**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

# НОРМУВАННЯ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

## Курсова робота

***Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського***
***як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою***
***«Екологічна безпека»***
***спеціальності 101 «Екологія»***

**Київ**
**КПІ ім. Ігоря Сікорського**
**2022**

Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Курсова робота [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 101 «Екологія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Т. О. Шаблій, Л. В. Сіренко, М. Д. Гомеля. – Електронні текстові дані (1 файл: 307 кбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 57 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського*
*(протокол № 3 від 27.01.2022 р.)*
*за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету*
*(протокол № 11 від 28.12.2021 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

# НОРМУВАННЯ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ
## Курсова робота

Укладачі: *Шаблій Тетяна Олександрівна*, д-р техн. наук, проф.
*Сіренко Людмила Вікторівна*, канд. техн. наук, доц.
*Гомеля Микола Дмитрович,* д-р техн. наук, проф.

Відповідальний редактор *Радовенчик Вячеслав Михайлович*, д-р техн. наук, проф.

Рецензент *Сокольський Олександр Леонідович,* д-р техн. наук, доц., в.о. завідувача кафедри ХПСМ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

*У навчальному виданні «Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Курсова робота» розглядаються методики розрахунків гранично допустимих викидів та гранично допустимих скидів, необхідних для кваліфікованого управління природоохоронною діяльністю на рівні промислових підприємств, установ, організацій. Наведено приклади розрахунків ГДВ та ГДС.*

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

## ЗМІСТ

**ВСТУП** 5

**1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ** 6

**2. РОЗРАХУНОК ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ВИКИДАМИ З ОДИНОЧНОГО ДЖЕРЕЛА** 8

2.1. Визначення максимальної концентрації забруднень у приземному шарі з одиночного джерела 8

2.2. Визначення відстані, на якій досягається максимальна концентрація забруднення у приземному шарі 11

2.3. Визначення небезпечної швидкості вітру; максимальної приземної концентрації забруднень та відстані, на якій вона досягається, при швидкості вітру, що відрізняється від небезпечної 12

2.4. Визначення концентрації забруднень на різних відстанях від джерела по осі факелу викиду, по перпендикуляру до неї та радіусу зони впливу джерела 14

2.5. Визначення мінімальної висоти джерела викиду 17

2.6. Визначення гранично допустимих викидів (ГДВ) шкідливих речовин 19

**3. РОЗРАХУНОК ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНОГО ОБ'ЄКТУ ЗВОРОТНИМИ ВОДАМИ ДЛЯ ОКРЕМОГО ЗОСЕРЕДЖЕНОГО ВИПУСКУ** 24

3.1. Розрахунок коефіцієнту змішування зворотних вод з водою водного об'єкту та кратності розведення зворотних вод 24

3.2. Розрахунок максимально допустимої концентрації токсичних та завислих речовин в очищених зворотних водах 26

3.3. Розрахунок максимально допустимого значення $БСК_п$ у скинутих зворотних водах 31

3.4. Визначення нормативів гранично допустимого скиду (ГДС) речовин, що надходять у водний об’єкт із зворотними водами 32
3.5. Прогноз зміни якості води у контрольному створі 34
Список рекомендованої літератури 36
Додаток А 37
Додаток Б 49

# ВСТУП

Інтенсивний розвиток промисловості, урбанізація міст призвели до забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами, які мають негативний вплив на довкілля та організм людини. Одним з підходів з охорони природи та здоров’я людей від виробничої діяльності є нормування антропогенного навантаження на довкілля, розробка організаційних заходів його захисту від шкідливого впливу промисловості; забезпечення екологічної безпеки виробництв та регулювання їх впливу на навколишнє середовище.

Мета курсової роботи – практичне застосування компетентностей та програмних результатів навчання у частині розробки проєктів гранично допустимих викидів, гранично допустимих скидів, необхідних для кваліфікованого управління природоохоронною діяльністю на рівні промислових підприємств, установ, організацій.

Курсова робота складається з двох розділів, які мають у своєму складі декілька підрозділів. Перший розділ стосується розрахунку та обґрунтування проєкту нормативів гранично допустимого викиду, другий – проєкту нормативів гранично допустимого скиду.

Практичне засвоєння дисципліни досягається як цілеспрямованим підбором тематики індивідуальних занять, так і організацією процесу виконання курсової роботи.

У процесі виконання курсової роботи студент повинен навчитися:

- самостійно опрацьовувати науково-технічну літературу;
- творчо застосовувати здобуті теоретичні знання, розв'язуючи практичні задачі;
- виконувати якісну та кількісну оцінку отриманих результатів.

# 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Об’єктом курсової роботи є умовно взятий промисловий комплекс або його частина, який здійснює негативний антропогенний впив на довкілля.

Курсову роботу виконують за індивідуальним завданням і оформлюють у вигляді пояснювальної записки.

Обсяг пояснювальної записки складає 20–40 аркушів друкованого тексту з параметрами друку: шрифт Times New Roman, інтервал 1,5, кегель 14. Курсова робота виконується державною мовою.

Пояснювальна записка має містити:

- титульний лист;
- анотацію українською та іноземною мовами;
- зміст;
- вступ;
- детальний опис процесу розв’язання;
- результати розрахунків та їх аналіз (числове, графічне, табличне значення результатів розрахунків);
- висновки по кожному підрозділу роботи, по роботі в цілому в частині рекомендацій щодо подальших заходів по захисту довкілля;
- перелік посилань;
- додатки.

У вступі розглядаються проблеми антропогенного впливу на довкілля в Україні, обґрунтовується доцільність обраного напряму для виконання роботи.

Основна частина складається з розрахунків відповідних параметрів впливу певного антропогенного комплексу на навколишннє середовище. У першій частині роботи проводиться розрахунок гранично допустимих викидів, якому передує визначення таких параметрів, як: максимальна концентрація забруднень у приземному шарі з одиночного джерела; відстань, на якій досягається максимальна концентрація забруднення у приземному шарі; небезпечна

швидкість вітру; максимальна приземна концентрація забруднень та відстань, на якій вона досягається, при швидкості вітру, що відрізняється від небезпечної; концентрація забруднень на різних відстанях від джерела по осі факелу викида, по перпендикуляру до неї та радіус зони впливу джерела; мінімальна висота джерела викиду.

Друга частина роботи стосуєтся розрахунку гранично допустимих скидів, який базується на попередньому визначенні коефіцієнту змішування зворотних вод з водою водного об’єкту та кратності розведення зворотних вод; визначенні максимально допустимої концентрації токсичних та завислих речовин в очищених зворотних водах; визначенні максимально допустимого значення БСК у скинутих зворотних водах.

Обов’язковою частиню курсової роботи є аналіз результатів розрахунків, а також представлення змістовних висновків по кожному підрозділу роботи та по роботі в цілому в частині рекомендацій щодо подальших заходів по захисту довкілля.

# 2. РОЗРАХУНОК ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ВИКИДАМИ З ОДИНОЧНОГО ДЖЕРЕЛА

## 2.1. Визначення максимальної концентрації забруднень у приземному шарі з одиночного джерела

### Стислі теоретичні відомості

Максимальне значення приземної концентрації забруднень $C_m$ (мг/м$^3$) при гарячих викидах газоповітряної суміші ($\Delta T>0$) із одиночного джерела з круглим устям при несприятливих метеорологічних умовах досягається на певній відстані $X_m$ (м) від джерела та визначається за формулою:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \qquad (1)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери,

M – маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу за одиницю часу (потужність викиду), г/с,

F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує осідання шкідливих речовин у повітрі,

m і n – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші із джерела викиду,

H – висота джерела викиду над рівнем землі, м,

$\eta$ – безрозмірний коефіцієнт, що враховує рельєф місцевості, для рівної місцевості з перепадом висот менше або рівним 50 м на 1 км $\eta=1$,

$\Delta T$ – різниця між температурою газової суміші, що викидається $T_c$ та температурою навколишнього повітря $T_п$, $^0$C,

$V_1$ – витрата газоповітряної суміші, що визначається за формулою:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot w_0 , \qquad (2)$$

де D – діаметр устя джерела викиду, м,

$w_0$ – середня швидкість виходу газоповітряної суміші з устя джерела викиду.

Значення коефіцієнту А, що відповідає несприятливим метеорологічним умовам, при яких концентрація забруднення у повітрі максимальна, приймається рівним 200 для районів, південніших 50° пн.ш., 180 для районів між 50° пн.ш. та 52° пн.ш., 160 для районів, що знаходяться північніше 52° пн.ш.

При визначенні ΔT (°C) необхідно приймати температуру довкілля $T_п$ (°C), рівною середній максимальній температурі навколишнього повітря найжаркішого місяцю року, а температуру суміші, що викидається $T_c$, слід приймати за нормативними даними виробництва.

Значення безрозмірного коефіцієнту F приймають рівним 1 для газових викидів та дрібнодисперсних аерозолів, швидкість осідання яких дорівнює нулю. Для інших аерозолів F=2 при ефективності очистки викидів 90 %, F=2.5 при ефективності очистки 75–90 %, F=3 при відсутності очистки.

Значення коефіцієнту m та n визначається в залежності від параметрів f, $V_m$, $V_m'$ та $f_e$:

$$f = 1000 \cdot \frac{\omega_0{}^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} \qquad (3)$$

$$V_m = 0.65\sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} \qquad (4)$$

$$V_m{}' = 1.3 \cdot \frac{w_0 \cdot D}{H} \qquad (5)$$

$$f_e = 800 \cdot (V_m')^3 \qquad (6)$$

Коефіцієнт m визначається в залежності від f за формулою:

$$m = \frac{1}{0.67 + 0.1\sqrt{f} + 0.34\sqrt[3]{f}} \qquad \text{при } f<100 \qquad (7)$$

$$m = \frac{1.47}{\sqrt[3]{f}} \qquad \text{при } f\geq 100 \qquad (8)$$

Для $f_0<f<100$ значення коефіцієнту m розраховується як $f_e$ ($f=f_e$).

Коефіцієнт n при f<100 визначається в залежності від $V_m$ за формулами:

$$n=1 \qquad \text{при } V_m\geq 2 \qquad (9)$$

$$n=0.532\cdot V_m^2-2.13\cdot V_m+3.13 \qquad \text{при } 0.5\leq V_m<2 \qquad (10)$$

$$n=4.4\cdot V_m \qquad \text{при } V_m<0.5 \qquad (11)$$

У тих випадках, коли викиди холодні, тобто $\Delta T\leq 0$ (для розрахунку приймається $\Delta T\approx 0$) або при $f\geq 100$ та $V_m'\geq 0.5$ для визначення максимальної приземної концентрації при несприятливих метеорологічних умовах використовують формулу:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot \eta \cdot K}{H^{4/3}} \qquad (12)$$

$$\text{де } K = \frac{D}{8 \cdot V_1} = \frac{1}{7.1 \cdot \sqrt{w_0 \cdot V_1}} \qquad (13)$$

Коефіцієнт n розраховується за формулами:

$n=1$ при $V_m' \geq 2$ (14)

$n=0.532 \cdot (V_m')^2 - 2.13 \cdot V_m' + 3.13$ при $0.5 \leq V_m' < 2$ (15)

$n=4.4 \cdot V_m'$ при $V_m' < 0.5$ (16)

Рекомендації щодо виконання курсової роботи: індивідуальні завдання для розрахунків по даному підрозділу розміщені в табл. 2.3, 2.4.

