

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТУПІНЬ ВЛОВЛЮВАННЯ РІЗНИХ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧІВ.....	6
1.1 Гравітаційні пиловловлювачі	7
1.2 Циклонні пиловловлювачі	8
1.3 Фільтруючі пиловловлювачі	11
1.3.1 Механізми пиловловлювання.....	12
1.3.2 Фільтруючі середовища.....	12
1.4 Сухі електрофільтри.....	15
1.5 Температурні діапазони експлуатації систем пиловловлювання.....	16
1.6 Витрата енергії	17
2 РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ГАЗІВ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЕНЬ	18
3 НАПІВСУХА ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ ВІД SO ₂	20
3.1 Принцип дії системи	20
3.1.1 Попередній вловлювач	20
3.1.3 Кінцевий вловлювач	22
3.2 Фактори, які впливають на ефективність розпилення	22
4 МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС АБСОРБЕРУ	26
4.1 Середня рухома сила у абсорбері з безперервним контактом фаз....	27
4.2 Визначення діаметру насадочного абсорбера	28
4.3 Визначення висоти насадочного абсорбера	30
4.4 Критеріальні формули для розрахунку коефіцієнтів масовіддачі у насадочних абсорберах з неупорядкованою насадкою (навалом) при плівковому режимі	32
5 РОЗРАХУНОК АБСОРБЕРУ	34
6 РУКАВНІ ФІЛЬТРИ	36
6.1 Призначення та склад рукавного фільтру з імпульсною регенерацією	36
6.2 Принцип роботи рукавного фільтру з імпульсною регенерацією.....	37
6.3 Особливості конструкції рукавного фільтру.....	38
6.4 Розрахунок рукавних фільтрів.....	39
ВИСНОВКИ	41
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	42
ДОДАТОК А ФІЛЬТР РУКАВНИЙ ФРІР-25	43

ДОДАТОК Б ФІЛЬТР РУКАВНИЙ Ф-1-165-01.....	44
ДОДАТОК В ФІЛЬТР РУКАВНИЙ Ф-1-800-01	45
ДОДАТОК Г ФІЛЬТР РУКАВНИЙ Ф-2-1000-01.....	46
ДОДАТОК Д ФІЛЬТР РУКАВНИЙ Ф-2-1000-01	47
ДОДАТОК Ж ФІЛЬТР РУКАВНИЙ ФРІР-9500	48
ДОДАТОК З ФІЛЬТР РУКАВНИЙ ФРІР-9500.....	49
ДОДАТОК К ФІЛЬТР РУКАВНИЙ ФРІР-9500	50

ВСТУП

Для ефективного видалення пилу з відпрацьованих газів існує безліч систем пиловловлювання, епоха розвитку яких почасти вже продовжується понад 70 років. Хоча різні методи пиловловлювання навряд чи змінилися дотепер, проте досягнутий істотний прогрес у плані досяжного ступеня пиловидалення та розширення границь температури і тиску.

Пиловловлювачі розділяються за основними конструкційними типами на:

- гравітаційні пиловловлювачі,
 - фільтруючі пиловловлювачі,
 - електричні пиловловлювачі,
 - мокрі пиловловлювачі,
- специфічні межі застосування яких представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння систем пиловловлювачів

Загальна назва	Гравітаційні пиловловлювачі	Фільтруючі пиловловлювачі	Мокрі пиловловлювачі	Електричні пиловловлювачі
Коротке найменування конструкційного типу	гравітаційний пиловловлювач, циклон, мультициклон	рукавний фільтр, патронний фільтр	скрубер динамічний, статичний	сухий електричний фільтр, мокрий електричний фільтр
Принцип пиловловлювання	сила інерції, сила тяжіння, відцентрова сила	дія газопроникних мембран	зв'язування пилу рідиною	електрична сила
Ефект пиловловлювання	помірний	дуже високий	середній до високого	високий до дуже високого
Діапазон концентрації пилу на вході [г/Нм ³]	1–5000	0,1–5000	0,1–50	0,1–1000 (сухий) 0,1–50 (мокрый)
Ступінь пиловловлювання [%]	85–98	99,0–99,99	90–99	95–99,99
Діапазон температур [°С]	до 1300	до 850	при газонасиченості	до 480 (сухий) при газонасиченості (мокрый)
Діапазон тисків [бар]	до 100	до 50	до 20	до 20

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Очищення промислових газових викидів»

Гравітаційні пиловловлювачі відрізняються лише помірним ефектом пиловловлювання і підходять тільки як попередні вловлювачі для наступних за ними етапів остаточного очищення. Завдяки своїй простій конструкції вони вважаються найбільш дешевими та невибагливими в обслуговуванні апаратами для роздільних газових сумішей.

Фільтруючі пиловловлювачі належать до найбільш ефективних вловлювачів пилу, що у стані виділити самий мілкий за розміром пил у субмікронному діапазоні. Завдяки постійному удосконаленню нових фільтруючих середовищ зі штучних волокон і стійких до високих температур металевих і керамічних матеріалів, і без того широка межа застосування фільтруючих пиловловлювачів в останні роки ще більш розширилася.

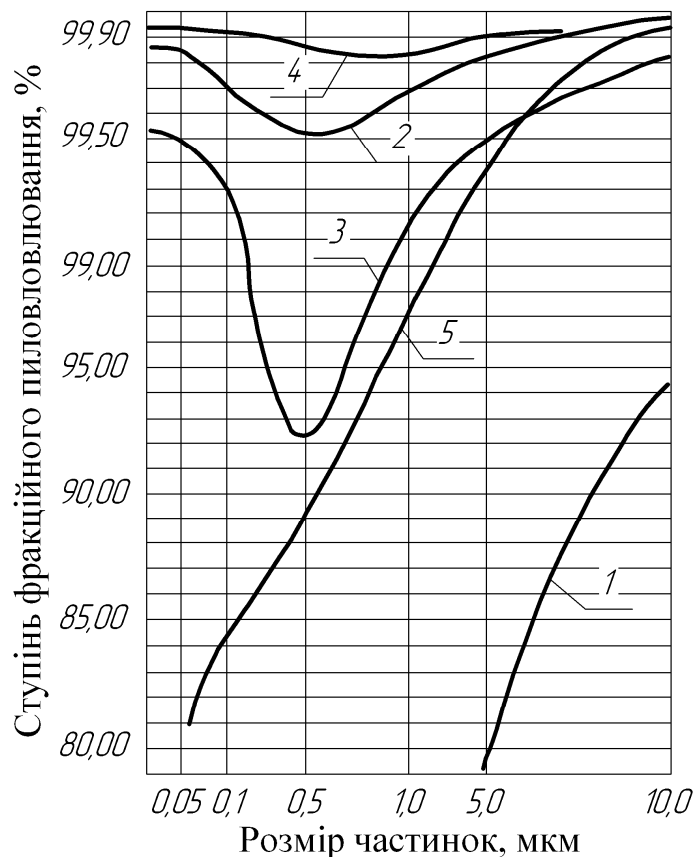
Електричні пиловловлювачі придатні для сухого і мокрого відділення пилу та спроможні ефективно виділяти з газових потоків найтонший пил. Механічна конструкція електричних пиловловлювачів робить їх нечутливими до впливу температури, так що вони прості в експлуатації і тим самим не вимагають великих витрат для необхідного технічного обслуговування.

Мокрі пиловловлювачі сьогодні використовуються переважно чином для комбінування пиловловлювання й очищення газів. При цьому газ і рідина приводяться в інтенсивний контакт, частки пилу захвачуються краплинами промивної рідини і спільно відокремлюються в наступному ступені очищення. З ростом ефективності розподілу рідини в газовому потоці підвищується і ступінь пиловловлювання. Мокрі пиловловлювачі вимагають застосування, як правило, попереднього пиловловлювання, наприклад у циклоні, щоб зменшити кількість рідини, що витрачається. У випадку високого ступеня пиловловлювання необхідно приймати до уваги відносно високу витрату енергії. Необхідні витрати на технічне обслуговування, як правило, вище, ніж для фільтруючих і електричних пиловловлювачів, якщо відокремлюваний пил буде виділений у вигляді сухого кінцевого продукту.

1 ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТУПІНЬ ВЛОВЛЮВАННЯ РІЗНИХ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧІВ

Не всякий пиловловлювач є придатним для рішення всіх проблем пиловловлювання. Вибір найбільш придатної системи пиловловлювання визначається необхідним ступенем вловлювання в сполученні з розмірами часток, їх властивостями, станом пилу – мокрий чи сухий – і, не в останню чергу, витратами на систему очищення.

На рис. 1.1 показаний огляд ступеня фракційного пиловловлювання в різних пиловловлювачах у діапазоні розмірів часток до 10 мкм.

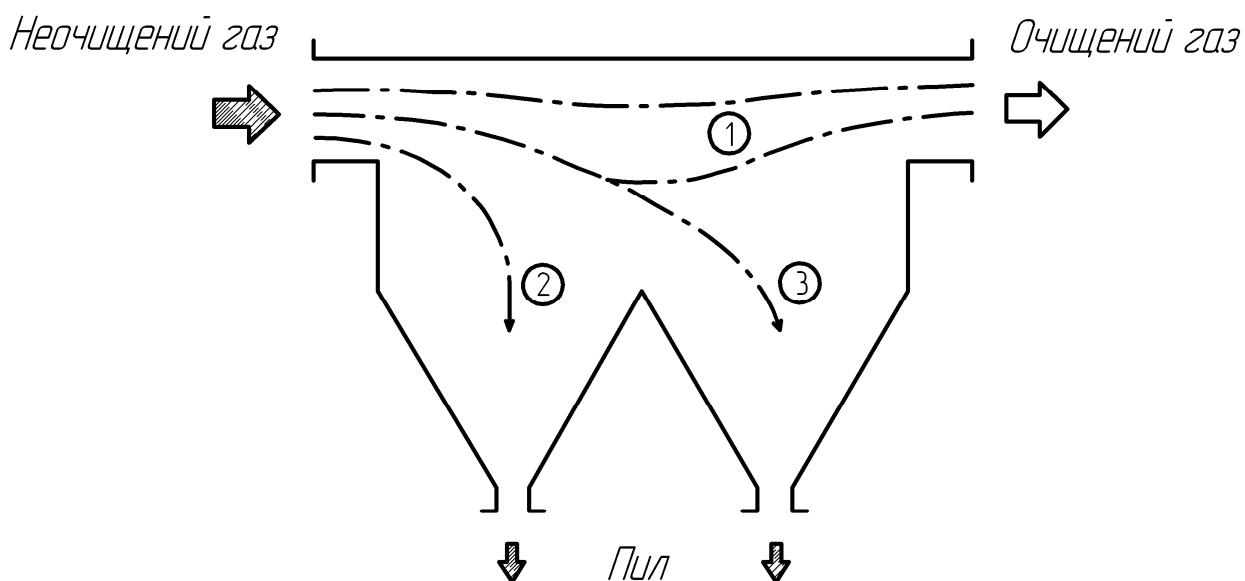


1 – циклонний пиловловлювач; 2 – фільтруючий пиловловлювач (рукавний або керамічний фільтр); 3 – електричний пиловловлювач (сухий); 4 – електричний пиловловлювач (мокрый); 5 – скрубер Вентурі

Рисунок 1.1 – Ступінь фракційного пиловловлювання в різних пиловловлювачах

Унаслідок розходжень у принципі дії для окремих систем відрізняються і різні ступені пиловловлювання. Докладно розглянемо характеристики окремих пиловловлювачів та межі їх застосування.

1.1 Гравітаційні пиловловлювачі

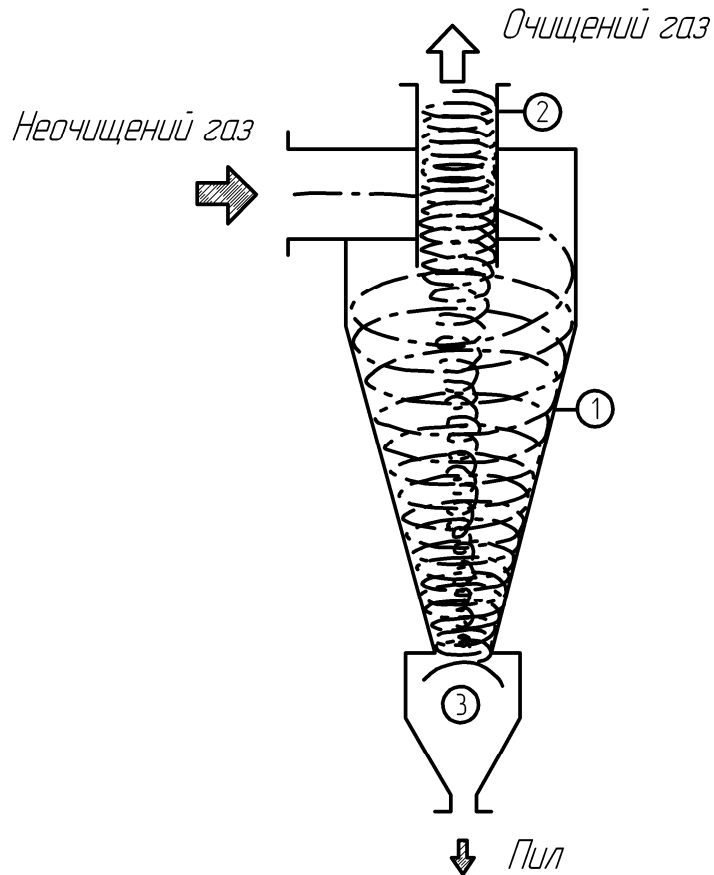


1 – лінія газового потоку; 2 – великі частки пилу; 3 – дрібні частки пилу
Рисунок 1.2 – Принцип дії гравітаційного пиловловлювача

Таблиця 1.1 – Межі застосування гравітаційного пиловловлювача

Принцип очищення газів		за рахунок сили тяжіння
Ступінь очищення	%	Близько 10 для часток < 30 мкм близько 40 для часток < 90 мкм
Швидкість газу	м/сек	1–3
Втрата тиску	Па	< 200
Діапазон температур	°С	до 1300
Діапазон тисків	бар	до 100
Межі застосування		як попередній вловлювач пилу

1.2 Циклонні пиловловлювачі



1 – лінія потоку неочищеного газу та потоку пилу; 2 – лінія потоку очищеного газу; 3 – відділені частки пилу

Рисунок 1.3 – Принцип дії циклонного пиловловлювача

Таблиця 1.2 – Межі застосування циклонного пиловловлювача

Принцип очищення газів		за рахунок відцентрової сили
Ступінь очищення	%	85–98
Швидкість газу	м/сек	15–25
Втрата тиску	Па	600–1500
Діапазон температур	°С	до 1300
Діапазон тисків	бар	до 100
Межі застосування		як попередній вловлювач пилу

Визначальною для ступеня пиловловлювання є селективність, з якою працює циклонний пиловловлювач. Чим вище селективність, тим більший ступінь пиловловлювання, що видно з рис. 1.4.

