

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Український державний університет  
науки і технологій**

---

Кафедра «Екології, теплотехніки та охорони праці»

*В авторській редакції*

**ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ  
МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-методичні рекомендації  
до виконання індивідуальних завдань  
зі спеціальності 183 – Технології захисту  
навколишнього середовища, освітньо-професійної  
програми «Технології захисту навколишнього  
середовища» (бакалаврський рівень)

*Електронне видання*

ДНІПРО  
2024

Упорядники:

*С. Є. Суліменко О. О. Єрємін, М. В. Сухарева*

Електронне видання

Схвалено Групою забезпечення якості освітньої програми  
183 «Технології захисту навколишнього середовища»  
Протокол № 3 ОП від 12.06.2024

Е 40 Екологічні аспекти металургійних технологій : навчально-методичні рекомендації до виконання індивідуальних завдань зі спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища, освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища» (бакалаврський рівень) / упоряд. С. Є. Суліменко, О. О. Єрємін, М. В. Сухарева ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2024. – 19 с.

Навчально-методичні рекомендації призначені для використання студентами спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища», освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища» під час виконання індивідуальних завдань.

Наведено варіанти індивідуальних завдань, методичні рекомендації щодо самостійного опрацювання та виконання індивідуального завдання, перелік рекомендованої літератури.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Методичні вказівки до виконання індивідуального завдання.....	4
1.1 Загальні вимоги.....	4
1.2 Варіанти індивідуального завдання .....	4
1.3 Теоретичні питання.....	5
1.4 Задача № 1 .....	6
1.5 Задача № 2 .....	8
Рекомендована література.....	17

## ВСТУП

Навчальна дисципліна «Екологічні аспекти металургійних технологій» є складовою загальних та фахових нормативних компетентностей, спрямованих на розуміння технологічних особливостей металургійних технологій, джерел впливу на навколишнє середовище та шляхів захисту довкілля, опанування яких передбачено освітньою програмою «Технології захисту навколишнього середовища» (бакалаврського рівня) за спеціальністю 183 – Технології захисту навколишнього середовища.

### **1 Методичні вказівки до виконання індивідуального завдання**

#### **1.1 Загальні вимоги**

Згідно з навчальним планом дисципліни передбачається виконання практичних завдань та індивідуального завдання.

Індивідуальне завдання складається з теоретичної та практичної частин. Теоретична частина має 2 теоретичні питання з дисципліни, що підлягають проробці, а практична включає в себе рішення 2 задач (точність розрахунку 3 знаки після коми).

Варіант індивідуального завдання вибирають згідно з порядковим номером студента в журналі учбової групи.

До структури індивідуального завдання входить титульний аркуш та зміст, змістовні відповіді на питання, рішення задач, перелік використаної літератури, інших джерел інформації. На титульному аркуші слід обов'язково вказати варіант виконавця; у разі його відсутності завдання повертається рецензентом без перевірки.

Рекомендований обсяг висвітлення теоретичного питання 12–14 сторінок, при загальному обсязі виконаного індивідуального завдання 16–20 сторінок. При цьому якісною слід вважати проробку теоретичного питання на основі аналізу не менше, ніж 4–6 джерел.

Індивідуальне завдання виконують, як правило, у надрукованому вигляді на аркушах формату А-4, пронумерованих і скріплених належним чином. Можливо також виконання завдання чорнилом, чітким і розбірливим почерком в учнівському зошиті або на аркушах формату А-4.

Відповіді на питання повинні бути чіткими, повними, з посиланням на джерела інформації, за необхідності пояснюватися рисунками, схемами, ескізами, графіками.

Зараховане індивідуальне завдання подається викладачеві під час складання іспиту.