## 2.2. Визначення відстані, на якій досягається максимальна концентрація забруднення у приземному шарі

### Стислі теоретичні відомості

Відстань $X_m$ (м) від джерела викиду, на якій приземна концентрація забруднення C (мг/м$^3$) при несприятливих метеорологічних умовах досягає максимального значення $C_m$ визначається за формулою:

$$X_m = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H \quad (17)$$

Безрозмірний коефіцієнт d при f<100 знаходиться за формулами:

$d = 2.48 \cdot (1 + 0.28\sqrt[3]{f_e})$ при $V_m \leq 0.5$ (18)

$d = 4.95 \cdot Vm \cdot (1 + 0.28 \cdot \sqrt[3]{f})$ при $0.5 < Vm \leq 2$ (19)

$d = 7 \cdot \sqrt{Vm} \cdot (1 + 0.28 \cdot \sqrt[3]{f})$ при $V_m > 2$ (20)

При f>100 або при ΔT≈0 значення d знаходять за формулами:

$d = 5.7$ при $V_m' \leq 0.5$ (21)

$d = 11.4 \cdot V_m'$ при $0.5 < V_m' \leq 2$ (22)

$d = 16 \cdot \sqrt{V_m}'$ при $V_m' > 2$ (23)

Рекомендації щодо виконання курсової роботи: індивідуальні завдання для розрахунків по даному підрозділу розміщені у табл. 2.3, 2.4.

## 2.3. Визначення небезпечної швидкості вітру; максимальної приземної концентрації забруднень та відстані, на якій вона досягається, при швидкості вітру, що відрізняється від небезпечної

### Стислі теоретичні відомості

Значення максимальної швидкості вітру $U_m$ (м/с) на рівні флюгера (≈10 м над рівнем землі), при якій досягається максимальна концентрація забруднення в приземній зоні ($C_m$) на відстані $X_m$, у випадку f<100 визначається за формулами:

$U_m = 0.5$ при $0.5 \geq V_m$ (24)

$U_m = V_m$ при $2 \geq V_m > 0.5$ (25)

$U_m = V_m \cdot (1 + 0.12\sqrt{f})$ при $V_m > 2$ (26)

При $f \geq 100$ або $\Delta T \approx 0$ значення $U_m$ визначають за формулами (27-29):

$U_m = 0.5$ при $0.5 \geq V_m'$ (27)

$U_m = V'$ при $2 \geq V_m' > 0.5$ (28)

$U_m = 2.2 \cdot V_m'$ при $V_m' > 2$ (29)

Максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини $C_{mu}$ (мг/м$^3$) при несприятливих метеорологічних умовах та швидкості вітру U (м/с), що відрізняється від небезпечної швидкості вітру $U_m$, при якій досягається концентрація $C_m$, визначається за формулою:

$C_{mu} = r \cdot C_m$ , (30)

де r – безрозмірна величина, що визначається в залежності від відношення $U/U_m$ за формулами:

$r = 0.67 \cdot (U/U_m) + 1.67 \cdot (U/U_m)^2 - 1.34 \cdot (U/U_m)^3$ при $1 \geq U/U_m$ (31)

$$r = \frac{3 \cdot (U/U_m)}{2 \cdot (U/U_m)^2 - (U/U_m) + 2}$$ при $1 < U/U_m$ (32)

Відстань від джерела викиду $X_{mu}$ (м), на якій при швидкості вітру U та несприятливих метеорологічних умовах приземна концентрація шкідливих речовин досягає максимального значення $C_{mu}$ (мг/м$^3$), визначається за формулою:

$X_{mu} = p \cdot X_m$ , (33)

де p – безрозмірний коефіцієнт, що визначається в залежності від відношення $U/U_m$ за формулами (34-36):

$p=3$ при $0.25 \geq U/U_m$ (34)

$p=8.43\cdot(1- U/U_m)^5+1$ при $1 \geq U/U_m > 0.25$ (35)

$p=0.32\cdot U/U_m+0.68$ при $1 < U/U_m$ (36)

Рекомендації щодо виконання курсової роботи: індивідуальні завдання для розрахунків по даному підрозділу розміщені у таблицях 2.3, 2.4.

## 2.4. Визначення концентрації забруднень на різних відстанях від джерела по осі факелу викида, по перпендикуляру до неї та радіусу зони впливу джерела

### Стислі теоретичні відомості

При несприятливих метеорологічних умовах приземна концентрація шкідливих речовин по осі факелу викиду на різних відстанях X(м) від джерела викиду визначається за формулою:

$C=S_1\cdot C_m$ , (37)

де $S_1$ – безрозмірний коефіцієнт, що розраховується в залежності від співвідношення $X/X_m$ та коефіцієнту F за формулами:

$S_1 = 3\cdot(X/X_m)^4 - 8\cdot(X/X_m)^3 + 6(X/X_m)^2$ при $X/X_m \leq 1$ (38)

$$S_1 = \frac{1.13}{0.13 \cdot (X / X_m)^2 + 1}$$ при $1 < X/X_m \leq 8$ (39)

$$s_1 = \frac{X/Xm}{3.58 \cdot (X/Xm)^2 - 35.2 \cdot (X/Xm) + 120}$$ при $1.5 \geq F$ та $X/X_m > 8$ (40)

$$S_1 = \frac{1}{0.1 \cdot (X / X_m)^2 + 2.47(X / X_m) - 17.8}$$ при $1.5 < F$ та $X/X_m > 8$ (41)

Для низьких та наземних джерел (висотою до 10 м) при значеннях $X/X_m<1$ величина $S_1$ у формулі (37) замінюється на величину $S_1^H$, що визначається в залежності від $X/X_m$ та H за формулою:

$$S_1^H = 0.125 \cdot (10-H) + 0.125 \cdot (H-2) \cdot S_1$$ при $10 > H \geq 2$ (42)

Отримані результати зводять у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1. Залежність концентрації забруднення від відстані джерела викиду (від співвідношення $X/X_m$).

| $X/X_m$ | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.1 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 50 | 100 | 200 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_m$ мг/м$^3$ | | | | | | | | | | | | |

Після цього для 4$^x$ значень C, включаючи і $C_m$, визначають $C_y$ на відстані 0.01, 0.1, 0.5, 1, 2 км від осі факелу 0-X. При цьому для варіантів 1-5 вибирають швидкість вітру U=3 м/с, для варіантів 5-10 вибирають U=5 м/с, для варіантів 11-15 вибирають U=8 м/с, для варіантів 16-20 вибирають U=6 м/с, для варіантів 21-25 вибирають U=4 м/с.

Значення приземної концентрації шкідливих речовин в атмосфері на певній відстані по перпендикуляру від осі факелу викиду $C_y$ (мг/м$^3$) визначають за формулою:

$$C_y = S_2 \cdot C, \tag{43}$$

де $S_2$ – безрозмірний коефіцієнт, що визначається в залежності від швидкості вітру U (м/с) та відношення y/x по значенню аргументу $t_y$:

$$t_y = \frac{U \cdot y^2}{X^2} \qquad \text{при } 5 \geq U \tag{44}$$

$$t_y = \frac{5 \cdot y^2}{X^2} \qquad \text{при } 5 < U \tag{45}$$

за формулою:

$$S_2 = \frac{1}{(1 + 5 \cdot t_y + 12.8 \cdot t_y^{\,2} + 17 \cdot t_y^{\,3} + 45.1 \cdot t_y^{\,4})^2} \tag{46}$$

Отримані результати зводять у таблицю 2.2.

Радіус зони впливу джерела R розраховується як найбільша з двох відстаней ($X_1$, $X_2$) від джерела, де $X_1 = 10 \cdot X_m$, $X_2$ – це відстань по осі факелу викиду, починаючи з якої $C \leq 0.05 \cdot$ ГДК. Якщо $C_m \leq 0.05 \cdot$ ГДК, тоді $X_2 = 0$.

Рекомендації щодо виконання курсової роботи: індивідуальні завдання для розрахунків по даному підрозділу розміщені у таблицях 2.3, 2.4.

Таблиця 2.2. Зміна концентрації забруднень на відстані **у** від осі факелу викиду 0-Х.

| № п/п | Відстань по осі 0-Х ($X/X_m$), м | Концентрація по осі 0-Х, С, мг/м$^3$ | Приземні концентрації шкідливих речовин в атмосфері на певній відстані по перпендикуляру від осі факелу викиду, $C_y$, (мг/м$^3$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Відстань **у** по перпендикуляру до осі 0-Х, км | | | | |
| | | | 0.01 | 0.1 | 0.5 | 1 | 2 |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |

## 2.5. Визначення мінімальної висоти джерела викиду

### Стислі теоретичні відомості

Мінімальна висота одиночного джерела викиду (труби) Н (м) визначається, якщо визначено значення потужності викиду М (г/с), швидкості руху газів $w_0$, (м/с), витрати суміші газів $V_1$ (м$^3$/с), діаметру устя джерела викиду D (м), за формулою:

$$H = \left[ \frac{A \cdot M \cdot F \cdot D \cdot \eta}{8 \cdot V_1 \cdot \left( ГДК - C_Ф \right)_1} \right]^{3/4} , \qquad (47)$$

де $C_Ф$ – фонова концентрація забруднення, мг/м$^3$,

ГДК – гранично допустима концентрація забруднення у приземному шарі, мг/м$^3$.

При холодних викидах ($\Delta T \approx 0$), якщо розрахованому за формулою (47) значенню H відповідає умова $V_m' \geq 2$, де $V_m'$ розраховано за формулою (5), то визначене H є остаточним. Якщо $V_m' < 2$, то необхідно, при знайденому значенні $H=H_1$ визначити $n=n_1$ (формули 15, 16) та послідовними наближеннями знайти $H=H_2$ по $H_1$ та $n_1$, ....., $H=H_{i+1}$ по $H_i$ та $n_i$ за допомогою формули:

$$H_{i+1} = H_i \cdot \left( \frac{n_i}{n_{i-1}} \right)^{3/4} \quad , \tag{48}$$

де $n_i$ та $n_{i-1}$ – значення безрозмірного коефіцієнту n, визначеного відповідно по значеннях $H_i$ та $H_{i-1}$. При i=1, приймається – $n_{i-1}=1$.Уточнення H проводять доки два послідовно знайдених значення $H_i$ та $H_{i+1}$ будуть відрізнятись між собою не більше як на 1 м.

При гарячих викидах ($\Delta T > 0$), якщо знайдене за формулою (47) значення H задовольняє нерівність:

$$H \leq w_0 \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot D}{\Delta T}} \quad , \tag{49}$$

то воно є кінцевим. Якщо нерівність (49) не виконується, то попереднє значення висоти труби визначається за формулою:

$$H = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot \eta}{(ГДК - C_Ф) \cdot \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}} \text{, м} \tag{50}$$

По знайденому таким чином значенню $H=H_1$ визначають значення f, $V_m$, $V_m'$, $f_e$ (формули 3-6) та коефіцієнти $m=m_1$ та $n=n_1$ . Якщо $m_1 \cdot n_1 \neq 1$, то по $m_1$ та $n_1$ визначається друге наближення $H=H_2$ за формулою:

$$H_{2=}\sqrt{m_1 n_1} H_1 \qquad (51)$$

У загальному випадку (i+1) наближення $H_{i+1}$ визначається за формулою:

$$H_{i+1} = H_i \cdot \sqrt{\frac{m_i \cdot n_i}{m_{i-1} \cdot n_{i-1}}} \quad , \qquad (52)$$

де $m_i$, $n_i$ – відповідають $H_i$, а $m_{i-1}$, $n_{i-1}$ – $H_{i-1}$.

Розрахунок ведуть доки 1м≥$H_i$-$H_{i-1}$.

Рекомендації щодо виконання курсової роботи: індивідуальні завдання для розрахунків по даному підрозділу розміщені у таблицях 2.3, 2.4.

## 2.6. Визначення гранично допустимих викидів (ГДВ) шкідливих речовин

### Стислі теоретичні відомості

ГДВ визначаються для кожної речовини окремо, у тому числі і у випадках врахування спільного шкідливого впливу кількох речовин.

