

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

**В. В. БЛАГОДАТНИЙ, О. С. РИЖКОВ,
В. Б. НІКОЛЬСЬКА**

РОЗРАХУНОК ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРУ У ХІМІЧНІЙ, ВИДОБУВНІЙ ТА ДЕРЕВООБРОБНІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ

*Рекомендовано Методичною радою НУК
як методичні вказівки*

Електронне видання
комбінованого використання на DVD-ROM



МИКОЛАЇВ • НУК • 2012

УДК 504.5(076)
ББК 20.1я73
Б 68

Укладачі:

В. В. Благодатний, канд. техн. наук, доцент;

О. С. Рижков, канд. техн. наук, доцент;

В. Б. Нікольська, старший лаборант

Рецензент Є. І. Трушляков, канд. техн. наук, професор

Благодатний В. В.

Б 68 Розрахунок викидів забруднюючих речовин в атмосферу у хімічній, видобувній та деревообробній промисловості : методичні вказівки / В. В. Благодатний, О. С. Рижков, В. Б. Нікольська. – Миколаїв : НУК, 2012. – 60 с.

Викладено методику розрахунків викидів забруднюючих речовин у хімічній промисловості, при вибухових роботах, зберіганні та транспортуванні мінеральних речовин і вугілля, а також при обробці деревини. Наведено приклади розрахунків забруднення атмосфери вказаними джерелами.

Призначено для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 8.04010601 "Екологія та охорона навколишнього середовища". Можуть бути використані також студентами інших спеціальностей при виконанні розділів з охорони навколишнього середовища у дипломному проектуванні.

УДК 504.5(076)
ББК 20.1я73

Навчальне видання

БЛАГОДАТНИЙ Володимир Валентинович

РИЖКОВ Олександр Сергійович

НІКОЛЬСЬКА Вікторія Борисівна

РОЗРАХУНОК ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРУ У ХІМІЧНІЙ, ВИДОБУВНІЙ ТА ДЕРЕВООБРОБНІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ

Методичні вказівки

Комп'ютерне складання та верстання *Н. В. Ялова*

Коректор *М. О. Паненко*

© Благодатний В. В., Рижков О. С., Нікольська В. Б., 2012

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2012

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 3,5. Обсяг даних 1000 кб.
Тираж 14 прим. Вид. № 36. Зам. № 400.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова,

просп. Героїв Сталінграда, 9, м. Миколаїв, 54025

E-mail : publishing@nuos.edu.ua

Свідцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Розрахунок викидів у хімічній промисловості	5
1.1. Розрахунок кількості шкідливих речовин, що виділяються з газового об'єму трубопроводів та апаратів.	5
1.2. Розрахунок викидів шкідливих речовин, що потрапляють в атмосферу при "великому" та "малому диханні" апаратів	11
1.3. Розрахунок викидів шкідливих речовин з відкритих поверхонь апаратів, заповнених рідиною.	15
1.4. Розрахунок викидів з рідинного об'єму апаратів, що перебувають під тиском.	23
2. Розрахунок викидів шкідливих речовин у видобувній промисловості .	27
2.1. Розрахунок викидів шкідливих речовин при вибухових роботах	27
2.2. Розрахунок викидів пилу в процесі зберігання та транспортування мінеральних речовин.	34
2.3. Розрахунок викидів забруднюючих речовин з відкритих джерел підприємств вугільної промисловості.	41
3. Розрахунок викидів при обробці деревини	48
Список рекомендованої літератури	55
Додаток	56

ВСТУП

Хімічна, видобувна та деревообробна галузі складають вагому частку промислового виробництва в Україні. Функціонування підприємств цих галузей пов'язане із значним забрудненням атмосфери, які нерідко здійснюються великою кількістю неорганізованих джерел. Оцінка впливу таких джерел на навколишнє природне середовище, розробка сучасних систем вентиляції та засобів пиловловлювання потребує застосування сучасних методів розрахунку викидів шкідливих речовин у атмосферу.

У першій частині методичних вказівок наведено методики визначення викидів забруднюючих речовин у хімічній промисловості. Основними джерелами надходження шкідливих речовин у повітряне середовище виробничих приміщень хімічних заводів є нещільності в апаратурі, трубопроводах, ущільненнях обертових валів, насосів, компресорів, реакторів тощо, а також відкриті апарати, розливи рідин та місця зберігання.

Процес видобутку корисних копалин включає розкриття родовищ, виймання, транспортування та відкрите зберігання мінеральних або органічних речовин. Як правило, усі названі операції проводяться за відсутності засобів пилопригнічення або є розосередженими джерелами забруднення атмосфери. Розрахунку викидів шкідливих речовин присвячений другий розділ. Наведені у ньому методики можуть бути також використані для визначення кількості забруднень атмосфери неорганізованими джерелами у виробництві будівельних матеріалів, портовому господарстві тощо.

Обробка деревини та виготовлення виробів з неї супроводжується забрудненням навколишнього середовища пилом та парами органічних розчинників, визначенню кількості яких присвячений третій розділ.

Зміст розділів відповідає практикуму з курсу "Джерела забруднення навколишнього середовища", який виконується студентами-екологами НУК протягом VIII семестру.

1. РОЗРАХУНОК ВИКИДІВ У ХІМІЧНИЙ ПРОМИСЛОВOSTІ

1.1. Розрахунок кількості шкідливих речовин, що виділяються з газового об'єму трубопроводів та апаратів

Основними джерелами викидів газоподібних речовин у атмосферу з трубопроводів та апаратів, які перебувають під тиском, є ущільнення з'єднань трубопроводів, кришок апаратів, валів і штоків компресорів, мішалок, реакторів тощо.

Кількість i -ї газоподібної речовини, що виділяється через нещільність фланцевого з'єднання, кг/год, визначається за формулою:

$$G_i = 3,57 \cdot 10^{-5} \cdot \eta \cdot P_{\text{над}} \cdot m \cdot V \cdot \sqrt{\frac{M_i}{T}}, \quad (1.1)$$

де $P_{\text{над}}$ – надлишковий тиск, Па; 3,75 – коефіцієнт, $^{\circ}\text{C}^{1/2} \cdot \text{см}^2 / (\text{м}^3 \cdot \text{год})$; η – коефіцієнт запасу, (якщо $P_{\text{над}} \geq 2 \cdot 10^5$ Па, приймається $\eta = 2$, якщо $0,02 \cdot 10^5 < P_{\text{над}} < 2 \cdot 10^5$, то $\eta = 1,5$); m – коефіцієнт негерметичності, що характеризує падіння тиску в апараті, год^{-1} (табл. 1.1); V – об'єм апарату, займаний газовою (паровою) фазою, м^3 ; T – абсолютна температура газу або пари в апараті, К; M_i – молекулярна маса газу або пари.

При умовному діаметрі $D_{\text{ум}} > 250$ мм коефіцієнт, m множать на поправочний множник $k = 250/D_{\text{ум}}$. При застосовуванні торцевих ущільнень, а також без сальникового обладнання з екранними електродвигунами приймають $m \leq 0,001$. При використанні технологічного устаткування з підвищеною надійністю герметизуючих пристроїв, рекомендується при повторних випробуваннях на герметичність після ремонту висувати такі ж вимоги до герметизації устаткування, як і до знову встановлених, тобто приймати $m = 0,001 \div 0,002$.

сн Таблиця 1.1. Допустимі значення коефіцієнтів негерметичності

Ємність	Середовище	Тривалість випробування на герметичність при робочому тиску, год	Коефіцієнт негерметичності m , год ⁻¹
Сосуди, газові компресори, технологічне обладнання з трубопроводами та інше обладнання, що працює під тиском:			
щойно встановлені	Токсичне Пожежо- та вибухонебезпечне	24 24	0,001 0,002
такі, що піддаються повторному випробуванню	Також	24	0,005
Трубопроводи для горючих, токсичних та зріджених газів і парів: цехові	Токсичне і горюче Горюче	24 24	0,0005 0,001
міжцехові	Токсичне і горюче Горюче	24 24	0,001 0,002

При $P_{\text{над}} < 0,02 \cdot 10^5$ кількість викидів шкідливих речовин є незначною і нею можна знехтувати.

Приклад 1. Визначити кількість шкідливих речовин, що потрапляють у атмосферу крізь нещільності фланцевих з'єднань щойно встановленого цехового трубопроводу довжиною $L = 100$ м та діаметром $d = 0,1$ м, по якому транспортується метан під надлишковим тиском $P_{\text{над}} = 2,5 \cdot 10^5$ Па. Температура газу у трубопроводі $T = 305$ К.

Розв'язок.

Згідно з таблицею 1 Додатку визначаємо молекулярну масу метану $M = 16,03$.

Оскільки надлишковий тиск $P_{\text{над}} \geq 2 \cdot 10^5$ Па, приймаємо коефіцієнт запасу $\eta = 2$.

Для щойно встановлених трубопроводів для транспортування вибухопожежонебезпечного середовища коефіцієнт негерметичності $m = 0,002$.

Об'єм газової суміші у трубопроводі:

$$V = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \cdot L = \frac{3,14 \cdot (0,1)^2 \cdot 100}{4} = 0,785 \text{ м}^3.$$

Кількість газової суміші, що виділяється через нещільності фланцевих з'єднань, знаходимо за формулою (1.1):

$$\begin{aligned} G &= 3,57 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 2,5 \cdot 10^5 \cdot 0,002 \cdot 0,785 \cdot \sqrt{\frac{16,03}{305}} = \\ &= 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/год} = 1,78 \cdot 10^{-3} \text{ г/с}. \end{aligned}$$

При застосуванні лабіринтових ущільнень відхідні гази послідовно проходять крізь декілька зазорів та розширювальних камер, що перешкоджає і значно знижує викиди до навколишнього середовища. Зазори у лабіринтовому ущільненні становлять приблизно $0,2 \div 0,5$ мм. Кількість пари або газу, г/с, що виділяється через лабіринтове ущільнення, можна визначити за формулою:

$$G_i = F \cdot 10^5 \sqrt{\frac{\left[(p_1/10^5) - (p_2/10^5)^2 \right] \cdot \rho_i}{n \cdot p_1/10^5}}, \quad (1.2)$$

де F – площа зазору, м^2 ; p_1 и p_2 – тиск перед лабіринтовим ущільненням та після нього, Па; n – кількість камер лабірину; ρ_i – густина газового середовища у апараті, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Приклад 2. Визначити кількість шкідливих речовин, що потрапляють у атмосферу крізь лабіринтові ущільнення апарату, заповненого газом метаном, з температурою 293 К. Тиск у апараті $P_1 = 1,125 \cdot 10^5$ Па; тиск навколишнього середовища $P_2 = 101325$ Па; діаметр кришки апарату $D = 1,0$ м; величина зазору $\delta = 1,0 \cdot 10^{-4}$ м; кількість камер у лабіринтовому ущільненні $n = 2$.

Розв'язок.

Площа зазору лабіринтового ущільнення:

$$F = \pi \cdot D \cdot \delta = 3,14 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 10^{-4} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

За таблицею 1 Додатку визначаємо густину метану за температури 293К – $\rho = 0,72$ $\text{кг}/\text{м}^3$.

Кількість шкідливих речовин, що потрапляють в атмосферу крізь лабіринтові ущільнення, визначаємо за формулою (1.2):

$$G = 3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 10^5 \cdot \sqrt{\frac{[(1,125 \cdot 10^5 / 10^5)^2 - (101325 / 10^5)^2] \cdot 0,72 \cdot 9,8 \cdot 10^5}{2 \cdot 101325}} = 28,64 \text{ г/с}.$$

Для оцінки кількості газів і пари, що виділяються через ущільнення валів і штоків компресорів, мішалок та реакторів, г/с, рекомендується наступна формула:

$$G_i = 2617 \cdot \frac{S^3 \cdot d_{\text{ср}} \cdot P_{\text{над}}}{z \cdot v_i} \cdot 10^{-7}, \quad (1.3)$$

де S – ширина кільцевої щілини (радіального зазору), см, приймається, виходячи з допусків і посадок обертових валів хімічних апаратів в залежності від діаметра валу (таблиця 1.2) $d_{\text{ср}} = 100 \cdot d_{\text{в}} + S$ – середній діаметр кільцевої щілини, см; $d_{\text{в}}$ – діаметр валу, м; z – довжина спрямовуючої втулки ущільнення, см; v_i – кінематична в'язкість газового середовища у обладнанні, $\text{м}^2/\text{с}$.

Таблиця 1.2

d_B , м	≤ 01	0,01...0,04	0,03...0,12	$> 0,12$
S , см	0	0,001	0,002	0,005

Кількість i -ї шкідливої речовини, що потрапляє до атмосфери крізь наскрізні пори малого розміру, г/с, за різниці між тиском всередині апарату та у навколишньому середовищі $P_{\text{над}} < 0,02 \cdot 10^5$ Па, визначається за формулою:

$$G_i = 3,9 \cdot \frac{F^2 \cdot P_{\text{над}}}{l_3 \cdot v_i} \cdot 10^{-4}, \quad (1.4)$$

де F – Площа щілинного зазору, м²; l_3 – середня довжина щілинного зазору, м.

Вплив апаратів, у яких підтримується тиск, менший за атмосферний, на довкілля залежить від різниці тисків всередині апарату та у навколишньому середовищі (розрідження). Якщо його величина складає більше $0,01 \cdot 10^5$ Па, апарат розглядають як вакуумний і до його герметичності висувають підвищені вимоги. Тож кількість шкідливих речовин, що виділяються через нещільності у такому апараті є нехтовно малою і її не враховують. Якщо ж у апараті розрідження є малим (до 1000 Па), а концентрація летких токсичних речовин великою (до ста тисяч гранично допустимих у робочій зоні виробничих приміщень) суттєвим стає вплив процесу дифузії шкідливих речовин крізь нещільність наскрізні пори. До того ж внаслідок вентиляції робочих приміщень повітря у них постійно турбулізується припливними та тепловими струменями і концентрація шкідливих речовин навколо апаратів постійно знижується. Отже, зростає рушійна сила процесу дифузії і відповідно надходження токсичних речовин до атмосфери.