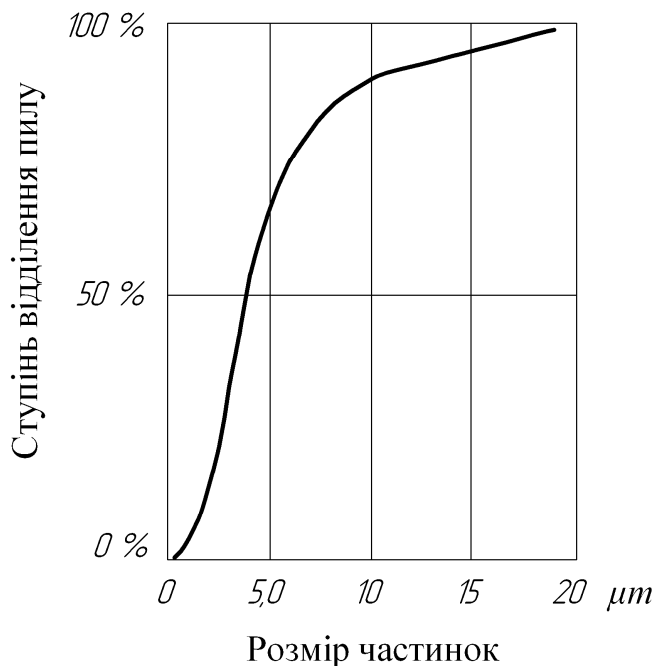


Рисунок 1.4 – Ступінь відділення в циклоні в залежності від розмірів частинок

На ступінь пиловловлювання впливає також втрата тиску, що видно з рис. 1.5

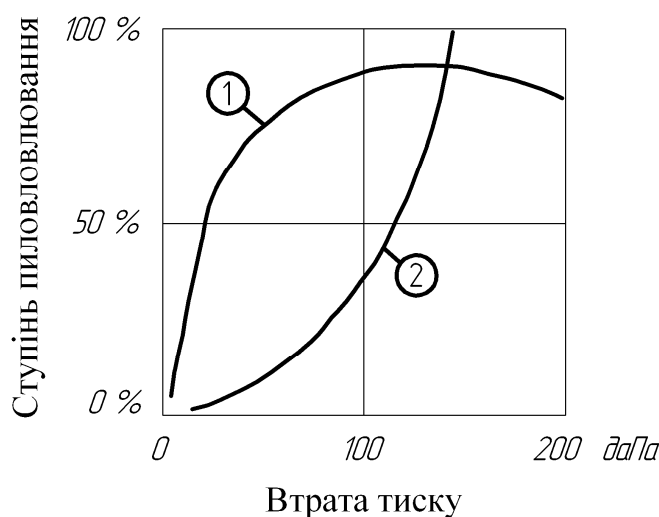


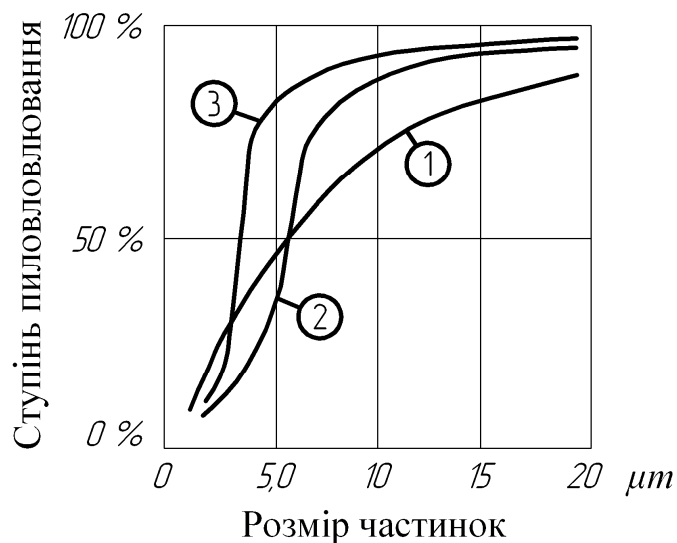
Рисунок 1.5 – Ступінь пиловловлювання в циклоні – 1 і втрата тиску – 2

З рис. 1.5 видно, що ступінь пиловловлювання при занадто високій втраті тиску знову падає. Крім того, стає помітним, що вона зменшується також у режимі часткового навантаження при зменшеному об'ємному по-

тоці або, відповідно, при зменшеній швидкості газу. Таким чином, циклонні апарати в режимі часткового навантаження характеризуються зниженням ефекту пиловловлювання.

Підвищення ступеня пиловловлювання можна досягти шляхом збільшення відцентрової сили, чому сприяє зменшення діаметру циклона. Тому при постійному обсязі потоку доцільно використовувати велику кількість паралельно підключених циклонів.

На рис. 1.6 представлені 3 криві фракційного пиловловлювання, що описують цей процес для циклонів з різним діаметром при постійних характеристиках неочищеного газу на вході.



1 – циклон з великим діаметром < 2000 мм; 2 – циклон із середнім діаметром < 1200 мм; 3 – циклон з маленьким діаметром < 200 мм

Рисунок 1.6 – Ступінь фракційного пиловловлювання для 3 діаметрів циклону

Подальше поліпшення може бути досягнуте у відповідних межах за допомогою так званих спеціальних конструктивних типів, але через високі втрати тиску це призводить, як правило, до підвищеної витрати енергії.

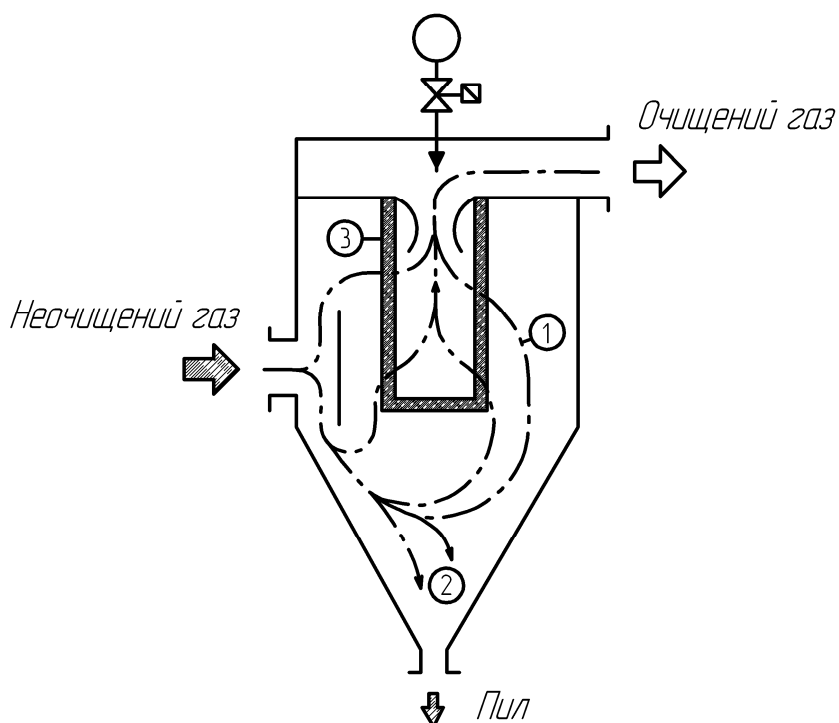
Поліпшення ступеня пиловловлювання можна досягти за допомогою збільшення відцентрової сили, що впливає на частки пилу, шляхом:

- зменшення діаметру циклонів, розподілу газового потоку на декілька паралельно підключених окремих циклонів,
- зменшення площі перерізу вхідного потоку,
- зменшення площі перерізу заглибленої труби.

Поліпшення виносу пилу шляхом усунення виносу у місці виходу пилу, відсмоктування часткового потоку в місці виходу пилу.

Додаткового підключення другого циклона, однак це рекомендується тільки при сильній запиленості неочищеного газу.

1.3 Фільтруючі пиловловлювачі



1 – лінія потоку неочищеного газу; 2 – попередньо відділений пил; 3 – пил, що пристав до рукава фільтра

Рисунок 1.7 – Принцип дії фільтруючого пиловловлювача (рукавного фільтра)

Таблиця 1.3 – Межі застосування фільтруючого пиловловлювача (рукавного фільтра)

Принцип очищення		за рахунок газопроникного фільтруючого середовища
Ступінь очищення	%	99,0–99,99
Швидкість газу	м/с	0,5–5 (через фільтруюче середовище)
Втрата тиску	Па	500–2000
Діапазон температур	°C	до 850
Діапазон тисків	бар	до 50
Межі застосування		у якості остаточного пиловловлювача

1.3.1 Механізми пиловловлювання

За допомогою фільтруючих пиловловлювачів (тканинні фільтри) досягається, як правило, дуже високий ступінь пиловловлювання, на який впливають три різних фізичних параметри. Такими параметрами є:

– динамічні сили у формі сили ваги і сили інерції при обтіканні окремих волокон фільтру для часток пилу розміром > 1 мкм.

– ударні сили, що впливають внаслідок броунівського молекулярного руху на частки пилу розміром $< 0,1$ мкм і, таким чином, впливають на рух часток до волокон фільтру.

– електростатичні сили, що діють через частки пилу та/чи через електричний заряд волокна фільтру.

Ці три ефекти пиловловлювання діють, накладаючись в більшому чи меншому ступені один на інший, у залежності від розмірів часток і швидкості газового потоку.

Адгезійні сили, при яких окремі частки пилу взаємодіють одна з одною, збільшуються з ростом розмірів часток і зменшуються з підвищенням швидкості потоку.

Таким чином, при визначенні параметрів фільтруючих пиловловлювачів необхідно особливу увагу приділяти відповідним властивостям пилу, тому що вони значною мірою впливають на ступінь пиловловлювання.

1.3.2 Фільтруючі середовища

Як фільтруючі середовища широке застосування знайшли нанесені на тканинний носій нетканих виробів із штучних волокон, отриманих голкопробивним способом. Останнім часом застосовуються також фільтруючі середовища з армуючим покриттям поверхні, що переважно обумовлює чисте поверхнєве фільтрування завдяки нанесеному допоміжному фільтруючому шару. Вибір фільтруючих середовищ здійснюється відповідно до їхньої стійкості до впливу температури та хімічних реагентів. Для температур вище 260 °С матеріалів із штучних волокон уже недостатньо. Замість них вибирають скловолокно, металеві волокна і керамічні маси. У табл. 1.4 представлені найбільше часто використовувані фільтруючі середовища в порядку зростання їхньої температурної стійкості.

Таблиця 1.4 – Фільтруючі середовища: температурна стійкість

Фільтруюче середовище			Максимальна припустима робоча температура	
Матеріал	Коротка	Вико-	°С для су-	°С для мо-

	назва	нання	хого газу	крого газу
Поліпропілен	PP	1	90	90
Поліакрилонітрил	PAC	1	130	120
Поліефір	PE	1	150	135
Поліфенілсульфід	PPS	1	180	180
Поліамід (ароматичний)	NO	1	220	180
Поліамід (ароматичний)	P84	1	260	240
Політетрафторетилен	PTFE	1	250	250
Скловолокно	GL	2	295	280
Метал (сплав інконель)	M	2/3	600	550
Кераміка	KE	4	850	850

Примітка: 1 – у вигляді нетканого матеріалу, отриманого голкопробивним способом; 2 – у вигляді тканини; 3 – у вигляді спеченого нетканого матеріалу (інконелю); 4 – у вигляді пористої керамічної маси

У табл. 1.5 представлена стійкість найбільше часто використовуваних фільтруючих середовищ до впливу хімічних реагентів.

Таблиця 1.5 – Фільтруючі середовища: стійкість до впливу хімічних реагентів

Фільтруюче середовище	Орган. кислота	Мінерал. кислота	Луги	Солі
Поліпропілен	x	0	0	x
Поліакрилонітрил	x	0	0	x
Поліефір	0	0	0	x
Поліфенілсульфід	x	x	x	0
Поліамід (ароматичний)	0	–	0	0
Поліамід (ароматичний)	x	x	-	0
Політетрафторетилен	x	x	x	x
Скловолокно	x	0	0	0

Метал (сплав інконель)	0	0	x	x
Кераміка	x	0	x	x

Примітка: x = стійкий; 0 = умовно стійкий; – = хитливий

У табл. 1.6 наведена вартість окремих фільтруючих середовищ по відношенню до поліефірного нетканого матеріалу, отриманого голкопробивним способом.