## 1.2 Варіанти індивідуального завдання

Вибір варіанта теоретичних питань індивідуального завдання здійснюють згідно з таблицею 1.1

Таблиця 1.1

Варіанти теоретичних питань індивідуального завдання

№№ варіанта	№№ завдання	№№ варіанта	№№ завдання	№№ варіанта	№№ завдання
1	1, 15	11	11, 25	21	21, 8
2	2, 16	12	12, 15	22	22, 9
3	3, 17	13	13, 16	23	23, 10
4	4, 18	14	14, 17	24	24, 11
5	5, 19	15	15, 2	25	25, 12
6	6, 20	16	16, 3	26	1, 13
7	7, 21	17	17, 4	27	2, 14
8	8, 22	18	18, 5	28	3, 15
9	9, 23	19	19, 9	29	4, 10
10	10, 24	20	20, 7	30	5, 11

## 1.3 Теоретичні питання

1. Виробництво коксу і чинники забруднення навколишнього середовища.
2. Виробництво агломерату для виробництва чавуну і чинники забруднення довкілля.
3. Виробництво окатишів для виробництва чавуну і чинники забруднення довкілля.
4. Доменний процес і чинники забруднення довкілля.
5. Конвертерний спосіб виробництва сталі і чинники забруднення довкілля.
6. Мартенівський спосіб виробництва сталі і чинники забруднення довкілля.
7. Виробництво сталі в електричних печах і чинники забруднення довкілля.
8. Виробництво феросплавів і чинники забруднення довкілля.
9. Виробництво міді і чинники забруднення навколишнього середовища.

10. Виробництво алюмінію і чинники забруднення довкілля.
11. Виробництво магнію і чинники забруднення довкілля.
12. Виробництво титану і чинники забруднення навколишнього середовища.
13. Прокатне виробництво і забруднення навколишнього середовища.
14. Виробництво тугоплавких металів і чинники забруднення довкілля.
15. Відходи металургійного виробництва і чинники забруднення довкілля.
16. Очищення газів циклонами.
17. Очищення газів рукавними фільтрами.
18. Очищення газів електрофільтрами.
19. Очищення газів мокрими пило уловлювачами.
20. Очищення газів від газоподібних сполук.
21. Очищення стічних вод методом фільтрування.
22. Очищення стічних вод іонообмінним методом.
23. Очищення стічних вод механічними методами.
24. Очищення стічних вод від нафтопродуктів.
25. Очищення стічних вод біохімічним методом.

#### 1.4 Задача № 1

Нагріті стічні води з температурою  $T_f$ , °С і обсягом  $V_{ст}$ , м<sup>3</sup>/год. скидаються у літню пору в природну водойму, температура води якої складає  $T_в$ , °С. Визначте необхідний ступінь охолодження стічних вод перед їх скиданням у водойму за умови, що максимальний коефіцієнт змішування складає  $\alpha$ , а обсяг води, що бере участь у змішуванні  $V$ , м<sup>3</sup>/год. Вихідні дані для задачі наведені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2

Вихідні дані для задачі № 1

Варіант	$T_f$ , °С	$V_{ст}$ , м <sup>3</sup> /год.	$T_в$ , °С	$\alpha$	$V$ , м <sup>3</sup> /год.
1	2	3	4	5	6
1	65	55	20	3	180
2	70	57	20,5	4	190
3	76	59	20,8	5	220
4	82	61	21	3	250
5	55	63	21,5	4	300
6	49	73	21,6	5	280
7	35	71	21,7	3	270
8	69	69	22,0	4	260
9	50	67	22,2	5	195

## Продовження таблиці 1.2

10	60	65	22,4	2	240
11	83	53	23,1	2	160
12	50	65	23,4	4	190
13	81	75	24,1	3	270
14	79	68	24,2	2	175
15	60	70	24,7	5	155
16	65	72	23,9	4	155
17	63	54	20	3	180
18	68	53	20,5	4	190
19	78	61	20,8	5	220
20	80	63	21	3	250
21	56	65	21,5	4	300
22	50	72	21,6	5	280
23	34	70	21,7	3	270
24	67	71	22	4	260
25	52	65	22,2	5	195
26	61	63	22,4	2	240
27	85	55	23,1	2	160
28	53	59	23,4	4	190
29	83	75	24,1	3	270
30	77	68	24,2	2	175

Передусім визначаємо гранично допустиму температуру стічних вод за даних умов змішування:

$$T_{cm} \cdot V_{cm} + a \cdot T_g \cdot V = (a \cdot V + V_{cm}) \cdot T_{дон}, \quad (1.1)$$

$$T_{дон} = T_B + 3 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (1.2)$$

Із формули виводимо значення  $T_{cm}$ :

$$T_{cm} = \frac{(a \cdot V + V_{cm}) \cdot T_{дон} - a \cdot T_g \cdot V}{V_{cm}}, \text{ }^\circ\text{C}. \quad (1.3)$$

