

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять, виконання контрольних робіт
та самостійної роботи

з дисципліни

«ОЧИЩЕННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ВИКИДІВ»

(для студентів за напрямом підготовки 6.060101 – Будівництво
фахове спрямування «Теплогазопостачання і вентиляція»)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2016

Методичні вказівки до практичних занять, виконання контрольних робіт та самостійної роботи з дисципліни «Очищення вентиляційних викидів» (для студентів за напрямом підготовки 6.060101 – Будівництво фахове спрямування «Теплогазопостачання і вентиляція») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. В. Гранкіна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 45 с.

Укладач канд. техн. наук В. В. Гранкіна

Рецензент канд. техн. наук О. В. Ромашко

Рекомендовано кафедрою експлуатації газових і теплових систем,
протокол № 8 від 27.08.2012 р.

Зміст

Стор.

1	Методики визначення шкідливих речовин для промислової вентиляції	4
2	Розрахунок шкідливих викидів теплогенераторів	5
3	Розрахунок повітряних фільтрів	12
4	Розрахунок циклонів	22
5	Розрахунок апаратів мокрого очищення газів. Розрахунок пінних пиловловлювачів	29
	Додатки	38
	Список використаної літератури	46

1 Методики визначення шкідливих речовин для промислової вентиляції

З метою запобігання забрудненню атмосфери шкідливими речовинами, які знаходяться у вентиляційному повітрі, згідно ДСТУ ISO 14001-97 необхідно здійснювати регулювання параметрів повітряного середовища.

Повітря, що видаляється з приміщення, повинно очищатися, якщо концентрації шкідливих речовин у ньому перевищує ГДК. Для цього спочатку визначають максимальну концентрацію зварювального аерозолу в повітрі, що викидається:

$$C_B = \frac{800 \sum (G_i \cdot M_{pi})}{L}, \quad (1.1)$$

де G – питомі виділення шкідливостей на одиницю ваги зварювальних матеріалів, що витрачаються, г/кг;

M_{pi} – витрата (продуктивність розплавлення) зварювальних матеріалів, кг/год;

L – загальний об'єм повітря, що відсмоктується, м³/год.

Потім розраховують гранично допустиму концентрацію пилу в повітрі, що викидається, згідно ДСП від 09.07.1997 № 201-97 «Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами)» (при $L < 15000$ м³/год):

$$C_{ГДК} = 0,6 \cdot (160 - 4 \cdot 10^{-3} \cdot L). \quad (1.2)$$

При об'ємі повітря, що відсмоктується, $L > 15000$ м³/год для зварювального аерозолу $C_{ГДК} = 60$ мг/м³.

Якщо $C_B > C_{ГДК}$, повітря, що викидається в атмосферу, необхідно очищати, для цього в системах вентиляції передбачають фільтри для уловлювання шкідливих речовин.

Шкідливі речовини у вигляді газів нейтралізуються, переважно поглинанням рідкими реагентами (абсорбцією) і твердими речовинами (адсорбцією). Деякі газоподібні речовини нейтралізуються спаленням (окисненням).

Для уловлювання зварювальних аерозолів у системах вентиляції та фільтровентиляційних агрегатах застосовуються електростатичні, тканинні, паперові та комбіновані фільтри.

2 Розрахунок шкідливих викидів для теплогенераторів

2.1 Розрахунок викидів забруднюючих викидів від котлів теплових електростанцій

Методика призначена для розрахунку викидів шкідливих речовин від котлів теплових електростанцій (теплоенергетичні котли). Основними забруднюючими речовинами від теплоенергетичних котлів для атмосфери є: тверді частки; оксид сірки, оксид вуглецю, оксид ванадію, оксид азоту.

Використовують наступну послідовність розрахунку шкідливих викидів.

1. Для визначення викидів твердих речовин часток летючої золи і незгорілого палива використовують наступну формулу

$$P_{me} = B \frac{A^r}{100 - \Gamma_{yn}} a_{yn} (1 - \eta), \quad (2.1)$$

де B – витрата натурального палива (т/рік, г/с);

A^r – зольність палива (%);

a_{yn} – частка золи у віднесенні;

η – частка твердих часток, що уловлюються в золоуловлювачах (приймаються за даними вимірювань);

Γ_{yn} – вміст пального у віднесенні (%).

За відсутності експлуатаційних даних про кількість твердих часток, що викидаються, розраховують за формулою

$$P_{me} = 0,01B(a_{yn}A^r + q_4^{yn} \frac{Q_n^r}{32680}) \cdot (1 - \eta), \quad (2.2)$$

де q_4^{yn} – втрати теплоти з віднесенням від механічної неповноти згорання палива (%). Для мазутних котлів q_4^{yn} може бути прийняте 0,02 %.

Якщо відсутні експлуатаційні дані про q_4^{yh} при спалюванні твердого палива, то для наближеного розрахунку підставляють нормативне значення q_4^{yh} ;

Q_H^r – нижча теплота згорання палива (кДж/кг).

2. Для визначення викидів оксидів сірки в перерахунку на SO_2 використовують формулу

$$P_{so_2} = 0,02BS^r (1 - \eta'_{so_2}) \cdot (1 - \eta''_{so_2}), \quad (2.3)$$

де S^r – вміст сірки в паливі (%);

η'_{so_2} – частка оксидів сірки, зв'язуваних летючою золою в котлі;

η''_{so_2} – частка оксидів сірки, уловлюваних в золоуловлювачі попутно з твердими частинками.

Від долі оксидів зв'язуваних летючою золою в котлі, залежить від зольності палива і вмісту вільного луку у летючій золі.

Під низькотемпературним спалюванням розуміють спалювання всього вугілля з $Q_H^p < 23050$ кДж/кг в топках з твердим шлаковидаленням при температурі факелу $T_\phi < 1500$ °С. Під високотемпературним спалюванням розуміється спалювання всього вугілля в топках з рідким шлаковидаленням, а також вугілля з $Q_H^p > 23050$ кДж/кг в топках з твердим шлаковидаленням при температурі факелу $T_\phi < 1500$ °С.

Частка оксидів сірки (η''_{so_2}), уловлюваних в сухих золоуловлювачах (електрофільтрах, батарейних циклонах), приймається рівною нулю. У мокрих золоуловлювачах вона залежить від витрати і загальної лужності зрошуваної води та від приведеної сірчистості палива при прийнятих на теплових електростанціях питомих витратах води на зрошення золоуловлювачів 0,1-0,15 л/м³.

3. Для визначення оксиду вуглецю у викидах використовують наступну формулу

$$P_{co} = 0,001C_{co}B(1 - \frac{q_4}{100}), \quad (2.4)$$

де C_{co} – вихід оксиду вуглецю при спалюванні твердого, рідкого або газоподібного палива (кг/т, кг/тис. м³) визначається за формулою

$$C_{co} = \frac{q_3 R Q_i^r}{1013}, \quad (2.5)$$

де q_3, q_4 – втрати теплоти відповідно від хімічної і механічної неповноти згорання палива (%);

R – коефіцієнт, що враховує частку втрати теплоти унаслідок хімічної неповноти згорання палива, обумовленої вмістом оксиду вуглецю в продуктах згорання. Для твердого палива $R = 1,0$, для газу $R = 0,5$;
 Q_i^r – теплота згорання натурального палива (кДж/кг, кДж/м³).

Значення q_3, q_4 – приймаються за експлуатаційними даними або по нормах «Теплового розрахунку котельних агрегатів. Нормативний метод».

При спалюванні газу і мазуту з гранично малими надлишками повітря ($\alpha = 1,01-1,05$) слід приймати $q_3 = 0,15$ % згідно «Руководящим указаниям по переводу котлов, работающих на сернистых топливах в режим сжигания с предельно малым избытком воздуха»; при $\alpha \geq 1,05$ слід приймати $q_3 = 0$.

4. Розрахунок викидів оксидів ванадію за перерахунком на пентаксид (т/рік, г/с), обчислюється за формулою

$$P_{V_{2O_5}} = 10^{-6} \cdot G_{V_{2O_5}} \cdot B \cdot (1 - \eta_{oc}) \cdot (1 - \eta_y), \quad (2.6)$$

де $G_{V_{2O_5}}$ – вміст оксидів ванадію в рідкому паливі в перерахунку на $G_{V_{2O_5}}$ (г/т);

η_{oc} – коефіцієнт осідання оксидів ванадію на поверхні нагріву котлів.

Для котлів з проміжними пароперегрівачами, очищення поверхонь нагріву яких проводиться в зупиненому стані; $\eta_{oc} = 0,07$; для котлів без проміжних пароперегрівачів за тих же умов очищення $\eta_{oc} = 0,05$, для решти випадків $\eta_{oc} = 0$;

η_y – частка твердих частинок продуктів згорання рідкого палива, що уловлюються в пристроях для очищення газів мазутних котлів. Значення η_y оцінюється для середніх умов роботи уловлюючих пристроїв за рік.

За умови результатів аналізу палива вміст оксидів ванадію (G_{V2O5}) в мазуті з $S^r > 0,4$ % визначається орієнтовано за формулою

$$G_{V2O5} = 95,4S^r - 31,6, \quad (2.7)$$

де S^r – вміст сірки в мазуті (%).

5. Розрахунок викидів оксиду азоту в перерахунку на NO_2 (т/рік, г/с) обчислюється за формулою

$$P_{NO2} = 0,34 \cdot 10^{-7} K \cdot B \cdot Q_n^r \cdot \left(1 - \frac{q_1}{100}\right) \cdot \beta_1 \cdot (1 - \varepsilon_1 r) \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \varepsilon_2, \quad (2.8)$$

де K – коефіцієнт, що характеризує вихід оксидів азоту (кг/т умовного палива);

β_1 – коефіцієнт, що враховує вплив вмісту азоту в паливі на вихід оксидів азоту;

β_2 – коефіцієнт, що враховує конструкцію пальників (для вихрових пальників $\beta_2 = 1$, для прямоточних $\beta_2 = 0,85$);

β_3 – коефіцієнт, що враховує вид шлаковидалення. При рідкому шлаковидаленні $\beta_3 = 1,4$, в решті всіх випадків $\beta_3 = 1$;

ε_1 – коефіцієнт, характеризує ефективність дії рециркулюючих газів залежно від умов їх подачі в топку;

ε_2 – коефіцієнт, характеризує зниження викидів оксидів азоту при подачі частини повітря окрім основних пальників (при двоступінчатому спалюванні), визначається залежно від умови збереження загального надлишку за котлом;

r – ступінь рециркуляції димових газів (%).

