матеріалів, включаючи міські відходи.

Крім того, значні кількості свинцю потрапляють в навколишнє середовище завдяки використанню свинцевих труб для водопроводів і свинцево-кислотних акумуляторів.

Серйозним джерелом забруднення навколишнього середовища свинцем багато років був тетраетилсвинець – $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{CH}_2)_4$ – отруйна металоорганічна сполука, яка застосовувалася в основному як антидетонуюча присадка до моторного палива, що підвищувала його октанове число. У зв'язку з високою канцерогенною активністю тетраетилсвинцю і забрудненням навколишнього середовища свинцем при його використанні, на сьогодні від додавання тетраетилсвинцю в паливо в основному відмовилися.

В бензин також додають $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\text{Cl}$ (діхлоретан) і $\text{CH}_2\text{Br}-\text{CH}_2\text{Br}$ (діброметан). В результаті згорання палива свинець потрапляє в атмосферу у вигляді аерозольних часток PbBrCl розміром менше 2 мкм , що потрапляють в легені і осідають там.

Загальний вміст свинцю у водах Світового океану становить $2,8 \text{ млн. т}$ при середній концентрації $2 \cdot 10^{-3} \text{ мкг/дм}^3$. У гідробіонтах концентрація свинцю варіює в межах $50-20000 \text{ мкг/кг}$ сирової маси.

Свинець в організмі людини накопичується в кістках, витісняючи солі кальцію. Крім того, він депонується в м'язах, печінці, нирках, селезінці, головному мозку, серці і лімфатичних вузлах. Для свинцевої інтоксикації характерна «свинцева колька» – різкий спазм судин, підвищення артеріального

тиску, спастико-атонічні явища в кишечнику, поява судомних нападів, розвивається гіпсохромна анемія. Смертельна доза свинцю для людини становить 20-50 г.

Ртуть

Ртуть відноситься до числа найбільш токсичних металів, які частіше за інших зустрічаються в навколишньому середовищі. У той же час ртуть – один з найрідкісніших елементів з дуже низьким вмістом в земній корі. Вона зустрічається в природі у вигляді червоного сульфідру, ціннабару, чорного сульфідру і у вигляді рідкої ртуті.

У навколишнє середовище ртуть надходить як з природних джерел, так і з джерел техногенного походження.

Природна ртуть потрапляє в біосферу з відносно глибоких шарів земної кори завдяки вулканічній, гео- і гідротермальній активності.

Головні антропогенні джерела ртуті: спалювання викопного палива; викиди промислових підприємств, серед них найважливішими є скиди стічних вод з електролізних фабрик з виробництва хлорлугів і їдкою натру і підприємств, де сульфат ртуті використовується в якості каталізатора; використання в сільському господарстві різних біоцидів, що містять сполуки ртуті.

Було підраховано, що в результаті діяльності людини в навколишнє середовище щорічно надходить до 10 тис. т ртуті, з яких 3 тис. т – за рахунок спалювання викопного палива. У морське середовище потрапляє близько 5 тис. т ртуті, загальна її кількість в водах Світового океану дорівнює 10 млн. т при середній концентрації 0,01-0,03 мкг/дм³.

Ртуть токсична для фітопланктону, тому забруднення ртуттю істотно знижує первинну продукцію морських екосистем. Фіто- і зоопланктон акумулює ртуть в широкому діапазоні концентрацій – 30-3800 мкг/кг сухої маси; показник акумуляції ртуті може перевищувати 40000.

ГДС ртуті для водойм прийнятій не більше 0,005 мкг/дм³. В континентальних і океанічних водах концентрація ртуті становить приблизно 1 мкг/кг. Фактичний вміст ртуті у водах річок промислово розвинених країн перевищує ГДС в 2-4 рази, а її вміст в тканинах риб нерідко в 100-200 разів перевищує відповідний вміст в природних водах. В тканинах, наприклад тунця, концентрація може досягати 120 мкг/кг.

Відходи, що містять ртуть, зазвичай накопичуються в донних відкладеннях заток або естуаріях рік. Подальша її міграція супроводжується накопиченням метилової ртуті та її включенням в трофічні ланцюги водних організмів (особливо крабів і риб). Наприклад, в канадських озерах Сент-Клер концентрація ртуті в рибах становила 2-4 мкг/кг, в м'язах великої блакитної чаплі – 23 мкг/кг, а в печінці – 175 мкг/кг.

Смертельна доза солей ртуті для людини становить 0,5 г.

Кадмій

У природі кадмій, як правило, асоційований з цинком і їх розподіл є економічно нерентабельним.

