

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту
з курсу «Технології знешкодження та утилізації компонентів газових викидів»
для студентів спеціальності
101 «Екологія»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 2 від 29.06.2022 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2022

Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з курсу «Технології знешкодження та утилізації компонентів газових викидів» для студентів спеціальності 101 «Екологія» / уклад. Н. М. Самойленко, Т. Б. Новожилова, О. В. Шестопапов, А. О. Баранова, О. С. Гетта. – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – 39 с.

Укладачі:

САМОЙЛЕНКО Наталія Миколаївна
НОВОЖИЛОВА Тетяна Борисівна
ШЕСТОПАЛОВ Олексій Валерійович
БАРАНОВА Антоніна Олегівна
Гетта Оксана Сергіївна

Рецензент Лебедєв В.В.

Кафедра хімічної техніки та промислової екології

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	4
Ч.1	ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....	4
	1 Структура та оформлення проекту	4
	2 Завдання курсового проекту.....	5
	3 Зміст курсового проекту.....	5
	4 Орієнтовні теми курсових проектів.....	7
Ч.2	ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ЧАСТИНИ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....	8
	1 Розрахунок необхідної за санітарними нормами ефективності очистки викидів до атмосфери.....	8
	2 Приклад розрахунку.....	12
	3 Розрахунок основного апарату очистки.....	15
	3.1 Технологічний розрахунок циклону.....	15
	3.1.1 Методика технологічного розрахунку циклону.....	15
	3.1.2 Приклад розрахунку циклону.....	21
	3.2 Розрахунок рукавного фільтру.....	23
	3.2.1 Методика визначення основних характеристик рукавного фільтру.....	23
	3.2.2 Приклад розрахунку рукавного фільтру з імпульсною регенерацією.....	25
	3.3 Розрахунок адсорберу для уловлювання газоподібних компонентів викиду.....	27
	3.3.1 Методика розрахунку основних конструктивних розмірів адсорберу.....	27
	СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....	29
	ДОДАТКИ.....	31

Вступ

Забруднення атмосферного повітря виробничою та господарчою діяльністю людини відзначається актуальністю, різноманітністю за своїм характером та складністю проблем. В атмосферне повітря надходить велика кількість забруднюючих речовин, що мають певний рівень шкідливого впливу на людину та компоненти довкілля, а також створюють найбільші ризики негативної дії у порівнянні з забрудненням інших елементів навколишнього середовища. Серед поширених забруднюючих речовин, що є загрозою для здоров'я людини, виділяються зважені часточки діаметром до 2,5 мкм, сажа (атомарний вуглець), понад тонкі зважені частки діаметром ≤ 1 мкм, діоксид азоту, ангідрид сірчистий, а також вуглеводні, альдегіди, важкі метали, сірководень та ін. Особливу увагу привертає надходження в атмосферу оксиду вуглецю та метану, що негативно впливають на клімат.

У даному курсовому проєкті ставиться комплексне фахове завдання, метою якого є закріплення і поглиблення теоретичних знань та практичних навичок самостійного вирішення інженерних екологічних задач щодо технологій знешкодження та утилізації шкідливих компонентів газових викидів. Для досягнення цілей проєкта проводиться аналіз джерел інформації, розглядається формування забруднених викидів у виробничому процесі підприємства та виконуються екологічні розрахунки, які є основним чинником для обґрунтування необхідності проведення природоохоронного заходу. Передбачається розробка системи очищення викиду з видаленням шкідливих домішок та їх подальшою утилізацією.

ЧАСТИНА 1. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

1 Структура та оформлення проєкту

Курсовий проєкт включає текстову та графічну частини. Загальний його обсяг складає: 2 – 3 аркуші креслень формату А1 та 20 – 25 сторінок тексту, представленого на форматі А4. Шрифт - Times New Roman. Розмір шрифту - 14пт. Інтервал - 1,5.

Оформлення пояснювальної записки (текстової частини проєкту) відповідає вимогам стандарту СТЗВО-ХП-3.01-2021 [4].

Графічна частина включає кресленики, кількість та тип яких зазначаються у індивідуальному завданні на проєктування. Рекомендується розробити 2-3 кресленика, в яких може бути представлено:

- принципову схему очистки викидів;
- загальний вид очисного апарату;
- принципову схему утилізації уловленого компонента чи компонентів газових викидів;
- загальний вид основного апарату схеми утилізації уловлених домішок.

Структура пояснювальної записки курсового проєкту передбачає вступну частину, що містить:

- титул (Додаток 1);
- аркуш – завдання (Додаток 2);
- реферат;
- зміст.

Реферат та зміст розробляються у відповідності зі стандартом СТЗВО-ХП-3.01-2021.

Основна частина пояснювальної записки включає:

- вступ;
- текстовий блок, що розриває суть проєкту ;
- висновки;
- список джерел інформації;
- додатки.

2 Завдання курсового проєкту

За темою проєкту викладач розробляє індивідуальне фахове завдання на курсовий проєкт, визначає його мету та план виконання здобувачем вищої освіти його розділів.

3 Зміст курсового проєкту

Конкретний зміст частин проєкту, який направлений на досягнення мети та вирішення індивідуального завдання, визначає керівник; при цьому студентом виконуються основні вимоги щодо структури проєкту. Рекомендується у розділах основної частини пояснювальної записки розглянути наступні складові.

3.1 Вступ

Зміст вступу повинен включати актуальність теми проєкту, а також його мету та завдання. Крім того, у вступі доцільно вказати практичне значення результатів, які можуть бути одержані при проєктуванні.

3.2 Огляд літературних джерел

Проводиться огляд джерел інформації щодо теми проєкту, який вказує на ступінь її розробленості та шляхи вирішення існуючих екологічних задач. При цьому критично аналізуються літературні джерела, до яких рекомендується включати публікації наукового характеру. У даному розділі доцільно представляти наступні відомості, які розглядаються у джерелах інформації:

1) вплив виробництва продукції на атмосферне повітря та відомості щодо негативного впливу на довкілля компонентів газових викидів;

2) існуючі способи та технології очищення газових викидів від компонентів, характерних для даного виробництва;

3) загальна характеристика сучасних методів і апаратів, які використовуються для очищення забруднених газових викидів.

Також за наявності відповідних джерел інформації доцільно включити підрозділ щодо існуючих технологій утилізації компонентів газових викидів, утворених у виробництві, яке розглядається.

При проведенні огляду передбачається обов'язкове посилення на джерела інформації, відомості з яких використовувались [4]. Робиться висновок щодо не вирішених екологічних задач і визначається тенденція застосування найбільш сучасних методів уловлювання забруднювачів та ефективного обладнання для очищення газових викидів.

3.3 Технологічний процес одержання продукції

Наводяться основні відомості щодо типової (принципової) технологічної схеми виробництва продукції, а також джерел утворення викидів. Характеризуються забруднюючі речовини, що формується у ході виробничого процесу та надходять у викиди.

3.4 Основні екологічні розрахунки газових викидів

Проводиться розрахунок необхідної ефективності очистки викиду по усім забруднюючим речовинам, що містяться у ньому. На основі аналізу одержаних даних робиться висновок щодо необхідності та пріоритетності проведення природоохоронних заходів на підприємстві стосовно кожного компонента викиду.

3.5 Розробка заходів по захисту повітряного басейну від забруднених газових викидів

З урахуванням розрахунків (п. п. 3.4) та проведеного літературного огляду обґрунтовується застосування конкретних методів та типів очисних апаратів для уловлювання забруднюючих речовин. Розробляється та описується технологічна схема очищення газового викиду даного виробництва. Бажано запропонувати та порівняти декілька варіантів застосування основних апаратів очищення (наприклад, скрубер Вентурі – рукавний фільтр – електрофільтр). Проводиться розрахунок основного чи одного з основних апаратів запропонованої схеми очистки забруднених викидів. Зазначається можливість утилізації теплоти нагрітих газів, у тому числі у поєднанні з процесом очищення.

3.6 Утилізація компонентів газових викидів

У даному підрозділі визначаються шляхи утилізації уловлених компонентів газових викидів. Приводиться характеристика способу утилізації забруднюючих речовин. Якщо пріоритетними забруднювачами є декілька речовин, які не утилізуються в єдиному процесі, то для кожної речовини пропонується і розглядається індивідуальна схема утилізації.