Коефіцієнт K для котлів паропродуктивністю більше 70 т/год при спалюванні газу і мазуту у всьому діапазоні навантажень, а також при високотемпературному спалюванні твердого палива з навантаженнями вище 75 % номінального визначається за формулою

$$K = \frac{12D_\phi}{200 + D}, \quad (2.9)$$

де D і D_ϕ – номінальна та фактична паропродуктивність котла (т/год).

Для котла парапродуктивністю 30-70 т/год

$$K = \frac{D_{\phi}}{20}. \quad (3.10)$$

Для водогрійних котлів потужністю більше 125 ГДж/год (30 Гкал/год), коефіцієнт K визначається за формулою

$$K = \frac{2,5Q_{\phi}}{84 + Q}, \quad (2.11)$$

де Q, Q_{ϕ} – номінальна і фактична теплова потужність котла (ГДж/год).

Значення β_1 для енергетичних котлів, в яких спалюється тверде паливо, визначається за формулою

$$\beta_1 = 0,178 + 0,47N^r, \quad (2.12)$$

де N^r – вміст азоту в паливі (%).

При спалюванні рідкого і газоподібного палива з різними коефіцієнтами надлишку повітря в топковій камері (α_m), коефіцієнти β_1 приймаються рівними (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Коефіцієнт β_1 в залежності від надлишку повітря в топковій камері

α_m	> 1,05	1,05-1,03	< 1,03
β_1 (газ)	0,9	0,8	0,7
β_1 (мазут)	1,0	0,9	0,75

При одночасному спалюванні в топках енергетичних котлів двох видів палива з витратою одного з них більше 90 % значення коефіцієнта β_1 повинно визначатися за основним видом палива.

2.2 Розрахунок викидів забруднюючих речовин при спалюванні палива в котлі продуктивністю до 30 т/год

Методика призначена для розрахунку викидів шкідливих речовин з газоподібними продуктами згорання при спалюванні твердого палива, мазуту і газу в промислових діючих топках комунальних котлоагрегатів та побутових теплогенераторів.

Застосовується наступна послідовність розрахунку.

1. Розрахунок твердих часток. Розрахунок викидів твердих часток летючої золи і палива (т/рік, г/с), що недогорають, та викидаються в атмосферу з димовими газами котлоагрегату в одиницю часу при спалюванні твердого палива і мазуту, виконується за формулою

$$P_{me} = B \cdot A^r \cdot \chi \cdot (1 - \eta), \quad (2.13)$$

де B – витрата палива (т/рік, г/с);

A^r – зольність палива (%);

η – частка твердих часток, що уловлюються в золоуловлювачах;

χ – поправочний коефіцієнт, який визначається $\chi = a_{ун} / (100 - \Gamma_{ун})$;

$a_{ун}$ – частка золи палива у віднесенні (%);

$\Gamma_{ун}$ – вміст пального у віднесенні (%).

2. Розрахунок викидів оксиду сірки. Розрахунок викидів оксиду сірки в перерахунку на SO_2 (т/рік, г/с), що викидаються в атмосферу з димовими газами котлоагрегата в одиницю часу, виконується за формулою

$$P_{SO_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^r \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}), \quad (2.14)$$

де B – витрата твердого і рідкого (т/рік, т/год, г/с), газоподібного (тис. м³/рік, тис м³/год, м³/с) палива;

S^r – вміст сірки в паливі (%), для газоподібного палива мг/м³);

η'_{SO_2} – доля оксидів сірки, зв'язуваних летючою золою палива;

η''_{SO_2} – частка оксидів сірки, уловлюваних в золоуловлювачі (для сухих золоуловлювачів приймається рівною нулю, для мокрих залежно від лужності зрошуючої води).

За наявності в паливі сірководня розрахунок викидів додаткової кількості оксидів сірки в перерахунку приймається на SO_2 і виконується за формулою

$$P_{\text{SO}_2} = 1,88 \cdot 10^{-2} \cdot B \cdot H_2S, \quad (2.15)$$

де H_2S – вміст сірководня в паливі (%).

3. Розрахунок оксидів вуглецю. Розрахунок викидів оксиду вуглецю в одиницю часу (т/рік, г/с), виконується за формулою

$$P_{co} = 0,001 \cdot C_{co} \cdot B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \quad (2.16)$$

де B – витрата палива (т/рік, г/с, тис. м^3 /рік, л/с);

C_{co} – вихід оксиду вуглецю при спалюванні палива (кг/т, кг/тис. м^3 палива) – розраховується за формулою

$$P_{co} = q_3 \cdot R \cdot Q_i^r, \quad (2.17)$$

де q_3 – втрати теплоти унаслідок хімічної неповноти згорання палива (%);

R – коефіцієнт, що враховує частку втрати теплоти унаслідок хімічної неповноти згорання палива, обумовленої наявністю в продуктах згорання оксиду вуглецю (для твердого палива $R = 1$, для мазуту $R = 0,65$);

Q_i^r – нижча теплота згорання палива (МДж/кг, МДж/ м^3).

За відсутності експлуатаційних даних значення q_3 , q_4 приймають з довідкової літератури.

Орієнтовна оцінка викиду оксиду вуглецю (т/рік, г/с) може проводитися за формулою

$$P_{co} = 0,001 \cdot K_{co} \cdot B \cdot Q_i^r \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \quad (2.18)$$

де K_{co} – кількість оксиду вуглецю на одиницю теплоти, що виділяється при горінні палива (кг/ГДж) приймається за довідковою літературою.

4. Розрахунок оксидів азоту. Кількість оксидів азоту (у перерахунку на NO₂), що викидаються в одиницю часу (т/рік, г/с), розраховується за формулою

$$P_{NO_x} = 0,001 \cdot K_{NO_x} \cdot B \cdot Q_i^r \cdot (1 - \beta), \quad (2.19)$$

де B – витрата натурального палива за даний період часу (т/рік, тис. м³/рік, г/с, л/с);

Q_i^r – теплота згорання натурального палива (МДж/кг, МДж/м³);

K_{NO_2} – параметр, що характеризує кількість оксидів азоту, що утворюються на 1 ГДж тепла (кг/ГДж);

β – коефіцієнт залежний від ступеня зниження викидів оксидів азоту в результаті застосування технічних рішень.

Значення K_{NO_2} визначається за графіками для різних видів палива залежно від номінального навантаження котлоагрегатів. При навантаженні котла, що відрізняється від номінальної K_{NO_2} слід помножити на $(\frac{Q_\phi}{Q_n})^{0,25}$ або на $(\frac{D_\phi}{D_n})^{0,25}$, де D_n, D_ϕ – відповідно номінальна і фактична паропроодуктивність (т/год), Q_n, Q_ϕ – відповідно номінальна і фактична потужність (кВт).

Якщо є дані про вміст оксидів азоту в димових газах (%), то викид (кг/год) обчислюють за формулою

$$P_{NO_x} = 20,4 \cdot C_{NO_x} \cdot V \cdot B \cdot (1 - \frac{q_4}{100}), \quad (2.20)$$

де C_{NO_x} – відомий вміст оксидів азоту в димових газах (% за об'ємом).

Значення C_{NO_x} (мг/м³) наводяться в довідковій літературі;

V – об'єм продуктів згорання палива (м³/кг) при відомому коефіцієнті надлишку повітря.

3 Розрахунок повітряних фільтрів

Вибір фільтрів при проектуванні повинен ґрунтуватися на відповідності ефективності фільтрів вимогам до чистоти повітря з врахуванням початкової

кількості пилу. Одночасно повинні братися до уваги початковий опір фільтру та зміна опору при його запиленості, конструктивні і експлуатаційні особливості фільтрів.

З техніко-економічних міркувань аеродинамічний опір фільтрів не повинен перевищувати 750-1500 Па, і лише в особливих випадках він може складати до 2-2,5 кПа. При вищому значенні аеродинамічного опору різко збільшується коефіцієнт проскакування частинок і можливий зрив рукавів або їх руйнування по шву в результаті аеродинамічних ударів при перемиканні секцій на регенерацію.

Вибір фільтру за ефективністю рекомендується проводити згідно з таблицею 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики забруднення атмосферного повітря

Ступінь забруднення атмосферного повітря	Характеристика місцевості	Середньодобова концентрація пилу в атмосферному повітрі, мг/м ³
Чистий	Сільські місцевості і непромислові селища	До 0,15
Слабо забруднений	Житлові райони промислових міст	> 0,5
Сильно забруднений	Індустріальні райони промислових міст	> 1
Надмірно забруднений	Території підприємств з великим пиловим викидом	> 3 і більш

Основне завдання перевірити достатність їх пиломісткості, інакше експлуатація фільтрів може бути ускладнена.

3.1 Розрахунок осередкового фільтру

Виходячи з опору фільтру, який може бути допущений в запроектованій системі та аеродинамічної характеристики фільтру, вибраного відповідно до вимог з ефективності очищення, задаються повітряним навантаженням і визначають типорозмір фільтру та площу фільтруючої поверхні.

Необхідна площа фільтруючої поверхні фільтру, визначається за формулою

$$F\phi = \frac{L}{L_{y\phi}}, \quad (3.1)$$

де L – кількість повітря, м³/год, яке очищає фільтр;

$L_{y\phi}$ – питоме повітряне навантаження, м³/(м²·год).

Для розрахунку кількості осередків фільтру (n_p), наприклад для типу ФЯР, приймають площу поверхні одного осередку (f) за технічними характеристиками фільтру і розраховують за формулою

$$n_p = \frac{F\phi}{f}. \quad (3.2)$$

Визначають кількість осередків фільтру (n_y), округлюють до цілого числа.

Визначають кількість пилу, що буде уловлюватися у фільтрі за формулою

$$m_{po} = \frac{L \cdot q_n \cdot \eta}{n_y \cdot 100}, \quad (3.3)$$

де q_n – початкова концентрація, г/м³;

η – ступінь очищення, %;

100 – перевідний коефіцієнт.

Визначають пиломісткість одного осередку фільтру за формулою

$$\Pi_1 = \Pi_0 \cdot f, \quad (3.4)$$

де Π – пиломісткість фільтру, г/м², вибирають згідно номенклатурі характеристик фільтру.