Щорічно у всьому світі видобувається до 18 тис. т кадмію. Кадмій широко використовується в електронній промисловості, виробництві пластмас, барвників, розчинників. Найбільш відоме його використання в нікель-кадмієвих акумуляторах.

До основних антропогенних джерел надходження кадмію в навколишнє середовище відносяться гірничорудні і металургійні підприємства, а також стічні води. Куріння поставляє в навколишнє середовище 6-11 т кадмію щорічно.

Всього води Світового океану містять приблизно 140 млн. т кадмію при середній концентрації 0,1 мкг/дм³. Кадмій накопичується водними тваринами, але не концентрується в харчових ланцюгах.

Концентрація кадмію в різних гідробіонтах змінюється від 50 до 550000 мкг/кг сухої маси. У деяких видів устриць, наприклад, коефіцієнт накопичення кадмію дорівнює 318000.

Кадмій – один з найнебезпечніших токсикантів. Токсичність кадмію пов'язана зі схожістю його хімічних властивостей з цинком. При цьому він зв'язується з сіркою міцніше, ніж цинк і, отже, витісняє цинк з багатьох ферментів, в яких той використовується як ко-фактор. Природно, ці ферменти припиняють функціонувати.

Смертельною може бути доза 30-40 мг. В організм людини кадмій потрапляє, в основному, з рослинною їжею. Одного разу поглинена кількість кадмію виводиться з людського організму надзвичайно повільно (0,1% на добу). Найбільш ранні симптоми отруєння кадмієм – ураження нирок, нервової системи і статевих органів. Потім виникають гострі кісткові болі в спині і ногах, порушуються функції легень.

Отже, ми розглянули яким чином природні компоненти природного середовища – важкі метали – стають небезпечними для екологічних систем і людини. Завдяки техногенній діяльності вони витягуються з літосфери, концентруються і залучаються до біотичного кругообігу. При цьому, в силу своєї консервативності, вони накопичуються в тканинах живих організмів так, що їх вміст в організмах вищих трофічних рівнів (включаючи людину) може досягати смертельних величин.

Небезпечні речовини, що спричиняють забруднення ґрунтів, і у тому числі важкі метали, згідно з діючим природоохоронним законодавством поділені *на 4 групи небезпечності*, основою для визначення яких є величини граничнодопустимих концентрацій та орієнтовно допустимих концентрацій (ОДК) хімічних речовин у ґрунті (табл. 3.2):

- 1 група – речовини надзвичайно безпечні;
- 2 група – речовини дуже небезпечні;
- 3 група – речовини помірно небезпечні;
- 4 група – інші.

Таблиця 3.2 – Групи небезпечності забруднюючих речовин за ГДК (ОДК) хімічних речовин у ґрунті

Група небезпечності	Ступінь безпеки	Перелік забруднюючих речовин, що відповідають групі небезпечності*	
I	Надзвичайно небезпечні (ГДК, ОДК < 0,2 мг/кг)	<i>Бенз-а-пірен**</i> Кадмій Миш'як <i>Нафта</i> <i>Нафтопродукти</i> Ртуть	<i>Селен</i> Свинець <i>Стирол</i> <i>Фенол</i> <i>Фтор</i> Цинк
II	Дуже небезпечні (ГДК, ОДК 0,2-0,5 мг/кг)	<i>Бензол</i> <i>Бор</i> Кобальт <i>Ксилоли</i> Мідь Молібден	Нікель <i>Сірководень</i> Сурма <i>Толуол</i> Хром
III	Помірно небезпечні (ГДК, ОДК > 0,5 мг/кг)	<i>Аніонні поверхнево-активні речовини (АПАР)</i> <i>Ацетальдегід</i> <i>Барій</i>	Ванадій Вольфрам Марганець <i>Нітрати</i> Стронцій <i>Сульфати</i> <i>Формальдегід</i>
IV	Інші (рівні ГДК, ОДК не встановлені)	<i>Амоній</i>	<i>Хлориди</i>

Примітка: *перелік забруднюючих речовин, що відповідають групі небезпечності, не є вичерпним. Якщо забруднююча речовина відсутня у переліку, групу її небезпечності визначають за величиною ГДК або ОДК;

**курсивом виділені хімічні речовини, що не відносяться до важких металів.

Крім того, вміст важких металів нормується на законодавчому рівні **в продовольчій сировині і продуктах** з метою поліпшення якості харчових продуктів і зміцнення здоров'я населення (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Граничнодопустимі концентрації важких металів у продовольчій сировині і продуктах харчування

Продукти	Допустима концентрація металу, не більше, мг/кг						
	свинець	кадмій	миш'як	ртуть	мідь	цинк	олово
М'ясо та птиця свіжі та морожені	0,5	0,05	0,1	0,03	5,0	70,0	-
Ковбасні варені вироби з м'яса і птиці	0,5	0,05	0,1	0,03	5,0	70,0	-