3.7 Висновки

Висновки узагальнюють одержаний при виконання курсового проекту результат. У них коротко представляються основні висновки по кожному розділу пояснювальної записки проекту.

3.8 Список джерел інформації

Приводяться джерела інформації, які були використані при виконанні проекту. Вони включають навчально-методичну літературу, наукові публікації, інформаційні ресурси Інтернету. У списку джерел інформації представляються публікації останніх 5 років. Рекомендована кількість літературних джерел складає 10–15.

Підготовлений до захисту курсовий проект підлягає процедурі перевірки на антиплагіат.

4 Орієнтовні теми курсових проєктів

Тематика курсових проєктів відповідає меті та завданням вивчення студентами дисципліни, а також пов'язується з практичними та перспективними потребами у сфері охорони довкілля і раціонального використання матеріальних ресурсів. З цілю забезпечення актуальності тематика проєктів щорічно поновлюється та затверджується на засіданні кафедри. При цьому враховується, що студенти можуть подавати власні пропозиції щодо тем своїх проєктів.

Теми курсових проєктів (приклад):

1. Розробка заходів щодо захисту повітряного басейну від викидів виробництва міді.
2. Розробка заходів щодо захисту повітряного басейну від викидів виробництва титану.
3. Розробка заходів щодо захисту повітряного басейну від викидів підприємства по виробництву алюмінію.
4. Розробка заходів щодо захисту повітряного басейну від викидів вугільної ТЕС.
5. Розробка заходів щодо захисту повітряного басейну від викидів підприємства, що виробляє сульфатну кислоту.
6. Розробка заходів щодо захисту повітряного басейну від викидів виробництва нітратної кислоти.
7. Розробка заходів щодо захисту повітряного басейну від викидів виробництва ортофосфатної кислоти.
8. Розробка заходів щодо захисту повітряного басейну від викидів виробництва мінеральних добрив.
9. Розробка заходів щодо захисту повітряного басейну від викидів виробництва аміачної селітри.
10. Розробка заходів щодо захисту повітряного басейну від викидів виробництва капролактаму.

11. Розробка заходів щодо захисту повітряного басейну від викидів виробництва хлору.

12. Розробка заходів щодо захисту повітряного басейну від викидів виробництва аміаку.

13. Розробка заходів щодо захисту повітряного басейну від викидів підприємства по виробництву будматеріалів.

14. Розробка заходів щодо захисту повітряного басейну від викидів асфальтобетонного виробництва.

15. Розробка заходів по попередженню зміни клімату шляхом очищення викидів від оксиду вуглецю.

ЧАСТИНА II. ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ЧАСТИНИ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ.

1. Розрахунок необхідної за санітарними нормами ефективності очистки викидів до атмосфери

1. Необхідна за санітарними нормами ефективність очистки викидів до атмосфери розраховується за формулою

$$E = \frac{C_m - \text{ГДК}}{C_m} \cdot 100 \%, \quad (1.1)$$

де C_m – максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини, що виникає за несприятливих метеорологічних умов, мг/м³; ГДК – максимальна разова граничнодопустима концентрація речовини, мг/м³ [3].

Необхідна ефективність очистки розраховується для кожної шкідливої речовини, що міститься у викиді.

2. При викиді нагрітої газоповітряної суміші із високого джерела C_m визначається за формулою, мг/м³:

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

де M – потужність викиду або маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу в одиницю часу, г/с; H – висота джерела викиду понад рівнем землі (для наземних джерел при розрахунках приймається $H = 2$ м), м; ΔT – різниця між температурою газоповітряної суміші, що викидається, T_{Γ} , та температурою

навколишнього атмосферного повітря, $T_{\text{п}}$, °C; A – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери, $\frac{c^{2/3} \cdot \text{мг} \cdot \text{°C}^{1/3}}{\Gamma}$; F – коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин у атмосферному повітрі; m і n – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші із гирла джерела викиду; η – коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості (в разі рівної місцевості, якщо перепад висот не перевищує 50 м на 1 км, $\eta = 1$); V_1 – витрата газоповітряної суміші, м³/с.

3. Витрата газоповітряної суміші V_1 визначається за формулою, м³/с:

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} w_0, \quad (1.3)$$

де D – діаметр гирла джерела викиду, м; w_0 – середня швидкість виходу газоповітряної суміші із гирла джерела викиду, м/с.

4. Потужність викиду або маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу в одиницю часу M розраховується за формулою:

$$M = C V_1, \quad (1.4)$$

де C – концентрація шкідливої речовини у викиді, г/м³; V_1 – витрата газоповітряної суміші, м³/с.

У разі одночасної сумісної наявності в атмосферному повітрі декількох (n) речовин, шкідлива дія яких, згідно з переліком наведеному в додатку 3, сумується, значення їх концентрацій зводяться умовно до значення концентрації одного з них.

Зведена концентрація розраховується наступним чином:

$$C_{\text{зв}} = C_1 + C_2 \frac{\text{ГДК}_1}{\text{ГДК}_2} + \dots + C_n \frac{\text{ГДК}_1}{\text{ГДК}_n}, \quad (1.5)$$

де C_1 – концентрація речовини, до якої здійснюється зведення, мг/м³; ГДК_1 – її ГДК; $C_2 \dots C_n$ та $\text{ГДК}_1 \dots \text{ГДК}_n$ – концентрації та ГДК інших речовин, що входять до групи сумачії.

Із n значень $C_{зв}$ вибирається найбільше та по ньому розраховується потужність викиду для речовин, що володіють ефектом сумачії дії: $M = C_{зв} \cdot V_1$.

5. Значення коефіцієнта A , що відповідає несприятливим метеорологічним умовам, за яких концентрація шкідливих речовин у атмосферному повітрі максимальна, для розташованих в Україні джерел висотою менше 200 м в зоні від 50° до 52° пн. ш. – 180, а на південь від 50° пн. ш. – 200.

6. При визначенні значення ΔT слід приймати температуру навколишнього атмосферного повітря $\dot{O}_п$, яка дорівнює середньому значенню максимальній температурі зовнішнього повітря найбільш жаркого місяця року, а температуру газоповітряної суміші, що викидається в атмосферу T_Γ – за діючими для даного виробництва технологічним нормативам.

7. Величину коефіцієнта F треба приймати:

- а) для газоподібних шкідливих речовин – 1;
- б) для пароподібних шкідливих речовин – 2;
- в) для пилу та золи – 3.

8. Значення коефіцієнтів m і n визначаються в залежності від параметрів f , v_m , v'_m та f_e .

$$f = 10^3 \frac{w_0^2 D}{H^2 \Delta T}, \quad (1.6)$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}}, \quad (1.7)$$

$$v'_m = 1,3 \frac{w_0 D}{H}, \quad (1.8)$$

$$f_e = 800 (v'_m)^3 \quad (1.9)$$

8. Коефіцієнт m визначається за формулою:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f < 100, \quad (1.10a)$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f \geq 100. \quad (1.10б)$$

Для $f_e < f < 100$ значення коефіцієнта m обчислюється при $f_e = f$.

9. Значення коефіцієнта n при $f < 100$ визначається залежно від параметра v_m :

$$n = 1 \text{ при } v_m \geq 2, \quad (1.11 \text{ а})$$

$$n = 0,532 v_m^2 - 2,13 v_m + 3,13 \text{ при } 0,5 \leq v_m < 2, \quad (1.11 \text{ б})$$

$$n = 4,4 \text{ при } v_m < 0,5. \quad (1.11 \text{ в})$$

Для $f \geq 100$ (або $\Delta T \approx 0$) та $v'_m \geq 0,5$ (холодні викиди) при розрахунку C_m замість формули (1.2) використовується формула

$$C_m = \frac{AMF n \eta}{H^{4/3}} K, \quad (1.12)$$

де

$$K = \frac{D}{8V_1} = \frac{1}{7,1 \sqrt{w_0 V_1}}, \quad (1.13)$$

причому n визначається за формулами (1.11а - 1.11в) при $v_m = v'_m$.