Визначають час роботи фільтру τ (годин), до регенерації за формулою

$$\tau = \frac{\Pi_1}{m_{po}}.$$

Формують встановлювані соти для монтажу в них осередків фільтру в припливної установці.

Приклад. Підібрати фільтр для санітарно-гігієнічного очищення зовнішнього повітря, що подається у виробничі приміщення підприємства, розташованого в

індустріальному районі промислового міста. Об'єм подаваного повітря $L = 6000 \text{ м}^3/\text{год}$. Тиск вентиляційної системи 150 Па. Режим роботи двозмінний – 16 годин. Фільтри мають бути регенерованими.

Рішення. Початкову запиленість повітря приймаємо для індустріального району – $1 \text{ мг}/\text{м}^3$. Вимоги до санітарно-гігієнічного очищення, як правило, задовольняються фільтрами III класу ефективності. Враховуючи невеликий об'єм повітря, що очищається, застосовуємо осередкові фільтри ФЯР.

При встановленні чотирьох фільтрів площею робочого перетину $0,22 \text{ м}^2$ кожне питоме повітряне навантаження складе

$$6000/0,22 \cdot 4 = 6818 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2).$$

Початковий опір при цьому $H(L) = 40 \text{ Па}$ (за номограмою). Ефективність фільтрів можна прийняти для заданої запиленості повітря в середньому 82 % (за номограмою). Розрахункова пиломісткість фільтрів при збільшенні опору на 110 Па проти початкової ($H = 150 - 40 = 110 \text{ Па}$) визначається за номограмою і складає $2420 \text{ г}/\text{м}^2$.

Кількість пилу, що осідає, на 1 м^2 фільтру ФЯР за добу, складе

$$0,001 \cdot 6818 \cdot 0,82 \cdot 16 = 89,5 \text{ г}/\text{доб}.$$

Тривалість роботи фільтру по досягненню заданого опору складе

$$2420/89,5 = 27,5 \text{ днів}.$$

Таким чином, регенерація фільтра повинна проводитися через 27 днів.

3.2 Розрахунок рукавного фільтру

Рукавні фільтри складаються з розташованих у герметичному сталевому корпусі (прямокутного або круглого перерізу) вертикальних рукавів, об'єднаних у секції (рис. 3.1).

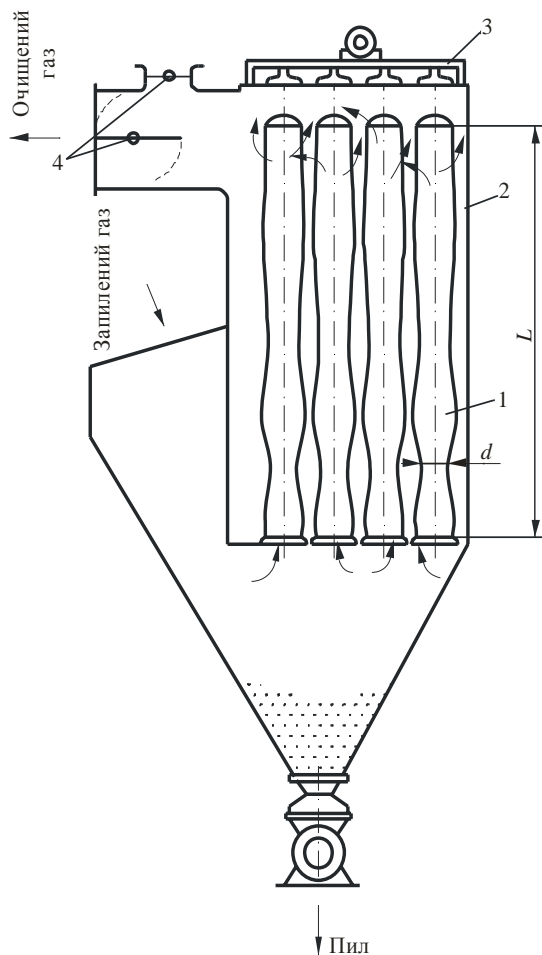


Рисунок 3.1 – Схема рукавного фільтру:
 1 – рукав; 2 – корпус; 3 – струшувальний механізм;
 4 – клапани очищеного газу та продувального повітря

Уловлені у процесі проходження запиленого газу крізь фільтрувальну тканину тверді частинки поступово зчіплюються одна з одною і разом з волокнами тканини утворюють пористу перегородку, яка забезпечує разом високий ступінь очищення газу. Тому рукавні фільтри доцільно використовувати як завершальні ступені установок пиловловлювання. Товщина шару пилу поступово збільшується і по досягненні нею певної величини різко зростає гідравлічний опір апарата (до 2000 Па). У цьому випадку фільтрування у секції припиняють і проводять регенерацію тканини шляхом струшування або зворотної продувки рукавів.

Рукавні фільтри працюють у обмеженому діапазоні температур. Верхня межа використання визначається термостійкістю фільтрувального матеріалу, а нижня – точкою роси відхідного газу. Якщо температура відхідних газів перевищує термостійкість тканини, до них додають охолоджувальне повітря (як правило, з

навколишнього середовища) у кількості, необхідній для зниження температури суміші до допустимої величини.

У нашій країні прийнята наступна система маркування рукавних фільтрів: Ф – фільтр; Р – рукавний; О – зворотна продувка; К – каркасного; І – з імпульсною продувкою; ДІ – з двосторонньою імпульсною продувкою; У – уніфікований; римські цифри – кількість секцій; цифри після тире – поверхня фільтрації, м².

Основною характеристикою тканинного фільтру є загальна поверхня його рукавів

$$F = z \cdot \pi \cdot d \cdot L, \quad (3.5),$$

де z – загальна кількість рукавів у апараті;

$d = 0,125-0,300$ м – діаметр рукавів;

L – їхня довжина, м, (рис. 3.1). Відношення довжини рукава до діаметра становить 16-20.

Оскільки під час роботи фільтра зі зворотною продувкою частина його рукавів z_{np} відключається на регенерацію, загальна площа поверхні рукавів, м²:

$$F = \frac{F_{\phi} \cdot z}{z - z_{np}}, \quad (3.6),$$

де F_{ϕ} – розрахункова поверхня фільтрації апарата, м².

При імпульсній продувці витрати повітря на регенерацію не перевищує 0,2 % від витрат відхідного газу і можна приймати $F = F_{\phi}$.

Для фільтрів, що мають n самостійних секцій, кількість рукавів, що працюють одночасно на продувку:

$$z_{np} = \frac{z}{n}. \quad (3.7)$$

Для одnoseкційних фільтрів можна прийняти $z_{np} = (0,15 - 0,20) \cdot z$. Розрахункова поверхня фільтрації, м²:

$$F_{\phi} = \frac{Q_z + Q_{o.n} + Q_{np}}{q_z}, \quad (3.8),$$

де Q_2 – витрати запиленого газу, що надходить в апарат, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{np} = (0,1 - 0,2) \cdot Q_2$ – витрати продувального повітря, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{o.n}$ – витрати охолоджувального повітря, $\text{м}^3/\text{с}$;

q_2 – питоме навантаження тканинного фільтра по газу, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Величину q_2 можна приймати рівною $(0,8 - 1,0) \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, або розрахувати за формулою:

$$q_2 = q_n \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 \cdot c_5 / 60, \quad (3.9)$$

де q_n – нормативне питоме навантаження, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$: для комбікорму, борошна, зерна, шкіряного пилу, ошурок, тютюну дорівнює 3,5; для волокнистих та целюлозних матеріалів, гашеного вапна, гіпсу, піску – 2,6; для глинозему, цементу, вугілля, гуми, вапняку, пилу гірських порід – 2,0; для коксу, леткої золи пластмас, барвників, крохмалю – 1,7; для активованого вугілля, сажі, мийних засобів – 1,2;

c_1 - c_5 – коефіцієнти:

- c_1 – коефіцієнт, що враховує особливості регенерації фільтрувальних елементів: при струшуванні приймається 0,7-0,85, при зворотній продувці – 0,55-0,7;

- $c_2 = 0,8$ -1,15 – коефіцієнт, що враховує вплив концентрації пилу на питоме навантаження;

- c_3 – коефіцієнт, що враховує вплив дисперсного складу пилу: при медіанному діаметрі більш 100 мкм приймається 1,2-1,4; від 50 до 100 мкм – 1,1; від 10 до 50 мкм – 1,0; від 3 до 10 мкм – 1,0; менш 3 мкм – 0,7-0,9;

- c_4 – коефіцієнт, що враховує вплив температури газу (табл. 3.2);

- c_5 – коефіцієнт, що враховує вимоги до якості очищення (для фільтрів, що справно працюють, приймається від 0,95 до 1,0).

Таблиця 3.2 – Значення коефіцієнта c_4 , що враховує вплив температури t

$t, ^\circ\text{C}$	20	40	60	80	100	120	140	160
c_4	1,0	0,90	0,84	0,78	0,75	0,73	0,72	0,70

У випадку, коли температура запиленого газу t_2 перевищує допустиму t_0 , витрати охолоджувального повітря визначаються за формулою:

$$Q_{o.n} = Q_z \frac{\rho_z (t_2 - t_{cm})}{\rho_n (t_{cm} - t_n)}, \quad (3.10)$$

де ρ_z і ρ_n – відповідно густина газу й охолоджувального повітря, кг/м³;

t_{cm}, t_n – відповідно температура суміші ($t_{cm} < t_0$) та атмосферного повітря, °С (для орієнтовних розрахунків $t_n = 20$ °С).

Якщо запилений газ надходить до фільтру з температурою $t_2 < t_0$, то кількість охолоджувального повітря приймають:

$$Q_{o.n} = (1,05 \div 1,10) Q_z. \quad (3.11)$$

Розраховану за формулою (3.12) поверхню фільтрації перевіряють на допустиму запиленість тканини:

$$F_0 > G_n / G_0, \quad (3.12),$$

де G_n – вихідна кількість пилу у відхідному газі, г/с;

$G_0 = (0,2 - 0,3)$ г/(м²·с) – допустима питома запиленість тканини.

Якщо рукавний фільтр використовується як другий ступінь очищення за відомої ефективності вловлювання у першому ступені η_1 , то кількість твердої фази, що надходить на рукавний фільтр, г/с, визначається за рівнянням:

$$G_{n2} = G_{n1} \cdot (1 - \eta_1), \quad (3.13)$$

де G_{n1} – початкова кількість твердої фази в газі перед входом його в перший ступінь очищення, кг/с.