Продукти	Допустима концентрація металу, не більше, мг/кг						
	свинець	кадмій	миш'як	ртуть	мідь	цинк	олово
Консерви з м'яса і птиці у збірній жерстяній тарі	1,0	0,1	0,1	0,03	5,0	70,0	200,0
Яйця	0,3	0,01	0,1	0,02	3,0	50,0	-
Яєчний порошок	3,0	0,1	0,5	0,1	15,0	200,0	-
Молоко, кисломолочні вироби	0,1(0,05)*	0,03(0,02)	0,05	0,005	1,0	5,0	-
Молоко згущене консервоване	0,3	0,1	0,15	0,015	3,0	15,0	200,0
Молоко сухе**	0,1(0,05)	0,03	0,05	0,005	1,0	5,0	-
Сири, сир	0,3	0,2	0,2	0,02	4,0	50,0	-
Риба свіжа охолоджена і морожена прісноводна							
хижа	1,0	0,2	1,0	0,6	10,0	40,0	-
нехижа	1,0	0,2	1,0	0,3	10,0	40,0	-
Риба свіжа охолоджена і морожена морська	1,0	0,2	5,0	0,4	10,0	40,0	-
Риба тунцева	2,0	0,2	5,0	0,7	10,0	40,0	-
Риба консервована в скляній, алюмінієвій та суцільнотягненої жерстяній тарі							
прісноводна	1,0	0,2	1,0	0,3	10,0	40,0	-
морська	1,0	0,2	5,0	0,4	10,0	40,0	-
тунцева	2,0	0,2	5,0	0,7	10,0	40,0	-
Зернові	0,5(0,3)	0,1(0,03)	0,2	0,03	10,0	50,0	-
Крупи***	0,5(0,3)	0,1(0,03)	0,2	0,03	10,0	50,0	-
Борошно, кондитерські вироби	0,5(0,3)	0,1(0,03)	0,2	0,02	10,0	50,0	-
Хліб	0,3	0,05	0,1	0,01	5,0	25,0	-
Бубличні і сухарні вироби	0,5	0,1	0,2	0,02	10,0	30,0	-
Цукор-пісок	1,0	0,05	0,5	0,01	1,0	3,0	-
Горіхи	0,5	0,1	0,3	0,05	15,0	100,0	-
Цукерки	1,0	0,1	0,5	0,01	15,0	30,0	-
Какао-порошок і шоколад	1,0	0,5	1,0	0,1	50,0	70,0	-
Кава	1,0	0,05	1,0	0,02	-	-	-
Печиво	0,5	0,1	0,3	0,02	10,0	30,0	-
Овочі свіжі і свіжоморожені	0,5	0,03	0,2	0,02	5,0	10,0	-
Фрукти, ягоди свіжі та свіжоморожені	0,4	0,03	0,2	0,02	5,0	10,0	-
Гриби свіжі, консервовані і сухі**	0,5	0,1	0,5	0,05	10,0	20,0	-

Продукти	Допустима концентрація металу, не більше, мг/кг						
	свинець	кадмій	миш'як	ртуть	мідь	цинк	олово
Чай	10,0	1,0	1,0	0,1	100,0	-	-
Олія рослинна	0,1	0,05	0,1	0,03	0,5	5,0	-
Масло вершкове	0,1	0,03	0,1	0,03	0,5	5,0	-
Мінеральні води	0,1	0,01	0,1	0,005	1,0	5,0	-
Сіль	2,0	0,1	-	-	-	-	-

Примітка: *у дужках вказані ГДК в продовольчій сировині, призначеній для виробництва дитячих і дієтичних продуктів;

**у перерахунку на вихідний продукт;

***для гречаної крупи ГДК кадмію – 0,04 мг/кг, міді – 15,0 мг/кг.

3.1.3. Викид важких металів в атмосферу при спалюванні вугілля та сміття

При спалюванні вугілля у котельних та сміття на сміттєспалювальних заводах відбувається значний викид ВМ із летючою золою (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Питомий викид важких металів із золою при спалюванні вугілля у котельних і сміття на сміттєспалювальних заводах (орієнтовно), г/т

Джерело забруднення	Метал									
	As	Cd	Cr	Co	Cu	Pb	Hg	Sr	V	Zn
Вугільна котельня	490	30	370	40	300	2100	5	1800	850	2800
Сміттєспалювальний завод	180	500	650	140	1450	20000	130	290	160	48000

За допомогою нижченаведеної формули можна розрахувати сумарну емісію токсикантів при роботі котельні за розрахунковий період:

$$M_i^1 = 30 \cdot q_i^1 \cdot m_1 \cdot t, \quad (3.1)$$

де M_i^1 – кількість токсикантів, г; q_i^1 – питомий викид i -го металу, г/т палива; m_1 – витрата вугілля у котельні, т/добу; t – розрахунковий період, міс.