Кількість шкідливих речовин, що виділяються крізь щілинні зазори з апаратів, розрідженні, визначаються за формулою, г/с:

$$G_l = \frac{1}{2} \frac{F c_l D^2}{w l^2} = \frac{1}{2} \frac{F c_l w}{(Pe^D)^2}, \quad (1.5)$$

де F – сумарна площа щілин, м²; c_i – концентрація шкідливої речовини у апараті, г/м³; w – швидкість повітря в щілинах, м/с; Pe^D – критерій

Пекле у завданнях дифузійного перенесення речовини:

$$\text{Re}_l = w \cdot l / D_l, \quad (1.6)$$

де l – середня довжина каналів наскрізних пор, м; D_l – коефіцієнт дифузії газу в повітрі, м²/с.

Коефіцієнт дифузії за робочої температури T_p та тиску p_p , м²/с, може бути обчислений за формулою:

$$D_i = D_{0i} \cdot \frac{p_0}{p_p} \cdot \left(\frac{T_p}{T_0} \right)^{3/2}, \quad (1.7)$$

де D_{0i} – коефіцієнт дифузії речовини у повітрі, м²/с, за температури $T_0 = 273$ К та тиску $p_0 = 101308$ Па:

$$D_{0i} = \frac{0,8}{\sqrt{M_i}} \cdot 10^{-4}. \quad (1.8)$$

Приклад 3. Визначити кількість хлору, що потрапляє в атмосферне повітря, крізь кільцеву щілину шириною $\delta = 1$ мм = 10^{-3} м з апарату діаметром $D_A = 2$ м, у якому підтримується розрідження $\Delta P = 500$ Па та температура $t = 25$ °С. Концентрація домішки в апараті $C_z = 20$ г/м³. Тиск навколишнього середовища: $P_{н.ср} = 101325$ Па. Довжина каналів $l = 20 \cdot 10^{-3}$ м. Витрати повітря, що відсмоктується з апарату, $V = 30$ м³/год.

Розв'язок.

Площа щілини:

$$F = \pi \cdot D_A \cdot \delta = 3,14 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 6,28 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Швидкість повітря у щілинах:

$$w = \frac{V}{F} = \frac{30}{3600 \cdot 6,28 \cdot 10^{-3}} = 1,33 \text{ м/с}.$$

З таблиці 1 Додатку знаходимо молекулярну масу хлору $M_i = 70,90$.

Коефіцієнт дифузії хлору у повітрі при $T_0 = 273$ К, $P_0 = 101308$ Па згідно з формулою (1.8):

$$D_{0i} = \frac{0,8}{\sqrt{70,91}} \cdot 10^{-4} = 9,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

В апараті підтримується робочий тиск $P_p = P_{н.ср} - \Delta P$, тож коефіцієнт дифузії за робочих умов, м²/с:

$$D_i = D_{0i} \cdot \frac{P_0}{P_{н.ср} - \Delta P} \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^2 = 9,5 \cdot 10^{-6} \frac{101308}{101325 - 500} \cdot \left(\frac{273 + 25}{273} \right)^{3/2} = 10,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Кількість хлору, що виділяється при розрідженні, визначаємо за формулою (1.5):

$$G = \frac{6,28 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot (10,9 \cdot 10^{-6})^2}{2 \cdot 1,33 \cdot (20 \cdot 10^{-3})^2} = 1,40 \cdot 10^{-8} \text{ г/с}.$$

За наявності паспортних даних (тиску випробовувань на герметичність у заводських умовах $p_{вип}$, величини падіння тиску за 1 годину та кількості шкідливих речовин, що виділяються при цьому G_0 , г/с), кількість шкідливої речовини, що виділяється з апарату в процесі експлуатації, г/с, визначається за формулою:

$$G_l = G_0 \eta \frac{c_l D_l^2}{p_e} 0,981 \cdot 10^5, \quad (1.9)$$

де η – коефіцієнт запасу, приймається в межах 1,5–2,0; p_e – розрідження у процесі експлуатації, Па.

1.2. Розрахунок викидів шкідливих речовин, що потрапляють в атмосферу при "великому" та "малому" диханні апаратів

"Великим диханням" називають витискування газу чи пари до навколишнього середовища при наповненні апаратів або підсмоктування повітря всередину апаратів при їх спорожненні. У процесі наповнення температура і тиск у ємності майже завжди залишаються постійними.

Об'єм витіснених газів або парів, що потрапляють у атмосферу при наповненні апарату, м³, визначається за формулою:

$$V_b = V_1 - V_2, \quad (1.10)$$

де V_1 та V_2 – об'єм газів або парів у апараті відповідно перед його наповненням і після наповнення, м³.

Маса i -ї речовини, що надходить до атмосфери протягом "великого дихання", кг/цикл, розраховується за формулою:

$$G_B = V_B \cdot c_i = (V_1 - V_2) \cdot c_i, \quad (1.11)$$

де c_i – об'ємна концентрація i -ї речовини у частині апарату, що зайнята газом або парою, кг/м³. Її визначають за залежністю:

$$c_i = \frac{16 \cdot P_i^H \cdot M_i}{(273 + t) \cdot 133,3}, \quad (1.12)$$

де P_i^H – парціальний тиск насиченої пари в апараті, Па; M_i – молекулярна маса газу або пари; t – температура газового середовища та рідини в апараті, °С.

Тиск насиченої пари i -ї чистої речовини, мм. рт. ст., над відповідною рідиною можна визначити з рівняння:

$$\lg P_i^H = A_i - \frac{B_i}{C_i + t}, \quad (1.13)$$

де A_i , B_i , C_i – константи Антуана.

Приклад 4. Визначити кількість бензолу, що потрапляє в атмосферу при "великому диханні" апарату діаметром $D = 2,0$ м та висотою $H = 3,0$ м. Висота рівня рідини в апараті перед заповненням $h = 1,5$ м. Коефіцієнт заповнення апарату рідиною $k_z = 0,75$. Температура рідини та газового середовища в апараті $t = 30$ °С.

Розв'язок.

Згідно з таблицею 1 Додатку знаходимо коефіцієнти рівняння Антуана:

$$A = 6,984; \quad B = 1252,8; \quad C = 225;$$

та молекулярну масу бензолу: $M = 78,1$.

Парціальний тиск насиченої пари бензолу у апараті визначаємо з формули (1.13):

$$\lg P_i^H = 6,984 - \frac{1252,8}{225 + 30} = 2,07.$$

Звідки

$$P_i^H = 10^{2,07} = 117,5 \text{ мм.рт.ст.} = 15661,4 \text{ Па.}$$

Концентрацію насиченої пари у апараті знаходимо за формулою (1.12):

$$c_i = \frac{16 \cdot 15661,4 \cdot 78,1}{(273 + 30) \cdot 133,3} = 484,6 \text{ г/м}^3.$$

Об'єм газової суміші в апараті перед його заповненням знаходимо за формулою:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot (H - h) = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} (3 - 1,5) = 4,71 \text{ м}^3.$$

Об'єм газів у апараті після його заповнення розраховуємо за залежністю:

$$V_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \cdot (1 - k_3) = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 3 \cdot (1 - 0,75) = 2,36 \text{ м}^3.$$

Об'єм газів, що виділяється протягом "великого дихання" згідно з (1.10):

$$V_B = 4,71 - 2,36 = 2,35 \text{ м}^3.$$

Масу речовини, що виділяється протягом "великого дихання", визначаємо за формулою (1.11):

$$G_B = 2,35 \cdot 484,6 = 1138,8 \text{ г.}$$

Процес "малого дихання" є характерним головним чином для апаратів, які розташовані поза приміщеннями і піддаються значному впливу зовнішнього середовища. Якщо внаслідок такого впливу температура газового середовища зростає, то при "малому диханні" відбувається витискування газів або парів з апарату, а якщо температура знижується – підсмоктування повітря всередину апарату. Оскільки зміна рівня рідини при цьому є незначною, об'єм газового або парового простору апарату

залишається постійним. Надлишок газу (пари) видаляється через дихальну систему, тому тиск у апараті також залишається незмінним.

Якщо за весь період "малого дихання" температура змінюється рівномірно, то рівномірною є і зміна концентрації насиченої пари речовини. Якщо ж температура при "малому диханні" змінюється нерівномірно, то при розрахунку викидів весь період поділяють на невеликі відрізки часу і знаходять зміну температури і відповідні втрати газової суміші за кожний проміжок часу, а потім визначають загальні втрати.

Об'єм газів або парів, що потрапляють у атмосферу внаслідок "малого дихання" при зміні значення температури з t_1 на t_2 , м^3 , можна знайти з наступного виразу:

$$V_{\text{м}} = V \cdot \beta \cdot (t_2 - t_1) = V \cdot \frac{(t_2 - t_1)}{273}, \quad (1.14)$$

де V – об'єм газу або пари у апараті над рідиною, м^3 ; β – коефіцієнт об'ємного розширення, який наближено можна приймати рівним $1/273$.

Маса речовини, що надходить до атмосфери протягом "малого дихання", кг/цикл , розраховується за формулою:

$$G_{\text{м}} = V_{\text{м}} \cdot c_{\text{сер}}, \quad (1.15)$$

де $c_{\text{сер}}$ – середня концентрація насичених парів речовини за період дихання, г/м^3 :

$$c_{\text{сер}} = (c_1 + c_2)/2, \quad (1.16)$$

де c_1 та c_2 – об'ємні концентрації насичених парів речовини відповідно за температури t_1 та t_2 , г/м^3 .

Приклад 5. Визначити кількість бензолу, що потрапляє в атмосферу при "малому диханні" апарату згідно з умовами прикладу 3. (перед заповненням) при зміні температура рідини та газового середовища в апараті з $t_1 = 30^\circ\text{C}$ до $t_2 = 35^\circ\text{C}$.

Розв'язок.

Згідно з прикладом 19 коефіцієнти рівняння Антуана:

$A = 6,984$; $B = 1252,8$; $C = 225$; молекулярна маса бензолу: $M = 78,1$; об'єм газової суміші у апараті $V = V_1 = 4,71 \text{ м}^3$; концентрація насиченої пари в апараті за температури t_1 $c_1 = c_i = 484,6 \text{ г/м}^3$.

Парціальний тиск насиченої пари за температури t_2 визначаємо з формули (1.16):

$$\lg P_2^H = 6,984 - \frac{1252,8}{225 + 35} = 2,16,$$

$$P_2^H = 10^{2,16} = 146,4 \text{ мм.рт.ст.} = 19515,0 \text{ Па.}$$

Концентрацію насиченої пари за температури t_2 знаходимо за формулою (1.12):

$$c_2 = \frac{16 \cdot 19515,0 \cdot 78,1}{(273 + 35) \cdot 133,3} = 594,0 \text{ г/м}^3.$$

Середню концентрація домішки за період "малого дихання", визначаємо за формулою (1.13):

$$c_{\text{сеп}} = (484,6 + 594,0)/2 = 539,3 \text{ г/м}^3.$$

Об'єм газів, що виділяється протягом "малого дихання", розраховуємо за формулою (1.14):

$$V_M = 4,71 \cdot \frac{(40 - 35)}{273} = 0,086 \text{ м}^3.$$

Кількість шкідливих речовин, що викидається за період "малого дихання", знаходимо за формулою (1.15):

$$G_M = 0,086 \cdot 539,3 = 46,5 \text{ г.}$$

1.3. Розрахунок викидів шкідливих речовин з відкритих поверхонь апаратів, заповнених рідиною

Процес перенесення речовини з вільної поверхні рідини (при зберіганні у відкритих резервуарах, просоченні, промивці, розливі тощо), від джерела випаровування до навколишнього середовища може бути дифузійним, або конвективним (вільним чи примусовим). Кількість шкідливих речовин, що потрапляють при цьому до атмосфери, визначається хімічними властивостями поверхні, її температурою, площею дзеркала випаровування, тривалістю випаровування та швидкістю повітря.

Процес перенесення речовини, що випаровується, від джерела випаровування в навколишнє середовище визначається добутком критерію Грасгофа Gr і дифузійного критерію Прандтля Pr^D . Критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{g \cdot L^3 \cdot (\rho_p - \rho_{н.ср})}{\nu_p^2 \cdot \rho_p}, \quad (1.17)$$

де L – визначальний розмір, м: для круглої поверхні дорівнює діаметру, для квадрата – стороні, для прямокутника і поверхні неправильної форми $L = \sqrt{F}$; F – площа вільного перерізу, м²; ρ_p – густина середовища над поверхнею рідини, кг/м³; ν_p – коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища над поверхнею рідини, м²/с; $\rho_{н.ср.}$ – густина навколишнього середовища на деякому віддаленні від поверхні, кг/м³.

Критерій Pr^D для процесу випаровування приймається рівним 0,66.

Якщо не враховувати зниження температури поверхні рідин, особливо таких, що киплять за низьких температур, то помилка у розрахунках може скласти значну величину. Тому до формул розрахунку викидів шкідливих речовин вводять поправочний коефіцієнт k_1 (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3

Температура кипіння рідини, °C	≤80	80...100	100...150	>150
Поправочний коефіцієнт k_1	1,5	1,3	1,1	1,0

У разі укриття поверхні випаровування то до формул розрахунку кількості газів (парів), що виділяються у навколишнє середовище, вводять коефіцієнт k_2 (таблиця 1.4), що приймається залежно від відношення F_1/F_2 , де F_1 – відкрита поверхня випаровування, м²; F – повна поверхня випаровування, м².

Таблиця 1.4

F_1/F	0,0001	0,001	0,01	0,1	0,5	0,8	>0,8
k_2	0	0,01	0,1	0,2	0,3	0,6	1,0

Якщо добуток $Gr \cdot Pr^D < 1$, випаровування з вільної поверхні рідини відбувається при плівковому режимі. При такому режимі забруднююча речовина переноситься шляхом дифузії крізь плівку нерухомого повітря порівняно великої товщини, що утворюється біля поверхні рідини.