Далі розраховуємо необхідний ступінь охолодження стічної води перед її скиданням у природну водойму:

$$\kappa_{ох} = \frac{T_\phi - T_{cm}}{T_\phi} \cdot 100\%. \quad (1.4)$$

Якщо розраховане значення  $T_{cm}$  буде більшим за фактичну температуру

стічної води ( $T_{\phi}$ ), то немає необхідності охолодження стічної води перед її скиданням у водойму. Розрахунок допустимої температури води в місцях скиду стічної води ( $T$ ) за виразом  $T_{\text{доп}} = T_{\text{в}} + 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  справедливий лише в літню пору, коли температура води у водоймі ( $T_{\text{в}}$ ) наближається до максимальної.

## 1.5 Задача № 2

У розрахунку скрубєрів Вентурі віддають перевагу енергетичному методу, згідно з яким ефективність роботи мокрих пиловловлювачів визначається затратами енергії на процес очищення газу. Затрати енергії складаються з гідравлічного опору апарату  $\Delta P_{\text{ск}}$  й тиску рідини, що розпилюється на вході в апарат  $\Delta P_{\text{р}}$ :

$$K = \Delta P_{\text{ск}} + m \cdot P_{\text{р}}, \quad (1.5)$$

де  $m$  – питома витрата зрошувальної рідини,  $\text{кг}/\text{м}^3$  газу, приймається в межах 1–6 л на  $1 \text{ м}^3$  газу.

Ступінь уловлювання пилу в залежності від витрат енергії на очищення визначається за формулою:

$$\eta = 1 - \exp(-B_1 \cdot K^{\mathcal{H}}), \quad (1.6)$$

де  $B_1$  й  $\mathcal{H}$  – константи, що залежать від властивостей уловлюваного пилу (див. табл. 1.3).

Основні положення розрахунку скрубєра Вентурі.

1) За заданими початкової  $z_1$  та кінцевої  $z_2$  запиленості газу визначається потрібна ступінь уловлювання пилу:

$$\eta = \frac{c_1 - c_2}{c_1}, \quad (1.7)$$

Таблиця 1.3

Значення констант В і  $\kappa$  для деяких видів пилу металургійного виробництва

Пил відхідних газів	В <sub>1</sub>	$\kappa$
Від доменних печей	0,1925	0,3255
Від мартенівських печей	$1,565 \cdot 10^{-6}$	1,6190
Від сталеплавильних конверторів	$9,880 \cdot 10^{-2}$	0,4663
Від електросталеплавильних печей	$2,420 \cdot 10^{-5}$	1,2600
При отриманні силікомангана	$6,900 \cdot 10^{-3}$	0,6700
При отриманні феросиліцію 45%	$2,420 \cdot 10^{-5}$	1,2600
При отриманні вуглецевого ферохрому	$6,490 \cdot 10^{-5}$	1,1000
Від вагранок	$1,355 \cdot 10^{-2}$	0,6210
Від вапнякових печей	$6,500 \cdot 10^{-4}$	1,0529

- 2) Згідно зі значенням  $\eta$  і прийнятими значеннями В і  $\kappa$  (див. табл. 1.3) з виразу (1.6) обчислюється значення К:

$$K = \sqrt{\kappa \cdot \left(-\frac{1}{B} \cdot \ln(1 - \eta)\right)}, \quad (1.8)$$