Сумарна емісія токсикантів при роботі сміттєспалювального заводу за розрахунковий період розраховується за формулою:

$$M_i^2 = 30 \cdot q_i^2 \cdot m_2 \cdot t, \quad (3.2)$$

де M_i^2 – кількість токсикантів, г; q_i^2 – питомий викид i -го металу, г/т сміття; m_2 – витрата сміття на сміттєспалювальному заводі, т/добу; t – розрахунковий період, міс.

3.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.2.1. Викид важких металів в атмосферу при спалюванні вугілля у котельні. Приклад розрахунку

Необхідно розрахувати кількість важких металів, що надходять в атмосферу при роботі котельні за групами небезпечності, якщо розрахунковий період роботи котельні дорівнює 5 місяцям, а добова витрата вугілля становить

10 т.

Сумарна емісія токсикантів при роботі котельні за розрахунковий період визначається за рівнянням (3.1):

$$M_i^1 = 30 \cdot q_i^1 \cdot m_1 \cdot t_1,$$

де M_i^1 – кількість токсикантів, г; q_i^1 – питомий викид i -го металу, г/т палива; m_1 – витрата вугілля у котельні, т/добу; t_1 – розрахунковий період, міс.

З табл. 3.4 виписуємо питомий викид i -го важкого металу і за вищевказаною формулою розраховуємо емісію кожного важкого металу за вказаний період. Результати розрахунків доцільно оформити у вигляді таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунків емісії важких металів при роботі котельні

Показник	Метал									
	As	Cd	Cr	Co	Cu	Pb	Hg	Sr	V	Zn
Питомий викид i -го металу q_i^1 , г/т	490	30	370	40	300	2100	5	1800	850	2800
Витрата вугілля m_1 , т/добу	10									
Розрахунковий період t_1 , міс	5									
Кількість M_i^1 , г	735000	45000	555000	60000	450000	3150000	7500	2700000	1275000	4200000
Кількість M_i^1 , т	0,735	0,045	0,555	0,06	0,45	3,15	0,0075	2,7	1,275	4,2

Оскільки умови завдання вимагають визначення кількості важких металів за групами небезпечності, скористаємося таблицею 3.2 та випишемо відповідну групу небезпечності для кожного досліджуваного важкого металу:

- миш'як – I група небезпечності, *надзвичайно небезпечна речовина*;
- кадмій – I група небезпечності, *надзвичайно небезпечна речовина*;
- хром – II група небезпечності, *дуже небезпечна речовина*;
- кобальт – II група небезпечності, *дуже небезпечна речовина*;
- мідь – II група небезпечності, *дуже небезпечна речовина*;
- свинець – I група небезпечності, *надзвичайно небезпечна речовина*;
- ртуть – I група небезпечності, *надзвичайно небезпечна речовина*;
- стронцій – III група небезпечності, *помірно небезпечна речовина*;
- ванадій – III група небезпечності, *помірно небезпечна речовина*;
- цинк – I група небезпечності, *надзвичайно небезпечна речовина*.

Отже, ми маємо **5 металів** першої групи небезпечності, **3 метали** другої групи і **2 метали** третьої групи.

Проводимо відповідні розрахунки. Результати оформлюємо у вигляді таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати розрахунків емісії важких металів при роботі котельні за групами небезпечності

Група небезпечності	I					II			III	
	As	Cd	Pb	Hg	Zn	Cr	Co	Cu	Sr	V
Метал	As	Cd	Pb	Hg	Zn	Cr	Co	Cu	Sr	V
Кількість M_i^1 , т	0,735	0,045	3,15	0,0075	4,2	0,555	0,06	0,45	2,7	1,275
Сума, т	8,1375					1,065			3,975	
Разом, т	13,178									

Висновок: при роботі котельні відбувається викид важких металів із золою виносу. За 5 місяців роботи котельня викине **8,1375 т** металів I групи небезпечності, **1,065 т** металів II групи та **3,975 т** металів третьої групи небезпечності. Загальна емісія важких металів – **13,178 т**.

3.2.2. Викид важких металів в атмосферу при спалюванні сміття на сміттєспалювальному заводі. Приклад розрахунку

Необхідно розрахувати кількість важких металів, що надходять в атмосферу при роботі сміттєспалювального заводу за групами небезпечності, якщо розрахунковий період роботи заводу дорівнює 12 місяцям, а добова витрата сміття становить 1000 т.