При визначенні ГДВ (г/с) враховуються фонові концентрації $C_Ф'$, які дорівнюють значенню $C_Ф$ за винятком внеску у фон даного джерела, якщо воно підлягає реконструкції, і визначаються за формулами:

$$C'_Ф = C_Ф \cdot \left(1 - 0.4 \cdot \frac{C}{C_Ф}\right) \qquad \text{при } C \le 2 \cdot C_Ф \qquad (53)$$

$$C_Ф' = 0.2 C_Ф \qquad \text{при } C > 2 \cdot C_Ф, \qquad (54)$$

де С – максимальна концентрація речовини від даного підприємства для точки розміщення пункту спостереження за фоновими концентраціями.

Для тих джерел, що проектуються $C_Ф' = C_Ф$.

Значення ГДВ (г/с) для одиночного джерела викиду з круглим гирлом у випадку джерела, що проєктується, при $C_Ф$<ГДК визначається за формулами (55, 56). Для джерела, що підлягає реконструкції, при $C_Ф'$<ГДК, у формулах (55, 56) замість $C_Ф$ застосовується $C_Ф'$.

При гарячих викидах (ΔT>0) ГДВ визначається за формулою:

$$ГДВ = \frac{(ГДК - C_Ф) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \qquad (55)$$

При холодних викидах (ΔT≈0) або при f≥100 ГДВ визначається за формулою:

$$ГДВ = \frac{(ГДК - C_ф) \cdot H^{\frac{4}{3}} \cdot 8 \cdot V_1}{A \cdot F \cdot n \cdot \eta \cdot D} \qquad (56)$$

Якщо фон у зоні впливу джерела деталізовано по двох градаціях швидкості вітру ($C_{Ф1}$ та $C_{Ф2}$) відповідно швидкостям вітру $U_m$ та $U_i$, то для одиночного джерела викиду спочатку визначають допоміжні значення $M_i$ у кожній із градацій швидкості вітру за наступними формулами:

$$M_i = \frac{(ГДК - C_{Фi}) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1} \Delta T}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta \cdot r_i} \qquad \text{при } f \le 100 \qquad (57)$$

$$M_i = \frac{(ГДК - C_ф) \cdot H^{\frac{4}{3}} \cdot 8 \cdot V_1}{A \cdot F \cdot n \cdot \eta \cdot r_i \, D} \qquad \text{при } f>100 \text{ або } \Delta T \approx 0, \qquad (58)$$

де i=1 або 2. При $U=U_m$, $r_i=1$.

Якщо $C_{Ф1}>C_{Ф2}$, то ГДВ=$M_1$. Якщо $C_{Ф1}<C_{Ф2}$, то розраховують $M_2$.

За реальне значення ГДВ приймають менше значення з $M_1$ та $M_2$.

Рекомендації щодо виконання курсової роботи: індивідуальні завдання для розрахунків по даному підрозділу розміщені у таблиці 2.3, 2.4.

Таблиця 2.3. Вихідні дані для розрахунку забруднення атмосфери викидами з одиночного джерела

| № п/п | D, м | M, г/с | $V_1$, $м^3/с$ | $w_0$, м/с | H, м | U, м/с | Тв °С | Тс °С |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.1 | 1 | 1 | - | 2 | 3 | 10 | 24 |
| 2 | 0.6 | 1 | - | 15 | 20 | 3 | 20 | 24 |
| 3 | 0.7 | 1 | - | 7 | 50 | 1 | 100 | 22 |
| 4 | 0.8 | 1 | 2 | - | 15 | 4 | 100 | 19 |
| 5 | 1.0 | 2 | 1 | - | 20 | 2 | 80 | 20 |
| 6 | 0.5 | 2 | - | 5 | 30 | 0.5 | 125 | 18 |
| 7 | 0.6 | 2 | 1 | - | 2 | 1 | 125 | 21 |
| 8 | 0.7 | 2 | 2 | - | 20 | 4 | 20 | 25 |
| 9 | 0.8 | 3 | 3 | - | 2 | 2 | 12 | 24 |
| 10 | 0.9 | 3 | - | 10 | 15 | 3 | 12 | 24 |
| 11 | 1.0 | 3 | - | 20 | 20 | 5 | 130 | 22 |
| 12 | 1.2 | 3 | 2 | - | 20 | 2 | 160 | 22 |
| 13 | 1.4 | 4 | - | 5 | 35 | 0.5 | 125 | 25 |
| 14 | 1.8 | 4 | - | 7 | 20 | 3 | 300 | 21 |
| 15 | 2.0 | 4 | - | 40 | 20 | 2 | 230 | 21 |
| 16 | 2.0 | 4 | - | 10 | 5 | 6 | 10 | 20 |
| 17 | 2.5 | 2 | 4 | - | 50 | 1 | 125 | 20 |
| 18 | 3.0 | 2 | 2 | - | 15 | 5 | 10 | 23 |
| 19 | 3.5 | 2 | - | 8 | 75 | 3 | 18 | 23 |
| 20 | 4.0 | 2 | - | 8 | 75 | 5 | 15 | 20 |
| 21 | 2.5 | 4 | - | 20 | 20 | 1 | 130 | 20 |

| № п/п | D, м | M, г/с | $V_1$, $м^3/с$ | $w_0$, м/с | H, м | U, м/с | Тв $^0C$ | Тс $^0C$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | 3.0 | 4 | 2 | - | 2 | 2 | 160 | 25 |
| 23 | 3.5 | 4 | - | 40 | 50 | 1 | 230 | 25 |
| 24 | 4.2 | 4 | 3 | - | 30 | 6 | 160 | 23 |
| 25 | 4.8 | 4 | 1 | - | 50 | 1 | 300 | 22 |
| 26 | 0.1 | 0.006 | 1 | - | 2 | 0.5 | 300 | 24 |

Таблиця 2.4. Вихідні дані для розрахунку забруднення атмосфери викидами з одиночного джерела

| № п/п | Речовина, що викидається | ГДК, $мг/м^3$ | A | F | $C_{Ф1}$, $мг/м^3$ | $C_{Ф2}$, $мг/м^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $H_2SO_4$ | 0.3 | 160 | 1 | 0.10 ГДК | 0.15 ГДК |
| 2 | CO | 5.0 | 160 | 1 | 0.21 ГДК | 0.20 ГДК |
| 3 | $SO_2$ | 0.5 | 180 | 1 | 0.21 ГДК | 0.00 ГДК |
| 4 | $SO_2$ | 0.5 | 160 | 1 | 0.16 ГДК | 0.15 ГДК |
| 5 | CO | 5.0 | 160 | 1 | 0.17 ГДК | 0.20 ГДК |
| 6 | зола | 0.5 | 160 | 3 | 0.34 ГДК | 0.37 ГДК |
| 7 | HCl | 0.2 | 160 | 1 | 0.45 ГДК | 0.50 ГДК |
| 8 | CO | 5.0 | 180 | 1 | 0.56 ГДК | 0.60 ГДК |
| 9 | $NO_x$ | 0.085 | 160 | 1 | 0.12 ГДК | 0.15 ГДК |
| 10 | $NO_x$ | 0.085 | 160 | 1 | 0.11 ГДК | 0.00 ГДК |
| 11 | зола | 0.5 | 160 | 3 | 0.02 ГДК | 0.05 ГДК |
| 12 | $H_2SO_4$ | 0.3 | 180 | 1 | 0.03 ГДК | 0.10 ГДК |
| 13 | $H_2SO_4$ | 0.3 | 160 | 1 | 0.14 ГДК | 0.20 ГДК |
| 14 | CO | 5.0 | 160 | 1 | 0.15 ГДК | 0.30 ГДК |
| 15 | HCl | 0.2 | 180 | 1 | 0.23 ГДК | 0.30 ГДК |
| 16 | $NO_x$ | 0.085 | 160 | 1 | 0.24 ГДК | 0.00 ГДК |
| 17 | зола | 0.5 | 160 | 3 | 0.17 ГДК | 0.20 ГДК |
| 18 | CO | 5.0 | 160 | 1 | 0.19 ГДК | 0.20 ГДК |
| 19 | $SO_2$ | 0.5 | 160 | 1 | 0.18 ГДК | 0.00 ГДК |
| 20 | $NO_x$ | 0.085 | 180 | 1 | 0.16 ГДК | 0.20 ГДК |
| 21 | $SO_2$ | 0.5 | 160 | 1 | 0.23 ГДК | 0.30 ГДК |
| 22 | HCl | 0.2 | 160 | 1 | 0.24 ГДК | 0.00 ГДК |
| 23 | $H_2SO_4$ | 0.3 | 160 | 1 | 0.36 ГДК | 0.30 ГДК |
| 24 | зола | 0.5 | 180 | 3 | 0.41 ГДК | 0.50 ГДК |
| 25 | HCl | 0.2 | 160 | 1 | 0.42 ГДК | 0.50 ГДК |
| 26 | $NO_x$ | 0.085 | 160 | 1 | 0.70 ГДК | 0.0 ГДК |

# 3. РОЗРАХУНОК ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНОГО ОБ'ЄКТУ ЗВОРОТНИМИ ВОДАМИ ДЛЯ ОКРЕМОГО ЗОСЕРЕДЖЕНОГО ВИПУСКУ

## 3.1. Розрахунок коефіцієнту змішування зворотних вод з водою водного об'єкту та кратності розведення зворотних вод

### Стислі теоретичні відомості

При скиді зворотних вод у водний об'єкт не відбувається їх повне змішування. Фактично у цьому процесі приймає участь тільки частина води водного об'єкту. Ступінь змішування залежить від співвідношення витрат річкової та стічної води, від швидкості течії водного об'єкту, його глибини, звивистості, типу скиду стоків та відстані від місця скиду до розрахункового створу, і визначається за формулою В.А. Фролова та І.Д. Родзіллера:

$$a = \frac{1 - e^{-\alpha \cdot \sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{q} \cdot e^{-\alpha \cdot \sqrt[3]{L}}} \quad , \qquad (1)$$

де α – коефіцієнт змішування, що показує яка частина природної води приймає участь у розведенні скинутої кількості зворотної води на відрізку довжиною L;

L – відстань по фарватеру від місця скиду зворотних вод до розрахункового створу, м;

Q – розрахункова середньогодинна витрата води водного об'єкту найбільш мілководного місяця з 95 % забезпеченістю стоку, $м^3$/год;

q – середньогодинна витрата стічної води, що визначається вимірами або за розрахунком, $м^3$/год;

e – основа натурального логарифму;

α – коефіцієнт, який враховує вплив гідравлічних факторів змішування стічних вод з природними, розраховується за формулою:

$$\alpha = \varphi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{q}} \qquad (2)$$

де φ – коефіцієнт звивистості водного об’єкту (співвідношення довжини між двома пунктами по фарватеру до довжини по прямій);

ξ – коефіцієнт, який залежить від місця скиду стічних вод (ξ=1 для берегового скиду, ξ =1.5 для скиду у фарватер);

q – витрата стічної води, $м^3/с$;

E – коефіцієнт турбулентної дифузії

Для рівнинних річок коефіцієнт турбулентної дифузії визначається за формулою:

$$E = \frac{V_{CP} \cdot H_{CP}}{200} \qquad (3)$$

де $V_{ср}$ – середня швидкість води водного об’єкту, м/с;

$H_{ср}$ – середня глибина водойми, м.

При розрахунках необхідно визначити кратність розведення стічних вод водою водного об’єкту, яка показує у скільки разів стічні води розводяться водою водного об’єкту за час їх руху до розрахункового створу.

Кратність розведення n визначається за формулою:

$$n = \frac{a \cdot Q + q}{q} \qquad (4)$$

Рекомендації щодо виконання підрозділу курсової роботи: індивідуальні завдання для розрахунків розміщені у таблиці 3.1.

## 3.2. Розрахунок максимально допустимої концентрації токсичних та завислих речовин в очищених зворотних водах

### Стислі теоретичні відомості

Оскільки головним критерієм при визначенні ГДС є забезпечення величини ГДК розрахункового інградієнту у заданому контрольному створі водного об'єкту, то вихідними даними є величини максимально допустимих концентрацій домішок у зворотних водах.