Аналогічно при $f < 100$ та $v_m < 0,5$ або $f \geq 100$ та $v'_m < 0,5$ (випадки гранично малих небезпечних швидкостей вітру) розрахунок C_m проводиться за формулою

$$C_m = \frac{AMF m' \eta}{H^{7/3}}, \quad (1.14)$$

де

$$m' = 2,86 m \text{ при } f < 100, v_m < 0,5; \quad (1.15 \text{ а})$$

$$m' = 0,9 \text{ при } f \geq 100, v'_m < 0,5. \quad (1.15 \text{ б})$$

Формули (1.12) та (1.14) являються частковими випадками загальної формули (1.2).

2 Приклад розрахунку

Вихідні дані:

- об'єм газоповітряної суміші, $V_1 - 10000 \text{ м}^3/\text{год}$;
- висота джерела викиду, $H - 50 \text{ м}$;

- діаметр джерела викиду, $D = 0,8$ м;
- температура газової суміші, $T_{\Gamma} = 160$ °С;
- температура повітря, $T_{\Pi} = 20$ °С;
- розташування – місто Суми.

Таблиця 1.1 – Концентрація і ГДК речовин у викиді

№	Речовина	Концентрація у викиді, C , мг/м ³	ГДК, мг/м ³
1	Ацетальдегід	5000	0,01
2	Вінілацетат	15000	0,15
3	Сірковуглець	7000	0,03
4	Акролеїн	10000	0,03
5	Ангідрид сірчистий	18000	0,5
6	Діоксид азоту	9000	0,085

Розрахувати максимальне значення приземних концентрацій та необхідну за санітарними нормами ефективність очистки для кожної шкідливої речовини, що міститься у викиді.

Розв'язання

Середня швидкість виходу газоповітряної суміші із гирла визначається за формулою (1.3):

$$w_0 = \frac{4 \cdot 10000}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,8^2} = 5,52 \text{ м/с.}$$

Розраховуємо параметри f , v_m , v'_m та f_e :

$$f = 10^3 \cdot \frac{5,52^2 \cdot 0,8}{50^2 \cdot (160 - 20)} = 0,07;$$

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{10000 \cdot (160 - 20)}{3600 \cdot 50}} = 1,29;$$

$$v'_m = 1,3 \frac{5,52 \cdot 0,8}{50} = 0,38;$$

$$f_e = 800 \cdot 0,38^3 = 43,73.$$

Значення коефіцієнта m визначається залежно від параметра f , оскільки $f = 0,07 < 100$ коефіцієнт розраховується за формулою (1.9а):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \sqrt{0,07} + 0,34 \sqrt[3]{0,07}} = 1,2.$$

Значення коефіцієнта n визначається залежно від параметра v_m . Оскільки $0,5 \leq v_m < 2$, то n розраховується згідно з формулою (1.10б):

$$n = 0,532 \cdot 1,29^2 - 2,13 \cdot 1,29 + 3,13 = 1,27.$$

Подальші розрахунки виконуються за формулами для викидів нагрітої газоповітряної суміші із високих джерел.

У викиді присутні дві групи речовин, шкідлива дія яких, згідно з переліком, сумується:

- 1) ацетальдегід (1) + вінілацетат (2);
- 2) ангідрид сірчистий (5) + діоксид азоту (6).

Для кожної групи розраховуються зведені концентрації речовин, що входять до її складу, згідно з формулою (1.5):

$$C_{зв1} = 5 \cdot 10^3 + 15 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,01}{0,15} = 6 \cdot 10^3 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{зв2} = 15 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,15}{0,01} = 90 \cdot 10^3 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{зв5} = 18 \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,5}{0,085} = 70,94 \cdot 10^3 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{зв6} = 9 \cdot 10^3 + 18 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,085}{0,5} = 20,06 \cdot 10^3 \text{ мг/м}^3.$$

Подальші розрахунки потужності викиду здійснюємо при використанні найбільшого у кожній групі значення $C_{зв}$.

Потужність викиду визначається за формулами (1.4) для всіх речовин, що містяться у викиді:

$$M_1 = M_2 = \frac{90 \cdot 10^3 \cdot 10000}{3600 \cdot 1000} = 250 \text{ г/с};$$

$$M_3 = \frac{7 \cdot 10^3 \cdot 10000}{3600 \cdot 1000} = 19,4 \text{ г/с};$$

$$M_4 = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 10000}{3600 \cdot 1000} = 27,8 \text{ г/с};$$

$$M_5 = M_6 = \frac{70,94 \cdot 10^3 \cdot 10000}{3600 \cdot 1000} = 197 \text{ г/с}.$$

Ацетальдегід (1), вінілацетат (2), сірковуглець (3), акролеїн (4) – це пари, тому $F = 2$; ангідрид сірчистий (5), діоксид азоту (6) – це газу, тому $F = 1$.
 $A = 180$ – для м. Суми.

Максимальне значення приземних концентрацій шкідливих речовин, що виникають за несприятливих метеорологічних умов, визначається за формулою (1.2):

$$C_{m1} = C_{m2} = \frac{250 \cdot 180 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 1,27 \cdot 1}{50^2 \cdot \sqrt[3]{10000 / 3600} \cdot (160 - 20)} = 7,5 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{m3} = \frac{19,4 \cdot 180 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 1,27 \cdot 1}{50^2 \cdot \sqrt[3]{10000 / 3600} \cdot (160 - 20)} = 0,58 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{m4} = \frac{27,7 \cdot 180 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 1,27 \cdot 1}{50^2 \cdot \sqrt[3]{10000 / 3600} \cdot (160 - 20)} = 0,83 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{m5} = C_{i6} = \frac{197 \cdot 180 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,27 \cdot 1}{50^2 \cdot \sqrt[3]{10000 / 3600} \cdot (160 - 20)} = 2,96 \text{ мг/м}^3.$$

Необхідна за санітарними нормами ефективність очистки викиду від кожної шкідливої речовини визначається за формулою (1.1):

$$\text{від ацетальдегіду } E_1 = \frac{7,5 - 0,01}{7,5} \cdot 100 \% = 99,87 \%;$$

$$\text{від вінілацетату } E_2 = \frac{7,5 - 0,15}{7,5} \cdot 100 \% = 98 \%;$$

$$\text{від сірковуглецю } E_3 = \frac{0,58 - 0,03}{0,58} \cdot 100 \% = 94,83 \%;$$

$$\text{від акролеїну } E_4 = \frac{0,83 - 0,03}{0,83} \cdot 100 \% = 96,39 \%;$$

$$\text{від ангідриду сірчистого } E_5 = \frac{2,96 - 0,5}{2,96} \cdot 100 \% = 83,1 \%;$$

$$\text{від діоксиду азоту } E_6 = \frac{2,96 - 0,085}{2,96} \cdot 100 \% = 97,13 \%.$$

У даному проєкті розрахована покомпонентна ефективність очищення викиду є основою для обґрунтування необхідності проведення природоохоронного заходу щодо кожного забруднювача та у тому числі розробки системи очистки. При прийнятті рішень враховується:

- 1) ефективність очищення викиду для кожного його компонента згідно з завданням на проєктування;
- 2) відповідність ступеню очищення викиду від і-го компоненту ефективності роботи запропонованого апарату очистки;
- 3) наявність у технологічній схемі виробництва продукції ланки очищення викиду від і-ї забруднюючої речовини перед його надходженням у повітряний басейн. У даному випадку аналізується ступінь очищення викиду від цієї шкідливої речовини та вирішується питання підвищення ефективності очистки.

3 Розрахунок основного апарату очистки

У розділі приводяться методики спрощених розрахунків апаратів очистки, які найбільш часто використовуються при виборі та обґрунтуванні використання очисного обладнання. На стадії виконання проєкту та у відповідності із запропонованою принциповою схемою уловлювання і знешкодження компонента промислового викиду керівник проєкту уточнює вибір розрахункового апарату і надає консультації щодо застосування відповідної методики розрахунків.

3.1 Технологічний розрахунок циклону

3.1.1 Методика технологічного розрахунку циклону

Розрахунок циклону проводиться на основі таких вихідних даних:

- об'єм газу, що очищується, Q , м³/с;
- щільність газу при робочих умовах, ρ , кг/м³;
- в'язкість газу при робочій температурі, μ , Па·с;

- дисперсний склад пилу, d_{50} ;
- вхідна концентрація пилу, $C_{вх}$, $г/м^3$;
- необхідна ефективність очищення, η .