Сумарна емісія токсикантів при роботі ТЕЦ за розрахунковий період визначається за рівнянням (3.2):

$$M_i^2 = 30 \cdot q_i^2 \cdot m_2,$$

де M_i^2 – кількість токсикантів, г; q_i^2 – питомий викид i -го металу, г/т сміття; m_2 – витрата сміття на сміттєспалювальному заводі, т/добу; t_2 – розрахунковий період, міс.

З табл. 3.4 виписуємо питомий викид i -го важкого металу i за вищевказаною формулою розраховуємо емісію кожного важкого металу за вказаний період. Результати розрахунків також оформлюємо у вигляді таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати розрахунків емісії важких металів при роботі сміттєспалювального заводу

Показник	Метал									
	As	Cd	Cr	Co	Cu	Pb	Hg	Sr	V	Zn
Питомий викид i -го металу q_i^2 , г/т	180	500	650	140	1450	20000	130	290	160	48000
Витрата сміття m_2 , т/добу	1000									
Розрахунковий період t_2 , міс	12									
Кількість M_i^2 , г	$6,48 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^8$	$2,34 \cdot 10^8$	$5,04 \cdot 10^7$	$5,22 \cdot 10^8$	$7,2 \cdot 10^9$	$4,68 \cdot 10^7$	$1,04 \cdot 10^8$	$5,76 \cdot 10^7$	$1,73 \cdot 10^{10}$
Кількість M_i^2 , т	64,8	180,0	234,0	50,4	522,0	7200,0	46,8	104,4	57,6	17280,0

Умови завдання вимагають визначення кількості важких металів за групами небезпечності. У попередній задачі ми вже визначили групу небезпечності для кожного досліджуваного важкого металу: 5 металів першої групи небезпечності, 3 метали другої групи і 2 метали третьої групи.

Проводимо відповідні розрахунки і оформлюємо результати у вигляді табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Результати розрахунків емісії важких металів при роботі сміттєспалювального заводу за групами небезпечності

Група небезпечності	I					II			III	
	As	Cd	Pb	Hg	Zn	Cr	Co	Cu	Sr	V
Метал	As	Cd	Pb	Hg	Zn	Cr	Co	Cu	Sr	V
Кількість M_i^1 , т	64,8	180,0	7200,0	46,8	17280,0	234,0	50,4	522,0	104,4	57,6
Сума, т	24771,6					806,4			162,0	
Разом, т	25740,0									

Висновок: при роботі сміттєспалювального заводу відбувається викид важких металів із золою виносу. За 12 місяців роботи завод викине **24771,6 т** металів I групи небезпечності, **806,4 т** металів II групи та **162,0 т** металів третьої групи небезпечності. Загальна емісія важких металів – **25740,0 т**.

3.2.3. Оцінка якості продуктів харчування за вмістом важких металів. Приклад виконання

У сертифікованій лабораторії, яка визначає якість продуктів харчування, отримані наступні дані за вмістом важких металів в перерахунку **на 100 г** навішування (табл. 3.9). Охарактеризуйте вміст ВМ з точки зору допустимості вживання продуктів людиною, використовуючи відомості про ГДК (табл. 3.3).

Зверніть увагу на те, що значення ГДК наведені в перерахунку **на кг продукту**. Перевищення значень ГДК *навіть за одним з елементів* є підставою для визнання продуктів **непридатними для споживання**.

Таблиця 3.9 – Результати хімічного аналізу продуктів харчування

Продукти	Вміст важких металів в перерахунку на 100 г навішування, мг						
	свинець	кадмій	миш'як	ртуть	мідь	цинк	олово
Молоко згущене консервоване	0,022	0,0134	0,014	0,0018	0,027	1,26	19,97
Гречана крупа	0,0487	0,095	0,0178	0,00254	1,586	4,756	-
Хліб	0,0299	0,00475	0,0098	0,00086	0,368	2,156	-

Скористуємося таблицею 3.3 та випишемо ГДК важких металів для досліджених продуктів харчування. Також обчислимо вміст важких металів на кг продукту, щоб мати можливість порівняти концентрацію токсиканту з граничнодопустимими нормами. Результати розрахунків заносимо у табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Результати оцінки придатності продуктів харчування за вмістом важких металів