Основна розрахункова формула для визначення максимально допустимої концентрації токсичних домішок $C_{СТ}$, мг/дм$^3$, г/м$^3$, має вигляд:

$$C_{ст}=n(ГДК - C_{ф}) + C_{ф} = (n-1)(ГДК - C_{ф}) + ГДК, \qquad (5)$$

де ГДК – гранично допустима концентрація домішки у воді, мг/дм$^3$, г/м$^3$;

$C_{Ф}$ – фонова концентрація домішки вище скиду зворотньої води, мг/дм$^3$, г/м$^3$;

n – кратність розведення зворотних вод у водоймі.

По цій формулі, за умови $C_{Ф} \leq ГДК$, розраховують концетрацію, при якій максимально допустимій концентрації домішок зворотні води з витратою q можуть бути скинуті у даний водний об'єкт при витраті природної води Q, коефіцієнті змішування α, без порушення умов водокористування. Скид зворотних вод з концентрацією домішок, що не перевищує $C_{СТ}$ теоретично

гарантує, що якість води у контрольному створі буде відповідати нормативним вимогам.

Фактор розведення не приймається до уваги і розрахунок $C_{СТ}$ за формулою (5) не проводиться при нормуванні тих домішок, фонові концентрації яких перевищують встановлені для них ГДК. У таких випадках за $C_{СТ}$ приймається фонова концентрація домішок.

Для речовин, по яких нормуються прирощення до природного фону (завислі речовини, алюміній, мідь та ін.), ГДС мають бути встановлені з урахуванням цих допустимих прирощень до природного фону.

Гранично допустима кількість завислих речовин в очищених зворотних водах визначається за формулою:

$$C_{ст} = C_{доп}\, n + C_{Ф}\,, \qquad (6)$$

де $C_{доп}$ – допустиме за санітарними правилами збільшення концентрації завислих речовин у водоймі після скиду зворотних вод, мг/дм$^3$, г/м$^3$.

При наявності у зворотних і природній водах кількох (N) забруднюючих речовин однонаправленої токсичної дії необхідно зробити перевірку за формулою, яка відображає закономірність сумації ефекту дії:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \frac{C_N}{ГДК_N} \le 1 \qquad (7)$$

Якщо нерівність не дотримується, необхідно передбачити заходи по очищенню зворотних вод, що скидаються у водойму, по будь-якій зі шкідливих речовин у залежності від наявності ефективного методу, але з таким розрахунком, щоб сума частин гранично допустимих концентрацій не перевищувала одиницю.

Ступінь очищення води на очисних спорудах визначається за формулою:

$$Z = \frac{C_0 - C_{CT}^{розр}}{C_0} \cdot 100\%, \qquad (8)$$

де $C_0$ – початкова концентрація забруднення у воді, що підлягає очищенню, перед очисними спорудами.

Рекомендації щодо виконання підрозділу курсової роботи: індивідуальні завдання для розрахунків розміщені у таблицях 3.1, 3.2. Отримані результати зводять у колонку 5 таблиці 3.2.

Таблиця 3.1. Вихідні дані для визначення коефіцієнту змішування, кратності розведення, констант реаерації та константи швидкості споживання кисню стічною водою.

| № п/п | Витрата води водного об'єкту, Q, $м^3/с$ | Витрата стічної води, q, $м^3/с$ | Середня швидкість течії водного об'єкту, $V_{ср}$, м/с | Середня глибина водного об'єкту, $H_{ср}$, м | Середня температура води водного об'єкту влітку, T, $^0C$ | Коефіцієнт звивистості, φ | Коефіцієнт, що враховує місце скиду, ξ | Відстань від місця скиду до контрольного створу, L, км |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 30 | 0.6 | 0.64 | 1.2 | 15 | 1.0 | 1.0 | 35.0 |
| 2 | 20 | 0.5 | 0.64 | 1.2 | 15 | 1.0 | 1.5 | 0.5 |
| 3 | 30 | 0.6 | 0.6 | 1.0 | 15 | 1.2 | 1.0 | 35.0 |
| 4 | 20 | 0.5 | 0.6 | 1.0 | 15 | 1.2 | 1.5 | 0.5 |
| 5 | 0.8 | 0.18 | 0.2 | 0.3 | 12 | 1.0 | 1.0 | 10.0 |
| 6 | 0.6 | 0.14 | 0.25 | 0.38 | 12 | 1.0 | 1.5 | 10.0 |
| 7 | 0.8 | 0.18 | 0.2 | 0.3 | 12 | 1.2 | 1.0 | 0.5 |
| 8 | 0.6 | 0.14 | 0.25 | 0.38 | 12 | 1.2 | 1.5 | 0.5 |
| 9 | 1.2 | 0.2 | 0.53 | 0.9 | 9 | 1.0 | 1.0 | 20.0 |
| 10 | 1.4 | 0.3 | 0.4 | 1.2 | 9 | 1.0 | 1.0 | 0.5 |
| 11 | 1.2 | 0.2 | 0.53 | 0.9 | 9 | 1.2 | 1.5 | 20.0 |
| 12 | 1.4 | 0.3 | 0.4 | 1.2 | 9 | 1.2 | 1.5 | 0.5 |
| 13 | 1.7 | 0.05 | 0.5 | 1.4 | 10 | 1.0 | 1.5 | 5.0 |
| 14 | 1.7 | 0.025 | 0.6 | 1.0 | 10 | 1.0 | 1.5 | 0.5 |
| 15 | 1.7 | 0.05 | 0.5 | 1.4 | 10 | 1.2 | 1.0 | 5.0 |
| 16 | 1.7 | 0.025 | 0.6 | 1.0 | 10 | 1.2 | 1.0 | 0.5 |
| 17 | 1.5 | 0.08 | 0.45 | 2.0 | 18 | 1.0 | 1.5 | 2.0 |
| 18 | 1.6 | 0.07 | 0.4 | 1.5 | 18 | 1.0 | 1.5 | 0.5 |
| 19 | 1.5 | 0.08 | 0.45 | 2.0 | 18 | 1.2 | 1.0 | 2.0 |
| 20 | 1.6 | 0.07 | 0.4 | 1.5 | 18 | 1.2 | 1.0 | 0.5 |
| 21 | 10 | 0.4 | 0.2 | 0.3 | 13 | 1.0 | 1.5 | 1.0 |
| 22 | 10 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 13 | 1.0 | 1.5 | 1.0 |
| 23 | 12 | 0.6 | 0.2 | 0.3 | 13 | 1.2 | 1.0 | 0.5 |
| 24 | 12 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 13 | 1.2 | 1.0 | 0.5 |
| 25 | 12 | 0.5 | 0.2 | 0.5 | 13 | 1.0 | 1.5 | 8.0 |
| 26 | 0.8 | 0.1795 | 0.2 | 0.3 | 14 | 1.2 | 1.5 | 0.5 |

Таблиця 3.2. Вихідні дані для визначення допустимих концентрацій домішок у стічних водах $C_{СТ}$, необхідного ступеню очищення Z, величини ГДС та прогнозних значень концентрації домішок у контрольному створі $C_{СТ}^{п}$

| Показники складу зворотних вод | ГДК, мг/дм$^3$ | Фонова концентрація, $C_{Ф}$, мг/дм$^3$ | Концентрація домішки за технологічною схемою, $C_{технол}$, мг/дм$^3$ | Максим. допустима концентрація домішок, $C_{СТ}$, мг/дм$^3$ | Концентрація домішки для визначення ГДС, $C^{ГДС}$, мг/дм$^3$ | ГДС, г/год | Концентрація домішок у контрольному створі, $C_{СТ}^{пр}$, мг/дм$^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Завислі речовини | 0.25 | 12.6 | 9.0 | | | | |
| БСК | 3.0 | 10.6 | 4.8 | | | | |
| Хлориди | 300.0 | 23 | 300 | | | | |
| Сульфати | 100.0 | 38 | 200 | | | | |
| Мінералізація | 1000 | 337 | 1000 | | | | |
| Азот амонійний | 0.5 | 0.5 | 7 | | | | |
| Азот нітритів | 0.08 | 0.02 | 0.1 | | | | |
| Азот нітратів | 40.0 | 0.2 | 1.5 | | | | |
| Залізо | 0.5 | 0.14 | -- | | | | |
| ХСК | 30.0 | 24.5 | -- | | | | |
| Нафто продукти | 0.05 | 0.07 | -- | | | | |
| СПАР | 0.1 | 0.15 | -- | | | | |
| Феноли | 0.001 | 0.005 | -- | | | | |

## 3.3. Розрахунок максимально допустимого значення БСК у скинутих зворотних водах

### Стислі теоретичні відомості

Максимальне допустиме значення БСК у скинутих зворотних водах визначають за рівнянням:

$$C_{CT}^{розр} = \frac{\alpha \cdot Q}{q \cdot 10^{-k_1 t}} \left( ГДК^{БСК} - C_{Ф}^{БСК} \cdot 10^{-k_2 t} \right) + \frac{ГДК^{БСК}}{10^{-k_1 t}} \quad , \qquad (9)$$

де α – коефіцієнт змішування, що визначається за формулою (1),

Q, q – відповідно витрати річкової та зворотньої води, $м^3/с$;

$ГДК^{БСК}$ – граничнодопустиме БСК для суміші річкової та стічної води, $мг/дм^3$, $г/м^3$;

$C_ф^{БСК}$ – $БСК_п$ річкової води до місця скиду стічних вод, $мг/дм^3$, $г/м^3$;

t – час переміщення води від місця скиду до розрахункового пункту, доба;

$K_1$ – константа швидкості споживання кисню стічною водою (визначається за табл. 3.3 в залежності від середньої температури води влітку);

$K_2$ – константа реаерації (визначається за табл. 3.4 в залежності від швидкості течії).

Ступінь очищення по БСК (%) визначається за формулою:

$$Z = \frac{C_0^{БСК} - C_{CT}^{БСК}}{C_0^{БСК}} \cdot 100\% \quad , \qquad (10)$$

де $C_0$ – БСК неочищених стічних вод, $мг/дм^3$, $г/м^3$.

Таблиця 3.3. Константа швидкості споживання кисню стічною водою

| T, °C | 0 | 5 | 9 | 12 | 15 | 18 | 20 | 22 | 26 | 28 | 29 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $K_1$ | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.1 | 0.11 | 0.13 | 0.14 | 0.15 |

Таблиця 3.4. Константа реаерації

| Характеристика водних об'єктів | $K_2$ |
|---|---|
| Швидкість течії <0.5 м/с | 0.2-0.25 |
| Швидкі течії>0.5 м/с | 0.3-0.5 |
| Малі річки | 0.5-0.8 |

Рекомендації щодо виконання підрозділу курсової роботи: індивідуальні завдання для розрахунків розміщені у таблиці 3.1, 3.2.

## 3.4. Визначення нормативів гранично допустимого скиду (ГДС) речовин, що надходять у водний об'єкт із зворотними водами

### Стислі теоретичні відомості

Математичний розрахунок ГДС речовин у водному об'єкті із зворотними водами базується на використанні методу, який пов'язує показники забруднення водного об'єкту та нормативи якості води для конкретних умов водокористування та виконується з урахуванням:

1) Фонового складу і властивостей води водойми безпосередньо до місця скиду речовин із зворотними водами. Фонова якість формується під впливом природних процесів та усіх джерел надходження домішок, за винятком впливу розглянутого джерела. У зв'язку з цим фонова концентрація у багатьох випадках за рядом показників перевищує ГДК.

У тих випадках, коли фонова забрудненість водного об’єкту за будь-якими показниками не відповідає ГДК, визначення ГДС залежить від характеру формування фонової концентрації.

Якщо фонова концентрація забруднення сформувалась за рахунок антропогенних факторів, то ГДС відповідних речовин встановлюється, виходячи з перенесення нормативних вимог до якості води водоприймача безпосередньо на зворотні води.