При випаровуванні рідини з глибокої ємності кількість шкідливих речовин, що потрапляють до атмосферного повітря при плівковому режимі, г/с, обчислюють за формулою:

$$G_i = \frac{k_2}{k_1} \frac{D_i F c_{pi}}{h} \ln \frac{B - p_{oi}}{B - p_{pi}}, \quad (1.18)$$

де D_i – коефіцієнт дифузії пари рідини у повітрі, $\text{м}^2/\text{с}$; c_{pi} – концентрація компонента над поверхнею рідини, $\text{г}/\text{м}^3$; h – відстань від верхнього краю ємності до поверхні рідини, м ; B – барометричний тиск, Па ; p_{oi} – парціальний тиск пари рідини на деякому віддаленні від джерела, Па ; p_{pi} – парціальний тиск пари речовини над поверхнею рідини за температури випаровування, Па .

При випаровуванні рідини з малих поверхонь (наприклад, з кульок ртуті) кількість шкідливих речовин, що поступають в атмосферне повітря, г/с, визначається за формулою:

$$G_i = 2 \cdot 10^3 \cdot D_i \sqrt{\frac{F}{0,785}} \frac{p_{pi} - p_{oi}}{B} \frac{k_2}{k_1} \rho_i, \quad (1.19)$$

де ρ_i – густина пари рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Якщо ж $2 \cdot 10^2 < Gr \cdot Pr^D < (Gr \cdot Pr^D)_{\text{кр}}$, то випаровування шкідливої речовини з поверхні рідини у атмосферне повітря відбувається при ламінарному і перехідному режимах руху навколишнього середовища.

Критичні значення добутку критерію Грасгофа та дифузійного критерію Прандтля складають:

- при випаровуванні із змочених вертикальних стінок – приблизно $2,3 \cdot 10^8$;
- при випаровуванні з горизонтальної поверхні рідини, пари якої легші
- при випаровуванні з горизонтальної поверхні рідини пари якої важчі за навколишнє середовище – приблизно $1,1 \cdot 10^9$.

Для процесів природної конвекції кількість i -ї речовини, що випаровується при ламінарному і перехідному режимах з горизонтальної поверхні G_i , г/год, залежно від різниці масових концентрацій або парціальних тисків може бути визначена за наступними рівняннями.

Якщо пари рідини, що випаровується, легші за навколишнє середовище:

$$G_i = 118 \cdot F \cdot L^{-1/4} \cdot D_i^{1/2} \cdot (c_{pi} - c_{oi})^{5/4} \cdot \left(\frac{M_{н.сп.}}{M_i} - 1 \right)^{1/4} \rho_{н.сп.}^{-1/4} \cdot \frac{k_2}{k_1}, \quad (1.20)$$

або

$$G_i = 11,4 \cdot 10^{-4} \cdot F \cdot L^{-1/4} \cdot D_i^{1/2} (p_{pi} - p_{oi})^{5/4} \cdot M_i^{5/4} \left(\frac{M_{н.сп.}}{M_i} - 1 \right)^{1/4} \cdot \frac{k_2}{k_1}, \quad (1.21)$$

де $M_{н.сп.}$, M_i – молекулярні маси пари навколишнього середовища та речовини відповідно; c_{oi} – концентрація пари речовини у навколишньому середовищі, г/м³; D_i – коефіцієнт дифузії пари рідини у повітрі, м²/год.

Якщо ж пари рідини, що випаровується, важчі за навколишнє середовище, маємо відповідно:

$$G_i = 65 \cdot F \cdot L^{-1/4} \cdot D_i^{1/2} \cdot (c_{pi} - c_{oi})^{5/4} \cdot \left(1 - \frac{M_{н.сп.}}{M_i} \right)^{1/4} \rho_{н.сп.}^{-1/4} \cdot \frac{k_2}{k_1}, \quad (1.22)$$

та

$$G_i = 6,4 \cdot 10^{-4} \cdot F \cdot L^{-1/4} \cdot D_i^{1/2} \cdot (p_{pi} - p_{oi})^{5/4} \cdot M_i^{5/4} \left(1 - \frac{M_{н.сп.}}{M_i} \right)^{1/4} \cdot \frac{k_2}{k_1}. \quad (1.23)$$

Для вертикальної поверхні випаровування незалежно від співвідношення між молекулярними масами рідини, що випаровується, та навколишнього середовища справедливими є рівняння:

$$G_i = 79 \cdot F \cdot L^{-1/4} \cdot D_i^{1/2} \cdot (c_{pi} - c_{oi})^{5/4} \cdot \left(\left| 1 - \frac{M_{н.сп.}}{M_i} \right| \right)^{1/4} \rho_{н.сп.}^{-1/4} \cdot \frac{k_2}{k_1}, \quad (1.24)$$

$$G_i = 7,5 \cdot 10^{-4} \cdot F \cdot L^{-1/4} \cdot D_i^{1/2} \cdot (p_{pi} - p_{oi})^{5/4} \cdot M_i^{5/4} \left(\left| 1 - \frac{M_{н.сп.}}{M_i} \right| \right)^{1/4} \cdot \frac{k_2}{k_1}. \quad (1.25)$$

Коефіцієнт дифузії пари рідини у повітрі, м²/год, що входить до рівнянь (1.20)–(1.25), може бути обчислений за формулами (1.7) та (1.8).

При перевищенні критичних значень добутку критеріїв Грасгофа та Прандтля випаровування шкідливої речовини відбувається при турбулентному режимі руху повітря (навколишнього середовища) поблизу поверхні. Формули (1.20)–(1.25) для такого режиму набувають вигляду:

– для горизонтальної поверхні випаровування, коли пари рідини, що випаровується, легші за навколишнє середовище

$$G_i = 104 \cdot F \cdot D_i^{1/3} \cdot (c_{pi} - c_{oi})^{4/3} \cdot \left(\frac{M_{н.сп.}}{M_i} - 1 \right)^{1/3} \cdot \rho_{н.сп.}^{-1/3} \cdot \frac{k_2}{k_1}, \quad (1.26)$$

$$G_i = 3,0 \cdot 10^{-4} \cdot F \cdot D_i^{1/3} \cdot (p_{pi} - p_{oi})^{4/3} \cdot M_i^{4/3} \cdot \left(\frac{M_{н.сп.}}{M_i} - 1 \right)^{1/3} \cdot \frac{k_2}{k_1}, \quad (1.27)$$

а коли пари рідини, що випаровується, важчі за навколишнє середовище:

$$G_i = 52 \cdot F \cdot D_i^{1/3} \cdot (c_{pi} - c_{oi})^{4/3} \cdot \left(1 - \frac{M_{н.сп.}}{M_i} \right)^{1/3} \cdot \rho_{н.сп.}^{-1/3} \cdot \frac{k_2}{k_1}, \quad (1.28)$$

$$G_i = 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot F \cdot D_i^{1/3} \cdot (p_{pi} - p_{oi})^{4/3} \cdot M_i^{4/3} \cdot \left(1 - \frac{M_{н.сп.}}{M_i} \right)^{1/3} \cdot \frac{k_2}{k_1}; \quad (1.29)$$

– для вертикальної поверхні випаровування:

$$G_i = 78 \cdot F \cdot D_i^{1/3} \cdot (c_{pi} - c_{oi})^{4/3} \cdot \left(\left| 1 - \frac{M_{н.сп.}}{M_i} \right| \right)^{1/3} \cdot \rho_{н.сп.}^{-1/3} \cdot \frac{k_2}{k_1}, \quad (1.30)$$

$$G_i = 2,25 \cdot 10^{-4} \cdot F \cdot D_i^{1/3} \cdot (p_{pi} - p_{oi})^{4/3} \cdot M_i^{4/3} \cdot \left(\left| 1 - \frac{M_{н.сп.}}{M_i} \right| \right)^{1/3} \cdot \frac{k_2}{k_1}. \quad (1.31)$$

Приклад 6. Визначити кількість бензолу, що потрапляє в атмосферу з відкритого апарату згідно з умовами прикладу 3 за температури рідини та газового середовища в апараті $t_p = 30\text{ }^{\circ}\text{C} = 303\text{ K}$. Тиск навколишнього середовища (повітря) $p_{\text{н.ср}} = 101325\text{ Па}$, температура $t_p = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Парціальний тиск рідини у навколишньому середовищі $p_{0i} = 0$.

Розв'язок.

З таблиці 2 Додатку знаходимо густину навколишнього середовища (повітря) за $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rho_{\text{н.ср}} = 1,205\text{ кг/м}^3$ та за робочих умов $\rho_{\text{п}} = 1,165\text{ кг/м}^3$, а також в'язкість повітря за робочих умов $\mu_{\text{п}} = 18,6 \cdot 10^{-6}\text{ Па}\cdot\text{с}$.

З таблиці 1 Додатку знаходимо температуру кипіння бензолу: $t_{\text{к}} = 353,3\text{ K} = 80,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тоді коефіцієнт, що враховує зниження температури поверхні випаровування (табл. 1.3) $k_1 = 1,3$.

Для відкритої поверхні коефіцієнт, що враховує ступінь закриття поверхні випаровування $k_2 = 1$.

Площа поверхні випаровування:

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} = 3,14\text{ м}^2.$$

Внаслідок випаровування бензолу, над поверхнею рідини утворюється його суміш з навколишнім повітрям. Визначимо параметри цієї суміші.

Згідно з прикладом 3 парціальний тиск насиченої пари бензолу над рідиною: $p_i^{\text{H}} = 15661,4\text{ Па}$.

Парціальний тиск повітря над рідиною, Па:

$$p_{\text{п}} = p_{\text{н.ср}} - p_i^{\text{H}} = 101325 - 15661,4 = 85663,6\text{ Па}.$$

Об'ємні частки складових газової суміші над рідиною:

$$\text{– повітря: } n_{\text{п}} = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{н.ср}}} = \frac{85663,6}{101325} = 0,845;$$

$$\text{– речовини: } n_i = \frac{p_i^{\text{H}}}{p_{\text{н.ср}}} = \frac{15661,4}{101325} = 0,155.$$

З таблиці 1 Додатку знаходимо густину парів бензолу при $T' = 293\text{ K}$

та $p' = 101325 \text{ Па}$; $\rho_{0i} = 3,48 \text{ м}^3$.

Густина бензолу за робочих умов:

$$\rho_i = \rho_{0i} \cdot \frac{T' \cdot p_{\text{н.сп}}}{T_1 \cdot p'} = 3,48 \frac{293 \cdot 101325}{(273 + 30) \cdot 101325} = 3,365 \text{ кг/м}^3.$$

Густина газової суміші над рідиною:

$$\rho_{\text{см}} = n_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}} + n_{\text{р}} \cdot \rho_{\text{р}} = 0,845 \cdot 1,205 + 0,155 \cdot 3,365 = 1,540 \text{ кг/м}^3.$$

Уявна молекулярна маса газової суміші над рідиною:

$$M_{\text{см}} = n_{\text{п}} \cdot M_{\text{п}} + n_{\text{і}} \cdot M_{\text{і}} = 0,845 \cdot 28,96 + 0,155 \cdot 78,1 = 33,45,$$

де $M_{\text{п}} = 28,96$; $M_{\text{і}} = 78,1$ – молекулярні маси відповідно повітря та бензолу.

Коефіцієнт дифузії речовини у повітрі за температури $T_0 = 273 \text{ К}$, та тиску $p_0 = 101308 \text{ Па}$ знаходимо за формулою (1.8):

$$D_{0i} = \frac{0,8}{\sqrt{78,1}} \cdot 0,36 = 0,032 \text{ м}^2 / \text{год},$$

а коефіцієнт дифузії речовини у повітрі за робочих умов – за формулою (1.7):

$$D_i = 0,032 \cdot \frac{101308}{101325} \cdot \left(\frac{303}{273} \right)^{3/2} = 0,037 \text{ м}^2 / \text{год}.$$

З таблиці 1 Додатку знаходимо константу Сатерленда $Sat_i = 380$ та динамічну в'язкість бензолу за температури 0°С $\mu_{0i} = 70 \cdot 10^{-7} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Динамічну в'язкість бензолу за робочих умов розраховуємо за формулою:

$$\begin{aligned} \mu_i &= \mu_{0i} \cdot \frac{273 + Sat_i}{T_{\text{р}} + Sat_i} \cdot \left(\frac{T_{\text{р}}}{273} \right)^{1,5} = 70 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{273 + 380}{303 + 380} \cdot \left(\frac{303}{273} \right)^{1,5} = \\ &= 78,25 \cdot 10^{-7} \text{ Па} \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

Динамічна в'язкість суміші газів над рідиною:

$$\mu_{\text{см}} = \frac{M_{\text{см}}}{\frac{n_{\text{п}} \cdot M_{\text{п}}}{\mu_{\text{п}}} + \frac{n_i \cdot M_i}{\mu_i}} = \frac{33,45}{\frac{0,845 \cdot 28,96}{18,6 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,155 \cdot 778,1}{78,25 \cdot 10^{-7}}} = 11,7 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Визначальний розмір поверхні випаровування, м, $l = D = 2,0$.

Критерій Грасгофа:

$$\begin{aligned} Gr &= \frac{g \cdot L^3 \cdot (\rho_{\text{см}} - \rho_{\text{н}})}{\nu_{\text{см}}^2 \cdot \rho_{\text{см}}} = \frac{g \cdot L^3 \cdot (\rho_{\text{см}} - \rho_{\text{н}}) \cdot \rho_{\text{см}}}{\mu_{\text{см}}^2} = \\ &= \frac{9,81 \cdot 2^3 \cdot (1,540 - 1,165) \cdot 1,165}{(11,7 \cdot 10^{-6})^2} = 25,0 \cdot 10^{10}. \end{aligned}$$

Добуток критеріїв Грасгофа та Прандтля ($\text{Pr}^D = 0,66$):

$$Gr \cdot \text{Pr}^D = 25,0 \cdot 10^{10} \cdot 0,66 = 16,8 \cdot 10^{10} > (Gr \cdot \text{Pr}^D)_{\text{кр}}.$$

Таким чином, режим руху повітря є турбулентним, а оскільки $M_{\text{п}} = 28,96 < M_i = 78,1$ для розрахунку кількості шкідливої речовини, що потрапляє у атмосферу з вільної поверхні рідини, обираємо формулу (1.29):

$$\begin{aligned} G_i &= 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 3,14 \cdot (0,037)^{1/3} \cdot (15661,4 - 0)^{4/3} \cdot 78,1^{4/3} \left(1 - \frac{28,96}{78,1}\right)^{1/3} \cdot \frac{1}{1,3} = \\ &= 13493,3 \text{ г/год} = 3,75 \text{ г/с}. \end{aligned}$$

У режимі вимушеної конвекції, кількість речовини, що випаровується з відкритої поверхні, г/год, описується емпіричним рівнянням:

$$G_i = 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot (5,38 + 4,1 \cdot w) \cdot F \cdot p_{\text{pi}} \sqrt{M_i} \cdot \frac{k_2}{k_1}. \quad (1.32)$$

1.4. Розрахунок викидів з рідинного об'єму апаратів, що перебувають під тиском

Формули для розрахунку викидів шкідливих речовин у атмосферу з рідинного об'єму трубопроводів та апаратів, які перебувають під тиском, крізь нещільності фланцевих з'єднань трубопроводів, ущільнень валів і штоків компресорів, мішалок та реакторів дещо відрізняються від залежностей (1.1)–(1.4). Це зумовлено, насамперед, більшою в'язкістю рідкого середовища у порівнянні з газовим.