Гідрравлічний опір запиленої тканини у рукавному фільтрі, Па, можна визначити за формулою А. С. Мандрико й І. Л. Пейсахова:

$$\Delta P_\phi = \frac{817 \cdot \mu_z \cdot w_\phi \cdot (1 - m)}{d_m \cdot m^3} \cdot \left[0,82 \cdot 10^{-6} \cdot d_m^{0,25} \cdot m^3 \cdot (1 - m) \cdot h_0^{2/3} + \frac{q_z \cdot t \cdot \rho_c}{\rho_n} \right], \quad (3.14)$$

де μ_z – в'язкість газу, Па·с;

w_ϕ – швидкість фільтрування, м/с;

d_m – медіанний діаметр частинок пилу, м;

m – пористість шару пилу, частки;

m_m – пористість тканини, частки;

ρ_n – густина пилу, кг/м³;

ρ_c – запиленість газу, кг/м³;

t – час між регенераціями (період регенерації), с;

h_0 – питомий гідравлічний опір свіжої (чистої) тканини, віднесений до товщини, що дорівнює 1 м, при швидкості повітря 1 м/с, Па.

Значення величин m_m і h_0 для деяких тканин наведені у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Значення m_m і h_0

Тканина	m_m , частки	$h_0 \cdot 10^{-5}$, Па
Вовна ЧШ, артикул 21	0,91-0,86	0,84
Рукав ЦМ, артикул 83	0,89	1,8
Нітрон НЦМ	0,83	1,8
Скловолокно	0,55	27

Пористість шару пилу залежить від її дисперсності й приблизно може бути визначена з вираження

$$\varepsilon_n = 1 - 79d_m^{0,47}. \quad (3.15)$$

Занадто високі величини Δp_ϕ , що відповідають тривалому проміжку часу між регенераціями, характеризуються зростанням винесення пилу і зниженням ефективності внаслідок нерівномірності структури пилового шару й тканини в окремих місцях, що призводить до утворення тріщин і каверн. При скороченні міжрегенераційного періоду й зменшенні Δp_ϕ ефективність фільтра також падає через порушення цілісності фільтруючого пилового шару. Таким чином, існує деяка оптимальна тривалість міжрегенераційного періоду, що відповідає максимальній ефективності роботи фільтра ΔP_{\max} , яку визначають експериментально. Тоді необхідна тривалість періоду між регенераціями t_ϕ визначається

$$t_{onm} = \frac{\Delta P_{\max} / (\mu_z \cdot w_{\phi}) - A}{B \cdot w_{\phi} \cdot \rho_z}, \quad (3.16)$$

де A та B – коефіцієнти, що залежать від пористості, геометричних та аеродинамічних характеристик відповідно шару фільтрувальної перегородки з осадженими на стінках пор частинками пилу та вторинного шару пилу. Їх визначають за формулами:

$$A = \frac{670 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - \varepsilon_n)^2 \cdot \varepsilon_m^3 \cdot h_0^{2/3}}{d_m^{1,75} \cdot \varepsilon_n^3}, \quad (3.17)$$

$$B = \frac{817 \cdot (1 - \varepsilon_n)}{d_m^2 \cdot \varepsilon_n^3 \cdot \rho_n}. \quad (3.18)$$

Приклад. Підібрати рукавний фільтр для доочищення відхідних газів після циклону НПОГазу. Витрати газу $Q_z = 5,0 \text{ м}^3/\text{с}$; температура газу $t_z = 180 \text{ }^\circ\text{C}$; температура охолоджувального повітря $t_n = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; запиленість газу $C_{\text{вх}} = 8 \text{ г}/\text{м}^3$; ефективність очищення газу у циклоні $\eta_y = 0,92$.

Рішення. За таблицею А.9 Додатку А приймаємо фільтрувальну тканину лавсан, для якої максимально допустима температура газу $t_{\partial} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$.

Приймаємо температуру газу на вході у фільтр (після змішування з охолоджувальним повітрям) $t_{\text{см}} = t_{\partial} - 10 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$.

За таблицею А.1 Додатку А знаходимо густину газу за робочих умов $\rho_z = 0,898 \text{ кг}/\text{м}^3$ та густину охолоджувального повітря $\rho_n = 1,205 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Визначаємо витрати охолоджувального повітря

$$Q_{o.n} = 5 \cdot \frac{0,898 \cdot (180 - 120)}{1,205 \cdot (120 - 20)} = 2,2 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Приймаємо витрати повітря на продувку $Q_{np} = 0,1 \cdot Q_z = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Приймаємо питоме навантаження тканинного фільтра по газу,

$$q_z = 0,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Визначаємо розрахункову поверхню фільтрації

$$F_{\phi} = \frac{5,0 + 2,2 + 0,5}{0,8 \cdot 10^{-2}} = 962,5 \text{ м}^2.$$

За таблицею 10 Додатку приймаємо фільтр з основними параметрами: поверхня фільтрації $F_m = 1100 \text{ м}^2$; кількість рукавів $z = 144$; кількість самостійних секцій $n = 12$.

Визначаємо кількість рукавів, що працюють одночасно на продувку

$$z_{np} = \frac{144}{12} = 12.$$

Загальна площа поверхні рукавів, що працюють одночасно на фільтрування:

$$F = \frac{962,5 \cdot 144}{144 - 12} = 1050 \text{ м}^2 < F_m.$$

Таким чином, обраний фільтр має достатню поверхню фільтрації.

Витрати пилу на вході у циклон:

$$G_{n1} = C_{ex} \cdot Q_z = 8 \cdot 5 = 40 \text{ г/м}^3.$$

Визначаємо кількість твердої фази, що надходить на рукавний фільтр:

$$G_{n2} = G_{n1} \cdot (1 - \eta_y) = 40 \cdot (1 - 0,92) = 3,2 \text{ г/с}.$$

Приймаємо допустиму питому запиленість тканини $G_{\delta} = 0,2 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{с)}$.

Площа поверхні фільтрації за допустимими умовами запиленості тканини

$$F_{\delta} = G_{n2} / G_{\delta} = 3,2 / 0,2 = 16 \text{ м}^2 < F_{\phi}.$$

Таким чином, обраний фільтр відповідає за даним умовам.

4 Розрахунок циклонів

На сьогодні найпоширенішими в нашій країні є циклони конструкції НПОгазу. Циліндричні циклони НПОгазу (рис. 4.1) відрізняються порівняно короткими циліндричною частиною й вихлопною трубою, а також малим кутом розкриття конічної частини. З метою зниження гідравлічного опору циклона

вхідний патрубок роблять похилим, а верхню кришку гвинтоподібною. Розкручення обертового газового потоку на виході з циклону досягається шляхом встановлення на вихлопній трубі завитка. Під циклоном встановлюють бункер для збору вловленої пилу та запобігання зкаламучуванню вторинного унесення пилу у вихлопну трубу.

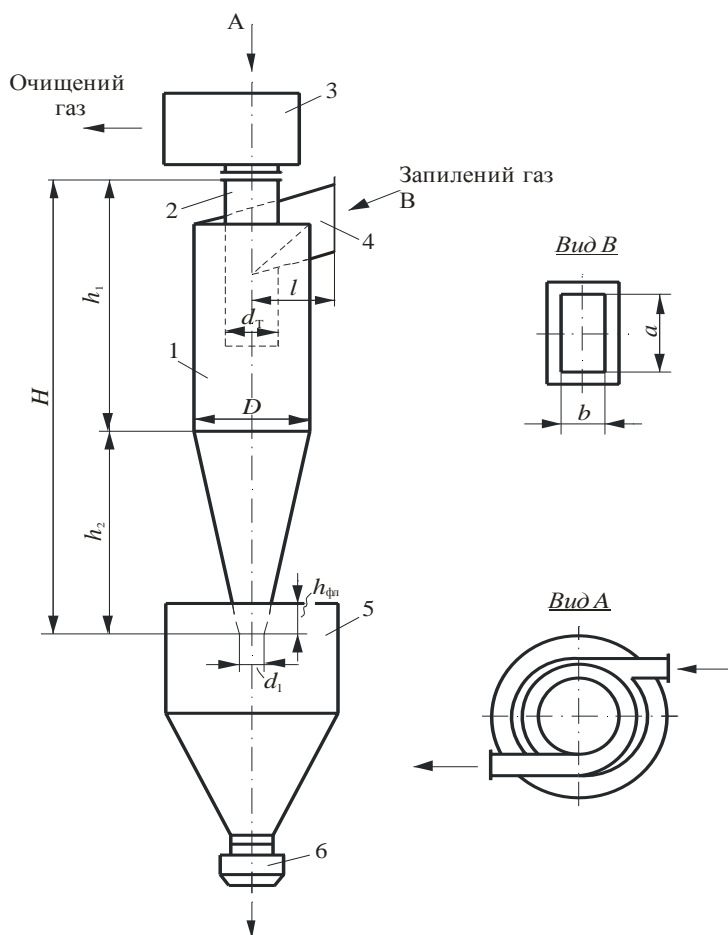


Рисунок 4.1 – Схема циклону НПОгазу:

1 – корпус, 2 – вихлопна труба, 3 – улітка,
4 – вхідний патрубок, 5 – приймальний бункер, 6 – затвор

За кутом нахилу вхідного патрубка до горизонту циліндричні циклони конструкції НПОгазу поділяються на циклони типу ЦН-15 з кутом нахилу 15° , ЦН-11 з кутом нахилу 11° , та ЦН-24 з кутом нахилу 24° . Найбільше поширення мають циклони типу ЦН-15, які забезпечують досить високу ефективність при помірному гідравлічному опорі. Їх виконують нормальними та вкороченими (ЦН-15у). Циклони ЦН-11 забезпечують вищу ефективність очищення, але мають

більший гідравлічний опір, а циклони ЦН-24 – підвищену пропускну здатність меншу ефективність та нижчий гідравлічний опір.

Конічні циклони конструкції НПОгазу характеризуються подовженою конічною формою і малим відношенням діаметра вихлопної труби до діаметра циліндричної частини циклона. За рахунок зменшення площі перерізів вхідного й вихідного отворів (їх звуження) зростає гідравлічний опір, чим досягається вища ефективність очищення, проте продуктивність таких циклонів нижча, ніж у циліндричних. В залежності від відношення діаметру вхідної труби до діаметру корпусу циклона (відповідно 0,34; 0,33 та 0,22) розрізняють апарати СКЦН-34, СДКЦН-33 і СКЦН-22.