Якщо норми якості води та водних об’єктів не можуть бути досягнуті у зв’язку з впливом природних факторів, які не піддаються регулюванню, то величини ГДС встановлюються, виходячи з умов дотримання у контрольних створах природної фонової якості води, що сформувалась.

2) Ступеню змішування зворотних вод з водою водойми на ділянці від місця випуску зворотних вод до контрольного створу.

3) Кратності розведення зворотних вод водою водного об’єкту.

4) Норм якості води і ГДК речовин у контрольному створі.

5) Процесів природного самоочищення води від домішок, якщо ці процеси достатньо виражені, а їх закономірності вивчені.

6) Характеру зворотної води, її витрат та режиму подачі.

При визначенні ГДС величини максимально допустимих концентрацій домішок у зворотних водах повинні відповідати рівню очищення, який може бути досягнутий при використанні передової технології водочищення для даної категорії стічних вод ($C_{технол}$ – колонка 4 таблиці 2.2.), навіть якщо водний об’єкт дозволяє скидати більші їх величини. Для речовин, у яких рівень очищення стічних вод у технологічній схемі вище ($C_{технол} < C_{ст}$), для розрахунку ГДС приймають значення $C^{ГДС} = C_{технол}$. Для речовин, у яких немає показників у технологічній схемі чи вони не задовільняють розрахованим максимально допустимим концентраціям речовин $C_{технол} > C_{ст}$, для розрахунку ГДС приймають значення $C^{ГДС} = C_{ст}$.

Величини ГДС речовин (г/год) для окремих випусків зворотних вод встановлюються для діючих та проєктованих категорій водокористувачів і визначаються за формулою:

$$ГДС = C^{ГДС} q, \quad (11)$$

де $q$ – максимальна годинна витрата зворотньої води, м$^3$/год;

$C^{ГДС}$ – максимально допустима концентрація речовини, що забезпечує нормативну якість води у контрольному створі, г/м$^3$.

Рекомендації щодо виконання підрозділу курсової роботи: індивідуальні завдання для розрахунків розміщені у таблицях 3.1, 3.2. Отримані результати зводять у таблицю 3.2.

### 3.5. Прогноз зміни якості води у контрольному створі

**Стислі теоретичні відомості**

Основним критерієм при визначенні величин ГДС речовин є забезпечення ГДК розрахункових інгредієнтів у заданому створі, де мають дотримуватися встановлені норми якості води.

Визначення прогнозних значень концентрацій домішок з урахуванням кратності розведення стічних вод водою водного об’єкту дозволяє встановити до яких змін у якості води призведе скид стічних вод підприємства-користувача.

Концентрація забруднюючої речовини у контрольному створі ($C_{СТ}^{прог}$), що знаходиться на відстані L від підприємства-користувача, для завислих та токсичних речовин визначається за формулою:

$$C_{СТ}^{прог}=(C^{ГДС}+C_{ф}\cdot n)/(n+1) \quad (12)$$

Концентрація забруднюючої речовини у контрольному створі ($C_{CT}^{прог}$), що знаходиться на відстані L від підприємства-користувача, для БСК визначається за формулою:

$$C_{БСК}{}^{ПР} = \frac{C_{CT}{}^{БСК} \cdot q \cdot 10^{-k_t} + q \cdot Q \cdot C_{Ф}{}^{БСК} \cdot 10^{-k_t}}{a \cdot Q + q} \qquad (13)$$

Рекомендації щодо виконання підрозділу: індивідуальні завдання розміщені у таблицях 3.1, 3.2. Отримані результати зводять у таблицю 3.2.

## Список рекомендованої літератури


1. Гомеля М.Д., Глушко О.В., Камаєв В.С. Екологічна безпека. – К.: ТОВ «Інфодрук», 2010. – 222 с.
2. Екологія та закон. Екологічне законодавство України. У двох книгах. К.: Юрінком Інтер, 1997. Книга 1 – 698 с., книга 2 – 574 с.
3. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). К.: Міністерство охорони здоров'я України, 1997. – 31 с.
4. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содердащихся в выбросах предприятий. ОНД – 86. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 93 с.
5. Гранично допустимі концентрації (ГДК) та орієнтовні допустимі рівні (ОДР) шкідливих речовин у воді водних об'єктів господарсько-питного та культурно-побутово використання. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v6025400-91#Text
6. Гранично допустимі концентрації (ГДК) та орієнтовні безпечні рівні діяння (ОБРД) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiWoeye1Pn0AhUuwQIHHVs7C_EQFnoECDQQAQ&url=https%3A%2F%2Fzakon.isu.net.ua%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fnormdocs%2Fperelik_rechovyn_klas_nebezpeky.doc&usg=AOvVaw3xkvnDP_Xc3-N7_RajUJGx

## ДОДАТОК А

**Приклад розрахунку забруднення атмосфери викидами одиночного джерела**

**Завдання**:

- розрахувати максимальну приземну концентрацію шкідливої речовини ($C_m$), відстань ($X_m$) від джерела викиду та небезпечну швидкість вітру ($U_m$) при якій досягається найбільше значення концентрації домішки;

- розрахувати максимальну концентрацію забруднення ($C_{mu}$) та відстань ($X_{mu}$) від джерела до місця утворення цієї концентрації при швидкості вітру U, що не дорівнює $U_m$;

- розрахувати та побудувати графік залежності приземної концентрації шкідливих речовин (C) на різних відстанях X=(50, 100, 200, 400, 1000, 2000 м) від джерела по осі факелу викиду, перпендикуляру до нього ($C_y$) для Y=(10, 25, 75, 150, 300, 900 м) та радіус зони впливу джерела (R);

- визначити мінімальну висоту джерела викиду $H_{min}$ для одиночного джерела;

- визначити гранично допустимий викид (ГДВ) шкідливої речовини для одиночного джерела, що підлягає реконструкції;

- після виконання всіх розрахунків та їх аналізу, надати висновки в частині рекомендацій щодо заходів по зменшенню впливу даного джерела на приземний шар атмосфери.

Вихідні дані до виконання першого розділу курсової роботи приведені у таблиці 2.3, індивідуальне завдання № 26.

## 1.1. Визначення максимальної концентрації забруднень у приземному шарі з одиночного джерела

Для розрахунку максимальної концентрації забруднення $C_m$ з одиночного джерела з круглим гирлом при несприятливих метеорологічних умовах необхідно визначити наступні параметри: f, $V_m$, $V_m'$, $f_e$, m, n.

Розрахунок параметру f проводиться наступним чином:

$$f = 1000 \cdot \frac{w_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} = 1000 \cdot \frac{127^2 \cdot 0.1}{2^2 \cdot (300 - 24)} = 1461 ,$$

де $w_0$ – середня швидкість виходу газоповітряної суміші із гирла джерела викиду (м/с) визначається як:

$$w_0 = \frac{V_1 \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{1 \cdot 4}{3.14 \cdot 0.1^2} = 127 \text{ м/с}$$

Розрахунок $V_m$ проводиться за алгоритмом:

$$V_m = 0.65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} = 0.65 \cdot \sqrt[3]{\frac{1 \cdot (300 - 24)}{2}} = 3.36$$

Розрахунок $V_m'$ проводиться наступним чином:

$$V_m' = 1.3 \cdot \frac{w_0 \cdot D}{H} = 1.3 \cdot \frac{127 \cdot 0.1}{2} = 8.255$$

Параметр $f_e$ визначається як:

$$f_e = 800 \cdot (V_m')^3 = 800 \cdot 8.255^3 = 450848$$

За умови f≥100 та $V_m \geq 2$ коефіцієнти m та n, що враховують умови виходу газоповітряної суміші із джерела викиду, визначаються наступним чином:

$$m = \frac{1.47}{\sqrt[3]{f}} = \frac{1.47}{\sqrt[3]{1461}} = 0.13$$

$n = 1.$

Розрахунок максимальної приземної концентрації забруднень $C_m$ при несприятливих метеорологічних умовах має вигляд:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} = \frac{160 \cdot 0.006 \cdot 1 \cdot 0.13 \cdot 1 \cdot 1}{2^2 \sqrt[3]{1 \cdot (300 - 24)}} = 0.00478 \approx 0.0048 \text{ мг/м}^3$$

$C_m + C_Ф = 0.0048 + 0.06 = 0.0648$ мг/ м$^3$ < ГДК=0.085 мг/м$^3$

Висновок: дане джерело по викиду окису азоту, з урахуванням фонового забруднення, не порушує нормативи якості повітря в приземному шарі.

## 1.2. Визначення відстані, на якій досягається максимальна концентрація забруднення у приземному шарі

Для розрахунку відстані $X_m$ від джерела викиду, на якій досягається максимальна приземна концентрація $C_m$ при несприятливих метеорологічних умовах, необхідно визначити коефіцієнт d. Розрахунок безрозмірного коефіцієнту d при f≥100 та $V_m' \geq 2$ проводиться наступним чином:

$$d = 16 \cdot \sqrt{V_m'} = 16 \cdot \sqrt{8.255} \approx 46$$

Відстань $X_m$ визначається як:

$$X_m = \frac{5 - F}{4} \cdot d \cdot H = \frac{5 - 1}{4} \cdot 46 \cdot 2 = 92 \text{ м}$$

Висновок: максимальна приземна концентрація забруднення окисом азоту при несприятливих метеорологічних умовах досягається на відстані 92 м від джерела викиду.

**1.3. Визначення небезпечної швидкості вітру; максимальної приземної концентрації забруднень та відстані, на якій вона досягається, при швидкості вітру, що відрізняється від небезпечної**

Розрахунок небезпечної швидкості вітру $U_m$, при $f \geq 100$ проводиться наступним чином:

$U_m = 2.2 \cdot V_m' = 2{,}2 \cdot 8{,}255 = 18.16$ м/с

Безрозмірна величина r при $U/U_m \leq 1$ визначається за наступним алгритмом:

$r = 0.67 \cdot (U/U_m) + 1.67 \cdot (U/U_m)^2 - 1.34 \cdot (U/U_m)^3 = 0.67 \cdot 0{,}0275 + 1.67 \cdot 0{,}0275^2 - 1.34 \cdot 0{,}0275^3 = 0.02$

Максимальне значення приземної концентрації $C_{mu}$ при швидкості вітру U, яка відрізняється від небезпечної $U_m$, встановлюється наступним чином:

$C_{mu} = r \cdot C_m = 0{,}02 \cdot 0{,}0048 = 0.000096$ мг/м$^3$

Відстань $X_{mu}$ від джерела викиду, на якій при швидкості вітру U і несприятливих метеорологічних умовах приземна концентрація шкідливих речовин набуває максимального значення $C_{mu}$, визначається за рівнянням:

$X_{mu} = p \cdot X_m$

Безрозмірний коефіцієнт p, при $0.25 \geq U/U_m$ ($U/U_m = 0{,}0275$), дорівнює 3, тоді відстань $X_{mu}$ від джерела викиду становить:

$X_{mu} = p \cdot X_m = 3 \cdot 92 = 276$ м

Висновок: значення небезпечної швидкості вітру на рівні флюгера, при якій досягається максимальна приземна концентрація забруднення окисом азоту дорівнює $U_m$=18.16 м/с. При швидкості вітру, що відрізняється від небезпечної, та несприятливих метеорологічних умовах, максимальна приземна концентрація забруднення окисом азоту становить $C_{mu}$=0.000096 мг/м$^3$ і досягається на відстані $X_{mu}$=276 м від джерела.

### 1.4. Визначення концентрації забруднень на різних відстанях від джерела по осі факелу викиду, по перпендикуляру до неї та радіусу зони впливу джерела

Приземна концентрація шкідливих речовин по осі факелу викиду на різних відстанях X від джерела визначається за формулою:

$C=S_1 \cdot C_m$

Розрахунок безрозмірного коефіцієнту $S_1$ проводиться в залежності від співвідношення $X/X_m$ та коефіцієнту F, що враховує осадження шкідливих речовин у повітрі.