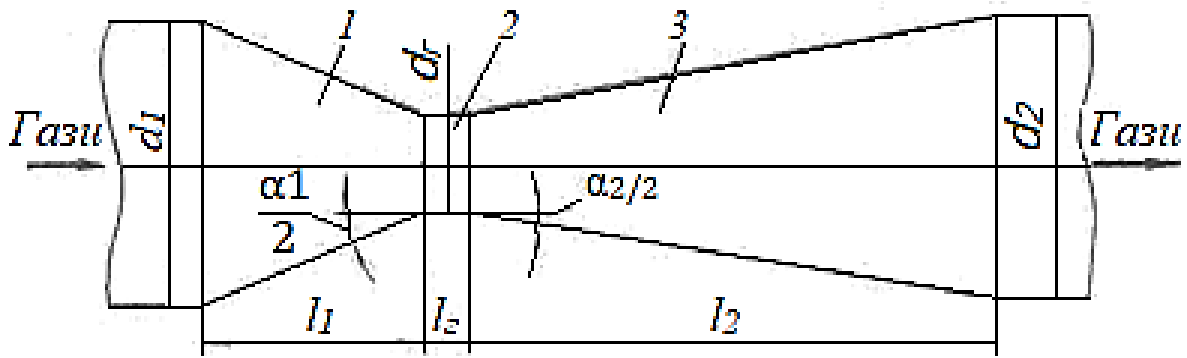
- 3) Приймається питома витрата зрошувальної рідини  $m$  і відповідно до виразу (1.5) визначається гідравлічний опір скрубера Вентурі:

$$\Delta P_{ck} = K - m \cdot p_p, \quad (1.9)$$

- 4) Визначається гідравлічний опір краплеуловлювача  $\Delta P_k = 100$  Па (зазвичай за дослідними даними) і обчислюється гідравлічний опір труби Вентурі:

$$\Delta P_{тр} = \Delta P_{ск} - \Delta P_k, \quad (1.10)$$

- 5) Приймають позначення конструктивних характеристик труби Вентурі, що зображена на рисунку 1.1.
- 6) Визначаються або приймаються значення коефіцієнта гідравлічного опору сухої (без подачі зрошувальної рідини) труби Вентурі  $\xi_1$  коефіцієнта, що враховує додаткові втрати тиску, викликані подачею в трубу зрошувальної рідини  $\xi_2$ .



$d_1, l_1, \alpha_1$  – діаметр вхідного перерізу, довжина та кут звуження конфузора;

$d_{\Gamma}, l_{\Gamma}$  – еквівалентний діаметр і довжина горловини;

$d_2, l_2, \alpha_2$  – діаметр вихідного перерізу, довжина і кут розкриття дифузора.

Рисунок 1.1 – труба Вентурі

При оптимальній з аеродинамічного погляду довжині горловини труби-розпилювача  $l_2 = 0,15 \cdot d_2$  коефіцієнт опору приймається в межах  $0,12 \div 0,15$ . Ці значення можуть бути поширені як на круглі труби, так і на труби з прямокутним перерізом горловини.

Коефіцієнт опору труби Вентурі, зумовлений уведенням зрошувальної рідини, визначається виразом:

$$\xi_p = A \cdot m^{B_2}, \quad (1.11)$$

де  $A$  і  $B_2$  – емпіричні коефіцієнти, значення яких наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Значення коефіцієнтів  $A$  і  $B_2$  у формулі (1.11)

Спосіб зрошення труби Вентурі	Швидкість газу в горловині, м/с	Довжина горловини $l_2$ , м	Коефіцієнти	
			$A$	$B_2$
Центральне зрошення перед конфузореом і плівкове зрошення	$> 80$	$(0,15 \div 12,0) \cdot d_2$	$1,68(l_2/d_2)^{0,290}$	$1-1,12(l_2/d_2)^{-0,045}$
	$< 80$	$0,15 \cdot d_2$	$3,49(l_2/d_2)^{0,266}$	$1-0,98(l_2/d_2)^{0,020}$
Центральне зрошення в конфузоре	$40 \div 150$	$0,15 \cdot d_2$	0,63	-0,300
Периферійне зрошення в конфузоре	$> 80$	$0,15 \cdot d_2$	13,4	0,024
	$< 80$	$0,15 \cdot d_2$	1,40	-0,316

7) Обчислюється швидкість газу в горловині труби Вентурі, м/с:

$$u_{\Gamma} = \left( \frac{2 \cdot \Delta P_{\Gamma p}}{\xi_1 \cdot \rho_{\Gamma} + \xi_1 \cdot m \cdot \rho_p} \right)^{0.5}, \quad (1.12)$$

де  $\rho_z$  і  $\rho_p$  – відповідно густина газу, що очищується, та зрошувальної рідини, кг/м<sup>3</sup>.