Кількість i -ї шкідливої речовини, що надходить до атмосфери крізь нещільності фланцевих з'єднань, $г/(м \cdot год)$, доцільно визначити за наступною формулою:

$$G_i = k \cdot m \sqrt{p_{\text{над}} / 10^5}, \quad (1.33)$$

де $p_{\text{над}}$ – надлишковий тиск внутрішнього середовища, Па; k – коефіцієнт, що враховує матеріал прокладки; для пароніту $k = 1$, для гуми $k = 5$ і для фторопласту – 4 $k = 0,5$; m – коефіцієнт негерметичності, (таблиця 1.1).

Значення коефіцієнту негерметичності для початкового періоду експлуатації, а також для трубопроводів і устаткування, що піддаються повторному випробуванню слід приймати рівним $0,005$ а для знову встановлених трубопроводів та обладнання у період сталого режиму – $0,001$.

Кількості шкідливих речовин, що виділяються у атмосферу крізь штоковий сальник поршневих насосів, що перекачують малосірчисті рідкі нафтопродукти $г/год$:

$$G = 3,19 \cdot 10^{-3} \pi \cdot D \cdot B \sqrt{p}, \quad (1.34)$$

де D – діаметр штока, мм; B – дослідний коефіцієнт, що дорівнює 5 для агресивних нафтопродуктів (наприклад, алкілату) і $2,5$ для бензинів, лігроїнів, керосинів тощо; p – тиск, що розвиваються насосом, Па.

Кількість шкідливих речовин, що виділяються через кільцевий зазор сальникового ущільнення відцентрового насоса, залежності від режиму витікання шкідливих речовин з щілині. Визначення режиму течії (ламінарного чи турбулентного) здійснюється за значенням числа Рейнольдса:

$$Re = S \cdot w / \nu, \quad (1.35)$$

де S – ширина кільцевої щілини (або радіального зазору), м (таблиця 1.2);

w – швидкість потоку у щілині, м/с; ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища, $\text{м}^2/\text{с}$.

Для концентричної кільцевої щілини турбулентний режим починається за $\text{Re} > 1000$, а для ексцентричної – за $\text{Re} > 300$.

При турбулентному режимі витікання кількість шкідливих речовин визначається за формулою (1.2), Кількість речовин, що виділяються, а при ламінарному режимі (через концентричну кільцеву щілину) – з виразу, г/с;

$$G_i = 2,57 \frac{p_{\text{над}} \cdot S^3 \cdot D_{\text{ср}} \cdot \rho_i}{\mu_i \cdot z} \cdot 10^{-10}, \quad (1.36)$$

де $p_{\text{над}}$ – надлишковий тиск середовища у насосі, Па; S – ширина кільцевої щілини (радіального зазору), см; $D_{\text{ср}}$ – середній діаметр кільцевої щілини, м; ρ_i – густина середовища, $\text{кг}/\text{м}^3$; z – довжина спрямовуючої втулки, м; μ_i – коефіцієнт динамічної в'язкості середовища, Па·с.

При витіканні з ексцентричної щілини втрати речовини збільшуються і в цьому випадку вони визначаються за формулою, г/год:

$$G = 2,57 \frac{p_{\text{над}} \cdot S^3 \cdot D_{\text{ср}} \cdot \rho_i}{\mu_i \cdot z} (1 - 1,5 \cdot l^{-2}) \cdot 10^{-10}, \quad (1.37)$$

де l – відносна величина, що дорівнює відношенню ексцентриситету до розміру максимального зазору.

Динамічну в'язкість рідини за робочої температури, Па·с, можна визначити за формулою Пуазейля:

$$\mu_i = \frac{\mu_{0i}}{1 + 0,0368 \cdot t + 0,000221 \cdot t^2}, \quad (1.38)$$

де μ_0 – динамічна в'язкість рідини за температури 0°C .

Приклад 7. Визначити кількість метанолу, що потрапляє в атмосферне повітря крізь ущільнення відцентрових насосів з концентричним валом діаметром $d_{\text{в}} = 5 \cdot 10^{-2}$ м за довжини спрямовуючої втулки $z = 0,1$ м. Параметри рідини у насосі: надлишковий тиск $P_{\text{над}} = 2,5 \cdot 10^5$ Па; температура $t = 25^\circ\text{C}$.

Розв'язок.

Відповідно до діаметра валу $d_B = 5 \cdot 10^{-2}$ м за таблицею 1.2 ($d_B = 0,03 \dots 0,12$ м) приймаємо ширину кільцевої щілини $S = 0,002$ см.

Середній діаметр щілини, м:

$$D_{cp} = d_B + 0,01 \cdot S = 0,05 + 0,01 \cdot 0,002 = 0,05002 \text{ м} .$$

З таблиці 1 Додатку знаходимо динамічну в'язкість метанолу за температури 0°C : $\mu_0 = 87 \cdot 10^{-7}$ Па $\cdot$ с.

Динамічну в'язкість метанолу за робочої температури визначаємо за формулою (13.6):

$$\mu_i = \frac{87 \cdot 10^{-7}}{1 + 0,0368 \cdot 25 + 0,000221 \cdot 25^2} = 42,27 \cdot 10^{-7} \text{ Па} \cdot \text{с} .$$

З таблиці 1 Додатку знаходимо густину рідини $\rho_i = 792$ кг/м³.

У першому наближенні вважаємо режим течії ламінарним. Тоді кількість метанолу, що потрапляє до атмосфери крізь ущільнення, визначаємо за формулою (2.4):

$$G = 2,57 \cdot \frac{2,5 \cdot 10^5 \cdot (0,002)^3 \cdot 0,05002 \cdot 792}{0,1 \cdot 42,27 \cdot 10^{-7}} \cdot 10^{-10} = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ г/с} .$$

Перевіряємо справедливість припущення про ламінарний характер витікання крізь щілину. Для цього розраховуємо значення критерію Рейнольдса.

Спочатку знаходимо об'ємні витрати метанолу крізь зазор:

$$V = \frac{G_i}{\rho_i} \cdot 10^{-3} = \frac{4,8 \cdot 10^{-5}}{792} \cdot 10^{-3} = 6,06 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{с} .$$

Площа кільцевої щілини:

$$F = \pi \cdot D_{cp} \cdot S \cdot 10^{-2} = 3,14 \cdot 0,05002 \cdot 0,002 \cdot 10^{-2} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 .$$

Швидкість потоку у щілині:

$$w = \frac{V}{F} = \frac{6,06 \cdot 10^{-11}}{3,14 \cdot 10^{-6}} = 1,92 \cdot 10^{-5} \text{ м/с.}$$

Число Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{S \cdot w}{\nu_i} \cdot 10^{-2} = \frac{S \cdot w \cdot \rho_i}{\mu_i} \cdot 10^{-2} = \frac{0,002 \cdot 1,92 \cdot 10^{-5} \cdot 792}{42,27 \cdot 10^{-7}} \cdot 10^{-2} = 0,072.$$

Оскільки значення критерію Рейнольдса для концентричної кільцевої щілини ($\text{Re} > 1000$), режим витікання є ламінарним, а отже, й значення кількості метанолу, що надходить до атмосфери, розраховано правильно.

За наявності паспортних даних про кількість шкідливих речовин, що просочуються через сальникове ущільнення насоса, $G_{\text{см}}$, г/год, кількість i -го компоненту рідинної суміші, що потрапляє до атмосфери, визначається за формулою:

$$G_i = G_{\text{см}} a_i, \quad (1.39)$$

де a_i – масова частка компоненту в суміші рідини %.

2. РОЗРАХУНОК ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ВИДОБУВНІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ

2.1. Розрахунок викидів шкідливих речовин при вибухових роботах

Кількість пилу, що виділяється при бурінні свердловин, г/с, може бути визначена за формулою:

$$G_6 = C \cdot Q / 3600, \quad (2.1)$$

де C – концентрація пилу в каналі або на виході з пиловловлюючого ковпака, г/м³, Q – витрати повітря в каналі або при виході з пиловловлюючого ковпака, м³/год.

Концентрація пилу в повітряному потоці, г/м³, розраховується за формулою:

$$C = 785 \frac{d^2 \cdot v_6 \cdot \rho}{Q}, \quad (2.2)$$

тут d – діаметр бурильних свердловин, м; v_6 – швидкість буріння, м/год; ρ – густина породи, г/м³.

Розрахунок основних параметрів пило-газової хмари при проведенні вибухових робіт робиться на момент її максимального розвитку при збереженні досить чітких контурів.

Об'єм пило-газової хмари V_x , м³, можна визначити за емпіричною формулою:

$$V_x = 44000 A^{1,08}, \quad (2.3)$$

де A – кількість підірваної вибухової речовини, т,
або за спрощеними формулами:

$$\text{якщо } A \leq 3 \text{ т,} \quad V_x = 47890 \cdot (A - 0,062); \quad (2.4)$$

$$\text{якщо } 3 < A \leq 30 \text{ т,} \quad V_x = 57580 \cdot (A - 0,062); \quad (2.5)$$

$$\text{якщо } A \leq 30 \text{ т,} \quad V_x = 69220 \cdot (A - 6,2). \quad (2.6)$$

Висота підйому пило-газової хмари H_0 , м, визначається за формулою:

$$H_0 = b \cdot (164 + 0,258 \cdot A), \quad (2.7)$$

де b – безрозмірний коефіцієнт, залежний від глибини свердловини; для глибин до 15 м $b = 1$, для більших глибин $b = 0,8$.

Температура газів у хмарі t_x , °C, розраховується за формулою:

$$t_x = t + \Delta t, \quad (2.8)$$

де t – температура навколишнього повітря, °C; Δt – перегрів пило-газової хмари відносно навколишнього повітря (таблиця. 2.1).

Таблиця 2.1. Значення Δt залежно від кількості підірваної вибухової речовини

$A, \text{т}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Delta t, \text{°C}$	0,40	0,60	0,97	1,40	1,79	2,24	2,82	3,44	4,09	4,80

Для визначення викидів шкідливих речовин при проведенні вибухових робіт підприємствами вугільної промисловості використовуються наступні залежності.

Концентрація i -ї забруднюючої речовини, мг/м^3 , у пило-газовій хмарі при використанні одного виду вибухової речовини (ВР) визначається за формулою:

$$C_i = \frac{10^9 \cdot q_i \cdot A}{V_x} \left(1 - \frac{\eta}{100} \right), \quad (2.9)$$

де q – питома виділення i -ї забруднюючої речовини при вибуху 1 т ВР, т/т; η – ефективність застосованих при вибуху засобів пило- та газопригнічення, %.

Для визначення значення q заздалегідь розраховується питома витрата ВВ (кг/м^3) на 1 м^3 підірваної гірської маси:

$$\bar{\Delta} = \frac{1000 \cdot A}{V_{\text{ГМ}}}, \quad (2.10)$$

де $V_{\text{ГМ}}$ – об'єм підірваної гірської маси, м^3 .

Значення q пилу і оксиду вуглецю для різних видів ВВ з урахуванням їх питомої витрати наведені в таблиці 2.2, а для оксидів азоту q приймається рівним 0,0025 т/т.

Значення η при гідрозабиванні свердловин складають для пилу 60%, для газів 85%, при гідрогелевому забиванні – відповідно 50 та 85%.

Якщо для вибуху використовується декілька видів ВР, розрахунок концентрації забруднюючої речовини, мг/м³, у пило-газовій хмарі здійснюється наступним чином:

$$C = \frac{10^7 \cdot (100 - \eta)}{V_x} (q_1 A_1 + q_2 A_2 + \dots + q_n A_n). \quad (2.11)$$

Тут індексами 1, 2, ..., n позначені різні види вибухових речовин. Розрахунок валових викидів при вибухах здійснюється для кожної речовини окремо.

Кількість i -ї забруднюючої речовини, т, що викидається з пило-газовою хмарою за межі розрізу протягом даного вибуху, розраховується за формулою:

$$G_i = \frac{k \cdot C_i \cdot V_x}{10^9}, \quad (2.12)$$

де k – коефіцієнт, що враховує гравітаційне осідання забруднюючої речовини у межах розрізу (для пилу дорівнює 0,16, для газів – 1,0).

Приклад 8. Визначити параметри пило-газової хмари та кількість шкідливих речовин, що потрапляють в атмосферне повітря при проведенні вибухових робіт з використанням гранату 79/21. Об'єм підірваної гірської маси $V_{\text{гм}} = 20000 \text{ м}^3$; кількість вибухової речовини $A = 10 \text{ т}$; температура навколишнього середовища $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$; глибина свердловини 25 м.

Розв'язок.

Об'єм пило-газової хмари знаходимо за формулою (2.3):

$$V_x = 44000 \cdot 10^{1,08} = 5,29 \cdot 10^5 \text{ м}^3.$$

Для глибини свердловини 25 м (понад 15 м) коефіцієнт $b = 0,8$.