Усі циклони конструкції НПОгазу нормалізовані. Будь який з розмірів кожного типу може бути виражений у частках від діаметра циклона D . Відповідно зі стандартами для циклонів прийняті наступні величини діаметрів, мм: 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1200; 1400; 1600; 1800; 2000; 2400; 3000. Співвідношення решти розмірів циклонів НПОгазу з діаметром наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні параметри циклонів у частках діаметра апарата (НПОгаз)

№	Параметр	Тип циклону					
		ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15у	ЦН-24	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Діаметр вихлопної труби d_m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,334	0,340
2	Діаметр пилівипускного отвору d_1	0,3-0,4	0,3-0,4	0,3-0,4	0,3-0,4	0,334	0,229
3	Ширина вхідного патрубку b	0,20	0,20	0,20	0,20	0,264	0,214
4	Висота вхідного патрубку a	0,48	0,66	0,66	1,11	0,535	0,2-0,3
5	Висота циліндричної частини h_1	2,08	2,26	1,51	2,11	0,535	0,515
6	Висота конічної частини h_2	2,00	2,00	1,50	1,75	3,000	2,110
7	Загальна висота циклона H	4,38	4,56	3,31	4,26	3,800	3,140
8	Висота установки фланця $h_{\phi л}$	0,24-0,32	0,24-0,32	0,24-0,32	0,24-0,32	0,1	0,1
9	Коефіцієнт опору ζ	245	155	165	75	550	1050

Внаслідок зниження ефективності зі збільшенням розмірів застосовувати циклони типу ЦН діаметром більше 1400 мм не рекомендується. У цьому випадку встановлюють групу циклонів, що працюють паралельно. Зазвичай у групу компонують складає від 2 до 8 циклонів діаметром від 300 до 1000 мм.

Схема з'єднання циклонних елементів у групи може бути прямокутною (у два паралельних ряди) або круговою. При прямокутному компонуванні може використовуватися ступінчасте (по висоті) розташування елементів, що забезпечує деяке зменшення розмірів групи у плані при збільшенні габаритів по висоті. При очищенні більших обсягів газу з високою ефективністю, коли потрібно поєднувати у групи 10, 12 і 14 елементів, застосовують кругові компонування.

До складу кожної групи циклонів входять наступні вузли: циклонні елементи, циліндричний або пірамідальний бункер, колектор входу газу (для групи із чотирьох і більше елементів), камера очищеного газу у вигляді улітки або збирача, кільцеві дифузори або розкручувальні завитки, люки на бункерах і збирачі чистого газу, опорні лапи. Циклонні елементи виконують відповідно до раніше наведених даних для одиночних циклонів.

Розрахунок циклонів проводиться методом послідовних наближень.

Задавшись типом циклону, за таблицею А.4 Додатку А визначають оптимальну швидкість газу у апараті w_{onm} .

Визначають необхідну площу перерізу циклонів, m^2 :

$$F = \frac{Q_2}{w_{onm}}, \quad (4.1),$$

де Q_2 – кількість газу, що очищується за робочих умов m^3/c .

Розраховують діаметр циклону, м, задавшись кількістю циклонів N :

$$D = \sqrt{\frac{F}{0,785N}}. \quad (4.2)$$

Діаметр циклону округляють до нормалізованої величини.

Розраховують дійсну швидкість газу у циклоні, м/с:

$$w_r = \frac{Q_r}{0,785 \cdot D^2}. \quad (4.3)$$

Швидкість у циклоні не повинна відхилятися більш ніж на 15 % від оптимальної швидкості.

Потім визначають коефіцієнт гідравлічного опору циклону чи групи за формулою:

$$\zeta_{\text{ц}} = K_1 K_2 \zeta_{\text{ц}500}^{m,n} + K_3, \quad (4.4),$$

де $\zeta_{\text{ц}500}^{m,n}$ – коефіцієнт гідравлічного опору одиничного циклону діаметром 500 мм, що вибирається за таблицею А.5 Додатку А. Індекс «м» означає, що циклон працює у гідравлічній мережі, а індекс «п», що циклон працює без мережі, тобто прямо на вихлоп у атмосферу;

K_1 – поправочний коефіцієнт на діаметр циклону, що визначається за таблицею А.6 Додатку А;

K_2 – поправочний коефіцієнт на запиленість газу, що визначається за таблицею А.7 Додатку А;

K_3 – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати тиску, що пов'язані з компонованням циклонів у групу.

Для одиничних циклонів коефіцієнт $K_3 = 0$. За кругового компоновання та нижнього організованого підведення, або за прямокутного компоновання з вільним підведенням $K_3 = 60$. За прямокутного компоновання з організованим підведенням, коли циклонні елементи розташовані у одній площині, а відведення здійснюється із загальної камери чистого газу $K_3 = 35$, а при відведенні за допомогою завитка $K_3 = 28$.

Далі визначають втрати тиску у циклоні, Па, за формулою

$$\Delta p = \zeta_{\text{ц}} \frac{\rho_g \cdot w_g^2}{2}, \quad (4.5)$$

де ρ_g – густина газу за робочих умов, кг/м³.

Якщо витрати тиску Δp виявились прийнятними, переходять до розрахунку повного коефіцієнту очищення газу у циклоні. При цьому приймається, що коефіцієнт очищення газів у одиничному циклоні чи у групі циклонів однаковий. У дійсності коефіцієнт очищення газів у групі може виявитись дещо нижчим,

ніж у одиночному циклоні. Це пояснюється можливістю виникнення перетікання газів через загальний бункер, що знижують коефіцієнт очищення газів у групі циклонів.

Після цього визначають значення d_{50} за робочих умов (діаметра циклону D , швидкості потоку w_2 , густині пилю ρ_u , динамічній в'язкості газу μ_2 за рівнянням

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{(D/D^T)(\rho_u^T/\rho_u)(\mu_2/\mu_2^T)(w_2^T/w_2)}, \quad (4.6)$$

де $w_2^T = 3,5$ м/с;

$$D^T = 0,6 \text{ м};$$

$$\rho_u^T = 1930 \text{ кг/м}^3;$$

$\mu_2^T = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Н · с/м², а d_{50}^T визначається за таблицею А.4 Додатку А.

У таблиці 2.1 для кожного типу циклону наведені два значення параметрів d_{50}^T та $\lg \sigma_\eta^m$.

Визначають параметр x за формулою

$$x = \frac{\lg(d_m/d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_u}}. \quad (4.7)$$

де d_m та $\lg \sigma_u$ – параметри, що характеризують дисперсний склад пилю;

$\lg \sigma_\eta$ – середньоквадратичне відхилення, що визначається за таблицею А.4

Додатку А.

Згідно з отриманим значенням параметру x за таблицею 1.1 визначають значення нормальної функції розподілу $\Phi(x)$ та розраховують повний коефіцієнт очищення газу за формулою

$$\eta_p = 50[1 + \Phi(x)], \%. \quad (4.8)$$

По закінченні розрахунку отримане значення η_p зіставляють з необхідним. Якщо η_p виявиться меншим ніж необхідне, необхідно обрати інший тип циклону з більшим значенням коефіцієнту гідравлічного опору.

Приклад. Підібрати для очищення відхідних газів від пилу одиничний циклон НПОгазу, що працює на вихлоп та не має додаткових пристроїв. Витрати газу $Q_2 = 5,0 \text{ м}^3/\text{с}$; температура газу $t_2 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$; дисперсний склад пилу: $d_m = 28,0 \text{ мкм}$; $\lg \sigma_\psi = 1,7$; запиленість газу $C_{\text{ex}} = 5,4 \text{ г/м}^3$; густина частинок $\rho_\psi = 2665 \text{ кг/м}^3$; необхідна ефективність очищення газу $\eta = 0,92$.

Рішення. Задаємося типом циклону ЦН-15 і за таблицею А.4 Додатку А визначаємо оптимальну швидкість газу у апараті $w_{\text{opt}} = 3,5 \text{ м/с}$.

Необхідна площу перерізу циклонів, згідно з (4.1):

$$F = \frac{Q_2}{w_{\text{opt}}} = \frac{5}{3,5} = 1,43 \text{ м}^2.$$

Діаметр циклону знаходимо за формулою (4.2):

$$D = \sqrt{\frac{1,43}{0,785}} = 1,35 \text{ м}.$$

Діаметр циклону округляємо до нормалізованого $D = 1,4 \text{ м}$.

Дійсну швидкість газу у циклоні визначаємо за формулою (4.3):

$$w_2 = \frac{5}{0,785 \cdot 1,4^2} = 3,25 \text{ м/с}.$$

Перевіряємо відхилення швидкості у циклоні від оптимальної

$$\left| \frac{w_2 - w_{\text{opt}}}{w_{\text{opt}}} \right| = \left| \frac{3,25 - 3,5}{3,5} \right| = 0,07 < 0,15, \text{ тобто діаметр циклону підібрано вірно.}$$

За таблицею А.5 Додатку А знаходимо коефіцієнт гідравлічного опору одиничного циклону діаметром 500 мм. Циклон працює на вихлоп, тому $\zeta_{4500}^n = 250$. За таблицею А.6 Додатку А знаходимо поправочний коефіцієнт на діаметр циклону $K_1 = 1,0$. За таблицею А.7 Додатку А для запиленості газу $C_{\text{ex}} = 5,4 \text{ г/м}^3$ знаходимо поправочний коефіцієнт на запиленість газу $K_2 = 0,98$.

Оскільки циклон одиничний, $K_3 = 0$, тоді коефіцієнт гідравлічного опору циклону :

$$\zeta_{\text{ц}} = K_1 \cdot K_2 \cdot \zeta_{4500}^n = 1,0 \cdot 0,98 \cdot 250 = 245.$$

З таблиці А.1 Додатку А для температури 30 °С знаходимо густину та динамічну в'язкість газу за робочих умов відповідно $\rho_2 = 1,165 \text{ кг/м}^3$ та $\mu_2 = 18,6 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$.

Втрати тиску у циклоні визначаємо за формулою (4.5):

$$\Delta p = 245 \frac{1,165 \cdot 3,25^2}{2} = 1507,4 \text{ Па.}$$

За таблицею А.4 Додатку А знаходимо: $d_{50}^T = 4,60 \text{ мкм}$; $\lg \sigma_\eta = 0,398$, що відповідають наступним умовам роботи циклонів: $w_2^T = 3,5 \text{ м/с}$; $D^T = 0,6 \text{ м}$; $\rho_u^T = 1930 \text{ кг/м}^3$; $\mu_2^T = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$.