8) Визначається діаметр горловини труби Вентурі, м:

$$d_{\Gamma} = \left( \frac{4 \cdot V_{\Gamma B}}{\pi \cdot u_{\Gamma}} \right)^{0.5}, \quad (1.13)$$

де  $V_{\Gamma B}$  – витрата газу, що очищується, за робочих умов, м<sup>3</sup>/с.

9) Приймаються оптимальними наступні конструктивні співвідношення труби Вентурі:

– кут звуження конфузора:

$$\alpha_1 = 25 \div 28^\circ; \quad (1.14)$$

– довжина конфузора:

$$l_1 = [(d_1 - d_2) / 2] / \operatorname{tg}(\alpha_1/2); \quad (1.15)$$

– довжина горловини труби:

$$l_2 = 0,15 \cdot d_2; \quad (1.16)$$

– кут розкриття дифузора:

$$\alpha_2 = 6 \div 7^\circ; \quad (1.17)$$

– довжина дифузора:

$$l_2 = [(d_3 - d_2) / 2] / \operatorname{tg}(\alpha_2/2). \quad (1.18)$$

### **Завдання для виконання задачі № 2:**

Розрахувати скруббер Вентурі з центральним зрошенням для очищення відхідних газів від .... (обирається згідно з порядковим номером студента в журналі учбової групи див. табл. 1.5): визначити розміри скрубера, ефективність і гідравлічний опір відповідно до вихідних даних для задачі, які наведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.5

Вид пилу металургійного виробництва, від якого відбувається очищення газів,  
що відходять

№ з/п	Вид пилу металургійного виробництва	№ з/п	Вид пилу металургійного виробництва
1	Пил від мартенівських печей	11	Пил при отриманні силікомангана
2	Пил від сталеплавильних конверторів	12	Пил від електросталеплавильних печей
3	Пил від вагранок	13	Пил при отриманні вуглецевого ферохрому
4	Пил від вапнякових печей	14	Пил від вагранок
5	Пил при отриманні вуглецевого ферохрому	15	Пил від вапнякових печей
6	Пил від електросталеплавильних печей	16	Пил від доменних печей
7	Пил від доменних печей	17	Пил від мартенівських печей
8	Пил від мартенівських печей	18	Пил від сталеплавильних конверторів
9	Пил від сталеплавильних конверторів	19	Пил при отриманні феросиліцію 45%
10	Пил при отриманні феросиліцію 45%	20	Пил при отриманні силікомангана

Таблиця 1.6

Вихідні дані

№ з/п	$V_0$ , м <sup>3</sup> /год	$t_r$ , °C	$P_r$ , кПа	$\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	$z_1$ , г/м <sup>3</sup>	$z_2$ , г/м <sup>3</sup>	$P_p$ , кПа	$m$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$\xi_1$	$\alpha_1$ , град.	$\alpha_2$ , град.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	200000	250	5	1,29	1	4	300	0.002	0,135	26	7
2	150000	240	5	1,27	5	30	300	0.003	0,130	27	6
3	130000	230	5	1,26	6	40	300	0.001	0,140	28	7
4	120000	200	5	1,25	7	60	250	0.002	0,145	25	6
5	160000	190	5	1,24	8	100	250	0.003	0,150	26	7
6	170000	195	5	1,39	9	90	250	0.001	0,120	28	6
7	180000	205	5	1,28	10	80	300	0.002	0,122	27	7
8	130000	215	5	1,24	1	4	300	0.003	0,126	25	6
9	190000	225	5	1,21	2	5	300	0.001	0,129	26	7
10	202000	235	5	1,2	3	6	250	0.002	0,134	27	6
11	145000	245	5	1,25	4	10	250	0.002	0,135	28	7
12	155000	190	5	1,29	5	25	300	0.003	0,139	25	6
13	165000	210	5	1,28	6	35	300	0.001	0,137	26	7
14	175000	208	5	1,27	7	90	300	0.002	0,138	28	6
15	185000	193	5	1,26	8	80	250	0.003	0,142	27	7
16	195000	182	5	1,25	9	70	250	0.001	0,141	25	6
17	201000	176	5	1,24	10	100	300	0.002	0,146	26	7
18	144000	169	5	1,23	1	4	300	0.001	0,138	27	6
19	154000	135	5	1,22	2	10	250	0.002	0,123	25	7
20	185000	198	5	1,21	3	15	250	0.001	0,127	26	6

**Приклад розрахунку.** Розрахувати скруббер Вентурі з центральним зрошенням для очищення газів, що відходять від мартенівської печі: визначити розміри скрубера, ефективність і гідравлічний опір.