X=(50 м) розрахунок $S_1$ при $X/X_m<1$ проводиться наступним чином: $S_1 = 3 \cdot (X/X_m)^4 - 8 \cdot (X/X_m)^3 + 6(X/X_m)^2$ =3(50/92)$^4$-8(50/92)$^3$+6(50/92)$^2$=0.75

При значеннях $X/X_m<1$, для низьких та наземних джерел (висотою до 10 м), величина $S_1$ замінюється на величину $S_1^H$, яка визначається як:

$S_1^H$=0.125·(10-H)+0.125·(H-2)·$S_1$= 0.125·(10-2)+0.125·(2-2)·0.75 = 1

$C^{50}=S_1 \cdot C_m$ = 1·0,0048 = 0.0048 мг/м$^3$

X=(100, 200, 400 м) розрахунок $S_1$, при $1<X/X_m<8$ проводиться наступним чином:

$$S_1 = \frac{1.13}{0.13 \cdot (X / X_m)^2 + 1} = \frac{1.13}{0.13 \cdot 1.087^2 + 1} = 0.979$$

$C^{100}=S_1 \cdot C_m = 0{,}98 \cdot 0{,}0048 = 0.0047$ мг/м$^3$

$$S_1 = \frac{1.13}{0.13 \cdot (X / X_m)^2 + 1} = \frac{1.13}{0.13 \cdot 2.174^2 + 1} = 0.72$$

$C^{200}=S_1 \cdot C_m = 0{,}72 \cdot 0{,}0048 = 0.0034$ мг/м$^3$

$$S_1 = \frac{1.13}{0.13 \cdot (X / X_m)^2 + 1} = \frac{1.13}{0.13 \cdot 4.348^2 + 1} = 0.32$$

$C^{400}=S_1 \cdot C_m = 0{,}32 \cdot 0{,}0048 = 0.0015$ мг/м$^3$

X=(1000, 2000 м) розрахунок $S_1$, при $1.5 \geq F$ та $X/X_m > 8$ проводиться за наступним алгоритмом:

$$S_1 = \frac{X / X_m}{3.58 \cdot (X / X_m)^2 - 3.52 \cdot (X / X_m) + 120} = \frac{10.87}{3.58 \cdot 10.87^2 - 3.52 \cdot 10.87 + 120} = 0.07$$

$C^{1000}=S_1 \cdot C_m = 0{,}07 \cdot 0{,}0048 = 0.00034$ мг/м$^3$

$$S_1 = \frac{X / X_m}{3.58 \cdot (X / X_m)^2 - 3.52 \cdot (X / X_m) + 120} = \frac{21{,}74}{3.58 \cdot 21{,}74^2 - 3.52 \cdot 21{,}74 + 120} = 0.01453$$

$C^{2000}=S_1 \cdot C_m = 0{,}01453 \cdot 0{,}0048 = 0.00007$ мг/м$^3$

Результати розрахунків концентрації забруднення С від відстані Х по факелу викиду зведено в табл. Д1.1 та представлено у вигляді графіка (рис. Д1.1).

Таблиця Д1.1. Зміна приземної концентрації шкідливих речовин на різних відстанях Х по осі факелу викиду джерела

| Х, м | 50 | 100 | 200 | 400 | 1000 | 2000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $X/X_m$ | 0.54 | 1.087 | 2.174 | 4.348 | 10.87 | 21.74 |
| С, мг/м$^3$ | 0.0048 | 0.0047 | 0.0034 | 0.0015 | 0.00034 | 0.00007 |

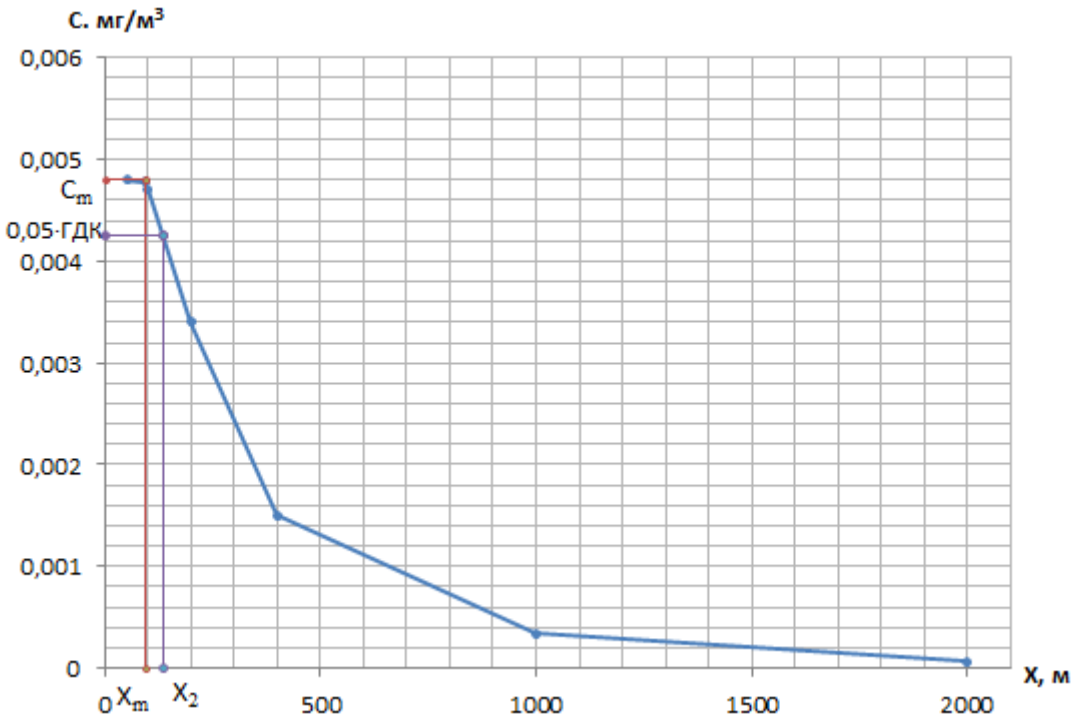


Рис. Д1.2. Залежність приземної концентрації від відстані по осі X

Радіус зони впливу джерела R розраховується як найбільша з двох відстаней ($X_1$, $X_2$) від джерела, де $X_1=10\cdot X_m$, $X_2$ – це відстань по осі факелу викиду, починаючи з якої $C\leq 0.05\cdot$ГДК. Якщо $C_m\leq 0.05\cdot$ГДК, тоді $X_2=0$.

Виходячи з графіку, приземна концентрація шкідливих речовин ($C=0.05\cdot$ГДК$=0.05\cdot 0.085=0.00425$ мг/м$^3$) досягається приблизно на відстані $X_2=135$ м. Тоді радіус зони впливу джерела приймається як найбільша з двох відстаней ($X_1=920$ м , $X_2=135$ м), R=920 м.

Значення приземної концентрації шкідливих речовин в атмосфері на певній відстані по перпендикуляру до осі факелу викиду $C_y$ (мг/м$^3$) визначається за рівнянням:

$C_y=S_2\cdot C$

Безрозмірний коефіцієнт $S_2$, визначається за формулою:

$$S_2=\frac{1}{(1+5\cdot t_y+12.8\cdot t_y^{\ 2}+17\cdot t_y^{\ 3}+45.1\cdot t_y^{\ 4})^2}$$

Значення аргумента $t_y$, за умови 5≥U, розраховується за формулою:

$$t_y = \frac{U \cdot y^2}{X^2} \text{ при } 5 \geq U$$

Значення аргумента $t_y$ при y =(10, 25, 75, 150, 300, 900 м) відповідають:

$$t_y = \frac{U \cdot y^2}{X^2} = \frac{0.5 \cdot 10^2}{50^2} = 0.02$$

$$t_y = \frac{U \cdot y^2}{X^2} = \frac{0.5 \cdot 25^2}{100^2} = 0.03125$$

$$t_y = \frac{U \cdot y^2}{X^2} = \frac{0.5 \cdot 75^2}{200^2} = 0.07031$$

$$t_y = \frac{U \cdot y^2}{X^2} = \frac{0.5 \cdot 150^2}{400^2} = 0.07031$$

$$t_y = \frac{U \cdot y^2}{X^2} = \frac{0.5 \cdot 300^2}{1000^2} = 0.045$$

$$t_y = \frac{U \cdot y^2}{X^2} = \frac{0.5 \cdot 900^2}{3000^2} = 0.045$$

Відповідно, безрозмірний коефіцієнт $S_2$ складає:

$$S_2 = \frac{1}{(1 + 5 \cdot t_y + 12.8 \cdot t_y^{\ 2} + 17 \cdot t_y^{\ 3} + 45.1 \cdot t_y^{\ 4})^2} =$$

$$= \frac{1}{(1 + 5 \cdot 0.02 + 12.8 \cdot 0.02^2 + 17 \cdot 0.02^3 + 45.1 \cdot 0.02^4)^2} = 0.81863$$

$$S_2 = \frac{1}{(1 + 5 \cdot t_y + 12.8 \cdot t_y^{\ 2} + 17 \cdot t_y^{\ 3} + 45.1 \cdot t_y^{\ 4})^2} =$$

$$= \frac{1}{(1 + 5 \cdot 0.03125 + 12.8 \cdot 0.03125^2 + 17 \cdot 0.03125^3 + 45.1 \cdot 0.03125^4)^2} = 0.73149$$

$$S_2 = \frac{1}{(1+5\cdot t_y + 12.8\cdot t_y^{\ 2} + 17\cdot t_y^{\ 3} + 45.1\cdot t_y^{\ 4})^2} =$$

$$= \frac{1}{(1+5\cdot 0.07031 + 12.8\cdot 0.07031^{\ 2} + 17\cdot 0.07031^{\ 3} + 45.1\cdot 0.07031^{\ 4})^2} = 0.49538$$

$$S_2 = \frac{1}{(1+5\cdot t_y + 12.8\cdot t_y^{\ 2} + 17\cdot t_y^{\ 3} + 45.1\cdot t_y^{\ 4})^2} =$$

$$= \frac{1}{(1+5\cdot 0.07031 + 12.8\cdot 0.07031^{\ 2} + 17\cdot 0.07031^{\ 3} + 45.1\cdot 0.07031^{\ 4})^2} = 0.49538$$

$$S_2 = \frac{1}{(1+5\cdot t_y + 12.8\cdot t_y^{\ 2} + 17\cdot t_y^{\ 3} + 45.1\cdot t_y^{\ 4})^2} =$$

$$= \frac{1}{(1+5\cdot 0.045 + 12.8\cdot 0.045^{\ 2} + 17\cdot 0.045^{\ 3} + 45.1\cdot 0.045^{\ 4})^2} = 0.63757$$

І як результат, приземні концентрації забруднень $C_y$ на відстані *y* від осі факелу викиду відповідають значенням:

$C_y=S_2\cdot C=0{,}81863\cdot 0{,}0048=0.003929$ мг/м$^3$

$C_y=S_2\cdot C=0{,}73149\cdot 0{,}0047=0.003438$ мг/м$^3$

$C_y=S_2\cdot C=0{,}49538\cdot 0{,}0034=0.001684$ мг/м$^3$

$C_y=S_2\cdot C=0{,}49538\cdot 0{,}0015=0.000743$ мг/м$^3$

$C_y=S_2\cdot C=0{,}63757\cdot 0{,}000336=0.000214$ мг/м$^3$

$C_y=S_2\cdot C=0{,}63757\cdot 0{,}000048=0.0000306$ мг/м$^3$

Результати розрахунків концентрації окису азоту $C_y$ від відстані X по факелу викиду та по перпендикуляру до нього представлено у табл. Д1.2.