Розрахунок циклонів проводиться у наступному порядку .

1. Для вибраного типу циклона, визначається оптимальна швидкість газу $w_{оп}$ в перерізі циклона діаметром D (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Характеристики циклонів

Характеристики	Марки циклонів									
	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М	СІОТ	ВІЦДІОТ	Ц
$w_{оп}$, м/с	4,5	3,5	3,5	3,5	2	1,7	2	1	4	3,3
d_{50}^m , мкм	8,5	6	4,5	3,65	2,31	1,95	1,13	2,6	8,6	4,12
$lg\sigma_\eta$	0,308	0,283	0,352	0,352	0,364	0,308	0,34	0,28	0,32	0,34

Примітка: значення d_{50}^m отримані при швидкості потоку $w_{оп}$, діаметрі циклона 600 мм, щільності частинок 1930 кг/м^3 , динамічній в'язкості газу $22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$. Індекс «т» означає типові значення параметра.

2. Діаметр циклону визначається за формулою

$$D = \sqrt{4Q / \pi w_{оп} n}, \quad (3.1)$$

де Q – витрата газу-носія, що надходить у циклон, $м^3/с$; $w_{оп}$ – оптимальна швидкість руху газу в перерізі циклона, $м/с$; n – кількість циклонів.

Розраховане значення D округлюється до найближчого типового значення внутрішнього діаметра циклона. Якщо розрахований діаметр циклона перевищує його максимально дозволене значення, то необхідно використовувати два або більше паралельно встановлених циклона.

Прийнятий наступний ряд внутрішнього типового діаметра циклонів D , мм, а саме: 150; 200; 300; 400; 450; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1200; 1400; 600; 1800; 2000; 2400; 3000.

3. За обраним діаметром циклона знаходиться дійсна швидкість руху газу

у циклоні, м/с

$$w = 4Q / \pi n D^2. \quad (3.2)$$

Якщо розраховане значення швидкості більш ніж на 15 % відрізняється від оптимальної, необхідно вибрати інший типорозмір циклона.

4. Визначається коефіцієнт гідравлічного опору одиничного циклона за формулою

$$\xi = K_1 K_2 \xi_{500} + K_3, \quad (3.3)$$

де ξ_{500} – коефіцієнт гідравлічного опору циклона діаметром 500 мм (визначається за табл. 3.2); K_1 – поправковий коефіцієнт на діаметр циклона (визначається за табл. 3.3); K_2 – поправковий коефіцієнт на початкову запиленість газу (визначається за табл. 3.4); K_3 – поправковий коефіцієнт на компоновку (для групових установок) (визначається за табл. 3.5).

Таблиця 3.2 – Коефіцієнти гідравлічного опору циклонів

Марка циклона	Циклони з виходом у гідравлічну мережу	Циклони з виходом в атмосферу
ЦН-11	245	250
ЦН-15	155	163
ЦН-15У	165	170
ЦН-24	75	80
СДК-ЦН-33	520	600
СК-ЦН-34	1050	1150
СК-ЦН-34М	–	2800
СІОТ	–	–
ВЦНДІОТ	–	75
Ц	–	210

Примітка: значення ξ віднесені до середньої швидкості газового потоку в апараті і визначені для циклонів Ц, ВЦНДІОТ і СІОТ – при $w_{оп}$.

Таблиця 3.3 – Поправковий коефіцієнт K_1 на діаметр циклона

D , мм	Марка циклона	
	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24
200	0,95	0,9
300	0,96	0,93
400	0,99	1,0
500	1	1,0

Таблиця 3.4 – Поправковий коефіцієнт K_2 на початкову запиленість газів

Марка циклона	Запиленість, г/м ³						
	<0,1	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК-ЦН-34М	1	0,99	0,97	0,96	–	–	–

Таблиця 3.5 – Поправковий коефіцієнт K_3 на спосіб компоновки групи

Характеристика компоновки	K_3
Кругова компоновка, нижнє підведення газів, що очищуються, до кожного циклона	60
Прямокутна компоновка, підведення газів у загальну камеру	60
Прямокутна компоновка, відведення очищених газів із загальної камери	35
Прямокутна компоновка, завиткове відведення від кожного циклона	28

5. Втрати тиску, Па, в циклоні

$$\Delta P = \xi \rho w^2 / 2, \quad (3.4)$$

де ρ – щільність газу-носія, кг/м^3 .

Величина ΔP повинна бути прийнятною і забезпечуватись напором вентилятора (димососа), що встановлюється у даній системі

6. Ефективність очистки газу в циклоні, %, розраховується за формулою

$$\eta = 0,5[1 + \Phi(x)]. \quad (3.5)$$

де $\Phi(x)$ – таблична (таблиця 3.6) функція параметра x .

Якщо в результаті розрахунку ступінь очистки виявився недостатнім, то може бути використаний інший тип циклона з вищим гідравлічним опором, який необхідно розрахувати наново.

Параметр x визначається за формулою

$$x = 0,8 \lg(d_{50} / d_{50}^m), \quad (3.6)$$

де d_{50} – дисперсний склад пилу;

d_{50}^m – типовий дисперсний склад пилу (таблиця 3.1).

Значення d_{50} визначається за формулою:

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{(D / D_T)(\rho_{ч.т} / \rho_ч)(\mu / \mu_T)(w_T / w)}, \quad (3.7)$$

де $\rho_ч$ – щільність часток, кг/м^3 ; μ – в'язкість, $\text{Па}\cdot\text{с}$; w – швидкість потоку газу, м/с .

Приймається $\rho_{ч.т} = 1930 \text{ кг/м}^3$; $\mu_m = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ (табл. 3.1).

7. Розрахунок конструктивних параметрів циклону (мм) виконується за допомогою формули

$$y = k \cdot D, \quad (3.8)$$

де y – конкретний параметр циклону (діаметр d , ширина b , висота H та ін.);

Таблиця 3.6 – Залежність функції $\Phi(x)$ від значення параметра x

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
0	50	0,72	76,42	1,44	92,51
0,02	50,8	0,74	77,03	1,46	92,79
0,04	51,6	0,76	77,64	1,48	93,06
0,06	52,39	0,78	78,23	1,50	93,32
0,08	53,19	0,80	78,81	1,52	93,57
0,10	53,98	0,82	79,39	1,54	93,82
0,12	54,78	0,84	79,95	1,56	94,06
0,14	55,57	0,86	80,51	1,58	94,29
0,16	56,36	0,88	81,06	1,60	94,52
0,18	57,14	0,90	81,59	1,62	94,74
0,20	57,93	0,92	82,12	1,64	94,95
0,22	58,71	0,94	82,64	1,66	95,15
0,24	59,48	0,96	83,15	1,68	95,35
0,26	60,26	0,98	83,65	1,70	95,54
0,28	61,03	1,00	84,13	1,72	95,73
0,30	61,79	1,02	84,61	1,74	95,91
0,32	62,55	1,04	85,08	1,76	96,08
0,34	63,31	1,06	85,54	1,78	96,25
0,36	64,06	1,08	85,99	1,80	96,41
0,38	64,80	1,10	86,43	1,82	96,56
0,40	65,54	1,12	86,89	1,84	96,71
0,42	66,28	1,14	87,29	1,86	96,86
0,44	67,00	1,16	87,70	1,88	96,99
0,46	67,72	1,18	88,10	1,90	97,13
0,48	68,44	1,20	88,49	1,92	97,26
0,50	69,15	1,22	88,88	1,94	97,38
0,52	69,85	1,24	89,25	1,96	97,50
0,54	70,54	1,26	89,62	1,98	97,61
0,56	71,23	1,28	89,97	2,00	97,72
0,58	71,90	1,30	90,32	2,10	98,21
0,60	72,57	1,32	90,66	2,20	98,61
0,62	73,24	1,34	90,99	2,30	98,93
0,64	73,89	1,36	91,31	2,40	99,18
0,66	74,54	1,38	91,62	2,50	99,38
0,68	75,17	1,40	91,92	2,60	99,53
0,70	75,80	1,42	92,22	2,70	99,65

k – коефіцієнт пропорційності (таблиця 3.7).