**Вихідні дані:**

- витрата вологих газів за нормальних умов –  $V_0 = 140000 \text{ м}^3/\text{год}$ ;
- температура газів на вході в скруббер –  $t_r = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- розрідження газу перед скруббером –  $P_r = 5 \text{ кПа}$ ;
- густина газу за нормальних умов –  $\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3$ ;
- концентрація пилу в газі на вході в скруббер –  $z_1 = 5 \text{ г/м}^3$ ;
- напір води, що надходить на зрошення –  $P_p = 300 \text{ кПа}$ ;
- необхідна концентрація пилу в газі на виході зі скрубера –  $z_2 = 20 \text{ мг/м}^3$ .

За формулою (3.6) визначається необхідний ступінь очищення газу:

$$\eta = \frac{z_1 - z_2}{z_1} = \frac{5 - 0.02}{5} = 0.996,$$

За формулою (1.8), з урахуванням коефіцієнтів  $B_1$  і  $\kappa$ , прийнятих по табл. 1.3, обчислюються витрати енергії на очищення газу:

$$K = \sqrt{\kappa \cdot \frac{1}{B} \cdot \ln(1 - \eta)} = \sqrt{1,619 \cdot \frac{1}{1,565 \cdot 10^{-6}} \cdot \ln(1 - 0.996)} \\ = 11071 \text{ кДж/1000 м}^3 \text{ газу,}$$

Загальний гідравлічний опір скрубера Вентурі визначається за формулою (1.9), в якій питома витрата зрошувальної рідини  $m$  прийнята  $0,001 \text{ м}^3/\text{м}^3$  газу:

$$\Delta P_{\text{ск}} = K - m \cdot P_p = 11071 - 0.001 \cdot 300 \cdot 1000 = 10771 \text{ Па,}$$

Густина газу з урахуванням дійсних умов складе:

$$\rho_d = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (101,325 - p_r)}{(273 + t_r) \cdot 101,325} = 1,29 \cdot \frac{273 \cdot (101,325 - 5)}{(273 + 250) \cdot 101,325} = 0,64 \text{ кг/м}^3,$$

де  $101,325$  – тиск газу за нормальних умов, кПа.

Об'ємна витрата газу, що надходить на очищення за дійсних умов:

$$V_d = V_0 \cdot \frac{\rho_0}{\rho_d} = 140000 \cdot \frac{1,29}{0,64} = 282127 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Витрата зрошувальної рідини (води):

$$M = m \cdot V_d = 0,001 \cdot 282127 = 282,127 \text{ кг/год.}$$

Гідравлічний опір циклона-краплеуловлювача  $\Delta P_k$  на основі досвіду роботи аналогічних установок приймається 100 Па.

Гідравлічний опір труби Вентурі визначаємо за формулою (1.10):

$$\Delta P_{тр} = \Delta P_{ск} - \Delta P_k = 10771 - 100 = 10671 \text{ Па} = 10,671 \text{ кПа.}$$

Температура насиченого вологою газу на виході зі скрубера Вентурі визначається за формулою:

$$t_{вг} = (0,133 - 41 \cdot m) \cdot t_1 + 35 = (0,133 - 41 \cdot 0,001) \cdot 250 + 35 = 58 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Густина газу на виході зі труби Вентурі:

$$\rho_{гв} = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (101,325 - (P_g + \Delta P_{тр}))}{(273 + t_{вг}) \cdot 101,325} = 1,29 \cdot \frac{273 \cdot (101,325 - (5 + 10,671))}{(273 + 58) \cdot 101,325} = 0,899 \text{ кг/м}^3.$$

Вибирається труба Вентурі з центральним підведенням зрошувальної рідини в конфузор. При цьому значення коефіцієнта гідравлічного опору  $\xi_1$  сухої труби з круглою або прямокутною горловиною довжиною  $0,15 \cdot d_r$  без зрошення приймається в інтервалі  $0,12 \div 0,15$ , тобто приймаємо  $\xi_1 = 0,125$ .