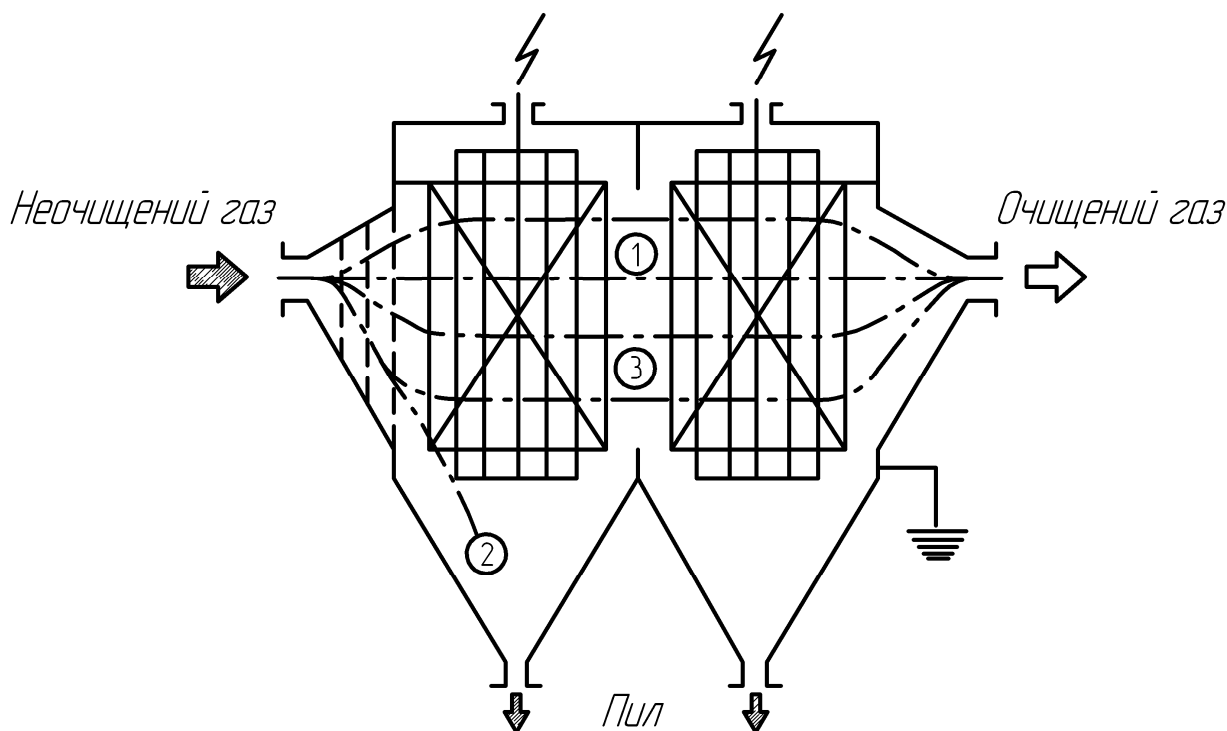
Таблиця 1.6 – Фільтруючі середовища: зіставлення вартості

Фільтруюче середовище	Вага на одиницю поверхні (г/м ²)	Повітропроникність (л/дм ² · хв.)	Товщина матеріалу (мм)	Відносна вартість (коефіц.)
Поліпропілен	550	150	2,5	1,3
Поліакрилонітрил	550	180	2,4	1,6
Поліефір	550	180	2,2	1,0
Поліфенілсульфід	600	150	1,9	4,0
Поліамід (ароматичний)	550	180	2,4	3,2
Поліамід (ароматичний)	550	150	3,3	5,1
Політетрафторетилен	750	150	1,4	14
Скловолокно	560	160	0,5	3,0
Метал (сплав інконель)	1900	300	1,1	66
Кераміка	4000	60–90	9–20	13

За основу зіставлення вартості береться 1 м² поліефірного нетканого матеріалу, отриманого голкопробивним способом (550 г/м²).

Комбінація двох різних матеріалів може принести перевагу в плані поліпшення ефективності уловлювання і продовження терміну служби, а також сприяти зниженню витрат. Так, наприклад, щонайкраще зарекомендували себе фільтруючі середовища з отриманим голкопробивним способом нетканим матеріалом з поліфенілсульфиду, поліаміду, політетрафторетилену на тканині-носії з растекса, якщо порівнювати цей ефект із їхнім некомбінованим використанням, де отримане голкопробивним способом неткана полотно і тканина-носії склалися з тих же матеріалів.

1.4 Сухі електрофільтри



1 – лінія потоку неочищеного газу; 2 – попередньо відділений пил; 3 – пил, який осів на пластинах з кольорового металу

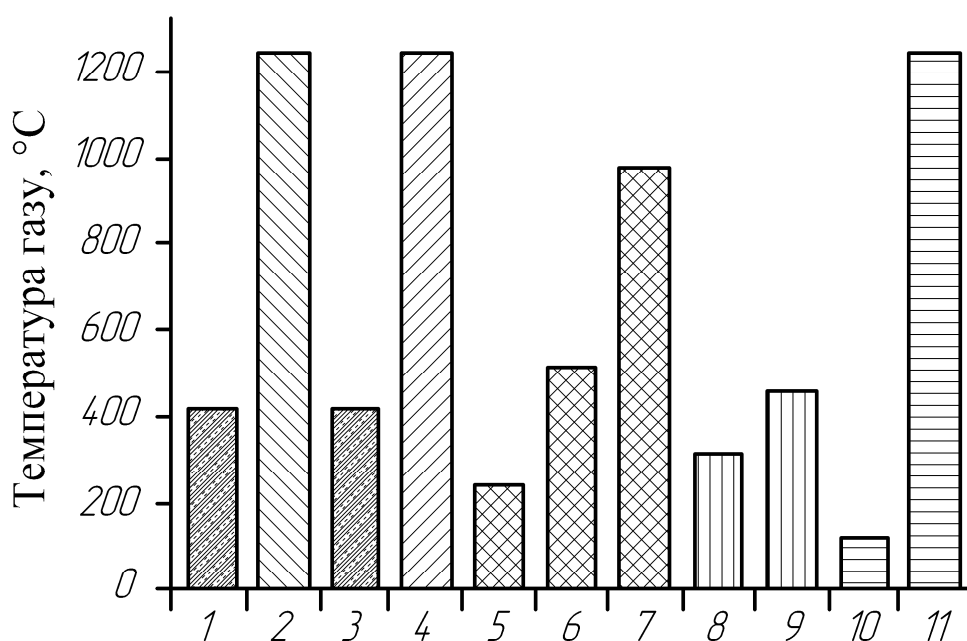
Рисунок 1.8 – Принцип дії та межі застосування сухого електрофільтру

Таблиця 1.7 – Межі застосування сухого електрофільтру

Принцип очищення		за рахунок електростатичного заряду пилу
Ступінь очищення	%	95–99,99
Швидкість газу	м/сек	0,5–2,0
Втрата тиску	Па	150–300
Діапазон температур	°С	до 480
Діапазон тисків	бар	до 20
Застосування		у якості остаточного вловлювача

1.5 Температурні діапазони експлуатації систем пиловловлювання

Температурні діапазони для окремих систем пиловловлювання визначаються, в першу чергу, наявними матеріалами. У той час, як температурна межа для металевих матеріалів знаходиться приблизно поблизу 800 °С, керамічні матеріали дозволяють працювати вже при температурах, що досягають до 1300 °С. Збільшення кількості керамічних матеріалів саме останнім часом дозволило відповідним чином підвищити температурні межі експлуатації фільтруючих пиловловлювачів, як це представлено на рис. 1.9.



1 – гравітаційні пиловловлювачі без покриття; 2 – гравітаційні пиловловлювачі з керамічним покриттям; 3 – циклонні пиловловлювачі без покриття; 4 – циклонні пиловловлювачі з покриттям; 5 – фільтруючі пиловловлювачі з фільтруючими середовищами зі штучних волокон; 6 – фільтруючі пиловловлювачі з фільтруючими середовищами з металевих волокон; 7 – фільтруючі пиловловлювачі з керамічними елементами; 8 – сухі електрофільтри в нормальному виконанні; 9 – сухі електрофільтри у виконанні для гарячих газів; 10 – мокрі електрофільтри без охолодження / зволоження газу; 11 – мокрі електрофільтри з охолодженням / зволоженням газу.

Рисунок 1.9 – Температурні діапазони експлуатації різних систем пиловловлювання

1.6 Витрата енергії

Витрата енергії в різних системах пиловловлювання в основному складається з енергії для подолання опору з боку газу, власне витрати енергії на пиловловлювання і газоочищення, а також із транспортування пилу, як це представлено у табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Порівняльна витрата енергії в окремих пиловловлювачах

Пиловловлювач	Гравітаційний пиловловлювач	Циклонний пиловловлювач	Фільтруючий пиловловлювач	Сухий електрофільтр	Мокрий електрофільтр
Витрата енергії кВт·год/1000 м ³ /год					
Опір з боку газу	0,05–0,1	0,2–0,5	0,2–0,5	0,05–0,1	0,05–0,1
Витрата енергії на пиловловлювання	–/–	–/–	–/–	0,05–1,6	0,1–2,0
Витрата енергії на очищення газу	–/–	–/–	0,40–1,2	0,01–0,06	0,01–0,1
Витрата енергії на транспортування пилу*	0,1–0,15	0,1–0,15	0,15–0,2	0,15–0,2	0,01–0,1
Сумарна витрата енергії кВт·год/1000 м ³ /год	0,15–0,25	0,3–0,65	0,75–1,9	0,26–1,96	0,17–2,3

Примітка: * пристрій для транспортування пилу в елеваторі встановлюється безпосередньо поруч з фільтром.

2 РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ГАЗІВ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЕНЬ

При виробництві електричної енергії основним показником є питома витрата палива на вироблену електроенергію. При необхідності оцінки економічних показників роботи електростанції слід знати питому витрату палива та величину генерації. При цьому витрата палива оцінюється за формулою:

$$G_{yn} = B \cdot N \cdot \tau \cdot 10^{-6}, \text{ т} \quad (2.1)$$

де B – питома витрата палива, г/кВт год.;

N – потужність енергетичного блоку;

τ – час роботи енергетичного устаткування, год.;

10^{-6} – коефіцієнт перерахунку.

Знаходимо витрату реального палива:

$$G_{pn} = G_{yn} \cdot \frac{Q_{нуп}}{Q_{нрп}}, \text{ т.} \quad (2.2)$$

де $Q_{нуп}$ – калорійність умовного палива, ккал/кг;

$Q_{нрп}$ – калорійність реального палива, ккал/кг.

Паливо для процесів очищення газів характеризується компонентами, які забруднюють навколишнє середовище. Цими забруднювачами є сполуки сірки та зола. Сірка присутня в паливі в трьох модифікаціях: сірка піритна, сірка органічна та сірка сульфідна. Ці сполуки сірки не однаково приймають участь в забрудненні навколишнього середовища. Сульфатна сірка, зв'язана у вигляді SO_4^- з неорганічними елементами Ca, Mg та Fe, при спалюванні палива переходить у шлак, шлам і летючу золу. Вона практично не приймає участі в утворенні кислих або потенційно кислих з'єднань сірки. Органічна сірка та піритна при спалюванні дають двооксид сірки, який з димовими газами викидається в навколишнє середовище.

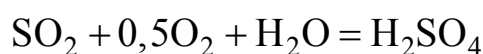
Кількість SO_2 можна визначити за формулою:

$$G_{\text{SO}_2} = G_{pn} \cdot \frac{(S_{opz} + S_{nip}) \cdot 2}{a \cdot 100}, \quad (2.3)$$

де a – коефіцієнт, який враховує вологість палива ($a = 1$ для сухого палива).

Двооксид сірки в присутності кисню переходить у SO_3 , який взаємодіє з водою з утворенням сірчаної кислоти.

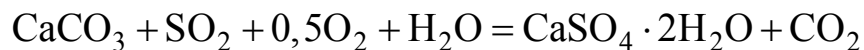
Визначаємо кількість сірчаної кислоти:



$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{G_{\text{SO}_2} \cdot M_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{M_{\text{SO}_2}} \quad (2.4)$$

Найбільш розповсюдженими методами очищення димових газів від двооксиду сірки є вапняковий та напівсухий методи.

Розглянемо мокрий вапняковий метод:



Визначаємо кількість вапняку за формулою:

$$G_{\text{CaCO}_3} = \alpha \cdot \beta \cdot G_{\text{SO}_2}, \quad (2.5)$$

де α – стереометричний коефіцієнт; $\alpha = \frac{M_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{SO}_2}}$

β – коефіцієнт надлишку CaCO_3 для зв'язування SO_2 , $\beta = 1,1$.

В процесі реакції утворюється двоводний гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, який в будівництві може бути використаний як добавка до будівельних розчинів.

Кількість летючої золи, яка утворюється при спалюванні, визначається за формулою:

$$G_{\text{л.з.}} = \frac{G_n \cdot A}{100} \cdot \beta, \quad (2.6)$$

де $\beta = 0,95$ (утворюється приблизно 95 % летючої золи, 5 % золи переходить в шлак);

A – зольність палива, в середньому зольність складає 25 %.

При хімічній неповноті згорання обсяг сухих газів визначається за рівнянням:

$$V = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2} + V_{\text{CO}}, \quad (2.7)$$

Виходячи з окремих складових поточних газів при спалюванні 1 кг палива, а також щільності цих газів можна отримати об'єм даного газу, м^3 :

$$\begin{aligned} V_{\text{CO}_2} &= 1,86 \cdot C^P / 100, \\ V_{\text{SO}_2} &= 0,684 \cdot S^P / 100, \\ V_{\text{O}_2} &= 0,21 \cdot V_{\text{O}} \cdot (\alpha - 1), \\ V_{\text{N}_2} &= 0,79 \cdot \alpha \cdot V_{\text{O}}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

де C^P – кількість С в паливі;

S^P – вміст сірки в паливі;

α – коефіцієнт надлишку повітря при спалюванні палива, $\alpha = 1,2$;

V – витрата повітря, $\text{м}^3/\text{кг}$ палива.