Тоді висота підняття пило-газової хмари, згідно з формулою (2.7):

$$H_x = 0,8 \cdot (164 + 0,258 \cdot 10) = 133,3 \text{ м}.$$

Таблиця 2.2. Питомі виділення забруднюючих речовин при вибухових

Δ , кг/м ³	Вибухова						
	Грамніт 79/21	Інданіт, Грануліт М	Грамніт 30/70-В	Грамніт 50/50-В	Гранулоліт	Грамонал А-45	Грамонал А-8
	пил						
0,05	0,148	0,151	0,155	0,148	0,153	0,143	0,143
0,10	0,088	0,092	0,096	0,088	0,094	0,082	0,082
0,15	0,069	0,074	0,079	0,069	0,076	0,062	0,062
0,20	0,061	0,067	0,073	0,062	0,070	0,053	0,054
0,25	0,058	0,065	0,072	0,058	0,069	0,049	0,049
0,30	0,057	0,065	0,074	0,058	0,070	0,046	0,047
0,35	0,058	0,068	0,079	0,059	0,074	0,045	0,046
0,40	0,060	0,072	0,085	0,061	0,079	0,045	0,046
0,45	0,063	0,077	0,094	0,064	0,086	0,046	0,047
0,50	0,067	0,084	0,104	0,069	0,094	0,047	0,048
0,55	0,072	0,092	0,117	0,074	0,105	0,049	0,050
0,60	0,079	0,102	0,133	0,080	0,118	0,052	0,052
0,65	0,086	0,114	0,152	0,088	0,133	0,054	0,056
0,70	0,094	0,128	0,174	0,097	0,151	0,058	0,059
0,75	0,104	0,145	0,201	0,107	0,173	0,061	0,063
0,80	0,116	0,164	0,233	0,119	0,198	0,066	0,068
0,85	0,129	0,187	0,272	0,133	0,229	0,071	0,073
0,90	0,144	0,214	0,317	0,149	0,264	0,076	0,079
0,95	0,162	0,245	0,372	0,167	0,307	0,083	0,085
1,00	0,182	0,282	0,436	0,188	0,357	0,090	0,093

роботах, т/т вибухової речовини

речовина							
Грануліт АС-8	Амона водостійкий	Грануліт АС-4	Грамонал А-50	Грамоніт 79/21	Грамоніт 30/70-В	Інданіт	Інші
				оксид вуглецю			
0,145	0,146	0,147	0,150	0,104	0,040	0,009	0,037
0,084	0,085	0,087	0,090	0,076	0,037	0,007	0,042
0,065	0,066	0,068	0,072	0,056	0,034	0,006	0,028
0,057	0,057	0,060	0,065	0,040	0,032	0,005	0,024
0,053	0,053	0,057	0,062	0,030	0,029	0,004	0,031
0,051	0,052	0,056	0,062	0,022	0,027	0,004	0,018
0,051	0,052	0,057	0,064	0,016	0,025	0,003	0,016
0,052	0,053	0,059	0,067	0,012	0,023	0,002	0,014
0,054	0,054	0,061	0,071	0,008	0,021	0,002	0,012
0,056	0,057	0,065	0,077	0,006	0,020	0,002	0,010
0,059	0,060	0,070	0,084	0,004	0,018	0,001	0,009
0,063	0,064	0,076	0,092	0,003	0,017	0,001	0,008
0,068	0,069	0,082	0,102	0,002	0,015	0,001	0,007
0,073	0,075	0,090	0,114	0,002	0,014	0,001	0,006
0,079	0,081	0,099	0,128	0,001	0,013	0,001	0,005
0,086	0,088	0,110	0,144	0,001	0,012	0,001	0,005
0,094	0,097	0,122	0,162	0,001	0,011	0,001	0,004
0,103	0,106	0,136	0,184	0,001	0,010	0,001	0,003
0,114	0,117	0,152	0,209	0,001	0,010	0,001	0,003
0,125	0,130	0,170	0,238	0,001	0,009	0,001	0,003

За таблицею 2.1 знаходимо величину перегріву пило-газової хмари: для $A = 10$ т $\Delta t = 0,40$ °C.

Температура газів у хмарі:

$$t_x = t + \Delta t = 15 + 0,4 = 15,4^\circ \text{C}.$$

Питомі витрати вибухової речовини знаходимо за формулою (2.10):

$$\bar{\Delta} = \frac{1000 \cdot 10}{20000} = 0,5 \text{ кг/м}^3.$$

З таблиці 2.2 знаходимо питомі виділення пилу, $q_{\text{п}} = 0,067$ т/т та оксиду вуглецю $q_{\text{CO}} = 0,006$ т/т. Питомі виділення діоксиду азоту $q_{\text{NO}_2} = 0,0025$ т/т вибухової речовини.

Концентрації забруднюючих речовин у пило-газовій хмарі, за відсутності засобів пилопригнічення визначаємо з формули (2.9):

- пилу:

$$C_{\text{п}} = \frac{10^9 \cdot q_{\text{п}} \cdot A}{V_x} = \frac{10^9 \cdot 0,067 \cdot 10}{5,29 \cdot 10^5} = 1266,5 \text{ мг/м}^3;$$

- оксиду вуглецю:

$$C_{\text{CO}} = \frac{10^9 \cdot q_{\text{CO}} \cdot A}{V_x} = \frac{10^9 \cdot 0,006 \cdot 10}{5,29 \cdot 10^5} = 113,4 \text{ мг/м}^3;$$

- діоксиду азоту:

$$C_{\text{CO}_2} = \frac{10^9 \cdot q_{\text{CO}_2} \cdot A}{V_x} = \frac{10^9 \cdot 0,0025 \cdot 10}{5,29 \cdot 10^5} = 47,8 \text{ мг/м}^3.$$

Приймаючи коефіцієнт k згідно з наведеними вище рекомендаціями, за формулою (2.12) розрахуємо кількість забруднюючої речовини, що викидається з пило-газовою хмарою за межі розрізу, т:

- пилу:

$$G_{\text{п}} = k \cdot C_{\text{п}} \cdot V_x \cdot 10^{-9} = 0,16 \cdot 1266,5 \cdot 5,29 \cdot 10^5 \cdot 10^{-9} = 0,107 \text{ т};$$

- оксиду вуглецю:

$$G_{CO} = k \cdot C_{CO} \cdot V_x \cdot 10^{-9} = 1,0 \cdot 113,4 \cdot 5,29 \cdot 10^5 \cdot 10^{-9} = 0,060 \text{ т};$$

- діоксиду азоту:

$$G_{NO_2} = k \cdot C_{NO_2} \cdot V_x \cdot 10^{-9} = 1,0 \cdot 47,2 \cdot 5,29 \cdot 10^5 \cdot 10^{-9} = 0,024 \text{ т}.$$

Кількість оксиду вуглецю, що виділяється з гірської маси після вибуху, слід приймати рівним 50% його викиду з пило-газовою хмарою, тобто:

$$G_{CO}^r = 0,5 G_{CO}. \quad (2.13)$$

Для пилу і оксидів азоту $G^r = 0$.

Для укрупнених розрахунків викидів, г (т/рік), при плануванні заходів по охороні атмосферного повітря слід використовувати формулу, в якій враховується умовне приведення вибухових речовин до грамоніту 79/21:

$$G_i = a \cdot k \cdot q_i \cdot A_r \left(1 - \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\eta}{100} \right), \quad (2.14)$$

де a – коефіцієнт, залежний від речовини, що виділяється (для оксиду вуглецю $a = 1,5$; для пилу і оксидів азоту $a = 1$); q_i – питоме виділення i -ї забруднюючої речовини при вибуху 1 т грамоніту 79/21 (таблиця. 2.2); A_r – загальні витрати ВР, г (т/рік); A_m – витрата ВВ, підірваних із застосуванням заходів по пило- та газопригнічення, г (т/рік).

Для визначення q за таблицею 2.2 при розрахунку валових викидів необхідно попередньо визначити $\bar{\Delta}$ – питомі витрати ВР, кг/м³, приведені за своїми працездатностями до грамоніту 79/21:

$$\bar{\Delta} = 10^3 \left(\frac{A_1 b_1 + A_2 b_2 + \dots + A_n b_n}{V_{\text{гм}}} \right), \quad (2.15)$$

де $b_1, b_2, \dots, b_n$ – коефіцієнти, що враховують працездатність вибухових речовин, позначених індексами 1, 2, ..., n (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3. Значення перевідного коефіцієнта b для різних ВР

ВР	b	ВР	b	ВР	b
Грамонал А-45	0,79	Грамоніт 50/50-В	1,01	Гранулотол	1,20
Грамонал А-8	0,80	Грамонал А-50	1,08	Грамоніт 30/70-В	1,26
Грануліт АС-8	0,89	Грануліт М	1,13	Амоніт № 6ЖВ	1,00
Амонал водостійкий	0,90	Інданіт	1,13	Грануліт АС-4	0,98

Розрахунок викидів оксидів вуглецю та азоту при проведенні вибухових робіт при видобутку мінеральної сировини проводиться за формулою (2.16), а пилу, г/с – за залежністю:

$$G = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot F_4 \cdot D \cdot 10^6 / \tau, \quad (2.17)$$

де $A_1 = 4 \dots 5$ т/кг – кількість матеріалу, що здійснюється у повітря при вибуху 1 кг ВР; $A_2 = 2 \cdot 10^5$ – частка легкого пилу розміром до 50 мкм, що переходить в аерозоль, від загальної кількості пилу; $A_3 = K_3$ – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру у зоні вибуху; A_4 – коефіцієнт, що враховує вплив обводнення свердловин та попереднього зволоження забою (при зрошенні зони осадження водою 10 л/м^2 дорівнює 0,7, при заводненні свердловини з висотою стовпа $10 \dots 14 \text{ м}$ – 0,5); D – величина заряду одного вибуху, т; τ – тривалість емісії пилу, с.

2.2. Розрахунок викидів пилу в процесі зберігання та транспортування мінеральних речовин

Максимальний разовий викид пилу при статичному зберіганні i -го матеріалу на відкритих майданчиках G_i^{36} , г/с, визначається за формулою:

$$G_i^{36} = K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot g_i' \cdot F, \quad (2.18)$$

де K_3 – коефіцієнт, що враховує збільшення виносу пилу з матеріалу за рахунок дії вітру (таблиця 2.4); K_4 – коефіцієнт, що враховує конструкцію укриття і ступінь захищеності вузла від зовнішніх впливів (таблиця 2.5); K_5 – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу (таблиця 2.6); K_6 – коефіцієнт, що враховує профіль складованого матеріалу і визначається зі співвідношення $F_{\text{факт}}/F$; $F_{\text{факт}}$ – площа фактичної поверхні матеріалу, м^2 ; F – горизонтальної проекція площі пилення, м^2 ; K_7 – коефіцієнт, що враховує розміри частинок матеріалу (таблиця 2.7); g_i' – винесення пилу з 1 м^2 фактичної поверхні, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; становить для хлористого калію та суперфосфату – 0,001; шлаку, піску, кварцу і щебілки – 0,002; мергелю, вапняку і цементу – 0,003; каоліну – 0,004; піщаника і гіпсу – 0,005.

Таблиця 2.4. Залежність величини коефіцієнта K_3 від швидкості вітру

Швидкість вітру, м/с	До 2	2,1...5	5,1...7	7,1...10	10,1...12	12,1...14	14,1...16	16,1...18	18,1 і вище
K_3	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,8	3,0

Таблиця 2.5. Залежність величини коефіцієнта K_4 від конструкцій укриття

Конструкція укриття	Значення K_4
Оклади, сховища, відкриті:	
– з чотирьох сторін	1,0
– з трьох сторін	0,5
– з двох сторін повністю і з двох сторін частково	0,3
– з двох сторін	0,2
– з однієї сторони	0,1
Завантажувальний рукав, закритий з чотирьох сторін	0,01

Таблиця 2.6. Залежність величини коефіцієнта K_5 від вологості матеріалів

Вологість матеріалів, %	0...0,5	0,6...1,0	1,1...3,0	3,1...5,0	5,1...7,0	7,1...8,0	8,1...9,0	9,0...10,0	Понад 10,0
K_5	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,2	0,1	0,01

Примітка. Для піску на складах вологістю 3% і більше викиди не враховують.

Таблиця 2.7. Залежність величини коефіцієнта K_7 від розміру матеріалів

Розмір шматка, мм	Понад 500	100...500	50...100	10...50	5...10	3...5	1...3	до 1
K_7	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0

Проведення завантажувальних та розвантажувальних робіт із застосуванням автомобільного та залізничного транспорту, перевантаження матеріалів у бункери, на транспортери та інше технологічне обладнання можуть супроводжуватися відкритим (без кожухів-укриттів) переміщенням сипких матеріалів як всередині приміщень, так і на відкритих майданчиках. Максимальні разові викиди при пересипанні i -го матеріалу G_i^{np} , г/с, розраховуються за формулою:

$$G_i^{np} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot G_i \cdot B' \cdot 10^6 / 3600, \quad (2.19)$$

де K_1 – масова частка пилової фракції у матеріалі, тобто загальна кількість пилу в частках одиниці, що міститься у всій масі, що переробляється (таблиця 2.8); K_2 – частка пилу від загальної кількості пилу, що переходить у завислий стан (аерозоль) у повітря приміщення або атмосферу (таблиця 2.8); G_i – продуктивність вузла переробки матеріалів (розвантаження, пересипання і т.д.), т/год; B' – коефіцієнт, що враховує висоту пересипання (таблиця 2.9).

Таблиця 2.8. Значення коефіцієнтів K_1 і K_2 для визначення викидів пилу

Матеріал, що переробляється	Густина матеріалу, г/см ³	K_1	K_2
Цемент	3,1	0,04	0,03
Вапняк	2,7	0,04	0,02
Мергель	2,7	0,05	0,02
Граніт	2,8	0,02	0,04
Мармур	2,8	0,04	0,06
Пісок	2,6	0,05	0,03
Гіпс мелений	2,6	0,08	0,04
Польовий шпат	2,5	0,07	0,01
Шлак	2,5...3,0	0,05	0,02
Діорит	2,8	0,03	0,06
Перліт	2,4	0,04	0,06
Керамзит	2,5	0,06	0,02
Вермикуліт	2,6	0,06	0,04
Аглопорит	2,5	0,06	0,04
Цегла (бій)	–	0,05	0,01
Щебінь	–	0,04	0,02
Піщаник	2,65	0,04	0,01
Фосфорити	2,7	0,05	0,02
Хлористий калій	2,2	0,02	0,01

Таблиця 2.9. Залежність величини коефіцієнта B' від висоти пересипання матеріалу

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

Якщо місце перевантаження обладнане місцевим відсмоктувачем, то окремо визначається кількість забруднюючих речовин, що потрапляють до системи аспірації, а також частина забруднюючих речовин, що надходить до загальнообмінної витяжної системи вентиляції закритих приміщень або до атмосферного повітря від відкритих неорганізованих джерел. Для першої частини формула (2.19) набуває вигляду:

$$G_i^{\text{пр}'} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot G_i \cdot B' \cdot \eta_{\text{мв}} \cdot 10^6 / 3600, \quad (2.20)$$

а для другої –

$$G_i^{\text{пр}''} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot G_i \cdot B' \cdot (1 - \eta_{\text{мв}}) \cdot 10^6 / 3600, \quad (2.21)$$

де $\eta_{\text{мв}}$ – коефіцієнт ефективності місцевого відсмоктувача.