Таблиця Д1.2. Зміна приземної концентрації шкідливих речовин на відстані ***y*** від осі факелу викиду

| *X, м* | 50 | 100 | 200 | 400 | 1000 | 3000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Y, м* | 10 | 25 | 75 | 150 | 300 | 900 |
| $t_y$ | 0.02 | 0.03125 | 0.07031 | 0.07031 | 0.045 | 0.045 |
| $S_2$ | 0.81863 | 0.73149 | 0.49538 | 0.49538 | 0.63757 | 0.63757 |
| $C_y$, мг/м$^3$ | 0.00393 | 0.003438 | 0.001684 | 0.000743 | 0.000214 | 0.00003 |

Висновок: концентрація окису азоту зменшується по мірі віддалення від джерела по осі факелу викиду та по перпендикуляру до нього, вже на відстані 135 м від джерела по осі факелу викиду концентрація окису азоту відповідає С=0.05·ГДК. Радіус зони впливу джерела становить 920 м.

### 1.5. Визначення мінімальної висоти джерела викиду

Мінімальна висота одиночного джерела викиду (труби) Н (м) при гарячих викидах (ΔТ>0) визначається з урахуванням потужності викиду, швидкості руху газів, витрати суміші газів, діаметру гирла джерела викиду наступним чином:

$$H = \left[\frac{A \cdot M \cdot F \cdot D \cdot \eta}{8 \cdot V1 \cdot (ГДК - СФ)}\right]^{3/4} = \left[\frac{160 \cdot 0.006 \cdot 1 \cdot 0.1 \cdot 1}{8 \cdot 1 \cdot (0.085 - 0.06)}\right]^{3/4} = 0.58 \text{ м.}$$

Так як знайдене значення задовольняє нерівність

$$H \le w_0 \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot D}{\Delta T}} = 7.6 \ ,$$

то розраховане значення є мінімальним: $H_{min}$=0.58 м.

Висновок: згідно математичного розрахунку по окису азоту мінімальна висота одиночного джерела викиду станвить $H_{min}$=0.58 м.

Однак, у зв'язку з тим, що мінімальна висота для наземних джерел приймається рівною 2 м, то по окису азоту $H_{min}$=2 м. Остаточне судження про мінімальну висоту проєктованих джерел, приймається після розрахунків по іншим забруднюючим речовинам з даного джерела.

## 1.6. Визначення гранично допустимих викидів (ГДВ) шкідливих речовин

При визначенні ГДВ (г/с) враховуються фонові концентрації $C_Ф'$, які дорівнюють значенню $C_Ф$ за винятком внеску у фон даного джерела, якщо воно підлягає реконструкції, за умови $C \leq 2 \cdot C_Ф$=0.12 мг/м$^3$ розрахунок проводиться наступним чином:

$$C'_Ф = C_Ф \cdot \left(1 - 0.4 \cdot \frac{C}{C_Ф}\right) = 0.06 \cdot \left(1 - 0.4 \cdot \frac{0.0048}{0.06}\right) = 0.0581 \text{ мг/м}^3$$

де С – максимальна концентрація речовини від даного підприємства для точки розміщення пункту спостереження за фоновими концентраціями (для розрахунків приймемо, що $C=C_m$).

Визначення значення ГДВ шкідливої речовини проводиться як:

$$ГДВ = \frac{\left(ГДК - C_Ф'\right) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} =$$

$$= \frac{(0.085 - 0.0581) \cdot 2^2 \cdot \sqrt[3]{1 \cdot (300 - 24)}}{160 \cdot 1 \cdot 0.13 \cdot 1 \cdot 1} = 0.0337 \text{ г/с}$$

Висновок: за необхідністю потужність джерела М=0.006 г/с по окису азоту може бути збільшена, але не більше ніж розраховане значення ГДВ=0.0337 г/с.

Таким чином, провівши розрахунки забруднення атмосфери викидами з одиночного джерела, було встановлено:

1. При несприятливих метеорологічних умовах максимальна концентрація окису азоту в приземному шарі, з урахуванням фонової концентрації, становить 0.0648 мг/м$^3$<ГДК=0.085 мг/м$^3$, що не порушує нормативи якості повітря, досягається на відстані 92 м від джерела викиду при небезпечній швидкості вітру на рівні флюгера в 18.16 м/с.

2. При несприятливих метеорологічних умовах та швидкості вітру, що відрізняється від небезпечної, максимальна приземна концентрація забруднення окисом азоту становить 0.000096 мг/м$^3$ і досягається на відстані 276 м від джерела.

3. Концентрація забруднення окисом азоту зменшується по мірі віддалення від джерела по осі факелу викиду та по перпендикуляру до неї. Приземна концентрація С=0.05·ГДК окису азоту по осі факелу викиду досягається на відстані 135 м. Радіус зони впливу джерела становить 920 м.

4. Мінімальна висота джерела викиду по окису азоту становить $H_{min}$=2 м. Остаточне судження про мінімальну висоту джерела викиду приймається після розрахунків по іншим забруднюючим речовинам з даного джерела.

5. Гранично допустимий викид окису азоту становить 0.0337 г/с. За необхідністю, потужність викиду по окису азоту М=0.006 г/с може бути збільшена при інших незмінних параметрах джерела, але не більше ніж розраховане значення ГДВ.

## ДОДАТОК Б

## Приклад розрахунку забруднення водного об’єкту зворотними водами для окремого зосередженого випуску

**Завдання:**

- визначити коефіцієнт змішування (*a*), що вказує яка частина природної води приймає участь у розведення стічних вод від місця їх скиду до розрахункового створу;

- розрахувати кратність розведення стічних вод водою водного об’єкту (n);

- визначити максимально допустиму концентрацію показників складу зворотних вод з урахуванням фактору розведення ($C_{ст}$) та скорегувати їх, виходячи з принципу технічної досяжності ($C^{ГДС}$);

- визначити гранично допустимий скид (ГДС) речовин, що надходять у водний об’єкт із стічними водами;

- оцінити зміни якості води у контрольному створі за прогнозними концентраціями домішок ($C_{ст}^{пр}$).

- після виконання всіх розрахунків та їх аналізу, надати висновки в частині рекомендацій щодо заходів по зменшенню впливу зворотних вод на водний об’єкт.

Вихідні дані до виконання другого розділу курсової роботи приведені у таблиці 3.1, індивідуальне завдання № 26 та колонках 1–4 табл. 3.2.

### 2.1. Розрахунок коефіцієнту змішування зворотних вод з водою водного об’єкту та кратності розведення зворотних вод

Для розрахунку кратності розведення зворотних вод необхідно визначити наступні параметри: коефіцієнт турбулентної дифузії (E); коефіцієнт, що враховує вплив гідравлічного фактору ($\alpha$), коефіцієнт розведення (a).

Розрахунок коефіцієнту турбулентної дифузії E для рівнинних річок проводиться наступним чином:

$$E = \frac{V_{CP} \cdot H_{CP}}{200} = \frac{0.2 \cdot 0.3}{200} = 0.0003\, м^2 / c$$

Параметр $\alpha$, що враховує вплив гідравлічних факторів змішування зворотних вод з природними, визначається як:

$$\alpha = \varphi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{q}} = 1.2 \cdot 1.5 \cdot \sqrt[3]{\frac{0.0003}{0.1795}} = 0.2136$$

Коефіцієнт розведення визначається наступним чином:

$$a = \frac{1 - e^{-\alpha \cdot \sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{q} \cdot e^{-\alpha \cdot \sqrt[3]{L}}} = \frac{1 - e^{-0.2136 \cdot \sqrt[3]{500}}}{1 + \frac{0.8}{0.1795} \cdot e^{-0.2136 \cdot \sqrt[3]{500}}} = 0.44$$

Кратність розведення n визначається розрахунковим шляхом:

$$n = \frac{a \cdot Q + q}{q} = \frac{0.44 \cdot 0.8 + 0.1795}{0.1795} = 3$$

Висновок: n=3 – стічні води розводяться водою водного об’єкту за час їх руху до розрахункового створу у три рази.

## 2.2. Розрахунок максимально допустимої концентрації завислих та токсичних речовин в очищених зворотних водах

Для завислих речовин, по яких нормується прирощення до природного фону, ГДС мають бути встановлені з урахуванням допустимого ($C_{доп}$) за санітарними правилами збільшення їх концентрації після скиду зворотних вод.

Максимально допустима кількість завислих речовин в очищених зворотних водах визначається як:

$C_{ст}=C_{доп}\cdot n+C_{ф}=0.25\cdot 3+12.6=13.35$ мг/дм$^3$

Результат розрахунку заносимо у п'яту колонку таблиці Д2.2.

Для токсичних речовин фактор розведення *n* при розрахунку максимально допустимих концентрацій домішок $C_{СТ}$ приймається до уваги лише при нормуванні тих домішок, фонові концентрації $C_ф$ яких не перевищують встановлені для них ГДК. Для речовин, в яких фонова концентрація має більше значення ніж ГДК, фактор розведення не враховується, і розрахунок максимально допустимої концентрації домішок $C_{ст}$ не проводиться.

Розрахунок $C_{СТ,}$ для домішок з таблиці 3.2, за умови $C_ф$<ГДК, проводиться наступним чином:

$$C_{ст}=n(ГДК - C_ф)+ C_ф = (n-1)(ГДК-C_ф)+ ГДК$$

хлориди: $C_{ст}$ =(3–1)(300–23)+300=854 мг/дм$^3$

сульфати: $C_{ст}$ =(3–1)(100–38)+100=224 мг/дм$^3$

мінералізація: $C_{ст}$ =(3–1)(1000–337)+1000=2326 мг/дм$^3$

азот нітритів: $C_{ст}$=(3–1)(0.08–0.02)+0.08=0.2 мг/дм$^3$

азот нітратів: $C_{ст}$ =(3–1)(40–0.2)+40=119.6 мг/дм$^3$

залізо: $C_{ст}$ =(3–1)(0.5–0.14)+0.5=1.22 мг/дм$^3$

ХСК: $C_{ст}$ =(3–1)(30–24.3)+30=41.4 мг/дм$^3$

Результат розрахунку заносимо у п'яту колонку таблиці Д2.2.

Згідно складу стічних вод, ГДК≤$C_ф$, для азоту амонійного, нафтопродуктів, СПАР, фенолів. Для цих речовин у 5 колонку таблиці Д2.2 заносять відповідні їм значення фонових концентрацій $C_ф$.

Висновки:

1. максимально допустима кількість завислих речовин в очищених зворотних водах, з врахуванням кратності розведення, становить 13.35 мг/дм$^3$.

2. Для азоту амонійного, нафтопродуктів, СПАР, фенолів фактор розведення не враховується. При цьому, якщо $C_ф$ домішок сформувалась за рахунок

антропогенних факторів, то нормативні вимоги до якості води переносяться на зворотні води; якщо $C_ф$ сформувалась за рахунок природних факторів, то необхідно дотримуватись у контрольних пунктах природної фонової якості води.

3. Для всіх інших речовин складу зворотних вод розрахунок максимально допустимої концентрації в очищених зворотних водах, проведено з урахуванням кратності розведення.

### 2.3. Розрахунок максимально допустимого значення $БСК_п$ у скинутих зворотних водах

Розрахунок максимально допустимої концентрації домішок $C_{ст}$ для $БСК_п$ не проводиться, оскільки ГДК<$C_ф$, і в цьому випадку потрібно дотримуватись у контрольному створі фонової якості води. В п'яту колонку таблиці Д2.2 для БСК записується значення $C_ф$=10.6 мг/дм$^3$.

Висновок: Фактор розведення при розрахунку $C_{ст}$ для $БСК_п$ до уваги не приймається оскільки ГДК<$C_ф$, тому в якості максимально допустимої концентрації домішок для $БСК_п$ приймається значення фонової концентрації.