9. Радіус равлика розраховується по формулі

$$\rho = D / 2 + b (\Phi / 2\pi), \quad (3.9)$$

Таблиця 3.7 – Значення коефіцієнта пропорційності k в залежності від

типа циклона

Циклон /параметр	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-24	СДК- ЦН33	СК-ЦН- 34	СК- ЦН34м
Діаметр вихлопної труби, d	0,59			0,334	0,34	0,22
Діаметр пило випускного отвору, d_1	0,3-0,4			0,334	0,23	0,18
Ширина вхідного патрубка, b	0,2			0,264	0,214	0,18
Довжина вхідного патрубка, l	0,6					
Висота вхідного патрубка, a	0,48	0,66	1,11	0,535	0,515	0,4
Висота вихлопної труби, h_T	1,56	1,74	2,11	0,535	0,515	0,4
Висота зовнішньої частини вихлопної труби, h_B	0,3	0,3	0,4	0,2-0,3		
Висота циліндричної частини, $H_{Ц}$	2,06	2,06	2,11	0,535	0,515	0,4
Висота конуса, H_K	2,0	2,0	1,75	3,0	2,11	2,6
Висота установки фланцю, $h_{фл}$	0,1					
Загальна висота циклона, H	4,38	4,56	4,26	3,835	2,925	3,3

де b – ширина вхідного патрубку;

$$\varnothing = 135^\circ = 2,35 \text{ рад}$$

3.1.2 Приклад розрахунку циклону

2.1.2 Приклад розрахунку циклону

Вибрати та розрахувати циклон на основі наступних вихідних даних:

- об'єм газу, що очищується, $Q = 10000 \text{ м}^3/\text{год}$;
- щільність газу при робочих умовах, $\rho = 0,87 \text{ кг/м}^3$;
- в'язкість газу при робочих умовах, $\mu = 6,55 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$.
- медіанний діаметр частинок золи $d_m = 20 \text{ мкм}$;
- дисперсія частинок $\sigma_{\text{ч}} = 3,0$;
- щільність зваженої речовини, $\rho_{\text{ч}} = 2240 \text{ кг/м}^3$;
- вхідна концентрація пилу, $C_{\text{вх}}, 42 \text{ г/м}^3$;
- робоча температура – $140 \text{ }^\circ\text{C}$;
- необхідний ступінь очистки $\eta = 97 \%$.

3.2.1. Задаємо типом циклона. Приймаємо до розрахунку циклон типу ЦН-11. За даними таблиці 2.1 приймаємо величину оптимальної швидкості потоку у циклоні $w_{\text{оп}} = 3,5 \text{ м/с}$. Розраховуємо діаметр циклона за формулою (2.1):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 10000}{3600 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot 1}} = 1,005 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартний діаметр циклона $D = 1000 \text{ мм} = 1 \text{ м}$.

3.2.2. Розраховуємо швидкість потоку в циклоні з діаметром 1000 мм за формулою (2.2):

$$w = \frac{4 \cdot 10000}{3600 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 1^2} = 3,54 \text{ м/с.}$$

3.2.3. Вибираємо значення ξ_{500}, K_1, K_2, K_3 для циклона ЦН-11, який працює на викид в атмосферу, за даними таблиць 1.2–1.5 і визначаємо коефіцієнт гідравлічного опору циклона за формулою (2.3):

$$\xi = 1 \cdot 0,92 \cdot 250 + 0 = 230.$$

3.2.4. Втрати тиску, Па, у циклоні

$$\Delta P = 230 \cdot 0,87 \cdot 3,54^2 / 2 = 1253,78 \text{ Па}$$

3.2.5. Перераховуємо значення d_{50}^T на робочі умови за формулою (2.6):

$$d_{50}^T = 3,65 \sqrt{(1000 / 600)(1930 / 2240)(6,55 \cdot 10^{-6} / 22,2 \cdot 10^{-6})(3,5 / 3,54)} = 2,36 \text{ мкм.}$$

Визначаємо параметр осаджування за формулою (2.5):

$$x = \lg(20/2,36) / \sqrt{(0,352)^2 + \lg^2 3} = 1,565.$$

3.2.6. Знаходимо за табл. 2.6 значення інтеграла вірогідності $\Phi(x) = 94,1$.

За формулою (2.7) розраховуємо ефективність очистки у вибраному циклоні:

$$\eta = 0,5[100 + 94,1] = 97 \%$$

Таким чином, вибраний циклон ЦН-11 забезпечує необхідну за санітарними нормами ступінь очистки від золи.

3.2.7 Конструктивні розміри циклону проводиться на основі розрахованого діаметру $D = 1$ м та даних таблиці 3.7:

- діаметр вихлопної труби, $d = 0,59 \cdot 1 = 0,59$ м;
- діаметр пиловипускного отвору, $d_1 = 0,3 \cdot 1 = 0,3$ м;
- ширина вхідного патрубкa, $b = 0,2 \cdot 1 = 0,2$ м;
- довжина вхідного патрубкa, $l = 0,6 \cdot 1 = 0,6$ м;
- висота вхідного патрубкa, $a = 0,48 \cdot 1 = 0,48$ м;
- висота вихлопної труби, $h_T = 1,56 \cdot 1 = 1,56$ м;
- висота зовнішньої частини вихлопної труби, $h_B = 0,3 \cdot 1 = 0,3$ м;
- висота циліндричної частини, $H_{Ц} = 2,06 \cdot 1,0 = 2,06$ м
- висота конуса, $H_K = 2,0 \cdot 1,0 = 2,0$ м;
- висота установки фланцю, $h_{фл} = 0,1 \cdot 1,0 = 0,1$ м
- загальна висота циклона, $H = 4,38 \cdot 1,0 = 4,38$

3.2 Розрахунок рукавного фільтру

3.2.1 Методика визначення основних характеристик рукавного фільтру

Площа фільтрації тканинного фільтру розраховується за формулою:

$$F_{\phi} = V_n / 60 \cdot Q \quad (3.8)$$

де F_{ϕ} – площа фільтрації в одночасно працюючих секціях, m^2 ; V_n – об'ємна витрата газів, що очищаються, $m^3/\text{год}$; Q – питома газове навантаження на тканину, $m^3/m^2 \cdot \text{хв}$.

Питома газове навантаження на фільтрувальну перегородку коливається для рукавних фільтрів від 0,3 до 6 $m^3/(m^2 \cdot \text{хв})$. В середині цього діапазону вибір

оптимального значення залежить від багатьох факторів, до яких в першу чергу, відносяться властивості уловлюваного пилу, спосіб регенерації фільтрувальних елементів, концентрація пилу в газі, структура фільтрувального матеріалу, температура газів, що очищаються. З достатньою для практичних розрахунків точністю питоме газове навантаження в рукавних фільтрах визначають з наступного виразу:

$$Q = Q_n \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \quad (3.9)$$

де Q_n – нормативне питоме газове навантаження, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{ хв})$ (додаток 4); C_1 – коефіцієнт, що характеризує систему регенерації фільтруючих елементів (додаток 5); C_2 – коефіцієнт, що враховує вплив вхідної концентрації пилу на питоме газове навантаження (додаток 6); C_3 – коефіцієнт, що враховує вплив дисперсного складу пилу в газі (додаток 7); C_4 – коефіцієнт, що враховує вплив температури забрудненого газу (додаток 8); C_5 – коефіцієнт, що враховує вимоги до якості очищення газу від пилу (при концентрації пилу у забрудненому газі до 30 мг/м^3 дорівнює 1, при концентраціях пилу, що не перевищує 10 мг/м^3 , дорівнює 0,95).

Основні властивості найбільш поширених фільтрувальних тканин приведені у додатку 9.

Для визначення коефіцієнта C_1 , що враховує вплив особливостей регенерації фільтрувальних елементів, приймається фільтр з імпульсною продувкою стисненим повітрям з рукавами з тканини. Для цього апарата коефіцієнт $C_1 = 1$.