3 НАПІВСУХА ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ ВІД SO₂

3.1 Принцип дії системи

Система призначена для виділення кислих газоподібних компонентів (SO₂, SO₃, HCl та HF) із димових газів та для уловлення летючої золи для наступного використання.

Метод названо напівсухим за принципом роботи. Як абсорбент використовується звичайне вапно, яке розпилюється в димовому газі у вигляді дрібнокрапельного розчину. Реакція абсорбенту з кислими газоподібними компонентами проходить більшою частиною у рідинній фазі. Процес регулюється таким чином, що продукти реакції отримуються сухими та можуть бути вловленими звичайним пиловловлювачем.

Напівсухий метод для десульфуризації димових газів має безсумнівні переваги:

- в установці немає стічних вод, бо уся вода процесу використовується при виготовленні вапнякового розчину;
- проста конструкція обладнання;
- виробництво продуктів побічного використання.

В цьому методі рН зрошуваного розчину може досягати значення 10–11. При такому рН концентрація гідроксильних іонів перевищує концентрацію цих іонів для мокрого методу в $10^{-3}/10^{-11}$ раз. Більш висока концентрація гідроксильних іонів забезпечує більш високий концентраційний напір поглинача, у зв'язку з чим процес очищення можна реалізувати в колоні меншого діаметру при значних швидкостях потоку та при більш високих температурах газів. Таким чином, абсорбери напівсухої технології працюють в прямоточному режимі на відміну від абсорберів мокрої технології.

Трьома вузлами системи є попередній вловлювач, реактор SO₂ та кінцевий вловлювач.

3.1.1 Попередній вловлювач

Попередній вловлювач для летючої золи не є необхідним для роботи установки. Деякі установки для зменшення інвестиційних витрат можуть бути змонтовані без попереднього вловлювача. Але, більшість установок в Європі обладнано попередніми вловлювачами для уловлювання летючої золи в сухому чистому стані для подальшого використання, наприклад, в цементному виробництві.

Уловлення летючої золи буде також впливати на кількість кінцевого

продукту, який складається та обробляється. Попереднє уловлення летючої золи також зменшує кількість рециркульованих твердих матеріалів. Більша частина продуктів реакції може бути використана повторно для рециркуляції вапняного розчину, що підвищує ефективність утилізації вапна та знижує експлуатаційні витрати. Для попереднього уловлення звичайно використовуються, як правило, електрофільтри.

Димовий газ подається в верхню частину реактора SO_2 , де в нього вприскується розчин гашеного вапна. Кількість розчину за температурою димового газу на виході із реактора регулюється, таким чином, щоб підтримувати відносну вологість газу у межах 40–50 % та забезпечити роботу реактора в сухому режимі.

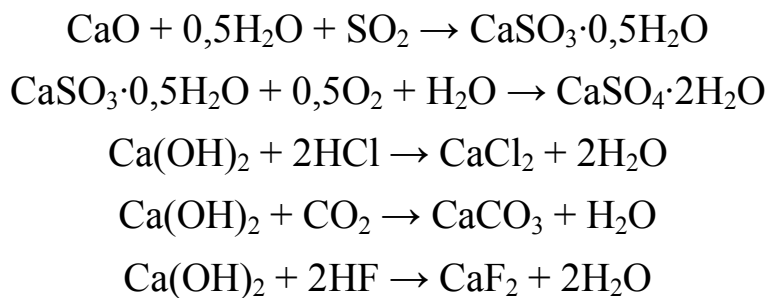
В напівсхому методі використовуються дві техніки: подвійне сопло для розпилювання рідини або розпилювач відцентрового типу, що обертається.

На рисунку показаний розподіл потоку в реакторі з розподільчими соплами. Димовий газ подається у верхню частину реактора через декілька вхідних газоходів спеціальної конструкції. Розподільчі сопла розміщуються у центрі кожної газопідводної секції. Не зупиняючи роботу реактора, можна витягувати соплові голівки по одній із реактора для огляду та обслуговування. Для розпилення розчину у вигляді дрібних крапель в соплах використовується стиснене повітря. Розчин нагнітається до сопел ексцентриковими гвинтовими насосами; стиснене повітря подається компресорами. Частина сухих продуктів реакції накопичується у нижній частині реактора та відводиться звідти. Але більша частина їх виноситься димовим газом та уловлюється разом з залишками летючої золи в кінцевому пиловловлювачі. Частина вловленої речовини, що містить деяку кількість вапна, що не прореагувала, повертається у контур циркуляції вапнякового розчину та нагнітається знову в реактор. Підживлювальна вода – для поповнення води, яка була випарена та винесена газом, та необхідна кількість гашеного вапна подаються в дозатор. Частина продуктів реакції, яка не призначена для рециркуляції, транспортується в силос для кінцевого продукту.

Свіжий вапняковий розчин готується в сховищі поданням негашеного вапна CaO із силосів та гашення його в мокрих гасителях з отриманням в результаті гашеного вапна.

Крім CaO в якості абсорбенту використовуються також розчини Na(OH)_2 та NaHCO_3 . Але продукт реакції, сульфат натрію, внаслідок розчинності недостатньо зручний в обертванні. Вапняк CaCO_3 мало придатний в якості абсорбенту внаслідок низької хімічної активності, яка призводить до невиправданого зростання експлуатаційних витрат.

В реакторі відбуваються наступні реакції:



Хімічна активність HCl з вапном дуже висока. Реакція проходить при теоретичній стехіометрії 1,0, а ефективність уловлення перевищує 95%. Кількість HCl в димовому газі залежить від концентрації Cl у вугіллі та повинна враховуватися при розрахунку споживання вапна.

Карбонатна реакція небажана, тому що в ході її витрачається вапно, без участі в реакції з SO₂. Це не відбувається при невеликій стехіометрії 0,5 і трапляється тільки, якщо є вільний гіперстехіометричний промінь, який реагує із завжди присутнім в димовому газі CO₂.

Розмір краплинок після сопел має вирішальне значення для забезпечення реакції десульфуризації, а також для забезпечення випаровування води. Фактори, які впливають на ефективність розпилу, розглянемо у пункті 3.2.

3.1.3 Кінцевий вловлювач

Електрофільтр в якості кінцевого уловлювача простий в експлуатації та недорогий в обслуговуванні. Але тканинний фільтр має важливі переваги для абсорбції SO₂: бо пил все ще містить в собі деяку кількість вапна, шар пилу на матеріалі фільтру абсорбує частину залишкового SO₂ та поліпшує загальний показник використання вапна. Таким чином відбувається додаткове збільшення ефективності очищення газів на 10–12 %. Концентрація пилу в димовому газі після рукавного фільтру задовольняє нормам викидів.

3.2 Фактори, які впливають на ефективність розпилення

Розпилення рідини в скрубєрі за допомогою механічних форсунок може бути описане за допомогою інтегральних кривих розподілу крапель по розмірах. Ці криві, що відповідають різним умовам ведення технологічного процесу і конструктивних особливостей форсунок описуються інтегралом Гауса нормального розподілу, якщо початок координат розташувати в точці $G = 0,5$ і $a = 1$:

$$G = 0,5 \pm \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\pm t} e^{-t^3} dt, \quad (3.1)$$

де G – вага фракції в частках одиниці;

$a = \frac{d}{d_{cp}}$ – приведений розмір;

d – діаметр краплі;

d_{cp} – середній по вазі діаметр краплі в розпилі.

$$t = h \cdot \ln a. \quad (3.2)$$

Величина h стосовно до розглянутого випадку характеризує ступінь однорідності розпилу.

У рівнянні (3.1) значення плюс відноситься до верхньої, а мінус – до нижньої гілки загальної кривої розподілу. Межі інтегрування $-t$ і $+t$ варто розглядати як узагальнені величини, що відповідають граничним характеристикам розпилу по максимальних і мінімальних розмірах часток. Використовуючи наявні в літературі готові таблиці функцій $G(t)$, одержуємо, що при $t = 3,23$ $G(t) = 0,5$.

Таким чином, верхня межа інтегрування, що відповідає $G = 100\%$ по величині не може бути більшим, ніж 3,23. Отже, мінімальний розмір крапель у розпилі буде визначатися рівнянням

$$d_{\min} = d_{cp} \cdot e^{-\frac{2,3 \cdot 3,23}{h}}, \quad (3.3)$$

тобто мінімальний діаметр розпилу залежить від середнього діаметра і від однорідності розпилу, що характеризується величиною h . У свою чергу, середній діаметр розпилу є функція фізичних властивостей рідини, яка розпилюється, середовища і геометричних параметрів форсунки.

При обробці експериментального матеріалу встановлено, що величина h однакова для верхньої і нижньої гілки кривої. Її значення коливаються в межах від 1,62 до 2,63 – у середньому 2,3.

Виходячи з цього, мінімальний діаметр розпилу визначиться з рівняння $d_{\min} = d_{cp} \cdot e^{-\frac{2,3 \cdot 3,23}{2,3}}$ і буде дорівнювати:

$$d_{\min} = 0,04 \cdot d_{cp} \quad (3.4)$$

Максимальний діаметр розпилу може бути знайдений тільки експериментально. Використовувати для його визначення значення $t = h \cdot \ln a$ не можна, тому що хоча нижня частина узагальненої інтегральної кривої і прямує до значення $G = 0$ при $t_2 = 3,23$, фактично вона не може дорівнюва-

ти нулю. Значить межа інтегрування t_2 буде менше 3,23.

Оскільки частинки різного діаметру будуть мати різну швидкість падіння в абсорбері, необхідно для самих гірших умов (самі великі краплі) визначити їх кількість та швидкість падіння краплинок розчину сорбенту. Чим більший діаметр краплинок, тим менша їх загальна поверхня і менший час перебування частинок в абсорбері.

Дійсний максимальний розмір краплинок в розпилі може бути розрахований за формулою:

$$t_{\max} = h_2 \cdot \ln \frac{d_{\max}}{d_{\text{cp}}} \quad (3.5)$$

Дані таких вимірів для механічних форсунок наведені в таблиці.

Таблиця 3.1 – Вплив геометричних параметрів форсунки на дисперсність розпилу води

Діаметр отвору форсунки, d_c , мм	Кут конусності, α , °	Швидкість витікання, W , м/с	Середній діаметр розпилу, d_{cp} , мк	h_2	α_{\max}	t_{\max}	d_{\max} , експериментальний	d_{\max} , розрахунковий
3	180	8	195	2,44	5,384	1,794	1050	1170
3	180	6,22	220	2,50	5,640	1,844	1240	1320
3	180	3,46	385	2,57	6,00	1,999	2250	2310
3	120	6,22	190	2,50	5,85	1,918	1110	1140
3	120	4,56	225	1,90	5,56	1,410	1375	1350
3	90	3,46	320	1,90	5,42	1,395	1825	1920
3	90	6,22	175	2,00	5,51	1,482	1125	1050
3	60	6,22	190	2,22	5,38	1,622	1045	1140
3	60	4,15	265	2,28	5,68	1,719	1510	1590
3	30	4,15	213	2,50	5,30	1,810	1125	1175
3	30	3,46	252	1,90	5,85	1,457	1475	1512
3	60	8,0	155	1,90	5,30	1,376	1030	930
1,9	60	2,42	320	2,12	5,78	1,615	1850	1920
2,3	60	2,42	345	2,32	6,57	1,897	2275	2070
5,0	60	2,42	510	1,73	6,48	1,404	3300	3060
2,3	60	3,00	305	2,00	5,56	1,490	1700	1830

5,0	60	3,00	440	1,75	6,05	1,290	2675	2640
1,9	60	3,46	245	2,37	5,35	1,707	1305	1470
2,3	60	3,46	270	2,37	5,37	1,730	1450	1620
5,0	60	3,46	425	1,75	5,55	1,300	2350	2550

Межа інтегрування для нижньої гілки інтегральної кривої має середнє значення, рівне 1,82. Таким чином, рівняння для визначення d_{\max} можна привести до виду:

$$d_{\max} = d_{cp} \cdot e^{\frac{2,3 \cdot 1,82}{2,3}}, \text{ тобто } d_{\max} = 6 \cdot d_{cp} \quad (3.6)$$

4 МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС АБСОРБЕРУ

При розрахунках абсорбера з нелетючим рідким поглиначем масові або (мольні) витрати поглиначача та інертного, нерозчинного у рідині, газу будуть постійними по висоті абсорбера. Виражаючи концентрації компоненту, що поглинається у газі та рідині у відносних масових (або мольних одиницях), отримаємо рівняння матеріального балансу (у масових одиницях):

$$M = G(Y_n - Y_e) = L(X_n - X_e), \text{ кг/с}, \quad (4.1)$$

де M – витрати компоненту, що поглинається, кг/с;

G, L – витрати інертного газу і рідкого поглиначача, кг/с;

Y_n, Y_e – концентрації компоненту, що поглинається в газі унизу та наверху абсорбера, кг/кг інертного газу;

X_n, X_e – те ж у рідині унизу та наверху абсорбера, кг/кг рідкого поглиначача.

В координатах Y – X рівняння (4.1), при постійних G та L , відбиває відрізок прямої, що перетинає точки В [X_n, Y_n] и А [X_e, Y_e] – див. рис. 4.2.

Рівняння цієї прямої – робочої лінії:

$$Y = Y_n + \frac{L}{G}(X - X_n)$$

або

$$Y = Y_e + \frac{L}{G}(X - X_e). \quad (4.2)$$

де Y и X – перемінні за висотою колони концентрації компоненту, що поглинається в контактуючих нерівноважних потоках газу та рідини у наявному перетині абсорбера.