Значення d_{50} , мкм, за робочих умов знаходимо за формулою (4.6):

$$d_{50} = 4,6 \sqrt{\frac{1,4}{0,6} \cdot \frac{1930}{2665} \cdot \frac{18,6 \cdot 10^{-6}}{22,2 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{3,5}{3,25}} = 5,68 \text{ мкм.}$$

Параметр x розраховуємо за формулою (4.7):

$$x = \frac{\lg(28,0/5,7)}{\sqrt{\lg^2 0,398 + \lg^2 1,7}} = 1,50 .$$

За таблицею А.6 Додатку А визначаємо $\Phi(x) = 0,9332$.

Повний коефіцієнт очищення газу, згідно з формулою (4.8):

$\eta_u = 50[1 + 0,9332] = 97 \%$, що перевищує заданий (0,92 %). Отже, циклон підібрано вірно.

5 Розрахунок апаратів мокрого очищення газів.

Розрахунок пінних пиловловлювачів

Пінними пиловловлювачами називають тарілчасті пиловловлювачі, що працюють у пінному режимі. Цей режим починається, коли швидкість запиленого газу, якій проходить знизу крізь отвори або щілини у горизонтальній тарілці, що перегороджує апарат, та шар рідини на ній, перевищує певне критичне значення (1-1,2 м/с). Верхньою межею роботи таких апаратів є швидкість, з якої

починається хвильовий режим, що характеризується значним зростанням гідравлічного опору й інтенсивним унесенням крапель рідини. Кінцем хвильового режиму є «захлинання» пиловловлювача, при якому відбувається миттєвий підйом її шару рідини.

З метою запобігання виникнення хвильового режиму на тарілці, збільшення висоти піни, а отже й істотного скорочення витрата води на зрошення апарату на провальних тарілках можуть встановлювати стабілізатор піни, у вигляді стільникових ґраток з вертикальних пластин, що розділяють пінний шар та переріз апарату на невеликі комірки.

Головним недоліком пінних апаратів є бризкоунесення. Для запобігання цьому явищу у верхній частині апарата встановлюють інерційні бризковловлювачі або доводиться знижувати швидкість газу.

Іноді пінні апарати виконують багато полицевими. У них очищений газ проходить через декілька послідовно встановлених одна за одною тарілок.

В залежності від способу відведення відпрацьованої рідини розрізняють апарати з провальними тарілками, у яких рідина проходить крізь тарілку в бункер, та апарати з переливними тарілками, у яких основна частина видаляється через поріг на краю тарілки.

Розрахунок повного гідравлічного опору пінних апаратів здійснюють за формулою:

$$\Delta p = \Delta p_m + \Delta p_\delta + \Delta p_{ex} + \Delta p_{вих}, \quad (5.1)$$

де Δp_m – гідравлічний опір тарілки із шаром піни;

Δp_δ – гідравлічний опори бризковловлювача;

$\Delta p_{ex}, \Delta p_{вих}$ – гідравлічні опори входу в апарат та виходу з нього.

Складові рівняння (5.2) визначають за відомій формулою гідравліки

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho_g \cdot w_g^2}{2}, \quad (5.2),$$

де w_g – швидкість газу на ділянці, що розраховується, м/с;

ζ – коефіцієнт опору, віднесений до цієї швидкості;

ρ_g – густина газу, кг/м³.

Величину опору провальної тарілки Δp_m із шаром піни можна визначити з вираження

$$\Delta p_m = A^2 \cdot \frac{w_z^2 \cdot \rho_z}{2 \cdot s_0^2} + \Delta p_\sigma, \quad (5.3)$$

де s_0 – відносна величина вільного перерізу;

Δp_σ – частка гідравлічного опору шару, що визначається поверхневим натягом рідини

$$\Delta p_\sigma = \frac{4 \cdot \sigma}{1,3 \cdot d_0 + 0,08 \cdot d_0^2}, \quad (5.4)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу на межі розділу газу та рідини, Н/м;

$d_0 = 2 - 8$ мм – діаметр отворів у тарілці, м;

A – параметр, що залежить від режиму взаємодії газів і рідини на тарілці:

$$A = 38,8 \cdot m^{0,7} \cdot (W_\phi / W_{cm})^{-0,57} \cdot (\rho_z / \rho_p)^{-0,35}, \quad (5.5)$$

де m – питоме зрошення, для апаратів з провальними тарілками дорівнює $(0,4-0,6) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$, з переливним порогом – $(0,2-0,3) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$, а зі стабілізатором піни – $(0,05-0,10) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$;

W_ϕ, W_{cm} – щільності зрошення перерізів, фактична й стандартна, кг/(м²·с)

[$W_{cm} = 1$ кг/(м²·с)];

ρ_p, ρ_z – відповідно густини рідини й газу, кг/м³.

Для апаратів зі стабілізатором піни гідравлічний опір зони контакту, тобто тарілки, стабілізатора й шару піни визначають за формулою

$$\Delta p_m = \frac{\zeta_{сух} \cdot \rho_z \cdot w_z^2}{2 \cdot s_0^2 \cdot \varphi^2} + 2,3 \cdot 10^{-3} \frac{g \cdot w_z^{0,26} \cdot m^{0,2} \cdot \rho_p}{s_0^{1,9} \cdot d_0^{0,14}} + \frac{4 \cdot \sigma}{1,3 \cdot d_0 + 0,08 \cdot d_0^2}, \quad (5.6)$$

де $\zeta_{сух} \approx 1,6-1,7$ – коефіцієнт опору сухої тарілки;

φ – частка вільного перерізу апарату, що зайнята газом, яку можна визначити за формулою

$$\varphi = 1 - \frac{1,37 \cdot \sqrt[3]{m^2 \cdot \rho_p / (\rho_z \cdot \zeta_{сух})}}{1 - 1,37 \cdot \sqrt[3]{m^2 \cdot \rho_p / (\rho_z \cdot \zeta_{сух})}}. \quad (5.7)$$

Критична швидкість $w_{кр}$, при якій відбувається перехід від пінного режиму до хвильового, може бути визначена з вираження:

$$\lg w_{кр} = 1350 \frac{s_0^2 \cdot d_0^2}{A} + 0,154. \quad (5.8)$$

Ступінь очищення газу можна визначати за нормальною функцією розподілу $\eta = \Phi(x)$ (табл. А.8 Додатку А), де параметр x визначається за формулою, до якої підставляються величини $d_{50} = 0,85$ мкм і $\lg \sigma_\eta = 0,769$. Ці значення отримані для швидкості газу у апараті 2 м/с і висоти шару піни 0,09 м. Якщо зазначені параметри відрізняються від стандартних, ступінь очищення перераховують за формулою:

$$\eta = \eta_0 \cdot (w_z / 2)^{0,036} (H_n / 0,09)^{0,032}. \quad (5.9)$$

Висоту шару піни розраховують за емпіричними формулами.

Для апаратів з провальними тарілками:

$$H_g = 1,84 \cdot 10^{-2} \cdot m^{0,45} \cdot (s_0^2 \cdot d_t)^{-0,55}. \quad (5.10)$$

Наприклад, для апаратів зі стабілізатором пінного шару

$$H_n = \frac{4,8 \cdot w_z^{0,79} \cdot m^{0,2}}{d_0^{0,14} \cdot s_0^{1,9}}. \quad (5.11)$$

Для апаратів з переливом

$$H_n = K_n - 1,95 \cdot w + 0,09 \quad (5.12)$$

де K_n – коефіцієнт швидкості пиловловлювання, м/с

$$K_n = \frac{2 \cdot \eta \cdot w}{(2 - \eta)} \quad (5.13)$$

Принципи розрахунку конструктивних та технологічних параметрів пінних пиловловлювачів розглянемо на прикладі однополицевого апарата для очищення газів з відведенням води через зливний пристрій (рис. 5.1). Основними завданнями розрахунку є визначення площі перерізу апарата, витрат води, які необхідні для очищення газу, висоти шару піни та зливного порога, які забезпечують нормальну роботу апарата.

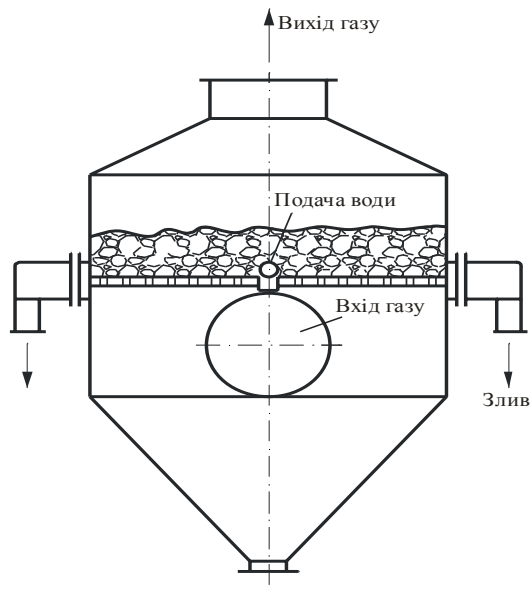


Рисунок 5.1 – Схема пінного апарату з переливним порогом

Одним з найважливіших факторів, який визначає ефективність роботи апарату, є швидкість газу w , що повинна перебувати у діапазоні 0,5-3,5 м/с (рекомендується $w = 2,0$ м/с).

Задавшись швидкістю газу, розраховують площу поперечного перерізу апарату S , м², за формулою

$$S = \frac{Q_z}{w}, \quad (5.14)$$

де Q_z – витрати газу, який надходить в апарат, за робочих умов, м³/с.

Далі обирають форму поперечного перерізу. У апаратах з прямокутним перерізом легше забезпечити рівномірний розподіл рідини, а з круглим – рівномірний розподіл газу. Після цього обирають апарат і перераховують значення швидкості газу відповідно його розмірам.

Кількість пилу, що уловлюється у апараті, кг/год

$$G_{ул} = Q_z \cdot c_{вх} \cdot \eta, \quad (5.15)$$

де $c_{вх}$ – запиленість газу на вході до апарату, кг/м³;

η – задана ефективність очищення.