Концентрація пилу, що пов'язується з коефіцієнтом C_2 , впливає на тривалості циклу фільтрування, але це немає лінійного характеру.

Регенерація фільтрів з імпульсною продувкою проводиться автоматизовано і відключення камер не потрібно. Загальна фільтруюча поверхня приймається як такою, що дорівнює робочій.

Очікуваний гідравлічний опір фільтру визначає енергетичні витрати на фільтрування і впливає на вибір рукавного фільтру. Гідравлічний опір фільтра ΔP_ϕ (Па) складається з опору корпусу ΔP_k і опору фільтрувальної перегородки ΔP_n :

$$\Delta P_\phi = \Delta P_k + \Delta P_n \quad (3.10)$$

В загальному виді гідравлічний опір може бути оцінений коефіцієнтом опору корпусу апарату, який віднесений до швидкості газу у вхідному патрубку:

$$\xi_k = \Delta P_k / (V_{вх}^2 \cdot \rho_\Gamma) \quad (3.11)$$

де $V_{вх}$ - швидкість газу у вхідному патрубку, м/с;

ρ_Γ - густина газу, кг/м^3

Величина ξ_k при конструюванні фільтрів звичайно приймається рівною 1,5 – 2,0.

$$V_{\text{вх}} = V_n / (3600 \cdot S_{\text{вх}}), \quad (3.12)$$

де $V_{\text{вх}}$ – швидкість газу у вхідному патрубку, м/с;

$S_{\text{вх}}$ – площа вхідного перерізу патрубку, м.

Гідравлічний опір фільтрувальної перегородки включає втрати напору за рахунок самої перегородки (ΔP_n^I) і втрати за рахунок осілого на перегородку пилу (ΔP_n^{II}):

$$\Delta P_n = \Delta P_n^I + \Delta P_n^{II} \quad (3.13)$$

Величину ΔP_n^I (в Па) обчислюють за виразом:

$$\Delta P_n^I = K_n \mu w^n, \quad (3.14)$$

де K_n - коефіцієнт, що характеризує опір фільтрувальної перегородки, м⁻¹; μ - динамічна в'язкість газу, Па с; w – швидкість фільтрування, м / с; n - показник ступеня, що залежить від режиму течії газу крізь перегородку (для ламінарного режиму $n = 1$, для турбулентного $n > 1$).

Коефіцієнт K_n , який залежить від товщини та проникливості фільтрувальної перегородки, властивостей і кількості пилу, що залишився після регенерації на перегородці, визначається експериментально.

Для фільтрувальних тканин з лавсану, що вловлюють цементний або кварцовий пил з медіанним діаметром часток в межах 10–20 мкм, $K_n = (1100–1500) \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$, для тих же матеріалів при вловлюванні відгонів від сталеплавильних дугових печей з медіанним діаметром часток 2,5–3,0 мкм $K_n = (2300–2400) \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$. Для більш щільних тканин, до яких належить склотканина, коефіцієнт K_n збільшується в 1,2–1,3 рази. При уловлюванні пилу розміром частинок менше 1 мкм коефіцієнт K_n збільшується у 2-3 рази. При уловлюванні відгонів кремнію з медіанним діаметром 0,6 мкм він становить $(13000–15000) \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}$. Наведені значення коефіцієнтів не ураховують можливе збільшення його в присутності вологи.

Опір в Па, викликаний осілим на перегородку пилом, розраховується з рівняння:

$$\Delta P_n^{II} = \mu \cdot \tau \cdot C_{\text{вх}} \cdot V^2 \cdot K_1, \quad (3.15)$$

де τ - тривалість фільтрувального циклу, с; $C_{\text{вх}}$ - концентрація пилу на вході у фільтр, кг / м³; V - швидкість потоку запиленого повітря у вихідному патрубку, м/с; K_1 - параметр опору шару пилу, м / кг.

Величина K_1 залежить від властивостей пилу і пористості шару пилу на перегородці. Для цементу з медіанним діаметром часток $d_m = 12–20$ мкм $K_1 = (6,5–16) \cdot 10^9 \text{ м/кг}$, для частинок кремнію з $d_m = 0,7$ мкм

$K_1 = 330 \cdot 10^9$ м/кг, для відгонів сталеплавильної дугової печі з $d_m = 3$ мкм
 $K_1 = 80 \cdot 10^9$ м/кг.

Загальний гідравлічний опір рукавних фільтрів не повинен перевищувати 2800 Па. При невідповідності розрахункового значення даній величині необхідно змінити марку фільтру на таку, що має більшу площу, та провести повторні розрахунки.

Значення ефективності очищення апарату приймається по інформації, що приводиться у каталозі підприємства, і є оцінною. Вибір марки фільтру з імпульсною регенерацією проводиться за каталогом очисного обладнання підприємства з виробництва рукавних фільтрів.

3.2.2 Приклад розрахунку рукавного фільтру з імпульсною регенерацією

Вихідні дані для розрахунку рукавного фільтру:

- об'ємна витрата газу, що надходить на очищення $V_{\text{п}} = 15000$ м³ / год;
- температура викидів $t = 135$ °С;
- концентрація пилу на вході в апарат очистки $C_{\text{вх}} = 5$ г / м³;
- медіанний діаметр частинок пилу d_m – менше 5 мкм;
- вміст пилу після фільтру $C_{\text{вих}}$ не повинен перевищувати 5 мг / м³;
- густина газу $\rho_{\text{г}} = 0,607$ кг/м³;
- динамічна в'язкість газу $\mu = 1,2 \cdot 10^{-5}$ Па с.

В якості фільтрувальної тканини рекомендується поліестер. Питоме газове навантаження на тканину не повинно перевищувати 1,2 м³/м²·хв. Фільтр має імпульсну регенерацію зі швидкістю фільтрації 0,027- 0,03 м/с.

Площа фільтрації тканинного фільтру розраховується за формулою (3.8):

$$F_{\text{ф}} = V_1 / (60 Q), \quad (3.8)$$

Питоме газове навантаження в рукавному фільтрі визначається як (2.9):

$$Q = Q_{\text{н}} \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \quad (3.9)$$

Відповідно до довідкових даних пил має:

- нормативне питоме газове навантаження $Q_{\text{н}} = 1,2$ м³/м²·хв;
- коефіцієнти: $C_1 = 1$; $C_2 = 1,04$; $C_3 = 0,9$; $C_4 = 0,72$; $C_5 = 0,95$.

Питоме газове навантаження становить:

$$Q = Q_n C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 = 1,2 \cdot 1 \cdot 1,04 \cdot 0,9 \cdot 0,72 \cdot 0,95 = 0,768 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв}).$$

Фільтруюча поверхня апарату:

$$F_\phi = V_\pi / (60Q) = 15000 / (60 \cdot 0,768) = 325,52 \text{ м}^2$$

За каталогом знаходимо найбільш підходящий фільтр марки ФРІР-340 з площею фільтруючої поверхні 345 м². Фільтр має імпульсну регенерацію стисненим повітрям.

Гідравлічний опір фільтрувальної перегородки включає втрати напору за рахунок самої перегородки ΔP_n^I і втрати за рахунок осілого на перегородку пилу ΔP_n^{II} (2.13):

$$\Delta P_\pi = \Delta P_n^I + \Delta P_n^{II}$$

$$\text{Тоді } \Delta P_\pi = K_\pi \cdot \mu \cdot w^n + \mu \cdot \tau \cdot C_{\text{вх}} \cdot V^2 \cdot K_1$$

Приймаємо, що для фільтрувальних тканин з поліестеру $K_\pi = 2,3 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$, а K_1 умовно дорівнює $80 \cdot 10^9 \text{ м/кг}$. Визначаємо гідравлічний опір фільтрувальної перегородки при $\tau = 120 \text{ с}$, $n = 1$; $V = 0,027 \text{ м/с}$ за умови, що швидкість потоку запиленого повітря відповідає такій же швидкості фільтрування w :

$$\Delta P_\pi = 2,3 \cdot 10^9 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,027 + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 120 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot (0,027)^2 \cdot 80 \cdot 10^9 = 1165,1 \text{ Па}$$

$$V_{\text{вх}} = V_\pi / (3600 \cdot S_{\text{вх}}) = 15000 / (3600 \cdot 1,3) = 3,2 \text{ м/с}$$

Гідравлічний опір корпусу фільтра при $\xi_k = 2$ дорівнює:

$$\Delta P_k = \xi_k V_{\text{вх}}^2 \cdot \rho_\Gamma = 2 \cdot 3,2^2 \cdot 0,607 = 12,43 \text{ Па}$$

Загальний гідравлічний опір фільтра:

$$\Delta P_\phi = \Delta P_k + \Delta P_n = 1165,1 + 12,43 = 1177,93 \text{ Па}$$

Одержане значення не перевищує встановлену гранично допустиму величину гідравлічного опору рукавного фільтра.