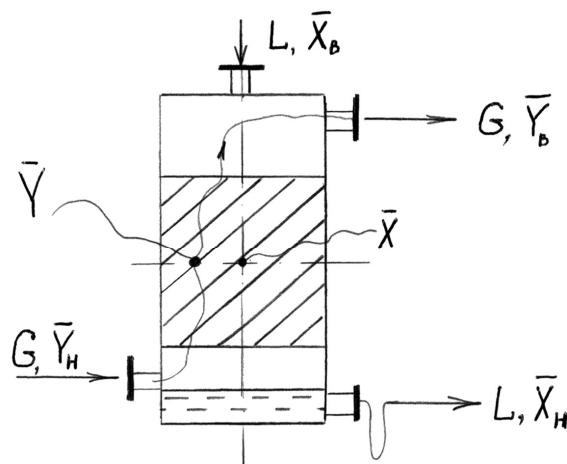
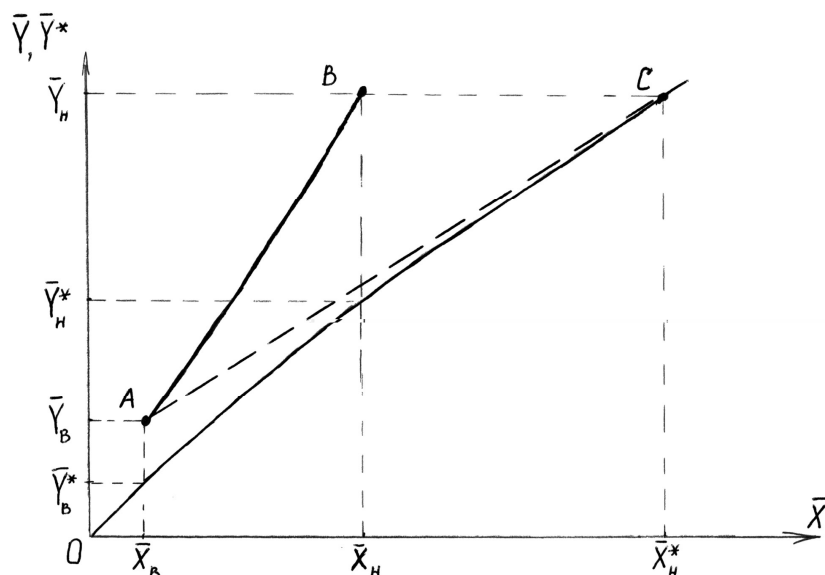


Рисунок 4.1 – Схема абсорбера



AB – робоча лінія за витратами поглиначя L ; AC – робоча лінія за витратами поглиначя L_{\min} ; OC – рівноважна лінія $Y^* = f(X)$.

Рисунок 4.2 – Робоча і рівноважна лінії абсорбера

Витрати рідкого поглиначя:

$$L = \varphi \cdot L_{\min} \quad (4.3)$$

де $\varphi > 1$ – коефіцієнт надлишку поглиначя;

L_{\min} – теоретично мінімальні витрати поглиначя, що визначаються графічним (рис. 4.2) або аналітичним шляхом.

$$L_{\min} = \frac{M}{X_H^* - X_B} \quad (4.4)$$

Ступінь поглинання:

$$C_n = \frac{Y_H - Y_B}{Y_H} \quad (4.5)$$

4.1 Середня рухома сила у абсорбері з безперервним контактом фаз

У загальному рівнянні масопередачі:

$$F = \frac{M}{K_y \cdot \Delta Y_{cp}}, \text{ м}^2, \quad (4.6)$$

де F – поверхня масопередачі у абсорбері, м^2 ;

M – витрати компоненту, що поглинається, кг/с ;

K_y – коефіцієнт масопередачі, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{кг інертного газу}}}$;

Середня рухома сила ΔY_{cp} визначається наступним чином.
Якщо у межах від X_e до X_n (рис. 4.2) лінія рівноваги пряма, то

$$\Delta Y_{cp} = \frac{\Delta Y_n - \Delta Y_e}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta Y_n}{\Delta Y_e}} \quad (4.7)$$

де ΔY_n і ΔY_e – кінцеві рухомі сили:

$\Delta Y_n = \Delta Y_n - \Delta Y_n^*$ вниз у абсорбера при $X = X_n$;

$\Delta Y_e = \Delta Y_e - \Delta Y_e^*$ наверху абсорбера при $X = X_e$.

Коли співвідношення ΔY_n і ΔY_e у межах $0,5 \leq \frac{\Delta Y_n}{\Delta Y_e} \leq 2$, середню рухому силу у абсорбері можна розрахувати за допомогою формули:

$$\Delta Y_{cp} = \frac{\Delta Y_n + \Delta Y_e}{2} \quad (4.8)$$

Якщо лінія рівноваги не є прямою, то

$$\Delta Y_{cp} = \frac{\Delta Y_n - \Delta Y_e}{\int_{Y_e}^{Y_n} \frac{dY}{Y - Y^*}} \quad (4.9)$$

Величини інтегралу у знаменнику останнього рівняння знаходять графічною побудовою або методом графічного інтегрування. Інший метод розрахунку при кривій лінії рівноваги: розбивають рівновагому лінію на частини, які приймаються приблизно за відрізки прямих, та окремо для кожного відрізка визначають середню рухому силу за допомогою рівняння (4.7) або (4.8).

При розрахунках абсорберів рухому силу часто виражають в одиницях тиску.

4.2 Визначення діаметру насадочного абсорбера

Діаметр абсорбційної колони D розраховують за рівнянням витрат газового потоку:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785\omega}} \text{ , м,} \quad (4.10)$$

де V – витрати газу, який проходить крізь абсорбер, м³/с;

ω – швидкість газу, віднесена до повного поперечного перетину колони (фіктивна), м/с.

Швидкість газу ω розраховують наступним чином.

Спочатку розраховують фіктивну швидкість газу ω_3 у точці захливання (інверсії) з рівняння (при $\rho_p \gg \rho_2$);

$$\lg \left(\frac{\omega_3^2 \sigma \rho_2 \mu_p^{0,16}}{g V_{cv}^3 \rho_p} \right) = A - 1,75 \left(\frac{L}{G} \right)^{0,25} \left(\frac{\rho_2}{\rho_p} \right)^{0,125}, \quad (4.11)$$

де σ – питома поверхня насадки, м²/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

V_{cv} – вільний об'єм насадки, м³/м³;

ρ_2 и ρ_p – щільності газу та рідини, кг/м³;

μ_p – динамічний коефіцієнт в'язкості рідини, мПа·с;

L и G – масові витрати рідини та газу, кг/с;

$A = 0,022$ – для насадки з кілець або спіралей.

Потім визначають робочу швидкість газу ω (фіктивну), приймаючи для абсорберів, працюючих в плівковому режимі:

$$\omega = (0,75 - 0,9)\omega_3 \quad (4.12)$$

Фіктивна швидкість газу в насадочних колонах, які працюють при так званому оптимальному гідродинамічному режимі (режим початку підвисання), може бути визначена з рівняння:

$$\text{Re}_r = 0,045 \cdot A_r^{0,57} \left(\frac{L}{G} \right)^{0,43}, \quad (4.13)$$

$$\text{де } \text{Re}_r = \frac{\omega d_e \rho_2}{V_{cv} \mu_2} = \frac{4\omega \rho_2}{\sigma \mu_2} \quad (4.14)$$

$\frac{\omega}{V_{cv}}$ – швидкість газу у вільному перетині насадки, м/с;

$$A_r = \frac{d_e^3 \rho_2 \rho_{ж}^g}{\mu_2^2} \quad (4.15)$$

$$d_e = \frac{4V_{cv}}{\sigma} \quad (4.16)$$

μ_2 – динамічний коефіцієнт в'язкості газу, Па·с.

4.3 Визначення висоти насадочного абсорбера

а) через висоту одиниці переносу.

Поверхня контакту фаз в абсорбері при плівковому режимі роботи:

$$F = H_n \cdot S \cdot \sigma \psi, \quad (4.17)$$

де H_n – висота шару насадки, м;

$S = \frac{\pi D^2}{4}$ – площа поперечного перетину колони, м²;

D – діаметр колони, м;

σ – питома поверхня сухої насадки, м²/м³;

ψ – коефіцієнт змоченості насадки;

Висота шару насадки:

$$H_n = \frac{G}{K_y S \sigma \psi} \int_{Y_e}^{Y_n} \frac{dY}{Y - Y^*} = h_{oy} n_{oy}, \quad (4.18)$$

де G – постійна по висоті колони витрата інертного газу, кг/с або кмоль/с;

K_y – середній коефіцієнт масопередачі; $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{кг інертного газу}}}$ або

$\frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль інертного газу}}}$;

$h_{oy} = \frac{G}{K_y S \sigma \psi}$ – висота одиниці переносу, м;

$n_{oy} = \int_{Y_e}^{Y_n} \frac{dY}{Y - Y^*}$ – загальне число одиниць переносу;

З рівняння (4.10) отримуємо:

$$n_{oy} = \frac{Y_n - Y_e}{\Delta Y_{cp}} \quad (4.19)$$

При прямолінійній рівновагомій залежності середню рухому силу ΔY_{cp} розраховують за рівнянням (4.8) або (4.9), при криволінійній рівнова-

гомій залежності число одиниць переносу винаходять графічною побудо-вою або методом графічного інтегрування.

Об'ємним коефіцієнтом масопередачі називають:

$$K_{yV} = K_y \sigma \psi = K_y \alpha, \quad (4.20)$$

де $\alpha = \sigma \psi$ – питома змочена (активна) поверхня насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$; при $\psi = 1$ та $\alpha = \sigma$.

Користуючись об'ємним коефіцієнтом масопередачі, отримуємо для висоти одиниць переносу:

$$h_{oy} = \frac{G}{K_y S \sigma \psi} = \frac{G}{K_{yV} S} \quad (4.21)$$

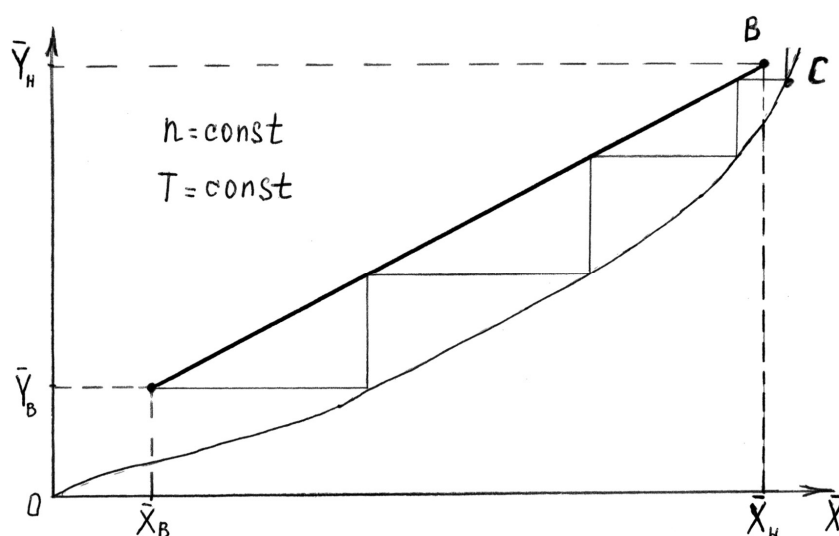


Рисунок 4.3 – Графічне визначення числа ступенів вимірювання концентрації (теоретичних тарілок) у абсорбері.

б) через висоту, яка еквівалентна теоретичній тарілці. Висота шару насадки H_H може бути розрахована також за рівнянням:

$$H_H = h_e n_T, \quad (4.22)$$

де h_e – висота, яка еквівалентна теоретичній тарілці або теоретичному ступеню, м (визначається завдяки експериментальним даним);

n_T – число теоретичних тарілок (ступенів змінення концентрацій).

Число теоретичних тарілок – ступенів змінення концентрацій у абсорбері визначається графічним шляхом (рис. 4.3). На цьому рисунку **AB** – робоча лінія, що побудована за рівняннями (4.2) або (4.3).

4.4 Критеріальні формули для розрахунку коефіцієнтів масовіддачі у насадочних абсорберах з неупорядкованою насадкою (навалом) при плівковому режимі

а) для газової фази:

$$\text{Nu}'_2 = 0,407 \text{Re}_2^{0,655} \left(\text{Pr}'_2 \right)^{0,33}, \quad (4.24)$$

$$\text{де } \text{Nu}'_2 = \frac{\beta_2 d_e}{D_2};$$

$$\text{Re}_2 = \frac{4\omega\rho_2}{\sigma\mu_2};$$

$$\text{Pr}'_2 = \frac{\mu_2}{\rho_2 D_2};$$

$$\beta_2 - \text{коефіцієнт масопередачі для газу, } \frac{\text{КМОЛЬ}}{\text{М}^2 \cdot \text{С}} \frac{\text{КМОЛЬ}}{\text{М}^3} = \frac{\text{М}}{\text{С}};$$

D_r – коефіцієнт компоненту, що поглинається у газі, $\text{м}^2/\text{с}$.

Рівняння (23) справедливе при значеннях Re від 10 до 10000.

б) для рідкої фази:

$$\text{Nu}'_p = 0,021 \text{Re}_p^{0,75} \left(\text{Pr}'_p \right)^{0,5}, \quad (4.25)$$

$$\text{де } \text{Nu}'_p = \frac{\beta_p \sigma_{np}}{D_p};$$

$$\text{Re}_p = \frac{4L}{S\sigma\psi\mu_p};$$

$$\text{Pr}'_p = \frac{\mu_p}{\rho_p D_p};$$

β_p – коефіцієнт масовіддачі для рідини, $\text{м}/\text{с}$;

$$\sigma_{np} = \left(\frac{\mu_p^2}{\rho_p^2 g} \right)^{\frac{1}{3}} - \text{так звана приведена товщина рідкої плівки, м};$$

D_p – коефіцієнт дифузії компоненту, що поглинається в рідині, $\text{м}^2/\text{с}$;

L – масові витрати рідини, $\text{кг}/\text{с}$.