Гідравлічний опір труби, що зрошується, визначається за формулою (1.11) з урахуванням відповідних значень  $A$  і  $B_2$  (див. табл. 1.4):

$$\xi_p = A \cdot \xi_p \cdot m^{B_2} = 0,63 \cdot 0,125 \cdot 0,001^{-0,3} = 0,626.$$

Швидкість газу в горловині труби Вентурі обчислюється за формулою (1.12):

$$u_r = \left( \frac{2 \cdot \Delta P_{\text{тр}}}{\xi_1 \cdot \rho_r + \xi_1 \cdot m \cdot \rho_p} \right)^{0.5} = \left( \frac{2 \cdot 10671}{0.125 \cdot 0.899 + 0.125 \cdot 0.001 \cdot 1000} \right)^{0.5} \\ = 170.064 \text{ м/с.}$$

Об'ємна витрата газу на виході з труби Вентурі складе:

$$V_{\text{ГВ}} = V_0 \cdot \frac{\rho_0}{\rho_{\text{ГВ}}} = 140000 \cdot \frac{1.29}{0.899} = 55.794 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Діаметр горловини труби Вентурі складе:

$$d_r = \left( \frac{4 \cdot V_{\text{ГВ}}}{\pi \cdot u_r} \right)^{0.5} = \left( \frac{4 \cdot 55,794}{3.14 \cdot 170} \right)^{0.5} = 0.647 \text{ м.}$$

Одержане значення діаметра горловини значно перевищує найбільший діаметр горловини розмірного ряду високонапірних труб Вентурі: 110, 135, 155, 180, 200, 240, 280, 320, 370, 420 мм.

У зв'язку з цим потрібно встановити кілька паралельно працюючих труб Вентурі. Приймається кількість труб  $n = 4$ . В цьому разі діаметр горловини кожної з чотирьох ідентичних труб складе:

$$d_r = \left( \frac{4 \cdot V_{\text{ГВ}}}{\pi \cdot u_r \cdot n} \right)^{0.5} = \left( \frac{4 \cdot 55.794}{3.14 \cdot 170 \cdot 4} \right)^{0.5} = 0.324 \text{ м.}$$

Згідно з типорозмірним рядом приймається діаметр горловини труби Вентурі  $d_r = 370$  мм.

При цьому довжина горловини складе:  $l_r = 0.15 \cdot d_r = 0.15 \cdot 0.37 = 0.056$  м.

Швидкість газу в горловині труби (повинна бути в межах 50–170 м/с) при цих параметрах складе:

$$u_r = \frac{1.13^2 \cdot V_{\text{ГВ}}}{d_r^2 \cdot n} = \frac{1.13^2 \cdot 55.794}{0.37^2 \cdot 4} = 130.101 \text{ м/с.}$$

Береться швидкість газу на вході в конфузори і на виході з дифузори труби Вентурі рівною  $u_{\text{вк}} = 20$  м/с. При цій швидкості діаметр вхідного перерізу конфузори складе:

$$d_1 = \left( \frac{4 \cdot V_d}{\pi \cdot u_{BK} \cdot n} \right)^{0.5} = \left( \frac{4 \cdot 282127}{3.14 \cdot 20 \cdot 4 \cdot 3600} \right)^{0.5} = 1.118 \text{ м,}$$

а діаметр вихідного перерізу дифузора складе:

$$d_2 = \left( \frac{4 \cdot V_d}{\pi \cdot u_{BK} \cdot n} \right)^{0.5} = \left( \frac{4 \cdot 55,794}{3.14 \cdot 20 \cdot 4} \right)^{0.5} = 0,944 \text{ м,}$$

При куті звуження конфузора  $\alpha_1 = 25^\circ$ . Довжина конфузора складе:

$$l_1 = \frac{d_1 - d_r}{2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1/2)} = \frac{1.117 - 0.37}{2 \cdot \operatorname{tg}(25/2)} = 1.688 \text{ м.}$$

При куті розкриття дифузора  $\alpha_2 = 6^\circ$  довжина дифузора складе:

$$l_2 = \frac{d_2 - d_r}{2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1/2)} = \frac{0,944 - 0,37}{2 \cdot \operatorname{tg}(25/2)} = 5.473 \text{ м.}$$

Отримані дані зведено в таблицю 1.7.