### 2.4. Визначення нормативів гранично допустимого скиду (ГДС) речовин, що надходять у водний об'єкт із зворотними водами

Головним критерієм при встановленні ГДС є забезпечення величини ГДК розрахункового інградієнту у заданому контрольному створі водного об'єкту. Тому вихідними даними при визначенні ГДС є максимальна годинна витрата зворотньої води та величини максимально допустимих концентрацій домішок у зворотних водах $C^{ГДС}$, які повинні відповідати рівню очищення, який може бути досягнутий при використанні передової технології водочищення для даної категорії стічних вод ($C_{технол}$ – колонка 4 табл. 3.2.). Для речовин, у яких рівень очищення стічних вод у технологічній схемі вище ($C_{технол}$< $C_{ст}$), для розрахунку

ГДС, приймають значення $C^{ГДС}=C_{технол.}$, а саме – завислі речовини, БСКп, хлориди, сульфати, мінералізація, азот нітритів, азот нітратів.

Показники очищення для азоту амонійного в технологічній схемі не задовільняють розрахованим максимально допустимим концентраціям речовин $C_{технол}>C_{ст}$. Для всіх інших речовин немає показників у технологічній схемі. Тому для розрахунку ГДС приймають значення $C^{ГДС}=C_{ст}$. Величини ГДС речовин для окремих випусків зворотних вод розраховуються як:

$$ГДС = q \cdot C^{ГДС}$$

Значення максимальної витрати стічної води *(q)* в годинах складає:

$q$=0.1795 м$^3$/с=646.2 м$^3$/год

Значення максимально допустимих концентрацій речовин, що забезпечують нормативи якості води у контрольному створі, та величини ГДС становлять:

| | | |
|---|---|---|
| Завислі речовини | $C^{ГДС}=C_{тех}$=9 мг/дм$^3$ | $ГДС = q \cdot C^{ГДС} = 646.2 \cdot 9 = 5815.8$ г/год |
| БСК | $C^{ГДС}=C_{тех}$=4.8 мг/дм$^3$ | $ГДС = q \cdot C^{ГДС} = 646.2 \cdot 4.8 = 3101.76$ г/год |
| Хлориди | $C^{ГДС}=C_{тех}$=300 мг/дм$^3$ | $ГДС = q \cdot C^{ГДС} = 646.2 \cdot 300 = 193800$ г/год |
| Сульфати | $C^{ГДС}=C_{тех}$=200 мг/дм$^3$ | $ГДС = q \cdot C^{ГДС} = 646.2 \cdot 200 = 129200$ г/год |
| Мінералізація | $C^{ГДС}=C_{тех}$=1000 мг/дм$^3$ | $ГДС = q \cdot C^{ГДС} = 646 \cdot 1000 = 646000$ г/год |
| Азот амонійний | $C^{ГДС}=C_{ст}$=0.5 мг/дм$^3$ | $ГДС = q \cdot C^{ГДС} = 646 \cdot 0.5 = 323$ г/год |
| Азот нітритів | $C^{ГДС}=C_{тех}$=0.1 мг/дм$^3$ | $ГДС = q \cdot C^{ГДС} = 646 \cdot 0.1 = 64.6$ г/год |
| Азот нітратів | $C^{ГДС}=C_{тех}$=1.5 мг/дм$^3$ | $ГДС = q \cdot C^{ГДС} = 646 \cdot 1.5 = 969$ г/год |
| Залізо | $C^{ГДС}=C_{ст}$=1.22 мг/дм$^3$ | $ГДС = q \cdot C^{ГДС} = 646 \cdot 1.22 = 788.12$ г/год |
| ХСК | $C^{ГДС}=C_{ст}$=41.4 мг/дм$^3$ | $ГДС = q \cdot C^{ГДС} = 646 \cdot 41{,}4 = 26744.4$ г/год |
| Нафтопродукти | $C^{ГДС}=C_{ст}$=0.07 мг/дм$^3$ | $ГДС = q \cdot C^{ГДС} = 646 \cdot 0.07 = 45.22$ г/год |
| СПАР | $C^{ГДС}=C_{ст}$=0.15 мг/дм$^3$ | $ГДС = q \cdot C^{ГДС} = 646 \cdot 0.15 = 96.9$ г/год |
| Феноли | $C^{ГДС}=C_{ст}$=0.005 мг/дм$^3$ | $ГДС = q \cdot C^{ГДС} = 646 \cdot 0.005 = 3.23$ г/год |

Розраховані значення $C^{ГДС}$ та ГДС записують до таблиці Д2.2 у 6 та 7 колонки відповідно.

Висновоки:

1. розраховані максимально допустимі концентрації ($C_{ст}$) показників складу зворотних вод скореговані, виходячи з показників передової схеми очищення для даної категорії стічних вод, – ($C^{ГДС}$);

2. на основі сукупності фактичних та розрахункових даних встановлені нормативи ГДС речовин, що надходять у водний об'єкт із зворотними водами.

## 2.5. Прогноз зміни якості води у контрольному створі

Визначення прогнозних значень концентрацій домішок з врахуванням кратності розведення стічних вод водою водного об'єкту, дозволяє встановити до яких змін у якості води призведе скид стічних вод.

Концентрації домішок $C_{СТ}^{пр}$ у контрольному створі, що знаходиться на відстані 500 м від місця скиду стічних вод, для завислих та токсичних речовин визначаються:

| | | |
|---|---|---|
| Завислі речовини | $C_{CT}^{ПР} = \frac{9+12.6\cdot 3}{3+1} 11.7 мг/л$ | $C_{CT}^{ПР} < C_{доп} + C_{ф}$ =12.85 мг/дм$^3$ |
| БСК | нормативне значення БСК, що забезпечує прийнята технологічна схема, з урахуванням процесу розведення стічних вод, не призведе до збільшення $C_ф$ по БСК у контрольному створі | $C_{CT}^{ПР}$= $C_ф$=10.6 мг/дм$^3$ |
| Хлориди | $C_{CT}^{ПР} = \frac{300+23\cdot 3}{3+1} = 92.25 мг/л$ | $C_{CT}^{ПР}$ <ГДК=300 мг/дм$^3$ |
| Сульфати | $C_{CT}^{ПР} = \frac{200+38\cdot 3}{3+1} = 38.3 мг/л$ | $C_{CT}^{ПР}$ <ГДК=100 мг/дм$^3$ |
| Мінералізація | $C_{CT}^{ПР} = \frac{1000+337\cdot 3}{3+1} = 502.75 мг/л$ | $C_{CT}^{ПР}$ <ГДК=1000 мг/дм$^3$ |

| | | |
|---|---|---|
| Азот амонійний | $C_{CT}^{ПР} = \frac{0.5 + 0.5 \cdot 3}{3+1} = 0.5 мг/л$ | $C_{CT}^{ПР}$= $C_ф$=0.5 мг/дм$^3$ |
| Азот нітритів | $C_{CT}^{ПР} = \frac{0.1 + 0.02 \cdot 3}{3+1} = 0.04 мг/л$ | $C_{CT}^{ПР}$ <ГДК=0.08 мг/дм$^3$ |
| Азот нітратів | $C_{CT}^{ПР} = \frac{1.5 + 0.2 \cdot 3}{3+1} = 0.525 мг/л$ | $C_{CT}^{ПР}$ <ГДК=40 мг/дм$^3$ |
| Залізо | $C_{CT}^{ПР} = \frac{1.22 + 0.14 \cdot 3}{3+1} = 0.41 мг/л$ | $C_{CT}^{ПР}$ <ГДК=0.5 мг/дм$^3$ |
| ХСК | $C_{CT}^{ПР} = \frac{41.4 + 24.5 \cdot 3}{3+1} = 28.575 мг/л$ | $C_{CT}^{ПР}$ <ГДК=30 мг/дм$^3$ |
| Нафтопродукти | $C_{CT}^{ПР} = \frac{0.07 + 0.07 \cdot 3}{3+1} = 0.07 мг/л$ | $C_{CT}^{ПР}$= $C_ф$=0.07 мг/дм$^3$ |
| СПАР | $C_{CT}^{ПР} = \frac{0.15 + 0.15 \cdot 3}{3+1} = 0.15 мг/л$ | $C_{CT}^{ПР}$= $C_ф$=0.15 мг/дм$^3$ |
| Фенол | $C_{CT}^{ПР} = \frac{0.005 + 0.005 \cdot 3}{3+1} = 0.005 мг/л$ | $C_{CT}^{ПР}$= $C_ф$=0.005 мг/дм$^3$ |

Висновок: прогнозні значення концентрацій домішок свідчать про те, що скид зворотних вод даного якісного та кількісного складу, з урахуванням показників схеми водоочищення та фактору розведення стічних вод, не призведе до змін у якості води на відстані L=500 м від підприємства-користувача.

Розраховані прогнозні значення концентрацій домішок $C_{CT}^{ПР}$ записують у 8 колонку таблиці Д2.2.

Таким чином, провівши розрахунки забруднення водного об’єкту зворотними водами для окремого зосередженого випуску, було встановлено:

1. Розрахований коефіцієнт змішування *a* свідчить про те, що 0.44 частина природної води приймає участь у розведенні стічних вод від місця їх скиду до розрахункового створу.

2. Кратність розведення стічних вод водою водного об’єкту за час їх руху до контрольного створу становить n=3.

3. Визначено максимально допустимі концентрації $C_{СТ}$ показників складу зворотних вод з витратою q=0.1795 м$^3$/с, що можуть бути скинуті у даний водний об’єкт при витраті природної води Q=0.8 м$^3$/с, коефіцієнті змішування $\alpha$=0.44 без порушення умов водокористування.

4. Запропонована технологічна схема водоочищення дозволяє покращити ряд розрахованих показників $C_{СТ}$, до значень $C^{ГДС}$, крім амонійного азоту.

5. На основі сукупності гідрографічних, гідрологічних, гідрохімічних характеристик водного об’єкту, характеристик зворотних вод, нормативів якості води даної категорії водокористування визначено нормативи ГДС.

6. За результатами прогнозу якості води у контрольному створі для показників, фонова концентрація яких сформувалась за рахунок антропогенних факторів, необхідно нормативні вимоги до якості води водоприймача перенести безпосередньо на ці показники зворотних вод.

Таблиця Д2.2. Вихідні дані та результати розрахунків забруднення водного об’єкту зворотними водами для окремого зосередженого випуску

| Показники складу зворотних вод | ГДК, мг/дм$^3$ | Фонова концентрація $C_Ф$, мг/дм$^3$ | Концентрація домішки за технологічною схемою, $C_{тех}$, мг/дм$^3$ | Максим. допустима концентрація домішок, $C_{СТ}$, мг/дм$^3$ | Концентрація домішки для визначення ГДС, $C^{ГДС}$ мг/дм$^3$ | ГДС, г/год | Концентрація домішок у контрольному створі, $C_{СТ}^{пр}$, мг/дм$^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Завислі речовини | 0.25 | 12.6 | 9.0 | 13.35 | 9 | 5815.8 | 11.7 |
| БСК | 3.0 | 10.6 | 4.8 | 10.6 | 4.8 | 3101.76 | 10.6 |
| Хлориди | 300.0 | 23 | 300 | 854 | 300 | 193800 | 92.25 |
| Сульфати | 100.0 | 38 | 200 | 224 | 200 | 129200 | 78.5 |
| Мінералізація | 1000 | 337 | 1000 | 2326 | 1000 | 646000 | 502.75 |
| Азот амонійний | 0.5 | 0.5 | 7 | 0.5 | 0.5 | 323 | 0.5 |
| Азот нітритів | 0.08 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 64.6 | 0.04 |
| Азот нітратів | 40.0 | 0.2 | 1.5 | 119.6 | 1.5 | 969 | 0.525 |
| Залізо | 0.5 | 0.14 | -- | 1.22 | 1.22 | 788.12 | 0.41 |
| ХСК | 30.0 | 24.5 | -- | 41.4 | 41.4 | 26744.4 | 28.575 |
| Нафто-продукти | 0.05 | 0.07 | -- | 0.07 | 0.007 | 45.22 | 0.07 |
| СПАР | 0.1 | 0.15 | -- | 0.15 | 0.15 | 96.9 | 0.15 |
| Феноли | 0.001 | 0.005 | -- | 0.005 | 0.005 | 3.23 | 0.005 |