Витрати води для холодних (температура нижча за 100 °С) та сильно запиленних газів визначаються з матеріального балансу пиловловлювання, для гарячих газів – з теплового балансу.

Згідно з матеріальним балансом витрати води L , кг/с, складаються з витрат води, що стікає крізь отвори у ґратках, L_g та через переливний поріг L_n

$$L = L_g + L_n. \quad (5.16)$$

Якщо відома концентрація пилу у витоку x_g кг пилу/кг води, то величина L_g може бути знайдена за рівнянням

$$L_g = \frac{K \cdot G_{yl}}{x_g}, \quad (5.17)$$

де K – коефіцієнт розподілу пилу між витоком та водою, що зливається. Цей коефіцієнт виражений відношенням кількості пилу, що потрапляє у витік, до загальної кількості пилу, що вловлюється; зазвичай $K = 0,6-0,8$.

У розрахунках рекомендується приймати $L_g = L_n$, Тож формула (5.17) набуває вигляду

$$L_g = \frac{2K \cdot G_{yl}}{x_g}. \quad (5.18)$$

Далі обирають тип перфорації (круглі отвори або щілини), діаметр отвору d_0 або ширину щілини $b_{щ}$ та крок між ними t . Форму отворів вибирають з конструктивних міркувань, а їхній розмір – виходячи з ймовірності забивання пилом. Зазвичай приймають $b_{щ} = 2-3$ мм, $d_0 = 2-6$ мм.

Швидкість газу у отворах w_0 приймають відповідно їхньому діаметру. При $d_0 = 2-3$ мм швидкість газу повинна складати 6-8 м/с, а при $d_0 = 4-6$ мм, $w_0 = 10-13$ м/с.

Далі розраховують вільний переріз ґраток S_0

$$s_0 = \frac{w}{w_0 z}, \quad (5.19),$$

де $z = 0,90 \div 0,95$ – коефіцієнт, який враховує, що 5 % площини вільного перерізу займають опори ґратки, переливні стінки тощо.

Виходячи з величини s_0 визначають крок t , м, між отворами в залежності від способу розбивці отворів на ґратках. При розбивці по рівнобічному трикутнику

$$t = d_0 \sqrt{\frac{0,91}{s_0}}. \quad (5.20)$$

Товщину ґратки δ вибирають по конструктивним міркуванням. Мінімуму гідравлічному опору відповідає $\delta = 5$ мм.

Висота порога на зливні з ґраток повинна забезпечувати створення такого шару піни перед зливом, який би відповідав заданому ступеню очищення.

Далі визначають висота вихідного шару рідини на ґратках, м, за формулою

$$h_0 = 1,43 \cdot H_n^{1,67} \cdot w^{-0,83}. \quad (5.21)$$

Та висоту переливного порога, м, за емпіричною формулою

$$h_n = 2,5h_0 - 0,0176\sqrt[3]{i^2}, \quad (5.22)$$

де i – інтенсивність потоку води на зливні з ґратки, кг/(м·с), що визначається за рівнянням

$$i = L_n / b_{зл}, \quad (5.23)$$

де $b_{зл}$ – ширина ґратки перед зливом, м, як для апаратів прямокутного перерізу дорівнює довжині зливного порога b .

Враховуючи, що величина L_n приймається рівною $1/2 L$, рівняння (5.23) можна записати у вигляді:

$$i = L / 2b. \quad (5.24)$$

Приклад. Розрахувати основні параметри пінного пиловловлювача. Вихідні дані: витрати газу $Q_g = 35000$ м³/год = 9,72 м³/с; запиленість газу на вході до апарату $c_{вх} = 0,005$ кг/м³; ступінь очищення $\eta = 0,99$, концентрація суспензії у витоку $x_g = 0,10$ кг/кг, температура газу 70 °С.

Рішення. Згідно з наведеними рекомендаціями приймаємо швидкість газу $w = 2$ м/с.

Тоді площа перерізу апарату за формулою (5.14)

$$S = \frac{9,72}{2} = 4,86 \text{ м}^2.$$

За таблицею А.11 Додатку А обираємо апарат ЛТІ-ПГС-40 з довжиною ґраток $l = 1,87$ м та шириною $b = 3,12$ м. Площа перерізу $S = 5,6 \text{ м}^2$.

Тоді фактична швидкість газу

$$w = \frac{Q_z}{S} = \frac{9,72}{5,6} = 1,74 \text{ м/с}.$$

Кількість пилу, що уловлюється, знаходимо за формулою (5.15)

$$G_{yl} = 9,72 \cdot 0,005 \cdot 0,99 = 0,048 \text{ кг/с}.$$

Приймаємо коефіцієнт розподілу пилу між витоком та водою, що зливається $K = 0,7$.

Витрати води визначаємо за формулою (5.18)

$$L = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 0,048}{0,1} = 0,672 \text{ кг/с}.$$

Приймаємо діаметр отворів у ґратках $d_0 = 5 \text{ мм} = 0,005 \text{ м}$, відповідно швидкість газу в отворах $w_0 = 10 \text{ м/с}$.

Приймаємо коефіцієнт z рівним 0,95.

Тоді частка вільного перерізу ґраток згідно з (5.19)

$$S_0 = \frac{1,74}{0,95 \cdot 10} = 0,183.$$

Крок між отворами на ґратках при розбивці по рівнобічному трикутнику розраховуємо за формулою (5.20)

$$t = 0,005 \sqrt{\frac{0,91}{0,183}} = 0,011 \text{ м}.$$

Коефіцієнт швидкості пиловловлювання знаходимо за формулою (5.13)

$$K_n = \frac{2 \cdot 0,99 \cdot 1,74}{(2 - 0,99)} = 3,41 \text{ м/с}.$$

Висоту шару піни на ґратках розраховуємо за формулою (5.12)

$$H_n = 3,41 - 1,95 \cdot 1,74 + 0,09 = 0,107 \text{ м.}$$

Висоту вихідного шару рідини на ґратках визначаємо за формулою (5.21)

$$h_0 = 1,43 \cdot 0,107^{1,67} \cdot 1,74^{-0,83} = 0,0216 \text{ м.}$$

Інтенсивність потоку води на зливі з ґраток, згідно з (5.24) дорівнює

$$i = 0,672 / (2 \cdot 3,12) = 0,107 \text{ кг/(м}\cdot\text{с)}.$$

Висоту переливного порога знаходимо за рівнянням (5.22)

$$h_n = 2,5 \cdot 0,0216 - 0,0176 \cdot \sqrt[3]{0,107^2} = 0,05 \text{ м.}$$

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1– Фізичні властивості сухого повітря

($P_{\text{п}} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$)

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho,$ кг/м ³	$C_p,$ кДж/(кг·°C)	$\lambda \cdot 10^2,$ Вт/(м·°C)	$\alpha \cdot 10^6,$ м ² /с	$\mu \cdot 10^6,$ Па·с	$\nu \cdot 10^6,$ м ² /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

Таблиця А.2 – Фізичні властивості води на лінії насичення

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{C}^0)$	$\alpha\cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\mu\cdot 10^6, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu\cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$
0	999,9	0,560	13,2	1788	1,789
10	999,7	0,580	13,8	1306	1,306
20	998,2	0,597	14,3	1004	1,006
30	995,7	0,612	14,7	801,5	0,805
40	992,2	0,627	15,1	653,3	0,659
50	988,1	0,640	15,5	549,4	0,556
60	983,1	0,650	15,8	469,9	0,478
70	977,8	0,662	16,1	406,1	0,415
80	971,8	0,669	16,3	355,1	0,365
90	965,3	0,676	16,5	314,9	0,326
100	958,4	0,684	16,8	282,5	0,295

Таблиця А.3 – Розміри та вага іонітових фільтрів

Діаметр, мм	Висота шару завантаження, м	Площа фільтру, м^2	Маса, кг
1000	2	0,785	0,905
1500	2	1,775	1,692
2000	2,5	3,14	2,746
2600	2,5	5,3	4,558
3000	2,5	7,1	5,527
3400	2,5	9,1	7,848

Таблиця А.4 – Параметри, що визначають ефективність циклонів

Тип циклону	ЦН-24	ЦН-15у	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СКЦН-34М
$d_{50}^m, \text{мкм}$	9,85	6,45	5,66	4,60	2,23	1,92	-
$\lg \sigma_\eta$	0,398	0,398	0,398	0,398	0,428	0,416	-
$w_{opt}, \text{м/с}$	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0

Таблиця А.5 – Значення коефіцієнтів опору циклонів

($D = 500$ мм; $\omega = 3$ м/с)

Тип циклону	d/D	Без додаткових пристроїв		З кільцевим дифузором		З вихідним завитком $\zeta_{Ц500}^M$	З відводом 90° $R/d = 1,5$	
		$\zeta_{Ц500}^M$	$\zeta_{Ц500}^П$	$\zeta_{Ц500}^M$	$\zeta_{Ц500}^П$		$l/d = 0 \div 12$	$l/d > 12$
							$\zeta_{Ц500}^M$	$\zeta_{Ц500}^M$
ЦН-11	0,59	245	250	207	215	235	245	250
ЦН-15	-	155	163	132	140	150	155	160
ЦН-15У	-	165	170	140	148	158	165	170
ЦН24	-	75	80	64	70	73	75	80
СДК-ЦН-33	0,33	520	600	-	-	500	-	560
СК-ЦН-34	0,34	1050	1150	-	-	-	-	-
СК-ЦН-34М	0,22	-	2000	-	-	-	-	-

Таблиця А.6 – Поправочний коефіцієнт K_1 на вплив діаметру циклону

D , мм	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-15У, ЦН24	СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М	D , мм	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-15У, ЦН24	СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М
150	0,94	0,85	1,0	450	0,99	1,0	1,0
200	0,95	0,90	1,0	500	1,0	1,0	1,0
300	0,96	0,93	1,0				

Таблиця А.7 – Поправочний коефіцієнт на запиленість газів ($D = 500$ мм)

Тип циклону	Поправочний коефіцієнт K_2						
	Запиленість, 10^3 кг/м ³						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,5
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
ЦН24	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	0,95	-	-	-