Рівняння для критерію Re_p отримане наступним шляхом. Периметр перетину абсорбера, що змочується рідиною, знаходимо із рівняння (4.17).

$$\Pi = \frac{F}{H_n} = S\sigma\psi \quad (4.26)$$

Швидкість течії плівки рідини крізь насадку:

$$\omega_{p.пл.} = \frac{L}{\sigma_p \Pi \delta} = \frac{L}{\rho_p S \sigma \psi \delta}, \quad (4.27)$$

де δ – середня товщина плівки, м.

Еквівалентний діаметр рідкої плівки:

$$d_{пл} = \frac{4\Pi\delta}{\Pi} = 4\delta \quad (4.28)$$

Підставляючи ці значення до рівняння для критерію Re_p , отримуємо:

$$Re_p = \frac{\omega_{p.пл.} d_{пл} \rho_p}{\mu_p} = \frac{4L}{S\sigma\psi\mu_p} \quad (4.29)$$

5 РОЗРАХУНОК АБСОРБЕРУ

Висоту абсорберу визначаємо, виходячи із часу перебування частинок рідини в ньому:

$$H = \tau \cdot W, \quad (5.1)$$

де τ – час перебування частинок рідини в абсорбері, сек.;

W – швидкість газу в абсорбері, м/с.

Час перебування частинок рідини повинен бути таким, щоб забезпечити упарювання краплинок до сухого стану.

Час упарювання визначаємо по закону Фур'є:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t \cdot \tau, \quad (5.2)$$

де Q – кількість тепла, необхідна для упарювання рідини, ккал;

F – поверхня краплинок рідини, м²;

Δt – температурний напір, К;

k – коефіцієнт теплопередачі, ккал/м²·год·°К.

Температурний напір визначаємо за формулою:

$$\Delta t = \frac{t_g - t_n}{2,3 \cdot \lg \left(\frac{t_g}{t_n} \right)}, \quad (5.3)$$

де t_g – температура газів у верхній частині абсорберу, °С;

t_n – температура газів у нижній частині абсорберу, °С.

Кількість тепла, необхідна для упарювання рідини, визначаємо за формулою:

$$Q = h_{жс} (t_{кин} - t_{ex}) + h_{жс} \cdot \tau, \quad (5.4)$$

де $h_{жс}$ – витрата рідини на зрошення абсорберу, м³/год.;

$t_{кин}$ – температура кипіння, °С;

t_{ex} – температура рідини у верхній частині абсорберу, °С;

τ – захована теплота пароутворення, кДж/кг.

Поверхню краплинок рідини F визначаємо за формулою:

$$F = n \cdot 0,785 \cdot d^2, \quad (5.5)$$

де n – кількість краплинок;

d – діаметр краплинок, м.

Кількість краплинок визначається за формулою:

$$n = \frac{h_{жс}}{V_k}, \quad (5.6)$$

$$V_k = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad (5.7)$$

Необхідну поверхню краплинок вапняного розчину для абсорбції SO₂ розраховуємо за формулою:

$$G = K_y \cdot \Delta C_{cp} \cdot F'_{кр} \cdot \tau \quad (5.8)$$

де K_y – коефіцієнт масопередачі;

ΔC_{cp} – середня рушійна сила

$$\Delta C_{cp} = \frac{C_n - C_k}{\frac{2}{3} \lg \left(\frac{C_n}{C_k} \right)} \quad (5.9)$$

Розрахуємо кількість тепла, необхідного для упарювання до сухого стану краплинок вапняного розчину

$$Q = C \cdot (t_{вх} - t_{вих}) \cdot G \cdot \rho \quad (5.10)$$

6 РУКАВНІ ФІЛЬТРИ

6.1 Призначення та склад рукавного фільтру з імпульсною регенерацією

Рукавні фільтри – є високоефективним устаткуванням сучасної конструкції для очищення від пилу промислових газів у чорній та кольоровій металургії, хімічній промисловості, при виробництві будівельних матеріалів, у теплоенергетиці, деревообробній, целюлозно-паперовій, легкій та інших галузях промисловості.

Рукавні фільтри з імпульсною регенерацією можуть бути використані також в аспіраційних системах апаратів та виробничих приміщеннях, де відбувається пилевиділення, що забруднює атмосферу.

Використання в системах пилегазоочищення рукавних фільтрів дозволяє гарантовано забезпечити зниження викидів пилу в атмосферу значно нижче гранично припустимих норм. Застосування спеціальних фільтруючих матеріалів забезпечує зниження залишкового змісту пилу до 20 мг/м^3 і менш і уловлювання часток до 0,3 мікрон.

Позначення фільтрів складається з букв та цифр.

Наприклад, ФРІР-4600-01, де: Ф – фільтр; Р – рукавний; І – імпульсної; Р – регенерації; 4600 – площа поверхні фільтрації в м^2 ; 01 – модифікація фільтра по входу, виходу газу, що очищається; чи Ф-2-1250-03, де: Ф – фільтр; 2 – модифікація здвоєних фільтрів однакової продуктивності; 1250 – площа поверхні фільтрації одиничного фільтра в м^2 ; 03 – модифікація фільтра по входу, виходу газу, що очищається.

Додаткові букви, введені в позначення фільтра, характеризують спеціальне призначення фільтру: ПО – фільтр з вбудованим попереднім очищенням; Н – напірний фільтр (фільтр, що працює під надлишковим тиском); В – фільтр у вибухобезпечному виконанні; Т – фільтр підвищеного температурного режиму роботи.

Фільтри ФРІР – великої продуктивності являють собою окремо розташовані будівельні споруди, стійкі до кліматологічних навантажень; виконуються по індивідуальним замовленням за технічними вимогами проекту установки й умовами замовника.

Фільтри Ф, в основному, призначені для установки усередині приміщення, а при комплектації наметом можуть бути встановлені на відкритому повітрі при урахованні кліматологічних навантажень.

Механічне устаткування рукавних фільтрів усіх модифікацій складається з уніфікованих вузлів та елементів.

Фільтрувальні рукави, якими оснащені усі фільтри, виготовлені з голкопробивного фетру двох типів:

– з поліефірного волокна для очищення промислових газів, що мають робочу температуру до 135 °С;

– з термостійкого волокна для очищення промислових газів, що мають робочу температуру до 250 °С.

Керування роботою фільтрів виробляється керуючими пристроями різних типів: від електронних блоків автоматики до мікропроцесорних систем, здатних керувати не тільки роботою фільтра, але і всього устаткування газовідвідного тракту у взаємозв'язку з основним технологічним апаратом. Система керування поставляється разом з фільтром.

Склад типового фільтра показаний на рисунку 6.1.

6.2 Принцип роботи рукавного фільтра з імпульсною регенерацією

Рух газу в процесі фільтрації (див. рис. 6.1):

– забруднений газ через вхідний патрубок попадає усередину корпусу фільтра і направляється відбійним щитом (17), через іскропогашуючі аеродинамічні ґрати (16), у верхню частину камери забрудненого газу (9), чим забезпечується супутній рух потоку фільтрованого газу й зворотний – при регенерації;

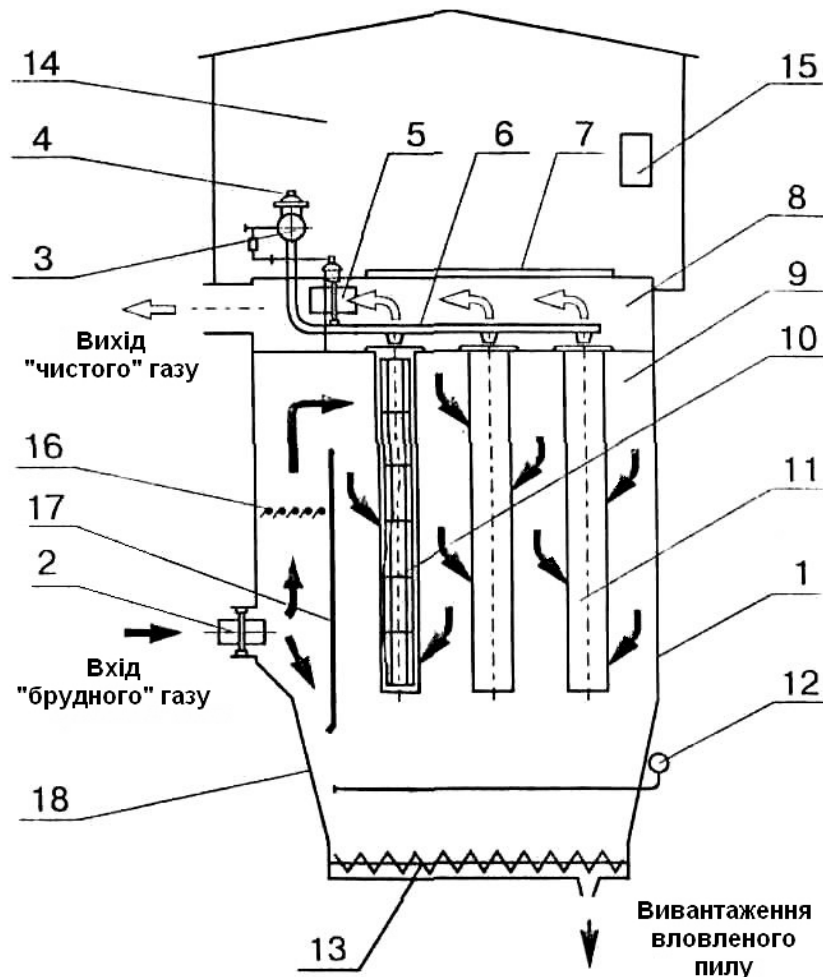
– пил, що відокремився при повороті потоку газів, несеться в бункер (18) через щілину між відбійним щитом і стінкою бункера;

– забруднений газ, пройшовши рукава (11) усередину, очищається від пилу і попадає в камеру очищеного газу (8), далі через вихідний патрубок, газовід та тягодутьовий пристрій – у димар.

При накопиченні пилу на зовнішній поверхні рукавів зростає загальний гідравлічний опір фільтра, що відслідковується приладом керування регенерацією (15), та по досягненні заданої величини автоматично включається система регенерації фільтрувальних рукавів;

– осушене стиснене повітря з накопичувача (3) через швидкодіючий продувочний клапан (4) та роздавальний колектор із соплами (6) імпульсно подається усередину рукавів і очищає їх як від пилу, який накопичився на зовнішній поверхні рукава у вигляді агломератів, так і від часток пилу, що проникнули усередину фільтрувального матеріалу.

Видалення уловленого пилу – уловлений пил через щілинний бункер (18) і вузол вивантаження пилу (13) відводиться у систему пиловидалення.



1 – корпус фільтра; 2 – відсічний клапан; 3 – накопичувач стиснутого повітря; 4 – продувний клапан; 5 – клапан відсічний; 6 – роздавальний колектор; 7 – знімна (відкидна) кришка; 8 – камера очищеного газу; 10 – каркас рукава; 11 – фільтрувальний рукав; 12 – система пневмообрушення; 13 – вузол вивантаження пилу; 14 – намет фільтра; 15 – пристрій керування регенерацією; 16 – аеродинамічні ґрати; 17 – відбійний щит; 9 – камера забрудненого газу; 18 – бункер

Рисунок 6.1 – Принцип роботи рукавного фільтра з імпульсною регенерацією

6.3 Особливості конструкції рукавного фільтра

З метою більш повного задоволення потреб замовника, підвищення надійності, поліпшення умов експлуатації й умов праці Розроблювачі фільтрів застосовують ряд технічних рішень, що розширюють функціональні можливості конструкції фільтрів.

Конструктивно рукавний фільтр розроблений у вигляді проектно-компонованого виробу, що складається з уніфікованих вузлів та елемен-

тів, освоєних у виробництві, що дозволяє, при відсутності необхідної модифікації, з мінімальними витратами розробити фільтр за умовами замовника.

Застосування рукавних фільтрів дає можливість скоротити капітальні та експлуатаційні витрати в зв'язку зі зменшенням габаритів і займаних виробничих площ, а також за рахунок автоматизації систем регенерації і зменшення чисельності обслуговуючого персоналу.

Робота рукавного фільтру оптимально автоматизована. Набір пристроїв та систем керування, що поставляються з фільтром, дозволяє, при необхідності, крім керування власне фільтром здійснювати керування роботою усього газовідводячого тракту у сукупності з роботою технологічного агрегату.

Поліпшення умов експлуатації фільтра здійснюється за рахунок передбаченої повузлової заміни основного устаткування при його ремонтах, зручний демонтаж-монтаж фільтрувальних елементів (рукавів та каркасів) при їхній заміні, виконання усіх робіт з обслуговування та ремонту тільки з «чистої» сторони фільтру.

Для пилу, схильного до зводоутворення, щілинні бункери обладнуються додатково системою пневмообрушення.

Підвищення ефективності регенерації та збільшення тривалості роботи рукавів відбувається за допомогою в системі керування фільтра можливості проводити регенерацію рукавів у наступних режимах:

- у потоці газів;
- з відсіченням потоку по «чистій» стороні;
- з відсіченням потоку по «чистій» і «брудній» стороні фільтра;
- з паузою для осадження пилу в секції;
- з регулюванням кількості газу, що надходить у секцію після регенерації;
- у циклічному режимі;

Окремі модифікації фільтра, при необхідності, обладнуються системами вбудованого попереднього очищення і пристроями іскрогасіння.

Місцевий обігрів пневмообладнання передбачається при установці фільтрів у неопалюваному приміщенні.