Таблиця 1.7

Результати розрахунку скрубера Вентурі

Найменування показників	Позначення	Величина
Розміри труби Вентурі:		
діаметр вхідного перетину конфузора, м	$d_1$	1,1
довжина конфузора, м	$l_1$	1,7
кут звуження конфузора, град.	$\alpha_1$	25
діаметр горловини, м	$d_r$	0,37
довжина горловини, м	$l_r$	0,05
кут розкриття дифузора, град.	$\alpha_2$	6
довжина дифузора, м	$l_2$	5,5
діаметр вихідного перерізу дифузора, м	$d_2$	0,94
Ефективність (ступінь) уловлювання пилу	$\eta$	0,996
Гідравлічний опір:		
труби Вентурі, Па	$\Delta p_{тр}$	10671
циклона-краплеуловлювача, Па	$\Delta p_k$	100
скрубера Вентурі в цілому, Па	$\Delta p_{ск}$	10771

На підставі отриманих даних необхідно накреслити в масштабі трубу Вентурі.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 р. № 1264-XII : станом на 8 жовт. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 10.03.2024).
2. Сафранов Т. А. Екологічні основи природокористування : навч. посіб. Львів : Новий світ–2000, 2003. 247 с.
3. Екологічні аспекти металургійних технологій : навч. посіб. / Л. П. Грес та ін. Дніпро : Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2022. Ч. 1. 106 с.
4. Клименко М. О., Залеський І. І. Техноекологія : підручник. Херсон : ОЛДІ ПЛЮС, 2017. 348 с.
5. Техноекологія : підручник / М. С. Мальований та ін. ; за ред. М. С. Мальованого. Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2013. 424 с.
6. Франчук Г. М., Запорожець О. І., Архіпова Г. І. Урбоекологія і техноекологія : підручник для вищ. навч. закл. Київ : НАУ–друк, 2011. 494 с.
7. Промислова екологія : навч. посіб. / С. О. Апостолук та ін. 2-ге вид., випр. та доп. Київ : Знання, 2012. 430 с.
8. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод : підручник / А. К. Запольський та ін. Київ : Лібра, 2000. 552 с.
9. Войцицький А. П., Боголюбов В. М. Техноекологія : підручник / за ред. В. М. Боголюбова. Київ : Аграрна освіта, 2009. 533 с.
10. Ефименко Г. Г., Гиммельфарб А. А., Левченко В. Е. Металлургия чугуна. Киев : Вища школа, 1988. 351 с.
11. Технологія конструкційних матеріалів : навч. посіб. / С. В. Марченко та ін. Суми : Сумський державний університет, 2016. 146 с.
12. Виробництво коксу : навч. посіб. / І. В. Шульга та ін. Харків-Тернопіль : НТУ «ХП», «Видавництво Крок», 2020. 110 с.

13. Бойченко Б. М., Охотський В. Б., Харлашин П. С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія : підручник. Дніпропетровськ : РВА «Дніпро-ВАЛ», 2004. 454 с.
14. Гасик М. И., Лякишев Н. П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов : учеб. для вузов. Москва : СП Интермет Инжиниринг, 1999. 764 с.
15. Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г. Засоби очищення газових викидів : навч. посіб. Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2008. 207 с.
16. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с.

Навчально-методичне видання

**Суліменко** Сергій Євгенійович,  
**Єрьомін** Олександр Олегович,  
**Сухарева** Марина Віталіївна

## **ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-методичні рекомендації  
до виконання індивідуальних завдань  
зі спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього  
середовища, освітньо-професійної програми  
«Технології захисту навколишнього  
середовища» (бакалаврський рівень)

Електронне видання

Експертний висновок склав канд. техн. наук, доц. О. В. Саввін

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 743 від 02.07.2024)

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 1,1. Обл.-вид. арк. 0,53.

Зам. № 64

Видавець: Український державний університет науки і технологій  
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, м. Дніпро, 49010.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:

вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010