Показник	Важкий метал						
	свинець	кадмій	миш'як	ртуть	мідь	цинк	олово
<i>Молоко згущене консервоване</i>							
ГДК, мг/кг	0,3	0,1	0,15	0,015	3	15	200
Вміст у продукті, мг на 100 г навішування	0,022	0,0134	0,014	0,0018	0,027	1,26	19,97
Вміст у продукті, мг/кг	0,22	0,134	0,14	0,018	0,27	12,6	199,7
Результат оцінки – перевищення ГДК	немає	є	немає	є	немає	немає	немає
<i>Гречана крупа</i>							
ГДК, мг/кг	0,5	0,04	0,2	0,03	15	50	-
Вміст у продукті, мг на 100 г навішування	0,0487	0,095	0,0178	0,00254	1,586	4,756	-
Вміст у продукті, мг/кг	0,487	0,95	0,178	0,0254	15,86	47,56	-
Результат оцінки – перевищення ГДК	немає	є	немає	немає	є	немає	-
<i>Хліб</i>							
ГДК, мг/кг	0,3	0,05	0,1	0,01	5	25	-
Вміст у продукті, мг на 100 г навішування	0,0299	0,00475	0,0098	0,00086	0,368	2,156	-
Вміст у продукті, мг/кг	0,299	0,0475	0,098	0,0086	3,68	21,56	-
Результат оцінки – перевищення ГДК	немає	немає	немає	немає	немає	немає	-

Висновок: за результатами проведеної оцінки продуктів харчування, молоко згущене консервоване та гречана крупа є непридатними для харчування, адже у молоці ГДК перевищує вміст кадмію ($0,134 > 0,1$ мг/кг) та ртуті ($0,018 > 0,015$ мг/кг), а у гречаній крупі – вміст кадмію ($0,95 > 0,1$ мг/кг) та міді ($15,86 > 15$ мг/кг). Досліджений хліб за вмістом важких металів є безпечним для людини.

3.2.4. Практичне завдання.

1. Вивчити основні небезпечні властивості важких металів та джерела їх надходження у довкілля.

2. Ознайомитись з прикладом розрахунку викидів важких металів в атмосферу при спалюванні вугілля та сміття.

3. Ознайомитись з прикладом оцінки якості продуктів харчування за вмістом важких металів.

3. Самостійно розрахувати кількість важких металів, що надходять в атмосферу при спалюванні вугілля у котельні, а також сміття на сміттеспалювальному заводі;

4. Самостійно оцінити якість продуктів харчування за вмістом важких

металів.

Вихідні дані для практичної роботи представлені в табл. 3.11-3.12.

Таблиця 3.11 – Вихідні дані для розрахунку викидів важких металів в атмосферу при спалюванні вугілля та сміття

Показник	Варіант														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Витрата вугілля m_1 , т/добу	15	14	20	8	9	17	25	12	13	16	18	11	19	21	14
Розрахунковий період t_1 , міс	6	7	5	9	8	4	6	5	5,5	7	6,5	7	8	4	8
Витрата сміття m_2 , т/добу	1700	1200	1500	950	800	1100	1800	850	990	1600	1550	750	1050	1250	1300
Розрахунковий період t_2 , міс	11	10	10	12	10	9	11	12	10	12	12	10	11	8	12

Таблиця 3.12 – Вихідні дані для оцінки якості продуктів харчування за вмістом важких металів

Продукти	Вміст важких металів в перерахунку на 100 г навішування, мг						
	свинець	кадмій	миш'як	ртуть	мідь	цинк	олово
Варіант 1							
Ковбасні варені вироби з птиці	0,0485	0,00359	0,1	0,0198	0,0512	6,854	-
Риба свіжа охолод. прісноводна хижа	0,0982	0,0157	0,0789	0,0557	1,236	3,999	-
Бублики	0,05	0,0099	0,0127	0,00239	0,956	2,456	-
Варіант 2							
Яйця	0,0299	0,00456	0,1	0,00168	0,0222	4,235	-
Риба тунцева	0,177	0,0111	0,0999	0,0888	0,569	3,555	-
Риба консервована в скляній тарі, прісноводна	0,055	0,005	0,442	0,0266	0,582	3,664	-
Варіант 3							
Цукор-пісок	0,0999	0,00412	0,5	0,0485	0,0445	0,3	-
Ячний порошок	0,301	0,098	0,044	0,022	1,5	1,88	-
Чай	0,887	0,0988	0,0884	0,0554	1	-	-
Варіант 4							
Кефір	0,0099	0,00249	0,00499	0,00027	0,0097	0,0417	-
Рис	0,0042	0,087	0,0199	0,00156	0,88	4,77	-
Цукор-пісок	0,00523	0,0043	0,049	0,0011	0,0951	0,258	-
Варіант 5							
Сир	0,0325	0,0199	0,0155	0,00177	0,3556	4,222	-
Мигдаль	0,05	0,0188	0,0264	0,00333	1,456	9,663	-
Кава	0,099	0,00337	0,0995	0,00897	-	-	-
Варіант 6							
Курятина заморожена	0,05	0,00499	0,0177	0,00299	0,498	6,55	-
Риба свіжа охолод.	0,0966	0,0177	0,0885	0,0263	1,08	4,21	-