3.3 Розрахунок адсорберу для уловлювання газоподібних компонентів викиду

3.3.1 Методика розрахунку основних конструктивних розмірів адсорберу

Загальна активна поверхня адсорбера F (м²) розраховується за формулою:

$$F = V_{\Gamma} / (3600 \cdot \omega) , \quad (3.10)$$

де V_{Γ} – витрата газу, м³/год;

ω – лінійна швидкість газу у вільному перетині апарату, м/с.

Внутрішня площа адсорбера $F_{\text{вн}}$ (м²) складає:

$$F_{\text{вн}} = V_{\Gamma} / (3600 \cdot \omega_{\text{вн}}) , \quad (3.11)$$

де $\omega_{\text{вн}}$ – лінійна швидкість газу, м/с

Внутрішній діаметр адсорберу $D_{\text{вн}}$ (м) розраховується як:

$$D_{\text{вн}} = \sqrt{F/0,78} \quad (3.12)$$

Зовнішній діаметр перетину адсорбера D_3 (м):

$$D_3 = 2h + D_{\text{вн}}, \quad (3.13)$$

де h – висота шару адсорбента, м. Приймається від 0,5 до 3 м.

Висота простору в який завантажується адсорбент:

$$H = 2F / \pi(D_{\text{вн}} + D_3) \quad (3.14)$$

3.3.2 Приклад розрахунку адсорбера

Завдання. Розрахувати адсорбер для очищення забрудненого газу, витрати якого становлять 84000 м³/год.

Приймаємо лінійну швидкість газу у вільному перетині апарату рівною 0,3 м/с. Тоді за формулою (2.10) загальна активна поверхня адсорбера складає:

$$F = 84000 / (3600 \cdot 0,3) = 77,78 \text{ м}^2$$

Приймаємо лінійну швидкість газу $\omega_{BH} = 5$ м/с. Відповідно внутрішня площа апарату дорівнює (2.11):

$$F_{BH} = 84000 / (3600 \cdot 5) = 4,67 \text{ м}^2$$

Внутрішній діаметр адсорберу складає (2.12):

$$D_{BH} = \sqrt{4,67 / 0,785} = 2,44 \text{ м} \sim 2,4 \text{ м}$$

Зовнішній діаметр перетину апарату D_3 при висоті шару адсорбенту $h = 1$ м (2.13):

$$D_3 = 2 \cdot 1 + 2,4 = 4,4 \text{ м}$$

Висота простору, в який завантажуються адсорбент (2.14):

$$H = 2 \cdot 77,78 / 3,14(2,4 + 4,4) = 7,28 \sim 7,3 \text{ м}$$

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

Базові

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>
2. Закон України «Про охорону атмосферного повітря». – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text>
3. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць: наказ МОЗ України від 14.01.2020 р. №52. Редакція від 08.10.2021 р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text>
4. СТЗВО-ХПІ-3.01-2021. Текстові вимоги у сфері навчального процесу. Загальні вимоги до виконання. Чинний від 09.12.2021 р. Харків. НТУ «ХПІ», 2021. – Режим доступу: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/metodotdel/wp-content/uploads/sites/28/2021/12/STZVO-HPI-3.01-2021-SSONP.-Tekstovi-dokumenti-u-sferi-navchalnogo-protseesu.-Zagalni-vimogi-do-vikonannya.pdf>
5. Кодекс етики академічних взаємовідносин та добросовісності Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Режим доступу : http://library.kpi.kharkov.ua/uk/Academic_Goodness
6. Спеціальне обладнання та процеси неорганічної хімії : підручник / Пляцук Л. Д., Манойло Є. В., Шестопалов О. В., Моїсєєв В. Ф., Козій І. С. та ін. Суми : Університетська книга, 2022. – 390 с.
7. Загальна хімічна технологія: підручник / В. Т. Яворський, Т. В. Перекупко, З. О. Знак, Л. В. Савчук. Третє видання, доповнене та доопрацьоване. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 540 с.
8. Денисюк Р. О. Хімічна технологія: підручник / Р. О. Денисюк; Житомир. держ. ун-т ім. Івана Франка. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2017. – 344 с.
9. Екологічне нормування: підручник / В. В. Тарасова, Є. М. Данкевич, І. М. Ковалевська, В. Є. Данкевич / Заг. ред. В. В. Тарасової. – Житомир: Видавець: О. О. Євенок, 2017. – 344 с. – Режим доступу : http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/10587/3/ecolog_norm_2017.pdf
10. Верховлюк В.А., Нарівський А.В., Могилатенко В.Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посіб. / за ред. академіка НАН України В.Л. Найдека. К.: Видавничий дім “Вініченко”, 2016.- 224 с.
11. Техноекологія: підручник / за ред. М.С. Мальованого. Нац. ун-т «Львів. Політехніка» та ін. Херсон : Олді-плюс, 2014. - 615 с.
12. Василенко І.А., Скиба М.І., Півоваров О.А., Воробйова В.І. Теоретичні основи охорони навколишнього середовища. Дніпро: Акцент ПП, 2017. 204 с. – Режим доступу : <http://globalnauka.com/download/TOONS.pdf>

13. Северин Л. І., Петрук В. Г., Безвозюк І. І., Васильківський І. В. Природоохоронні технології. Ч. 1. Захист атмосфери: навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2012. 388 с. – Режим доступу : <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/14294/>

Додаткові

14. Векшин В. О. Очищення викидних газів абсорбції від оксидів нітрогену у виробництві нітратної кислоти : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.17.01 / В. О. Векшин ; Харківський політехнічний ін-т, нац. техн. ун-т. Харків, 2016. - 20 с.

15. Семенюк М.В. Очищення газових потоків у відцентрових фільтрах: дис. канд. техн. наук. Київ, 2018. - 225 с. – Режим доступу : https://lpnu.ua/sites/default/files/dissertation/2018/8596/dis_semeniuk.pdf

16. Гелеш А. Б. Наукові засади та технології комплексної утилізації газоподібних і рідких відходів та енергії у виробництві титану (IV) оксиду: дис. докт. техн. наук / А.Б.Гелеш. Дніпро. 2016. - 345 с. – Режим доступу : https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/07/dis_Gelesh.pdf

17. Манідіна Є. А. Знешкодження сульфур (IV) оксиду промислових газових викидів за допомогою розчинів сполук феруму (II,III) : автореф. дис. канд. техн. наук / Є.А.Манідіна. Дніпро. 2016. – 22 с.

18. Манідіна Є.А., Смотраєв Р.В., Троїцька О.О., Беренда Н.В., Рижков В.Г., Суліменко С.Є. Технологія очищення промислових газових викидів від сульфур (IV) оксиду (SO₂) розчинами сполук заліза (II, III). *Теорія і практика металургії*, 2018. 3-5. С.33-36. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tipm_2018_3-5_9

19. Janusz Lasek, Yi-Hui Yu, Jeffrey C.S.Wu Removal of NO_x by photocatalytic processes. *Elsevier*, Vol. 14, March 2013, Pages 29-52. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2012.08.002>

20. Helena Ribeiro, Fernanda Guimarães, Laura Duque, Fernando Noronha, Ilda Abreu. Characterisation of particulate matter on airborne pollen grains. *Environmental Pollution*. Volume 206, November 2015, Pages 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.06.015>

21. The catalytic combustion – a method of industrial gas purification. – Режим доступу : http://beta.chem.uw.edu.pl/people/AMyslinski/nowy/zarzadzanie_01/18E_theory.pdf

22. CO₂ removal from biogas and syngas. – Режим доступу : <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/gas-purification>

ДОДАТОК 1 – Форма титульного аркуша

**Харківський національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»
Кафедра хімічної техніки та промислової екології**

КУРСОВИЙ ПРОЄКТ

з навчальної дисципліни «Технологія знешкодження та утилізації компонентів
газових викидів»
на тему:

« _____
_____ »

Виконав (ла):
студ. групи _____
(ПБ)

Керівник: _____
(ПБ)

Оцінка:

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ ECTS

ДОДАТОК 2 – Зразок завдання на курсовий проєкт

**Харківський національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»
Кафедра хімічної техніки та промислової екології**

**ЗАВДАННЯ
на виконання курсового проєкту**

студента (ки)

(ПІБ)

Тема курсового проєкту:

1. Термін виконання проєкту: з _____ 202__р. до _____ 202__р.