Таблиця А.8 – Значення нормальної функції розподілу

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
1	2	3	4	5	6	7	8
-2,70	0,0035	-1,06	0,1446	0,00	0,5000	1,08	0,8599
-2,60	0,0047	-1,04	0,1492	0,02	0,5080	1,10	0,8643
-2,50	0,0062	-1,02	0,1539	0,04	0,5160	1,12	0,8686
-2,40	0,0082	-1,00	0,1587	0,06	0,5239	1,14	0,8729
-2,30	0,0107	-0,98	0,1635	0,08	0,5319	1,16	0,8770
-2,20	0,0139	-0,96	0,1685	0,10	0,5398	1,18	0,8810
-2,10	0,0179	-0,94	0,1736	0,12	0,5478	1,20	0,8849
-2,00	0,0228	-0,92	0,1788	0,14	0,5557	1,22	0,8888
-1,98	0,0239	-0,90	0,1841	0,16	0,5636	1,24	0,8925
-1,96	0,0250	-0,88	0,1894	0,18	0,5714	1,26	0,8962
-1,94	0,0262	-0,86	0,1949	0,20	0,5793	1,28	0,8997
-1,92	0,0274	-0,84	0,2005	0,22	0,5871	1,30	0,9032
-1,90	0,0288	-0,82	0,2061	0,24	0,5948	1,32	0,9066
-1,88	0,0301	-0,80	0,2119	0,26	0,6026	1,34	0,9099
-1,86	0,0314	-0,78	0,2177	0,28	0,6103	1,36	0,9131
-1,84	0,0329	-0,76	0,2236	0,30	0,6179	1,38	0,9162
-1,82	0,0344	-0,74	0,2297	0,32	0,6255	1,40	0,9192
-1,80	0,0359	-0,72	0,2358	0,34	0,6331	1,42	0,9222
-1,78	0,0375	-0,70	0,2420	0,36	0,6406	1,44	0,9251
-1,76	0,0392	-0,68	0,2483	0,38	0,6480	1,46	0,9279
-1,74	0,0409	-0,66	0,2546	0,40	0,6554	1,48	0,9306
-1,72	0,0427	-0,64	0,2611	0,42	0,6628	1,50	0,9332
-1,70	0,0446	-0,62	0,2676	0,44	0,6700	1,52	0,9357
-1,68	0,0465	-0,60	0,2743	0,46	0,6772	1,54	0,9382
-1,66	0,0485	-0,58	0,2810	0,48	0,6844	1,56	0,9406
-1,64	0,0505	-0,56	0,2877	0,50	0,6915	1,58	0,9429
-1,62	0,0526	-0,54	0,2946	0,52	0,6985	1,60	0,9452
-1,60	0,0548	-0,52	0,3015	0,54	0,7054	1,62	0,9474
-1,58	0,0571	-0,50	0,3085	0,56	0,71023	1,64	0,9495
-1,56	0,0594	-0,48	0,3156	0,58	0,7190	1,66	0,9515
-1,54	0,0618	-0,46	0,3228	0,60	0,7257	1,68	0,9535
-1,52	0,0643	-0,44	0,3300	0,62	0,7324	1,70	0,9554
-1,50	0,0668	-0,42	0,3372	0,64	0,7389	1,72	0,9573
-1,48	0,0694	-0,40	0,3446	0,66	0,7454	1,74	0,9591
-1,46	0,0721	-0,38	0,3520	0,68	0,7517	1,76	0,9608
-1,44	0,0749	-0,36	0,3594	0,70	0,7580	1,78	0,9625
-1,42	0,0778	-0,34	0,3669	0,72	0,7642	1,80	0,9641
-1,40	0,0808	-0,32	0,3745	0,74	0,7703	1,82	0,9656
-1,38	0,0838	-0,30	0,3821	0,76	0,7764	1,84	0,9671

Продовження таблиці А.8 додатка А

1	2	3	4	5	6	7	8
-1,36	0,0869	-0,28	0,3897	0,78	0,7823	1,86	0,9686
-1,34	0,0901	-0,26	0,3974	0,80	0,7881	1,88	0,9699
-1,32	0,0934	-0,24	0,4052	0,82	0,7939	1,90	0,9713
-1,30	0,0968	-0,22	0,4129	0,84	0,7995	1,92	0,9726
-1,28	0,1003	-0,20	0,4207	0,86	0,8051	1,94	0,9738
-1,26	0,1038	-0,18	0,4286	0,88	0,8106	1,96	0,9750
-1,24	0,1075	-0,16	0,4364	0,90	0,8159	1,98	0,9761
-1,22	0,1112	-0,14	0,4443	0,92	0,8212	2,00	0,9772
-1,20	0,1151	-0,12	0,4522	0,94	0,8264	2,10	0,9821
-1,18	0,1190	-0,10	0,4602	0,96	0,8315	2,20	0,9861
-1,16	0,1230	-0,08	0,4681	0,98	0,8365	2,30	0,9893
-1,14	0,1271	-0,06	0,4761	1,00	0,8413	2,40	0,9918
-1,12	0,1314	-0,04	0,4840	1,02	0,8461	2,50	0,9938
-1,10	0,1357	-0,02	0,4920	1,04	0,8508	2,60	0,9953
-1,08	0,1401	-0,00	0,5000	1,06	0,8554	2,70	0,9965

**Таблиця А.9 – Основні властивості текстильних волокон,
які використовуються для фільтрувальних тканин**

Вихідний полімер або сировина	Назва волокна	Густина кг/м ²	Термостійкість, °С		Горючість
			При тривалій дії	При короткочасній дії	
Целюлоза	Бавовна	1520	65-85	90-95	Так
Протеїни	Вовна	1320	95-100	120	Так
Поліамід	Капрон	1140	80-90	120	Так
	Ноумекс	1380	220	260	Ні
Поліефір	Лавсан	1380	130	160	Так
Поліакрило-нітрил	Нітрон	1170	120	150	Так
Поліолефін	Поліпропілен	920	85-95	120	Так
Полівінілхлорид	Хлорин, ацетохлорин, ПВХ	1380-1470	65-70	80-90	Ні
Політетрафторетилен	Тефлон, поліфен	2300	220	270	Ні
Алюмоборо-силікатне скло	Скляне волокно	2540	240	315	Ні

Умовні скорочення: ДД – дуже добра; Д – добра; З – задовільна; П – погана; ДП – дуже погана.

Таблиця А.10 – Технічні характеристики рукавних фільтрів

Марка фільтру	Площа поверхні фільтрування, м ²	Кількість секцій	Кількість рукавів	Діаметр рукава, мм	Довжина рукава, м
ФРКІ-30	30	1	36	135	2
РП-1	55	2	72	200	2,45
РП-2	115	3	108	200	5,1
РП-3	205	4	144	200	9,1
ФР-250	250	4	288	135	2,3
ФР-650	650	6	432	127	3
ФРКДІ-720	720	8	96	130	6
ФРКДІ-1100	1100	12	144	130	6
ФРО-1250-1	1266	6	252	200	8
ФРО-1650-1	1688	8	336	200	8
ФРО-2500-1	2530	12	504	200	8
ФРО-4100-2	4104	8	432	300	10
ФРО-5100-2	5130	10	540	300	10
ФРО-6000-2	6156	12	648	300	10
ФРО-7000-2	7182	14	756	300	10
ФРО-8000-2	8208	16	864	300	10

Таблиця А.11 – Технічна характеристика пінних пиловловлювачів ЛТІ з переливним пристроєм

Марка	Гідравлічний опір полиці, Па	Площа перерізу ґратки, м ²	Габарити, мм			Маса, кг
			довжина	ширина	висота	
1	2	3	4	5	6	7
3	300 350 430	0,42	550	700	2195	650
5,5	300 350 430	0,77	740	1040	2460	845
10	300 350 430	1,4	1000	1400	2920	1150
16	310 350 420	2,24	1260	1760	3420	1495

Продовження таблиці А.11 додатка А

1	2	3	4	5	6	7
23	310 400 480	3,22	1410	2380	4490	2700
40	360 400 460	5,60	1870	3120	5750	4133
50	370 400 460	7,0	2100	3480	6030	4807

Список використаної літератури

1. Рижков С. С. Апарати для очищення повітря від забруднень / С. С. Рижков, Ю. М. Харитонов, В. В. Благодатний. – Миколаїв : УДМТУ, 2002. – 36 с.
2. Благодатний В. В. Розрахунок природоохоронних систем та апаратів / В. В. Благодатний, О. С. Рижков. – Миколаїв : НУК, 2011. – 82 с.
3. Благодатний В. В. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Методи та засоби очищення повітря та води від забруднень» / В. В. Благодатний, Н. І. Магась. – Миколаїв : НУК, 2011. – 56 с.
4. Родионов А. И. Защита биосферы от промышленных выбросов / А. И. Родионов, Ю. П. Кузнецов, Г. С. Соловьёв. – Москва : Химия, Колос С, 2007. – 392 с.
5. Тимонин А. С. Инженерно-экологический справочник ; Т. 1, 2 / А. С. Тимонин. – Калуга : Издательство Н. Бочкарёвой, 2003. – 356 с.
6. Швыдкий В. С. Очистка газов / В. С. Швыдкий, М. Г. Ладыгичев. – Москва : Теплоэнергетик, 2002. – 640 с.
7. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов. – Москва : ООО ИД «Альянс», 2007. – 576 с.
8. Шалугін В. С. Процеси і апарати промислових технологій / В. С. Шалугін, В. М. Шмандій. – Київ : Центр учбової літератури, 2008. – 392 с.
9. Апостолук С. О. Практикум з промислової екології / С. О. Апостолук. – Київ : Основа, 2005. – 222 с.
10. Гранкина В. В. Конспект лекций по дисциплине «Очистка вентиляционных выбросов» (для студентов 2-5 курсов всех форм обучения по направлению подготовки 0921 (6.060101) «Строительство» и слушателей второго высшего образования специальности 7.092108 (7.06010107) «Теплогазоснабжение и вентиляция») / В. В. Гранкина ; Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Харьков : ХНАГХ, 2008. – 100 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять, виконання контрольних робіт
та самостійної роботи
з дисципліни

«ОЧИЩЕННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ВИКИДІВ»

(для студентів за напрямом підготовки 6.060101 – Будівництво
фахове спрямування «Теплогазопостачання і вентиляція»)

Укладач **Гранкіна** Вікторія Вікторівна

Відповідальний за випуск *О. В. Ромашко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Г. О. Павлова*

План 2012, поз. 128 М

Підп. до друку 21.10.2013 р.

Формат 60×84/16

Друк на ризографі.

Ум. друк. арк. 1,3

Зам. №

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства
імені О. М. Бекетова

вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014 р.