Продукти	Вміст важких металів в перерахунку на 100 г навішування, мг						
	свинець	кадмій	миш'як	ртуть	мідь	цинк	олово
прісноводна нехижа							
Мінеральна вода	0,00998	0,00089	0,00884	0,0028	0,0965	0,5	-
Варіант 7							
Консерви з куриці у збірній жерстяній тарі	0,099	0,00999	0,00877	0,003	0,0423	6,58	20,88
Молоко сухе	0,099	0,00356	0,00498	0,0005	0,0559	0,0344	-
Тістечка	0,066	0,09	0,005	0,002	1,2	4,33	-
Варіант 8							
Яєчний порошок	0,03	0,0099	0,0477	0,09	1,499	20	-
Риба консервована в алюмінієвій тарі морська	0,099	0,0025	0,5	0,0395	1,05	4,01	-
Масло вершкове	0,001	0,005	0,008	0,00558	0,00477	0,5	0,001
Варіант 9							
Яйця	0,03	0,001	0,00487	0,002	0,0366	5,5	-
Хліб	0,0299	0,0041	0,077	0,00889	0,499	2,48	-
Чай	1,66	0,89	0,0662	0,00048	1,258	1,66	-
Варіант 10							
Горт "Київський"	0,05	0,0885	0,02	0,0048	1,54	0,555	-
Олія оливкова	0,0081	0,0048	0,0777	0,0035	0,005	0,5	-
Сіль	0,2	0,008	-	-	-	-	-
Варіант 11							
Риба морожена морська	0,099	0,0025	0,05	0,00487	1	3,999	-
Цукерки	0,098	0,0775	0,0498	0,0047	1,5	2,543	-
Сіль	0,199	0,0775	-	-	-	-	-
Варіант 12							
Риба консервована в скляній тарі тунцева	0,0186	0,00551	0,0489	0,07	1,33	4,224	-
Шоколад	0,0998	0,0471	0,0775	0,0886	5	3,863	-
Печиво	0,06	0,054	0,03	0,00177	0,9	2,85	-
Варіант 13							
Помідори свіжі	0,0499	0,0021	0,0177	0,00236	0,0472	0,85	-
Яблука свіжі	0,0385	0,00259	0,01998	0,0025	0,5	1,27	-
Олія рослинна	0,001	0,0007	0,008	0,0035	0,04	0,5	-
Варіант 14							
Гриби свіжі, консервовані і сухі	0,0499	0,0099	0,047	0,00478	0,776	1,555	-
Чай	0,963	0,0478	0,523	0,0417	9,854	-	-
Молоко згущене консервоване	0,03	0,00775	0,015	0,00123	0,246	1,489	17,845
Варіант 15							
Хліб	0,0298	0,00451	0,0099	0,00078	0,5	2,48	-
Сир	0,0215	0,0145	0,0169	0,00173	0,4	5,89	-
Масло вершкове	0,01	0,00369	0,0048	0,00098	0,0085	0,478	-

Питання для самоконтролю

1. Які речовини відносяться до важких металів?
2. У чому полягає небезпека важких металів як екотоксикантів?
3. Які групи небезпечності забруднюючих речовин за ГДК (ОДК) ви знаєте?
4. Перерахуйте важкі метали, що відносяться до 1 групи небезпечності.
5. Назвіть основні джерела надходження важких металів у довкілля.
6. При надходженні яких металів в атмосферу основний внесок вносить антропогенний фактор?
7. Охарактеризуйте найбільш небезпечні виробництва з точки зору емісії важких металів.
8. З якою метою в продовольчій сировині і продуктах харчування нормується вміст важких металів?