2. Вихідні дані до проєкту:

3.Перелік обов'язкового графічного матеріалу:

4. Завдання видав _____

(підпис та П.І.Б. керівника)

" _____ " _____ 202__р.

5.Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Курсовий проєкт захищений з оцінкою _____

ДОДАТОК 3 – Перелік речовин, для яких при сумісній присутності в атмосферному повітрі встановлено ефект сумації біологічної дії з ККД рівним 1,0 (<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97#Text>).

№	Назва речовин
1	Ацетон, акролеїн, фталевий ангідрид
2	Ацетон і фенол
3	Ацетон і ацетофенон
4	Ацетон, фурфурол, формальдегід і фенол
5	Аерозолі п'ятиоксиду ванадію та оксидів марганцю
6	Ацетальдегід і вінілацетат
7	Аерозолі п'ятиоксиду ванадію і сірчистий ангідрид
8	Аерозолі п'ятиоксиду ванадію і триоксиду хрому
9	Азоту діоксид, гексен, сірчистий ангідрид, оксид вуглецю
10	Акрилова і метакрилова кислоти
11	Акрилова і метакрилова кислоти, бутилакрилат, бутилметакрилат, метилакрилат, метилметакрилат
12	Ацетон, трикрезол, фенол
13	Аміак, сірководень
14	Аміак, сірководень, формальдегід
15	Аміак, формальдегід
16	Азоту діоксид і оксид, мазутна зола, сірки діоксид
17	Бензол і ацетофенон
18	Валеріанова, капронова і масляна кислоти
19	Вольфрамівий і сірчистий ангідриди
20	Гексахлоран і фазолон
21	2,3-Дихлор-1,4-нафтахінон і 1,4-нафтахінон
22	1,2-Дихлорпропан, 1,2,3-трихлорпропан, і тетрахлоретилен
23	Ізопропілбензол і гідроперекис ізопропілбензолу
24	Ізобутенілкарбінол і диметилвінілкарбінол
25	Метилдигідропіран і метилентетрагідропіран
26	Миш'яковистий ангідрид і свинцю ацетат
27	Миш'яковистий ангідрид і германій
28	Моно-, ди- і пропіламіни
29	Озон, діоксид азоту, формальдегід
30	Оксид вуглецю, діоксид азоту, формальдегід, гексан
31	Оксид вуглецю і пил цементного виробництва
32	Оцтова кислота і оцтовий ангідрид
33	Пропіонова кислота і пропіоновий альдегід
34	Свинцю оксид і сірки діоксид
35	Сірководень і формальдегід
36	Сірчистий ангідрид і аерозоль сірчаної кислоти
37	Сірчистий ангідрид і нікель металевий

38	Сірчистий ангідрид і сірководень
39	Сірчистий ангідрид і діоксид азоту
40	Сірчистий ангідрид, оксид вуглецю, фенол і пил конверторного виробництва
41	Сірчистий ангідрид, оксид вуглецю, діоксид азоту і фенол
42	Сірчистий ангідрид і фенол
43	Сірчистий ангідрид і фтористий водень
44	Сірчаний і сірчистий ангідриди, аміак і оксиди азоту
45	Сірководень і дініл
46	Сильні мінеральні кислоти (сірчана, соляна і азотна)
47	Сірчаноокислі мідь, кобальт, нікель і сірчистий ангідрид
48	Фенол і ацетофенон
49	Фурфурол, метиловий і етиловий спирти
50	Циклогексан і бензол
51	Етилен, пропілен, бутилен і амілен

ДОДАТОК 4 – Значення нормативного питомого газового навантаження Q_n залежно від виду пилу

Значення $Q_n, \text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$				
3,5	2,6	2,0	1,7	1,2
Мука	Азбест	Глинозем	Кокс	Активоване вугілля
Пил шкіри	Гіпс	Цемент	Летка зола	Миючі засоби
Тирса	Сіль	Керамічні барвники	Оксиди металів	Возгони кольорових та чорних металів
Картонний пил	Пісок	Вугілля	Металеві порошки	
Полівінілхлорид	Тальк	Плавиковий шпат	Пластмаси	
Борошно	Гума	Гума	Барвники	
Зерно	Каолін	Каолін	Силікати	
Тютюн	Пил при вибиванні виливок	Вапняк	Крохмаль	
	Піщаний абразивний пил	Цукор	Смоли	
		Пил гірських порід		

Додаток 5 – Значення коефіцієнта C_1 залежно від особливостей регенерації фільтрувальних елементів

Спосіб регенерації	C_1
Регенерація фільтрувальних елементів з тканини імпульсним продуванням стислим газом При використанні рукавів з нетканих матеріалів значення C_1 може збільшуватися на 5–10 %	1,0
Регенерація шляхом зворотного продування і одночасного струшування або похитування рукавів	0,70–0,85
Регенерація шляхом зворотного продування	0,55–0,70

Додаток 6 – Значення коефіцієнта C_2 , що враховує вплив вхідної концентрації пилу $C_{вх}$

$C_{вх}, \text{г}/\text{м}^3$	2	5	10	20	40	60	80	100
C_2	1,5	1,04	1,0	0,96	0,9	0,87	0,85	0,83

Додаток 7 – Значення коефіцієнта C_3 , що враховує вплив дисперсного складу пилу на питоме газове навантаження

Медіанний діаметр часток пилу d_m , мкм	C_3
Більше 100	1,2–1,4
50–100	1,1
10–50	1,0
3–10	0,9
Менше 3	0,7–0,9

Додаток 8 – Значення коефіцієнта C_4 , який враховує вплив температури газу, що очищується

Температура газу, °С	20	40	60	80	100	120	140	60
C_4	1,0	0,9	0,84	0,78	0,75	0,73	0,72	0,70

Додаток 9 – Термостійкість фільтрувальних тканин

Тканина	Термостійкість, °С	
	при тривалій дії	при короткочасній дії
Фільтробельтинг	80	
Поліпропилен	90	110
Нітрон	120–130	150
Поліакрилонітрил	120	145
Лавсан	130	160
Поліефірне волокно (ПЕТ, терилен)	130	150
Поліестер	140	160
Поліфеніленсульфід	180	200
Полівінілосульфід	190	220
Поліамід	245	255
Мета–Арамід	200	220
Скловолокно та змішаний фільтруючий матеріал (Nomex, PPS, P84, PTFE тощо)	<260	280
Склотканина ТССНФ	250	315

Стегляна тканіна з мембраною з ПТФЕ	250	280
Політетрафторетилен (Тэфлон)	250	280

Навчальне видання

Методичні вказівки

до виконання курсового проєкту
з курсу «Технології знешкодження та утилізації компонентів газових викидів»
для студентів спеціальності 101 «Екологія»

Укладачі:

САМОЙЛЕНКО Наталія Миколаївна
НОВОЖИЛОВА Тетяна Борисівна
ШЕСТОПАЛОВ Олексій Валерійович
БАРАНОВА Антоніна Олегівна
ГЕТТА Оксана Сергіївна

Відповідальний за випуск Шестоपालов О.В.
Роботу рекомендував до друку Зінченко М.Г.

Комп'ютерна верстка Баранова А.О.

План 2022 р., поз. 237

Підп. до друку __10.2022 р. _____
Гарнітура Times New Roman. Обсяг 1,4 авт.арк.

Видавничий центр НТУ «ХП». Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478
від 21.08.2017 р. 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Електронна версія