Приклад 9. Визначити максимальну разову кількість пилу, що потрапляє в атмосферу при формуванні відкритого складу тимчасового зберігання вапняку поблизу кар'єру. Продуктивність розвантаження $G_{\text{в}} = 400$ т/год. Висота пересипання 1,5 м, вологість матеріалу – 15%. Розміри шматків вапняку до 250 мм. Розрахункова швидкість вітру 6 м/с. Фактична площа поверхні пилення $F_{\text{факт}} = 120$ м², а її горизонтальна проекція $F = 90$ м².

Розв'язок.

За таблицею 2.4 для швидкості вітру 6 м/с визначаємо коефіцієнт $K_3 = 1,4$.

За таблицею 2.5 для відкритого складу визначаємо коефіцієнт $K_4 = 1,0$.

За таблицею 2.6 для вологості матеріалу 15% визначаємо коефіцієнт $K_5 = 0,01$.

За таблицею 2.7 для шматків розміром 250 мм визначаємо коефіцієнт $K_7 = 0,2$.

Коефіцієнт, що враховує профіль складованого матеріалу, визначається за формулою:

$$K_6 = \frac{F_{\text{факт}}}{F} = \frac{120}{90} = 1,33.$$

Винесення пилу вапняку з 1 м² фактичної поверхні, $g_v' = 0,003 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{с)}$.

Максимальний разовий викид пилу при статичному зберіганні вапняку на відкритих майданчиках визначається за формулою (2.18):

$$G_v^{3б} = 1,4 \cdot 1,0 \cdot 0,01 \cdot 1,33 \cdot 0,2 \cdot 0,003 \cdot 90 = 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ г/с.}$$

За таблицею 2.8 для вапняку визначаємо коефіцієнти $K_1 = 0,04$; $K_2 = 0,02$.

За таблицею 2.9 для висоти пересипання 1,5 м визначаємо коефіцієнт $B' = 0,6$.

Максимальні разові викиди при пересипанні вапняку за відсутності місцевих відсмоктувачів розраховуються за формулою (2.19):

$$G_i^{\text{пр}} = 0,04 \cdot 0,02 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 0,01 \cdot 0,2 \cdot 400 \cdot 0,6 \cdot 10^6 / 3600 = 0,1493 \text{ г/с.}$$

Загальна кількість викидів:

$$G_v = G_v^{3б} + G_v^{\text{пр}} = 1,005 \cdot 10^{-3} + 0,1493 = 0,150 \text{ г/с.}$$

Викид пилу G_k , г/с, при транспортуванні інертних матеріалів стрічковими конвеєрами розраховується за формулою:

$$G_k = 0,003 \cdot b \cdot l, \quad (2.22)$$

де b та l – відповідно ширина і довжина конвеєрної стрічки, м.

При перевезенні сипких матеріалів, наприклад, вивезенні з кар'єру автогнотпортом, викиди пилу до атмосфери можуть відбуватися внаслідок взаємодії коліс автомобілів з полотном автошляху або здування матеріалу з поверхні кузова.

Максимальний разовий викид пилу i -го матеріалу внаслідок взаємодії коліс автомобілів з полотном автошляху $G_i^{\text{кол}}$, г/с, визначається за формулою:

$$G_i^{\text{кол}} = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_6 \cdot C_7 \cdot q_1 \cdot N \cdot L}{3600}, \quad (2.23)$$

де C_1 – коефіцієнт, що враховує середню вантажопідйомність одиниці автотранспорту (таблиця 2.10); C_2 – коефіцієнт, що враховує середню швидкість переміщення автотранспорту (таблиця 2.11); C_3 – коефіцієнт, що враховує стан автошляхів (таблиця 2.12); $C_6 = K_5$ – коефіцієнт, що враховує вологість поверхневого шару матеріалу; $C_7 = 0,01$ – коефіцієнт, що враховує частку пилу, яка уноситься в атмосферу; $q_1 = 1450$ г/км – виділення пилу на 1 км пробігу пр. $C_1 = C_2 = C_3 = 1$; L – середня довжина однієї ходки, у межах об'єкту, км; N – загальна кількість ходок (туди й назад) автотранспорту за годину, 1/год:

$$N = \frac{w \cdot n}{L}, \quad (2.24)$$

де w – середня швидкість транспортування, км/год; n – кількість одночасно працюючих автомашин.

Таблиця 2.10. Залежність коефіцієнта C_1 від середньої вантажопідйомності автотранспорту

Середня вантажопідйомність, т	5	10	15	20	25	30	40
C_1	0,8	1,0	1,3	1,6	1,9	2,5	3,0

Таблиця 2.11. Залежність коефіцієнта C_2 від середньої швидкості транспортування

Середня швидкість транспортування, км/год	5	10	20	30
C_2	0,6	1,0	2,0	3,5

Таблиця 2.12. Залежність коефіцієнта C_3 від стану доріг

Стан кар'єрних доріг	Дорога без покриттів (грунтова)	Дорога зі щебеним покриттям	Дорога зі щебеним покриттям, що оброблена розчином хлористого кальцію, ССБ, бітумною емульсією
C_3	1,0	0,5	0,1

Максимальний разовий викид пилу i -го матеріалу внаслідок його здування з поверхні кузова $G_i^{\text{куз}}$, г/с, визначається за формулою:

$$G_i^{\text{куз}} = 0,5 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot C_6 \cdot q_{2i} \cdot F_0 \cdot n, \quad (2.25)$$

де C_4 – коефіцієнт, що враховує профіль поверхні матеріалу; C_5 – коефіцієнт, що враховує швидкість обдування матеріалу; $q_{2i} = g'_i$ – винесення пилу з 1 м² фактичної поверхні матеріалу, г/(м²·с); F_0 – середня площа платформи, м².

Приклад 10. Визначити кількість пилу, що потрапляє в атмосферу при перевезенні вапняку на склад ґрунтовим автошляхом за умовами прикладу 9. Середня вантажопідйомність автотранспорту 25 т. Кількість машин $n = 6$. Середня довжина однієї ходки у межах об'єкту $L = 4,5$ км. Середня швидкість транспортування $w = 20$ км/год. Швидкість обдування кузова 7 м/с. Середня площа платформи автомашини $F_0 = 15$ м², фактична площа вапняку на платформі $F_{\text{факт}} = 21$ м².

Розв'язок.

Згідно з умовами прикладу 9 та поясненнями до формул (2.23) та (2.24) $C_6 = K_5 = 0,01$; $q_1 = 1450$ г/км; $C_7 = 0,01$; $q_{2i} = g'_i = 0,003$ г/(м²·с).

За таблицею 2.10 для вантажопідйомності автотранспорту 25 т визначаємо коефіцієнт $C_1 = 1,9$.

За таблицею 2.11 для швидкості транспортування $w = 20$ км/год визначаємо коефіцієнт $C_2 = 2,0$.

За таблицею 2.12 для ґрунтового автошляху визначаємо коефіцієнт $C_3 = 1,0$.

За формулою (2.24) знаходимо загальну кількість ходок автотранспорту за годину:

$$N = \frac{20 \cdot 6}{4,5} = 26,67.$$

Максимальний разовий викид пилу вапняку внаслідок взаємодії коліс автомобілів з полотном автошляху визначаємо за формулою (2.23):

$$G_{\text{в}}^{\text{кол}} = \frac{1,9 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \cdot 0,01 \cdot 0,01 \cdot 1450 \cdot 26,67 \cdot 4,5}{3600} = 0,0184 \text{ г/с}.$$

Коефіцієнт, що враховує профіль поверхні матеріалу, розраховуємо за формулою:

$$C_4 = \frac{F_{\text{факт}}}{F_0} = \frac{21}{15} = 1,4.$$

За таблицею 2.13 для швидкості обдування кузова 7 м/с визначаємо коефіцієнт $C_5 = 1,2$.

Таблиця 2.13. Залежність коефіцієнта C_5 від швидкості обдування кузова

Швидкість обдування, м/с	До 2	До 5	До 10
C_5	1,0	1,2	1,5

Максимальний разовий викид пилу вапняку внаслідок його здування з поверхні кузова визначається за формулою (2.25):

$$G_{\text{в}}^{\text{куз}} = 0,5 \cdot 1,4 \cdot 1,5 \cdot 0,01 \cdot 0,003 \cdot 15 \cdot 6 = 0,0028 \text{ г/с.}$$

Загальна кількість викидів:

$$G_{\text{в}} = G_{\text{в}}^{\text{кол}} + G_{\text{в}}^{\text{куз}} = 0,0184 + 0,0028 = 0,021 \text{ г/с.}$$

2.3. Розрахунок викидів забруднюючих речовин з відкритих джерел підприємств вугільної промисловості

Забруднення атмосфери твердими частинками з відвалів підприємств вугільної промисловості відбувається в процесі формування відвалів, а також внаслідок здування з поверхні пилення.

Максимальна разова кількість твердих частинок, що потрапляють до атмосфери при формуванні відвалів, г/с, визначається за формулою:

$$G_{\text{т}}^{\text{ф}} = \frac{K_0 \cdot K_1 \cdot g_{\text{пит}}^0 \cdot \Pi_{\text{год}} (1 - \eta)}{3600}, \quad (2.26)$$

де K_0 – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу (таблиця 2.14); K_1 – коефіцієнт, що враховує збільшення виносу пилу з матеріалу за рахунок дії вітру і дорівнює коефіцієнту K_3 (див. табл. 2.4); $g_{\text{пит}}^0$ – питоме виділення

твердих частинок з породи, що надходить до відвалу, г/м^3 , (таблиця 2.15);
 $\Pi_{\text{год}}$ – максимальна кількість породи, що надходить до відвалу, $\text{м}^3/\text{год}$;
 η – ефективність засобів пилопригнічення.

Валовий викид твердих частинок в атмосферу при формуванні відвалів, т/рік , визначається за формулою:

$$M_{\text{т}}^{\Phi} = K_0 \cdot K_1 \cdot g_{\text{пит}}^0 \cdot \Pi_{\text{рік}} (1 - \eta) \cdot 10^{-6}, \quad (2.27)$$

де $\Pi_{\text{рік}}$ – річна кількість породи, що надходить до відвалу, $\text{м}^3/\text{рік}$.

Максимальна разова кількість твердих частинок, що потрапляють до атмосфери внаслідок здування з поверхні пилення, г/с , визначається за формулою:

$$G_{\text{т}}^3 = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot W_3 \cdot \gamma \cdot (1 - \eta), \quad (2.28)$$

де K_2 – коефіцієнт, що враховує ефективність здування твердих частинок і чисельно дорівнює: для діючих відвалів – 1,0; у перші три роки після закінчення експлуатації – 0,2; у наступні роки аж до повного припинення озеленення відвалу – 0,1; S_0 – площа поверхні пилення відвалу, м^2 ; $W_3 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ г/м}^2$ – питома здатність до здування твердих частинок з поверхні пилення відвалу; $\gamma = 0,1$ – коефіцієнт подрібнення гірської маси.

З урахуванням чисельних значень величин W_3 та γ формула (2.28) набуває вигляду:

$$G_{\text{т}}^3 = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot (1 - \eta) \cdot 10^{-5}. \quad (2.29)$$

Відповідно для валових викидів твердих частинок, що потрапляють до атмосфери внаслідок здування з поверхні пилення, т/рік , маємо:

$$M_{\text{т}}^3 = 86,4 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S_0 \cdot (365 - T_{\text{с}}) \cdot (1 - \eta) \cdot 10^{-8}, \quad (2.30)$$

де $T_{\text{с}}$ – річна кількість днів зі стійким сніговим покривом.

Приклад 11. Визначити максимальну разову та валову кількість пилу, що потрапляє до атмосфери з плоского діючого породного відвалу з площею пилення $S_0 = 15000 \text{ м}^2$ за відсутності засобів пилопригнічення. На відвал автосамоскидами надходить порода вологістю 4% у максимальній кількості $\Pi_{\text{год}} = 7 \text{ м}^3/\text{год}$ та $\Pi_{\text{рік}} = 60000 \text{ м}^3/\text{рік}$ і планується бульдозерами. Для місцевості, на якій розташований відвал, характерні швидкість вітру $4,5 \text{ м/с}$ та річна кількість днів зі стійким сніговим покривом $T_{\text{с}} = 75$.

Таблиця 2.14. Залежність величини коефіцієнта K_0 від вологості матеріалів

Вологість матеріалів, % K_0	0...0,5	0,6...1,0	1,1...3,0	3,1...5,0	5,1...7,0	7,1...8,0	8,1...9,0	9,0...10,0	Понад 10,0
	2,0	1,5	1,3	1,2	1,0	0,7	0,3	0,2	0,1

Таблиця 2.15. Питомі виділення твердих частинок при формуванні відвалів

	Найменування обладнання	g^0 , г/м ³ $g_{\text{пит}}$
Відвалутворення плоских відвалів	Драглайн ЕШ -15/90, ЕШ- 20/90	18,0
	Драглайн ЕШ -10/70	26,6
	Драглайн ЕШ-4/40, ЕШ- 6/45, ЕШ- 5/45	64,0
	Відвалутворювач ОШР- 5250/190	2,7
	Бульдозер	5,6
	Розвантаження автосамоскиду	10,0
Відвалутворення териконників	Розвантаження думпкару	10,0
		20,0

Розв'язок.

За таблицею 2.14 для вологості матеріалу 4% визначаємо коефіцієнт $K_0 = 1,2$.