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: URL: <http://www.sfund.kiev.ua/down/ond86.pdf>. – Загол. з екрану.
2. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) ДСП 201-97. Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 9 липня 1997 р. № 201 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97/ed20000223>. – Загол. з екрану.
3. Методические указания к практической работе «Расчет на ПМК условий рассеивания в атмосфере выбросов промышленных предприятий» по дисциплине «Охрана труда» для студентов всех специальностей / Сост. В.А. Бойко, А.В. Бесчастный, В.И. Бескровный. – Днепропетровск: ДГИ, 1989 – 23 с.
4. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Т. 1. Від вогню та води до електрики / В. І. Бондаренко, Г. Б. Варламов, І. А. Вольчин, І. М. Карп. – К., 2006. – 300 с.
5. Назаренко С.К., Архипова Л.М. Транспорт та зберігання нафти і газу // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 1(40). – 2016. – С.72-79.
6. Франчук Г.М. Урбоекологія і техноекоекологія: підруч. / Г.М. Франчук, О.І. Запорожець, Г.Л. Архіпова. - К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту "НАУ-друк", 2011. - 496 с.
7. Неорганическая химия. Разница между диспергентом и ПАВ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://raznisa.ru/raznisa-mezhdu-dispergentom-i-pav/>. – Загол. з екрану.
8. Постанова Кабінету Міністрів України № 175 від 15 лютого 2002 р. «Про затвердження методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/175-2002-p>. – Загол. з

екрану.

9. Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод від забруднення. СанПіН 4630-88 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v4630400-88> .– Загол. з екрану.

10. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України №171 від 27.10.97 р. «Про затвердження методики визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0285-98>– Загол. з екрану.

11. Зилов Е. А. Химия окружающей среды: Учебное пособие / Е. А. Зилов. – Иркутск: Иркут. ун-т, 2006. – 148 с., ил.

12. Тяжелые металлы как фактор экологической опасности: Методические указания к самостоятельной работе по экологии для студентов 3 курса дневной формы обучения /Составитель: Ю.А.Холопов. - Самара: СамГАПС, 2003. – 16 с.

13. МБВ 5061-89. Медико-біологічні вимоги і санітарні норми якості продовольчої сировини і продуктів харчування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v5061400-89> – Загол. з екрану.

Додаток А

Гранично допустимі концентрації (ГДК) гідрохімічних показників

№	Гідрохімічний показник	ГДК для водойм	
		рибогосподарського призначення ¹ (ГДК _{РГ})	господарсько-побутового використання ² (ГДК _{ГП})
1	Завислі речовини, мг/дм ³	15	0,25-0,75 від фонових значень
2	Розчинений кисень, мгО ₂ /дм ³	> 6,0	>4,0
3	Водневий показник, од. рН	6,5 - 8,5	6,5-8,5
4	БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³	–	3,0
5	ХСК, мгО ₂ /дм ³	–	15,0
6	Сума іонів, мг/дм ³	–	1000
7	Хлоридні іони, мг/дм ³	300	350
8	Сульфатні іони, мг/дм ³	100	500
9	Іони магнію, мг/дм ³	40	50
10	Іони кальцію, мг/дм ³	180	–
11	Іони натрію, мг/дм ³	120	200
12	Азот амонійний, мг/дм ³	0,39	1,5
13	Азот нітратний, мг/дм ³	9,0	10,0
14	Азот нітритний, мг/дм ³	0,02	1,0
15	Фосфатні іони, мг/дм ³	–	3,5
16	Мідь, мг/дм ³	0,001	1,0
17	Цинк, мг/дм ³	0,01	1
18	Марганець, мг/дм ³	0,01	0,1
19	Хром загальний, мг/дм ³	0,001	0,05
20	Свинець, мг/дм ³	0,1	0,03
21	Нікель, мг/дм ³	0,01	0,1
22	Кадмій, мг/дм ³	0,005	0,001
23	Залізо загальне, мг/дм ³	0,1	0,3
24	Нафтопродукти, мг/дм ³	0,05	0,3
25	СПАР, мг/дм ³	0,2	не нормується
26	Феноли, мг/дм ³	0,001	0,001

Примітка: 1 Узагальнений перелік гранично допустимих концентрацій (ГДК) та орієнтовно безпечних рівнів (ОБРВ) шкідливих речовин для води рибогосподарських водойм.

2 Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод від забруднення СанПіН № 4630–88.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	3
ПРАКТИЧНА РОБОТА №1. РОЗРАХУНОК УМОВ РОЗСПЮВАННЯ ВИКИДІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ	4
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2. РОЗРАХУНОК ЗБИТКІВ ВІД АВАРІЙНИХ РОЗЛИВІВ НАФТИ	17
ПРАКТИЧНА РОБОТА №3. ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ВАЖКИХ МЕТАЛІВ	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	48
Додаток А. Гранично допустимі концентрації (ГДК) гідрохімічних показників.....	50

**БОРИСОВСЬКА Олена Олександрівна
ФЕДОТОВ Вячеслав Вікторович**

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ**

для студентів освітньо-професійних програм «Екологія» та «Технології захисту
навколишнього середовища»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Друкується в редакційній обробці авторів

Підписано до друку 11.03.2020 р. Формат 30 x 42/4.

Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 2,9.

Обл.-вид. арк. 2,9. Тираж 20 прим. Зам. №250

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