6.4 Розрахунок рукавних фільтрів

Основним показником при розрахунках рукавних фільтрів є площа фільтрації

Для приблизного розрахунку площі фільтрації рукавного фільтру необхідно визначити загальну витрату запилених газів, які надходять на фільтр та витрату продувних газів або повітря. Крім цього, потрібно знати

допустимі навантаження по газу (швидкість фільтрації), яку приймають в залежності від методу регенерації, властивостей пилю та матеріалу. Для імпульсної продувки фільтрів приймається швидкість фільтрації 0,02 м/с.

Загальна площа фільтрації установки:

$$S = S_p + S_c = \frac{Q_1 + Q_2}{\omega} + S_c, \quad (6.1)$$

де S_p – площа фільтрації в одночасно працюючих секціях, м²;

S_c – площа фільтрації в секції, що регенерується, м²;

Q_1 – витрата запилених газів з урахування підсосу, м³/год;

Q_2 – витрата продувних газів, м³/год;

ω – швидкість фільтрації, м/год.

$$Q_2 = 5\% \cdot Q_1; \quad (6.2)$$

$$S_c = 5\% \cdot S_p$$

Визначивши загальну площу тканини, знаходимо кількість фільтрів

$$n = \frac{S}{S_1}, \quad (6.3)$$

де S_1 – площа тканини в одному рукаві, м².

Площу одного рукава визначаємо як добуток твірної на висоту елемента:

$$S_1 = S_{ц\ бок} = 2\pi RH, \quad (6.4)$$

де H – довжина рукавів, м;

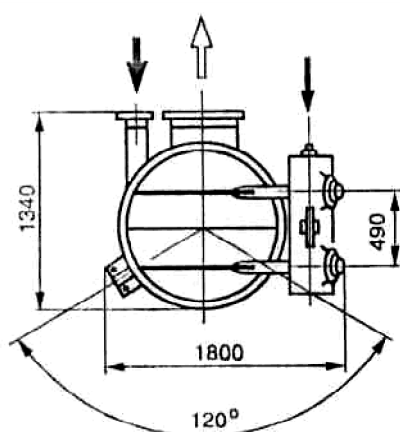
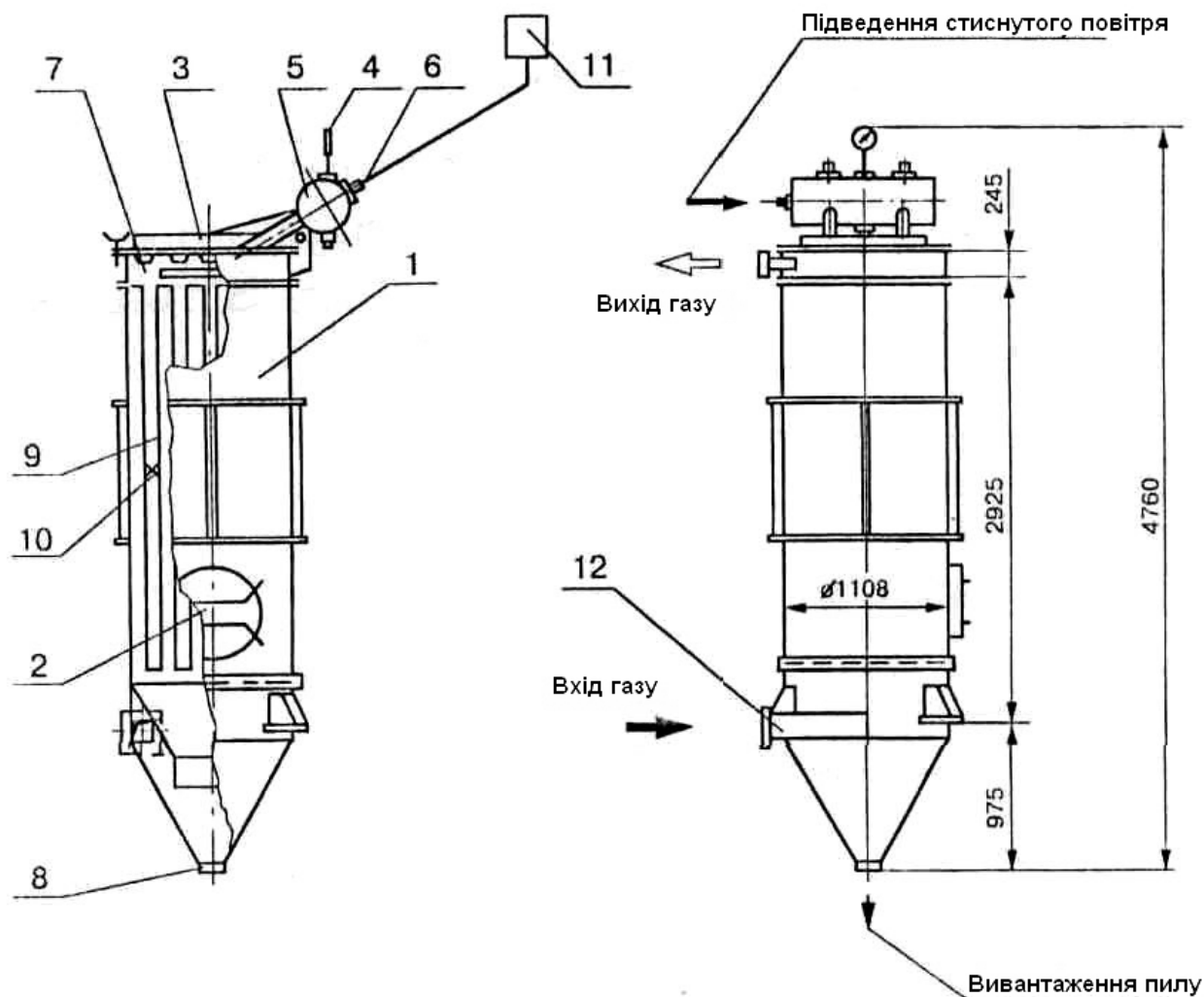
R – радіус рукавів, м.

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. Справ. изд. в 2-х ч. Ч. 1: Пер. с англ./ Под ред. Калверта С., Инглунда Г.М.М.: Metallurgia, 1988. – 760 с.
2. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. Справ. изд. в 2-х ч. Ч. 2. Пер. с англ./ Под ред. Калверта С., Инглунда Г.М.М.: Metallurgia, 1988. – 712 с.
3. Скрябина Л.Я. Атлас промышленных пылей. Часть I. Летучая зола тепловых электростанций / Промышленная и санитарная очистка газов. Серия ХМ-14. – М.: ЦИНТПХИМнефтемаш, 1980. – 48 с.
4. Скрябина Л.Я. Атлас промышленных пылей. Часть II. Летучая зола тепловых электростанций / Промышленная и санитарная очистка газов. Серия ХМ-14. – М.: ЦИНТПХИМнефтемаш, 1981. – 38 с.
5. Скрябина Л.Я. Атлас промышленных пылей. Часть III. Летучая зола тепловых электростанций / Промышленная и санитарная очистка газов. Серия ХМ-14. – М.: ЦИНТПХИМнефтемаш, 1982. – 45 с.
6. Гордон Г.М., Пейсахов И.Л. Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии. – М.: Metallurgia, 1977. – 456 с.
7. Старк С.Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии. – М.: Metallurgia, 1997. – 328 с.
8. Циклоны. Указания по изготовлению и подбору материала для проектирования. – Киев: КФ ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 46 с.
9. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под общ. Ред. А.А. Русанова. – М.: Энергия, 1975. – 296 с.
10. Страус В. Промышленная очистка газов: Пер. с англ. – М.: Химия, 1981. – 616 с.
11. Рукавные фильтры / М.Л. Моргулис, М.Г. Мазус, А.С. Мандрико, М.И. Биргер. – М.: Машиностроение, 1977. – 256 с.
12. Кузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. – Л.: Химия, 1987. – 264 с.
13. Ужов В.Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами. – М.: Химия, 1967. – 344 с.
14. Рихтер Л.А. Тепловые электрические станции и защита атмосферы. – М.: Энергия, 1975. – 312 с.
15. Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю. Подготовка промышленных газов к очистке. – М.: Химия, 1975. – 216 с.

ДОДАТОК А ФІЛЬТР РУКАВНИЙ ФРІР-25



ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА

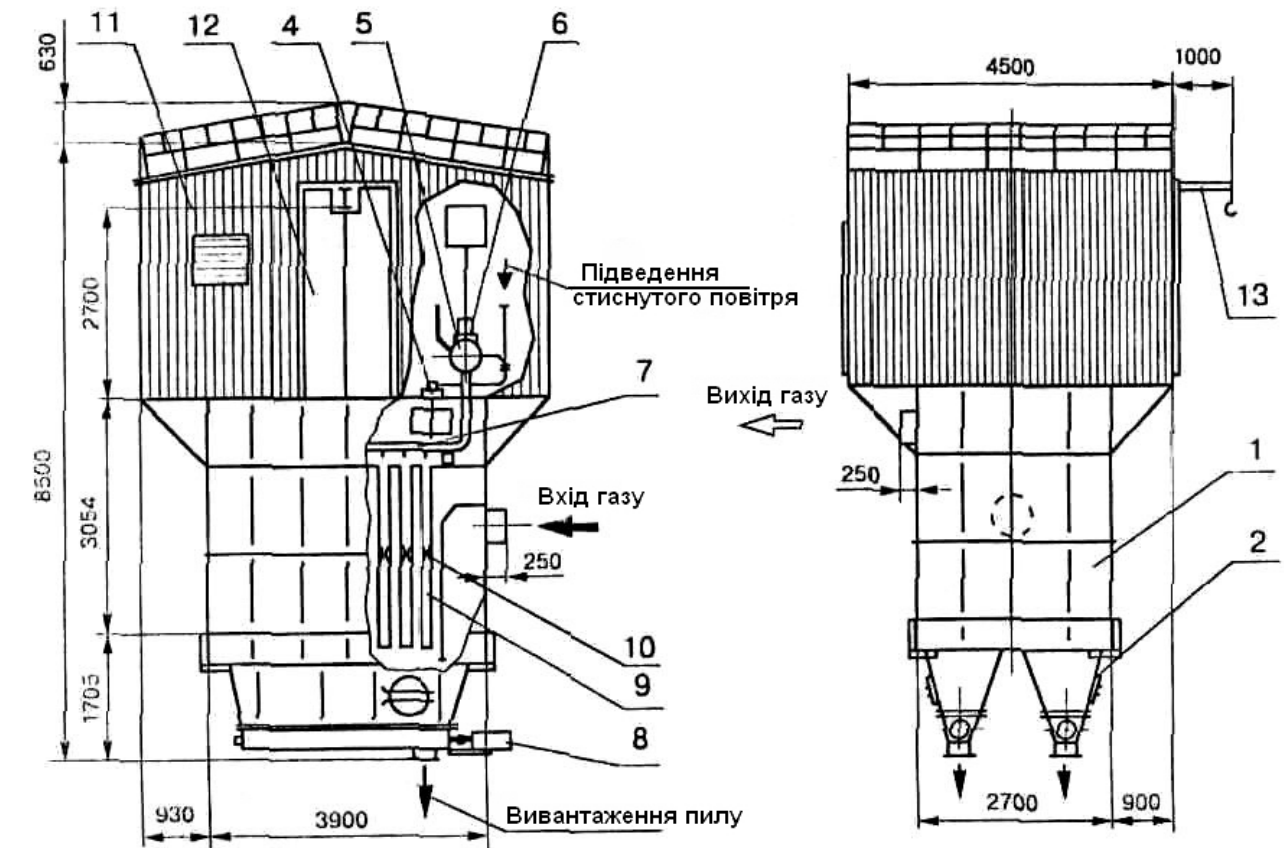
1. Продуктивність за газом, що очищається, тис. м ³ /год	2,25...3,0
2. Питоме газове навантаження, м ³ /м ² ·хв	1,5...2,0
3. Площа поверхні фільтрування, м ²	25
4. Припустима температура газу, що очищається, °С	не більше 135
5. Запиленість газу на виході з фільтра, мг/м ³	не більше 20
6. Гідравлічний опір фільтра, кПа	не більше 2,0
7. Тиск стиснутого повітря, МПа	не більше 0,6
8. Витрата стиснутого повітря, м ³ /год	не більше 3,0
9. Кількість рукавів фільтрувальних, шт	24
10. Розміри рукава фільтрувального, мм	
- діаметр зовнішній	133
- довжина	2500
11. Маса фільтра, кг	1300

ФІЛЬТР РУКАВНИЙ ФРІР-25

- 1 – корпус фільтра;
- 2 – люк;
- 3 – кришка відкидна;
- 4 – манометр;
- 5 – нагнітач стиснутого повітря;
- 6 – клапан продувний;
- 7 – розподільна камера;

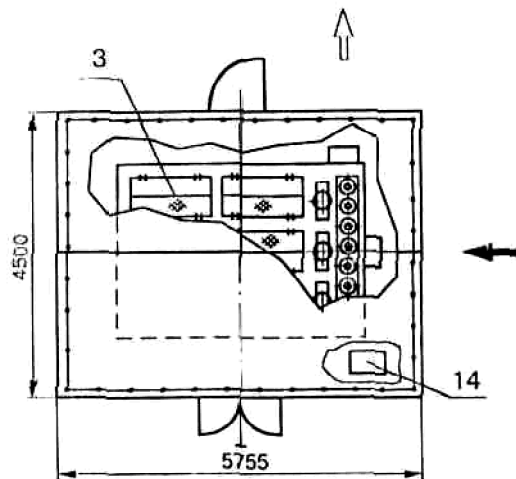
- 8 – патрубок вивантаження пилу;
- 9 – рукав фільтрувальний;
- 10 – каркас рукава;
- 11 – шафа управління автоматики системи; регенерації (ШУАСР) ;
- 12 – інерційне передочищення.