За таблицею 2.4 для швидкості вітру 4,5 м/с визначаємо коефіцієнт $K_1 = 1,2$.

За таблицею 2.15 визначаємо питоме виділення твердих частинок з породи, що надходить до відвалу: для бульдозера $g_{\text{пит}}^0 = 5,6 \text{ г/м}^3$, для розвантаження автосамоскиду $g_{\text{пит}}^0 = 10 \text{ г/м}^3$.

Сумарне значення $g_{\text{пит}}^0 = 5,6 + 10 = 15,6 \text{ г/м}^3$.

Максимальну разову кількість твердих частинок, що потрапляють до атмосфери при формуванні відвалів, визначаємо за формулою (2.26):

$$G_{\text{т}}^{\Phi} = \frac{1,2 \cdot 1,2 \cdot 15,6 \cdot 7}{3600} = 0,044 \text{ г/с.}$$

Валовий викид твердих частинок у атмосферу при формуванні відвалів розраховуємо за формулою (2.27):

$$M_{\text{т}}^{\Phi} = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 15,6 \cdot 60000 \cdot 10^{-6} = 1,348 \text{ г/с.}$$

Для діючих відвалів коефіцієнт $K_2 = 1,0$.

Максимальну разову кількість твердих частинок, що потрапляють до атмосфери внаслідок здування з поверхні пилення знаходимо за формулою (2.29):

$$G_{\text{т}}^3 = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 15000 \cdot 10^{-5} = 0,216 \text{ г/с.}$$

Валові викиди твердих частинок, що потрапляють до атмосфери внаслідок здування з поверхні пилення, розраховуємо за формулою (2.30):

$$M_{\text{т}}^3 = 86,4 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 15000 \cdot (365 - 75) \cdot 10^{-8} = 5,412 \text{ т/рік.}$$

Сумарні викиди пилу:

– максимальні разові:

$$G_{\text{т}} = G_{\text{т}}^{\Phi} + G_{\text{т}}^3 = 0,044 + 0,216 = 0,260 \text{ г/с;}$$

– валові:

$$M_{\text{т}} = M_{\text{т}}^{\Phi} + M_{\text{т}}^3 = 1,348 + 5,412 = 6,760 \text{ т/рік.}$$

Максимальна разова кількість газоподібних речовин, що потрапляють до атмосфери внаслідок горіння породних відвалів, г/с, визначається за формулою:

$$G_{\text{г}} = 0,0317 \cdot K_3 \cdot g_{\text{ср}}^0, \quad (2.31)$$

де K_3 – коефіцієнт, що враховує кількість викидів шкідливих газів після закінчення експлуатації відвалу і чисельно дорівнює: для діючих відвалів – 1,0; у перший рік після закінчення експлуатації – 0,5; у другий рік – 0,3; у третій та наступні роки – 0,1; $g_{\text{ср}}^0$ – середня кількість шкідливих газів, які виділяються з одного відвалу, що горить, т/рік (таблиця 2.16).

Валова кількість газоподібних речовин, що потрапляють до атмосфери внаслідок горіння породних відвалів, т/рік, визначається за формулою:

$$M_{\text{г}} = K_3 \cdot g_{\text{ср}}^0. \quad (2.32)$$

Максимальна разова кількість твердих частинок, що потрапляють до атмосфери при формуванні відкритих складів вугілля, г/с, визначається за формулою:

$$G_{\text{в}}^{\Phi} = \frac{K_0 \cdot K_1 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot q_{\text{пит}} \cdot V_{\text{год}} \cdot (1 - \eta)}{3600}, \quad (2.33)$$

де K_4 – коефіцієнт, що враховує місцеві умови, тобто ступінь захищеності від зовнішніх впливів (таблиця 2.17); K_5 – коефіцієнт, що враховує висоту пересипання і дорівнює коефіцієнту B' (таблиця 2.9); $q_{\text{пит}} = 3,0$ г/т – питома виділення твердих частинок з вугілля, що надходить на склад; $V_{\text{год}}$ – максимальна кількість вугілля, що надходить на склад, т/год.

Валовий викид твердих частинок в атмосферу при формуванні відкритих складів вугілля, т/рік, визначається за формулою:

$$M_{\text{в}}^{\Phi} = K_0 \cdot K_1 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot q_{\text{пит}} \cdot V_{\text{рік}} (1 - \eta) \cdot 10^{-6}, \quad (2.34)$$

де $V_{\text{рік}}$ – річна кількість породи, що надходить до відкритого складу вугілля, м³/рік.

Таблиця 2.16. Середні викиди шкідливих речовин з діючого відвалу, що горить

Виробниче об'єднання	$g_{\text{ср}}^0$, т/рік				
	Усього	SO_2	CO	NO_x	H_2S
Донецьквугілля	3647,6	314,5	3144,5	31,4	157,2
Макіїввугілля	2742,4	236,4	2364,2	23,6	118,2
Радянськвугілля	353,1	30,4	304,5	3,0	15,2
Червоноармійськвугілля	1665,4	143,6	1435,7	14,3	71,8
Селідоввугілля	1401,1	120,8	1207,9	12,0	60,4
Добропіллявугілля	832,5	71,8	717,7	7,1	35,9
Артемвугілля	4503,9	388,2	3882,8	38,8	194,1
Дзержинськвугілля	1828,0	157,6	1575,9	15,7	78,8
Орджонікідзевугілля	2833,5	244,3	2442,7	24,4	122,1
Шахтарськантрацит	1377,6	118,8	1187,6	11,8	59,4
Октябрівугілля	922,4	79,5	795,3	7,9	39,7
Торезантрацит	3751,4	323,4	3234,0	32,3	161
Луганськвугілля	1418,1	122,2	1222,6	12,2	61,1
Стахановвугілля	1377,0	118,7	1187,1	11,9	59,3
Первомайськвугілля	2718,5	234,4	2343,5	23,4	117,2
Лисичанськвугілля	2549,6	219,8	2198,0	21,9	109,9
Донбасантрацит	1594,5	37,5	1374,5	13,8	68,7
Літрацит	1250,2	107,8	1077,7	10,8	53,9
Антрацитвугіллязбагачення	1896,6	163,5	1635,0	16,3	81,8
Ровенькиантрацит	1147,4	98,9	989,1	9,9	49,5
Краснодонвугілля	556,0	47,9	479,3	4,8	24,0
Свердловськантрацит	1865,8	160,8	1608,5	16,1	80,4
Укрзахідвугілля	561,2	48,4	483,8	4,8	24,2
Донецьквугіллязбагачення	5261,7	453,6	4536,0	45,3	226,8
Луганськвугіллязбагачення	2979,1	256,8	2568,2	25,7	128,4

Таблиця 2.17. Залежність величини коефіцієнта K_4 від конструкції укриття

Конструкція укриття	Значення K_4
Склади, сховища, відкриті:	
– з чотирьох сторін	1,0
– з трьох сторін	0,8
– з двох сторін повністю	0,6
– з двох сторін частково	0,5
– з однієї сторони	0,1
Завантажувальний рукав, закритий з чотирьох сторін	0,1

Кількість твердих частинок, які здуваються з поверхні відкритих складів вугілля, г/с, визначається, за формулою:

$$G_{\text{в}}^3 = K_O \cdot K_1 \cdot K_4 \cdot K_6 \cdot W_3 \cdot \gamma \cdot S_{\text{ш}} \cdot (1 - \eta) \cdot 10^3, \quad (2.35)$$

де $K_6 = 1,3 \dots 1,6$ – коефіцієнт, що враховує профіль поверхні матеріалу, який складують:

$$K_6 = \frac{S_{\text{факт}}}{S_{\text{ш}}},$$

де $S_{\text{факт}}$ – фактична поверхня матеріалу, м^2 ; $S_{\text{ш}}$ – площа основи штабелів вугілля, м^2 .

Для вугільного пилу величина $W_3 = 1 \cdot 10^{-6}$ $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, тож отримуємо:

$$G_{\text{в}}^3 = K_O \cdot K_1 \cdot K_4 \cdot K_6 \cdot S_{\text{ш}} \cdot (1 - \eta) \cdot 10^{-4}. \quad (2.36)$$

Валовий викид частинок вугілля, що потрапляють до атмосфери внаслідок здування з поверхні пилення, т/рік:

$$M_{\text{в}}^3 = 31,536 \cdot K_O \cdot K_1 \cdot K_4 \cdot K_6 \cdot S_{\text{ш}} \cdot (1 - \eta) \cdot 10^{-4}. \quad (2.37)$$

3. РОЗРАХУНОК ВИКИДІВ ПРИ ОБРОБЦІ ДЕРЕВИНИ

У процесі механічної обробки деревини на фугувальних, рейсмусових, свердлувальних, фрезерних, стругальних, шипорізних, шліфувальних та інших верстатах до атмосфери потрапляє значна кількість тирси, стружки і шліфувального пилу різного дисперсного складу. У процесах гарячого пресування, намазування, склеювання та сушіння шпону виділяються пари формальдегіду, фенолу та аміаку. Процеси оздоблення виробів з деревини супроводжуються забрудненням атмосфери парами ароматичних вуглеводнів, ефірів, спиртів тощо.

Розрахунок кількості пилових відходів, г/с, що потрапляють в атмосферу від обладнання механічної переробки деревини, з урахуванням очищення відхідних газів у пиловловлюючому пристрої, слід робити за формулою:

$$G_i = \eta_{\text{мв}} \cdot G_{0i} \cdot (1 - \eta_{\text{пв}}), \quad (3.1)$$

де G_{0i} – кількість пилу розміром менше 200 мкм, що утворюється при роботі верстату, г/с; $\eta_{\text{пв}}$ – коефіцієнт ефективності пиловловлюючого обладнання; $\eta_{\text{мв}}$ – коефіцієнт ефективності місцевого відсмоктувача.

Кількість пилу, що утворюється при роботі верстату, г/с, визначається за формулою:

$$G_{0i} = k_{\text{п}} \cdot B / 360, \quad (3.2)$$

де $k_{\text{п}}$ – коефіцієнт вмісту пилу у відходах залежно від способу механічної обробки деревини (пиляння, стругання тощо), %; B – середня загальна кількість відходів, що утворюються при роботі даного верстату, кг/год (таблиця 3.1).

Приклад 12. Визначити кількість пилоподібних відходів, що потрапляють у атмосферу з аспіраційної системи круглопиляльного верстату, якщо коефіцієнт ефективності місцевого відсмоктувача $\eta_{\text{мв}} = 0,9$, а коефіцієнт ефективності очищення в аспіраційній системі $\eta_{\text{пв}} = 0,94$.

Розв'язок.

За таблицею 3.1 визначасмо кількість відходів, що утворюються при роботі верстату $B = 44$ кг/год та коефіцієнт вмісту пилоподібних відходів $k_{\text{п}} = 35\%$.

Кількість пилу, що утворюється при роботі верстату, знаходимо за формулою (3.2):

$$G_{0i} = 35 \cdot 44 / 360 = 4,28 \text{ г/с} .$$

Кількість пилоподібних відходів, що потрапляють у атмосферу з аспіраційної системи, розраховуємо за формулою (3.1):

$$G_i = 4,28 \cdot 0,9 \cdot (1 - 0,95) = 0,19 \text{ г/с} .$$

Кількість легких компонентів смоловмісних матеріалів, що надходять до атмосфери за одиницю часу, г/с, слід визначати за формулою:

$$G_{\phi} = \frac{Q \cdot c_{\phi} \cdot \alpha \cdot k_p}{360} , \quad (3.3)$$

де Q – витрата смоловмісних матеріалів, кг/год; c_{ϕ} – вміст вільного формальдегіду або фенолу у складі клею, % (таблиця 2.2); α – коефіцієнт, чисельно рівний відносній кількості формальдегіду або фенолу, що надходить до атмосфери (таблиця 2.2); k_p – коефіцієнт, що характеризує розподіл вільного фенолу (формальдегіду) по ділянках виготовлення продукції.

Розрахунок робиться окремо для кожного інгредієнта.

Приклад 13. Визначити кількість фенолу та формальдегіду, що потрапляють до атмосфери від ділянки розміщення головного конвеєра та преса виготовлення деревинно-стружкових плит при витратах смоли СФЖ-3014 $Q = 350$ кг/год.

Розв'язок.

За таблицею 3.2 для смоли СФЖ-3014 визначаємо:

- вміст вільного фенолу $c_{\text{фен}} = 0,1\%$;
- вміст вільного формальдегіду $c_{\text{фор}} = 0,15\%$;
- відносну кількість формальдегіду або фенолу, що надходить до атмосфери $\alpha = 0,5$.

За таблицею 3.3 для ділянки розміщення головного конвеєра та преса визначаємо коефіцієнт, що характеризує розподіл вільного фенолу (формальдегіду) по ділянках виготовлення продукції $k_p = 0,9$.

Таблиця 3.1. Середня кількість відходів, що утворюються на різних верстатах при обробці деревини

Тип верстату	Найменування верстату	Коефіцієнт використання машинного часу	Середня кількість відходів, B , кг/год	Частка пилу розміром менше 200 мкм, $k_{\text{пв}}$, %
Круглопиляльні	ПДК-4	0,9	78	36
	ПР-2	0,9	110	36
	ПМР-1	0,95	170	36
	ПШ-2	0,5	44	35
	ЦПА	0,6	44	35
	Ц2К12	0,6	35	34
	Ц-6	0,7	28	30
	УП	0,7	21	30
	СР 6	0,9	245	12,5
	СР - 12	0,9	335	12,5
Рейсмусові	СР - 18	0,9	500	12,5
	С2Р8	0,9	445	12,5
	С2Р12	0,9	490	12,5
	С2Р16	0,9	555	12,5
	СР-3	0,9	97	12,5
	Ф-4, Ф-5, Ф-6	0,7	26	12,0
	ФА-4	0,8	44	12,0
Фрезерні	Ф1К	0,8	22	12,0
	пила		4,6	16
Шипорізні	Ш-10		73	16
	шипорізні фрези			
	вувкова фреза	–	24	16
	пила	–	3,7	16
Ш-6	шипорізні голівки	–	54	16

Шипорізнi	Ш-6	вушковий диск	–	16,3	16
		пила	0,95	74	34
	ШД-10	фрезерні голівки	0,95	68	20
		пили	–	9,2	16
Стрічково-пиляльні	ШД-10	шипорізнi фрези		145	16
		вушкові фрези	–	48	16
	Стругальні	ЛД-140	0,8	245	34
		ЛС-80	0,8	39	34
СФ-3, СФ-4		0,7	33	12,5	
СФ-6		0,6	73	12,5	
Свердильні та довбальні	СФА-4	0,9	97	12.Б	
	СФА-6	0,9	190	12,5	
	СК-15, СК16-4, С16-5	0,9	310	12,5	
	СП-30, 3-26	0,9	600	12,5	
Шліфувальні	СВА	СВА	0,5	14	18
		СВПА	0,6	32	18
		ДЦА-2	0,4	27	18
		ШЛСЛ	0,85	1,8	90
	ШЛНС	ШЛНС	0,85	2,8	90
		ШЛДБ	0,78	1,6	90
Шліфувальні	ШЛЗЦ-3	ШЛЗЦ-3	0,70	2,2	90
		ШЛЗЦ-3	0,85	27,0	90
		ШЛЗЦВ-3	0,05	48,0	90

Таблиця 3.2. Вміст вільного формальдегіду і фенолу у клейових матеріалах

Тип смоли	Марка смоли	Масова частка, c_f , %		α
		Вільний формальдегід	Вільний фенол	
Карбамідо-формальдегідні	КФ-МТ (КС-68М, КС-МО), 3-П	0,3	–	0,3
	КФ-Б (КС-68Б, КС-540-П)	0,9	–	0,3
	КФ-БЖ (КС-Б, 40Ж10-М)	0,8	–	0,3
	КФ-Ж (УКС-Б, М-19-62Б, УКС-Л)	1,0	–	0,3
Сечовино-формальдегідні	УКС-А	1,2	–	0,4
	М-19-62А	1,0	–	0,4
	КС-68А	1,0	–	0,4
	МФ	3,5	–	0,4
	М-60	1,0	–	0,4
	М-70	2,0	–	0,4
Фенол-формальдегідні	СФЖ-3011 (С-1)	1,0	2,5	0,5
	СФЖ-3013 (ЦНДФ-водостійка)	0,18	0,18	0,5
	СФЖ-3014 (ЦНДФ-атмосферостійка)	0,15	0,1	0,5
	СФЖ-3015 (ацетон-10%)	1,5	1,0	0,4
	СФЖ-3016 (Б)	4,0	5,0	0,4
	СФЖ-3024 (ЛДФ-3)	0,08	0,08	0,4
Просочувальні	СФП	1,0	1,0	0,4
	МФПС-1	не більше 2,0	–	0,4
	МФПС-2	не більше 1,0	–	0,5
	ПМФ-1	не більше 1,0	–	0,5
	ПМФ-2	не більше 1,0	–	0,5
	ММПК-25	1,4	–	0,5
	ММПК-50	1,1	–	0,5
	МФП	0,75	–	0,5
	СПМФ-4	0,4	–	0,5

Таблиця 3.3. Розподіл вільного формальдегіду і фенолу по ділянках

Процес	Ділянка процесу	k_p
Намазування і фанерування натуральної і синтетичної шпони при виробництві меблів	1. Розміщення клеснамазувальних вальців і гарячих пресів	0,83
	2. Ділянка витримки фанерованих виробів	0,17
Просочення паперу (ламінування)	Просочення	1,0
Просочення стружки смолою гарячого пресування; охолодження деревинно-стружкових плит	1. Розміщення головного конвеєра і преса	0,9
	2. Приготування зв'язуючих	0,09
	3. Склад готової продукції	0,01
Намазування, сушіння, склеювання шпону та охолодження фанери після пресів	1. Клейові вальці	0,1
	2. Сушарки для намазування шпону, гарячі преси	0,75
	3. Камери охолодження	0,15

За формулою (3.3) знаходимо кількість розчинника, що потрапляє у атмосферне повітря:

- фенолу:

$$G_{\text{фен}} = \frac{Q \cdot c_{\text{фен}} \cdot \alpha \cdot k_p}{360} = \frac{350 \cdot 0,1 \cdot 0,5 \cdot 0,9}{360} = 0,044 \text{ г/с};$$

- формальдегіду:

$$G_{\text{фор}} = \frac{Q \cdot c_{\text{фор}} \cdot \alpha \cdot k_p}{360} = \frac{350 \cdot 0,15 \cdot 0,5 \cdot 0,9}{360} = 0,066 \text{ г/с}.$$

Розрахунок кількості шкідливих речовин, що потрапляють до атмосфери від ділянок створення захисно-декоративних покриттів з використанням лакофарбових матеріалів, проводиться за стандартними методами розрахунку викидів при виробництві лакофарбових покриттів.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Рижков, С. С.** Розрахунок викидів шкідливих речовин в атмосферу [Текст] / С. С. Рижков, Ю. М. Харитонов, В. В. Благодатний. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 44 с.
2. Защита атмосферы от промышленных загрязнений [Текст] : справочник. – М. : Металургия, 1988. – Ч. 1. – 217 с., Ч. 2. – 324 с.
3. **Шаприцкий, В. Н.** Разработка нормативов ПДВ для защиты атмосферы [Текст] / В. Н. Шаприцкий. – М. : Металургия, 1990. – 416 с.
4. **Тищенко, Н. Ф.** Охрана атмосферного воздуха [Текст] / Н. Ф. Тищенко. – М. : Химия, 1991. – 268 с.
5. Инженерная защита окружающей среды [Текст] – СПб. : Лань, 2002. – 288 с.
6. Вентиляция и отопление цехов судостроительных заводов [Текст]. – Л. : Судостроение, 1978. – 240 с.
7. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу различными производствами [Текст]. – Л. : Гидрометеиздат, 1987. – 184 с.
8. **Эльтерман, В. М.** Вентиляция химических производств [Текст]. – М. : Химия, 1980. – 288 с.
9. Збірник показників емісії забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Український науковий центр технічної екології [Текст]. – Донецьк, 2004. – Т. 1. – 183 с., Т. 2. – 220 с.
10. **Квашнин, И. М.** Промышленные выбросы в атмосферу [Текст] / И. М. Квашнин / Инженерные расчеты и инвентаризация. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2005. – 392 с.
11. **Тимонин, А. С.** Инженерно-экологический справочник [Текст] / А. С. Тимонин. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – Том 1. – 917 с.
12. Сборник методик по расчету содержания загрязняющих веществ в выбросах от неорганизованных источников [Текст]. – Донецк : ОАО "УкрНТЭК", 1994. – 155 с.

ДОДАТОК

Таблиця 1. Фізико-хімічні властивості речовин

Речовина	Формула	Молекулярна маса М	Густина, кг/м ³	
			Рідини, ρ_p ($T = 293\text{ К}$ $P = 100\text{ кПа}$)	Газу (пари), ρ_0 ($T = 273\text{ К}$, $P = 101325\text{ Па}$)
1	2	3	4	5
Азоту діоксид	NO ₂	46,01	1447	2,050
Азоту (I) оксид	N ₂ O	44,01	1226	1,980
Акрілонітрил	C ₃ H ₃ N	53,06	806	—
Акролеїн	C ₃ H ₄ O	56,06	841	—
Аміак	NH ₃	17,03	610	0,771
Анілін	C ₆ H ₇ N	93,13	1022	4,150
Ацетилен	C ₂ H ₂	26,04	400	1,171
Ацетон	C ₃ H ₆ O	58,08	791	2,590
Бензол	C ₆ H ₆	78,12	879	3,480
Бутанол	C ₄ H ₁₀ O	74,12	824,6	3,244
Водню бромід	HBr	80,92	1241	3,610
Вуглецю(II) оксид	CO	28,01	310	1,250
Вуглецю (IV) хлорид	CCl ₄	153,84	1587	6,850
Діхлорметан	CH ₂ Cl ₂	84,94	1325	3,690
1,1 – Діхлоретан	C ₂ H ₄ Cl ₂	98,97	1168	4,400
1,2 – Діхлоретан	C ₂ H ₄ Cl ₂	98,97	1254	4,400
Етан	C ₂ H ₆	30,07	546	1,357
Етанол	C ₂ H ₆ O	46,07	789	2,043
Етилен	C ₂ H ₄	28,05	570	1,264
Ефір діетиловий	C ₄ H ₁₀ O	74,12	713	2,110
Кислота оцтова	C ₂ H ₄ O ₂	60,05	1049	2,670
Кислота хлороводнева	HCl	36,46	1149	1,639
<i>m</i> – Ксилол	C ₈ H ₁₀	106,17	881,1	—
<i>n</i> – Ксилол	C ₈ H ₁₀	106,17	881,1	—
Метан	CH ₄	16,03	425	0,717
Метанол	CH ₄ O	32,04	792	1,426
Метилхлорид	CH ₃ Cl	50,49	990	2,304
Октан	C ₈ H ₁₈	114,23	718,5	5,030
Пентан	C ₅ H ₁₂	72,15	645,5	3,457
Пропан	C ₃ H ₈	44,09	582	2,019
Пропанол	C ₃ H ₈ O	60,09	805	2,710
Пропен (пропілен)	C ₃ H ₆	42,08	612	1,915
Сірки (IV) оксид	SO ₂	64,06	1383	2,927

Температура кипіння Тк, К	Динамічна в'язкість $\mu \cdot 10^{-7} \text{ Па} \cdot \text{с}$ (p = 100 кПа)	Const Сатерленда Sat	const Антуана		
			const A	const B	Const C
6	7	8	9	10	11
294,3	111	433	8,9170	1798,5	270
184,7	131	271	7,0038	654,25	247
351,7	65	517	6,8784	1233,3	230
325,7	73,1	478	7,665	1558	273
239,9	93	503	5,007	1198	273
457,6	51,6	672	6,9212	1457,0	176
239,6	94	198	7,571	925,59	283
329,7	66	542	7,2506	1281,7	237
353,3	70,00	380	6,984	1252,8	225
390,7	51,90	574	9,5973	2664,7	280
206,4	171	375	8,734	1171	273
81,55	166	101	3,98	3241	273
349,7	90	335	6,934	1242,4	230
313	91	425	7,071	1134,6	231
330,5	86	486	6,9852	1171,4	228
356,7	61	524	7,661	1640,2	260
184,6	86	252	7,673	1096,9	320
351,6	78,5	407	9,274	2239	273
169,4	94,1	249	7,206	768,26	282
307,8	68	404	7,0555	1104,6	230
391,1	72	575	7,557	1642,5	273
358,3	137	356	8,443	1023,1	273
412,3	80	606	7,0085	1461,9	215
411,5	80	604	6,9918	1454,3	215
111,7	101	164	6,6118	389,92	266
337,9	87	487	8,349	1835	273
249	98	441	6,994	902,4	244
398,8	71,40	586	6,9690	1379,6	212
309,2	28,30	454	6,8472	1062,6	232
231,2	75	340	6,8296	813,19	248
370,4	68	518	9,518	2469,1	273
225,4	78	331	6,8195	784,99	247
263	117	396	4,898	1227	273

Продовж. табл. 1

Речовина	Формула	Молекулярна маса М	Густина, кг/м ³	
			Рідини, ρ_p ($T = 293\text{ К}$ $P = 100\text{ кПа}$)	Газу (пари), ρ_0 ($T = 273\text{ К}$, $P = 101325\text{ Па}$)
1	2	3	4	5
Сірководень	H_2S	34,08	960	1,539
Сірковуглець	CS_2	76,14	1263	3,390
Толуол	C_7H_8	92,14	866	4,100
Фенол	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$	94,11	1075	—
Хлор	Cl_2	70,91	1408	3,220
Хлорбензол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	112,60	1106	4,895
Хлороформ	CHCl_3	119,37	1489	5,283
Циклогексан	C_6H_{12}	84,16	779	3,740

Температура кипіння Тк, К	Динамічна в'язкість $\mu \cdot 10^{-7} \text{ Па} \cdot \text{с}$ (p = 100 кПа)	Const Сатерленда Sat	const Антуана		
			const A	const B	Const C
6	7	8	9	10	11
263,0	116	331	8,50	1175,3	273
319,4	89	449	6,770	1074,2	230
383,8	76,5	518	6,9530	1343,9	219
455	61,4	554	11,563	3586,3	273
239,4	123	351	9.950	1530	273
404,9	65,9	595	7,498	1654	232
334,3	95	462	6,903	1163	227
353,9	65,3	520	6,8450	1203,5	223

Таблиця 2. Фізичні властивості сухого повітря ($P_{\text{н}} = 760 \text{ мм.рт.ст.} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$)

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p, \text{кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^{-6}, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
-50	1,584	1,013	2,04	12,7	14,6	9,23	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	13,8	15,2	10,04	0,728
-30	1,453	1,013	2,20	14,9	15,7	10,80	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	16,2	11,61	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	17,4	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,0	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	22,9	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	27,2	20,1	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	28,6	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	30,2	21,1	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	31,9	21,5	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	33,6	21,9	23,13	0,688
120	0,898	1,009	3,34	36,8	22,8	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	40,3	23,7	27,80	0,684
160	0,815	1,017	3,64	43,9	24,5	30,09	0,682
180	0,779	1,022	3,78	47,5	25,3	32,49	0,681
200	0,746	1,026	3,93	51,4	26,0	34,85	0,680
250	0,674	1,038	4,27	61,0	27,4	40,61	0,677
300	0,615	1,047	4,60	71,6	29,7	48,33	0,674
350	0,566	1,059	4,91	81,9	31,4	55,46	0,676
400	0,524	1,068	5,21	93,1	33,0	63,09	0,678
500	0,456	1,093	5,74	115,3	36,2	79,38	0,687
600	0,404	1,114	6,22	138,3	39,1	96,89	0,699
700	0,362	1,135	6,71	163,4	41,8	115,4	0,706
800	0,329	1,156	7,18	188,8	44,3	134,8	0,713
900	0,301	1,172	7,63	216,2	46,7	155,1	0,717
1000	0,277	1,185	8,07	245,9	49,0	177,1	0,719
1100	0,257	1,197	8,50	276,2	51,2	199,3	0,722
1200	0,239	1,210	9,15	316,5	53,5	233,7	0,724