ДОДАТОК Б ФІЛЬТР РУКАВНИЙ Ф-1-165-01



ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА

1. Продуктивність по газу, що очищається, тис. м ³ /год,	15...20
2. Питоме газове навантаження, м ³ /м ² ·хв	1,5...2,0
3. Площа поверхні фільтрування, м ²	165
4. Припустима температура газу, що очищається, °С,	не більше 135
5. Запиленість газу на виході з фільтра, мг/м ³ ,	не більше 20
6. Гідралічний опір фільтра, кПа,	не більше 2,0
7. Тиск стиснутого повітря, МПа,	не більше 0,6
8. Витрата стиснутого повітря, м ³ /рік,	не більше 20
9. Кількість рукавів фільтрувальних, шт	192
10. Розміри рукава фільтрувального, мм	
- діаметр зовнішній	133
- довжина	2250
11. Маса фільтра, кг	10200
у тому числі:	
- механічне устаткування	5200
- корпус фільтра	5000
12. Маса намету фільтра, кг	8400

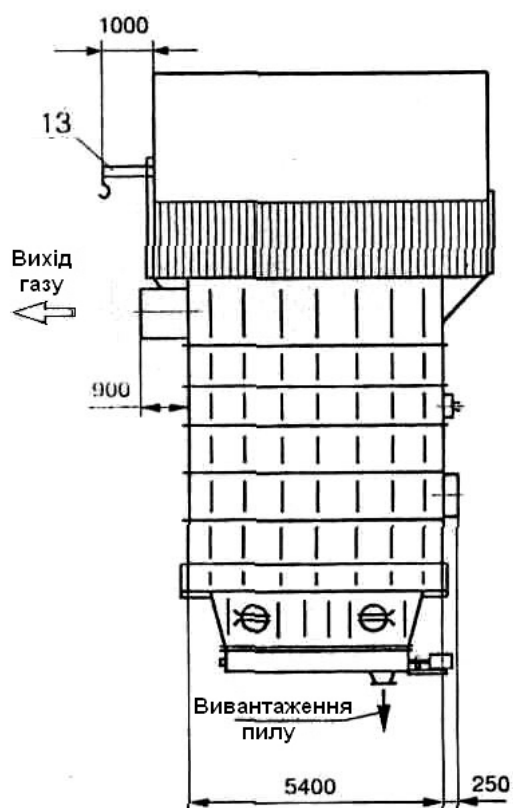


ФІЛЬТР РУКАВНИЙ Ф-1-165-01

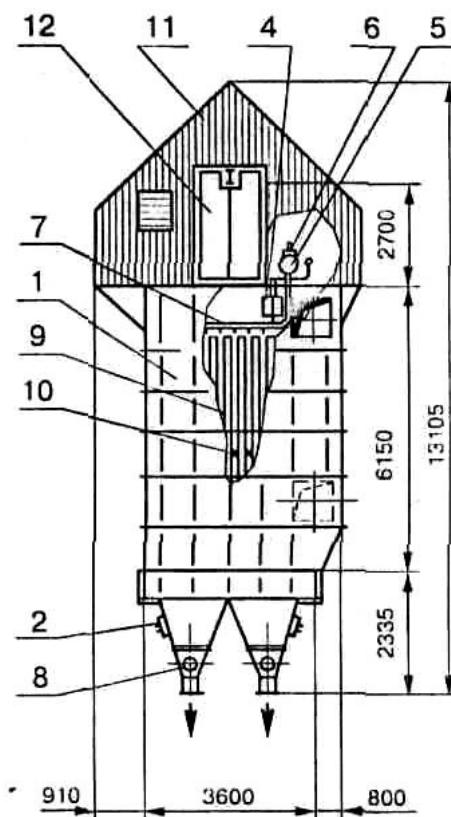
1 – корпус фільтра; 2 – люк; 3 – кришки відкидні; 4 – клапан відсічний; 5 – нагнітач стиснутого повітря; 6 – клапан продувний; 7 – колектор роздавальний; 8 – вузол вивантаження пилу; 9 – рукав фільтрувальний; 10 – каркас рукава; 11 – намет фільтра; 12 – ворота вантажного прорізу; 13 – рейка під вантажопідйомний пристрій; 14 – шафа управління автоматики системи регенерації (ШУАСР).

ДОДАТОК В

ФІЛЬТР РУКАВНИЙ Ф-1-800-01

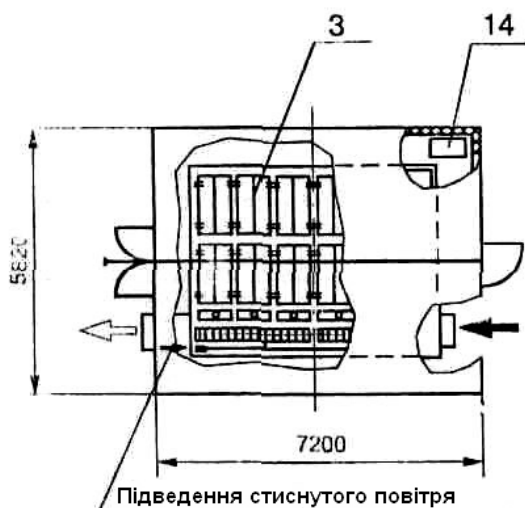


← Вхід газу



ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА

1. Продуктивність по газу, що очищається, тис. м ³ /год,	72...96
2. Питоме газове навантаження, м ³ /м ² ·хв	1,5...2,0
3. Площа поверхні фільтрування, м ²	800
4. Припустима температура газу, що очищається, °С,	не більше 135
5. Запиленість газу на виході з фільтра, мг/м ³ ,	не більше 20
6. Гідравлічний опір фільтра, кПа,	не більше 2,0
7. Тиск стиснутого повітря, МПа,	не більше 0,6
8. Витрата стиснутого повітря, м ³ /рік,	не більше 100
9. Кількість рукавів фільтрувальних, шт	384
10. Розміри рукава фільтрувального, мм	
- діаметр зовнішній	133
- довжина	5140
11. Маса фільтра, кг	22770
у тому числі:	
- механічне устаткування	10270
- корпус фільтра	12500
12. Маса намету фільтра, кг	10600

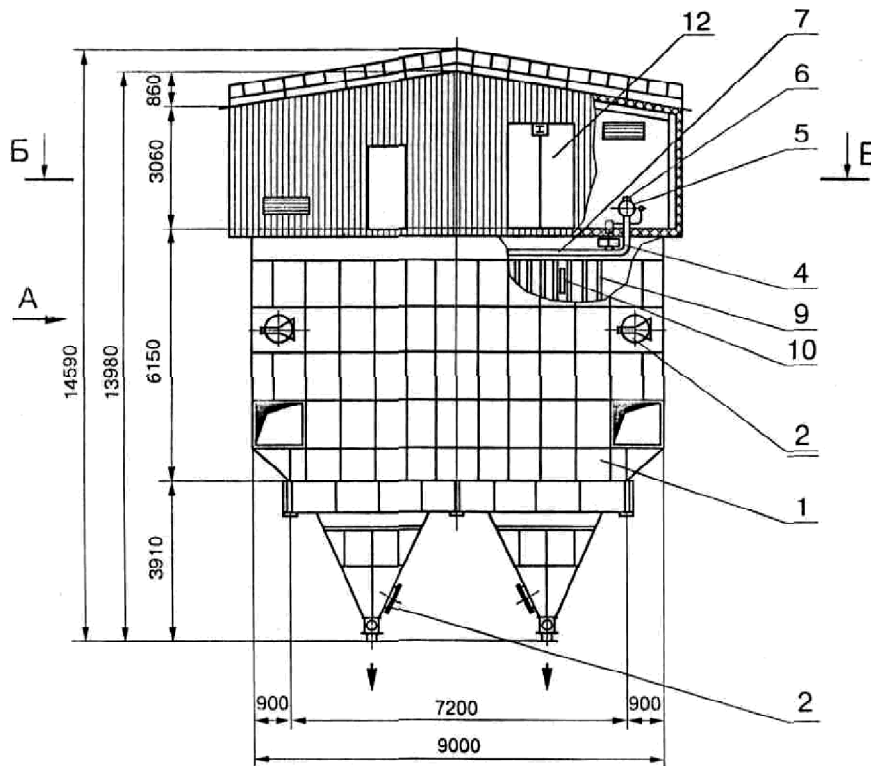


ФІЛЬТР РУКАВНИЙ Ф-1-800-01

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1 – корпус фільтра; | 9 – рукав фільтрувальний; |
| 2 – люк; | 10 – каркас рукава; |
| 3 – кришки відкидні; | 11 – намет фільтра; |
| 4 – клапан відсічний; | 12 – ворота вантажного прорізу; |
| 5 – нагнітач стиснутого повітря; | 13 – рейка під вантажопідйомний пристрій; |
| 6 – клапан продувний; | 14 – шафа управління автоматики системи |
| 7 – колектор роздавальний; | регенерації (ШКАСР). |
| 8 – вузол вивантаження пилу; | |

ДОДАТОК Г

ФІЛЬТР РУКАВНИЙ Ф-2-1000-01



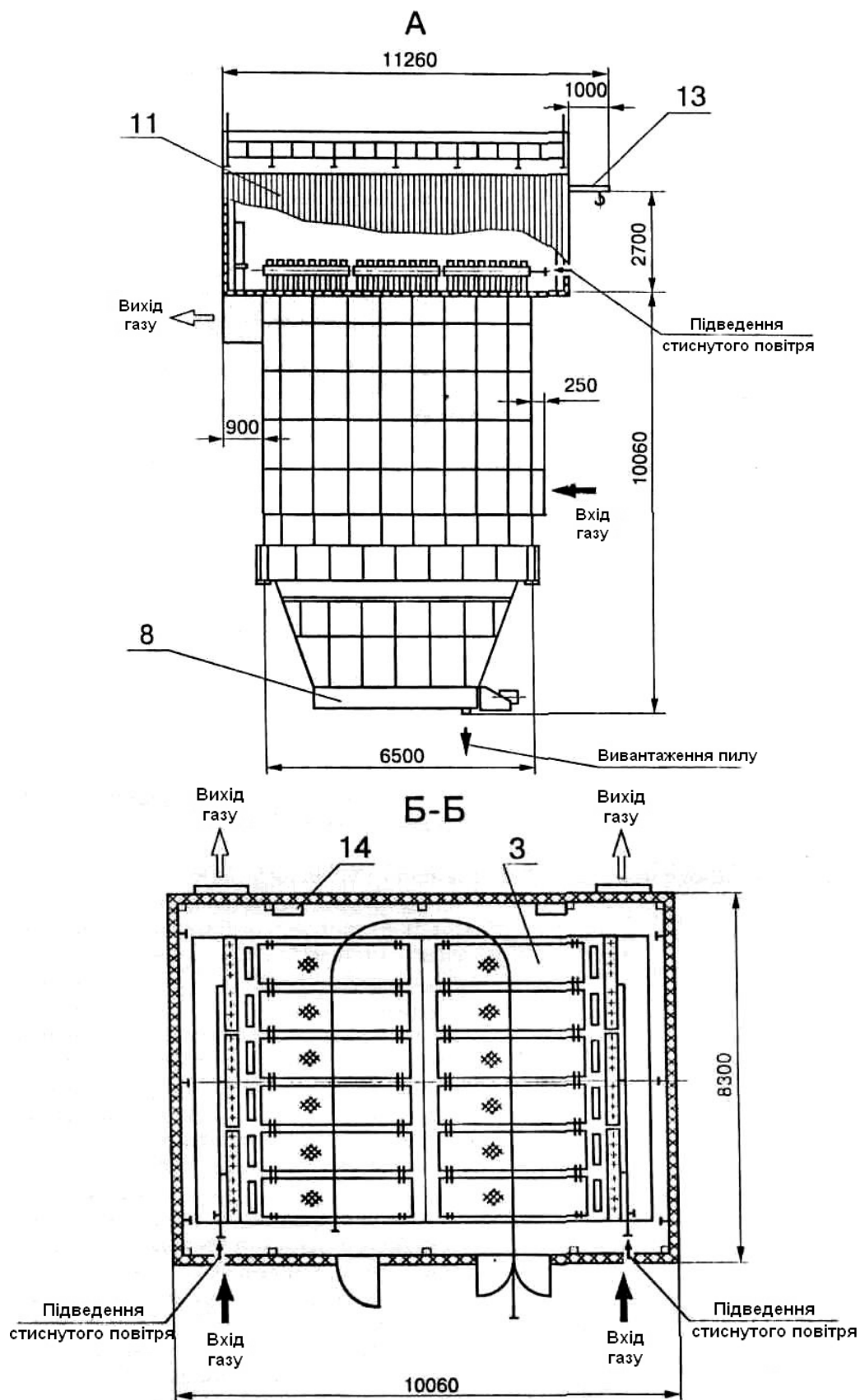
ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА

1. Продуктивність по газу, що очищається, тис. м ³ /год,	2×90...2×120
2. Питоме газове навантаження, м ³ /м ² ·хв	1,5...2,0
3. Площа поверхні фільтрування, м ²	2×1000
4. Припустима температура газу, що очищається, °С,	не більше 135
5. Запиленість газу на виході з фільтра, мг/м ³ ,	не більше 20
6. Гідравлічний опір фільтра, кПа,	не більше 2,0
7. Тиск стиснутого повітря, МПа,	не більше 0,6
8. Витрата стиснутого повітря, м ³ /рік,	не більше 2×120
9. Кількість рукавів фільтрувальних, шт	2×480
10. Розміри рукава фільтрувального, мм	
- діаметр зовнішній	133
- довжина	5140
11. Маса фільтра, кг	52240
у тому числі:	
- механічне устаткування	22900
- корпус фільтра	29340
12. Маса намету фільтра, кг	13500

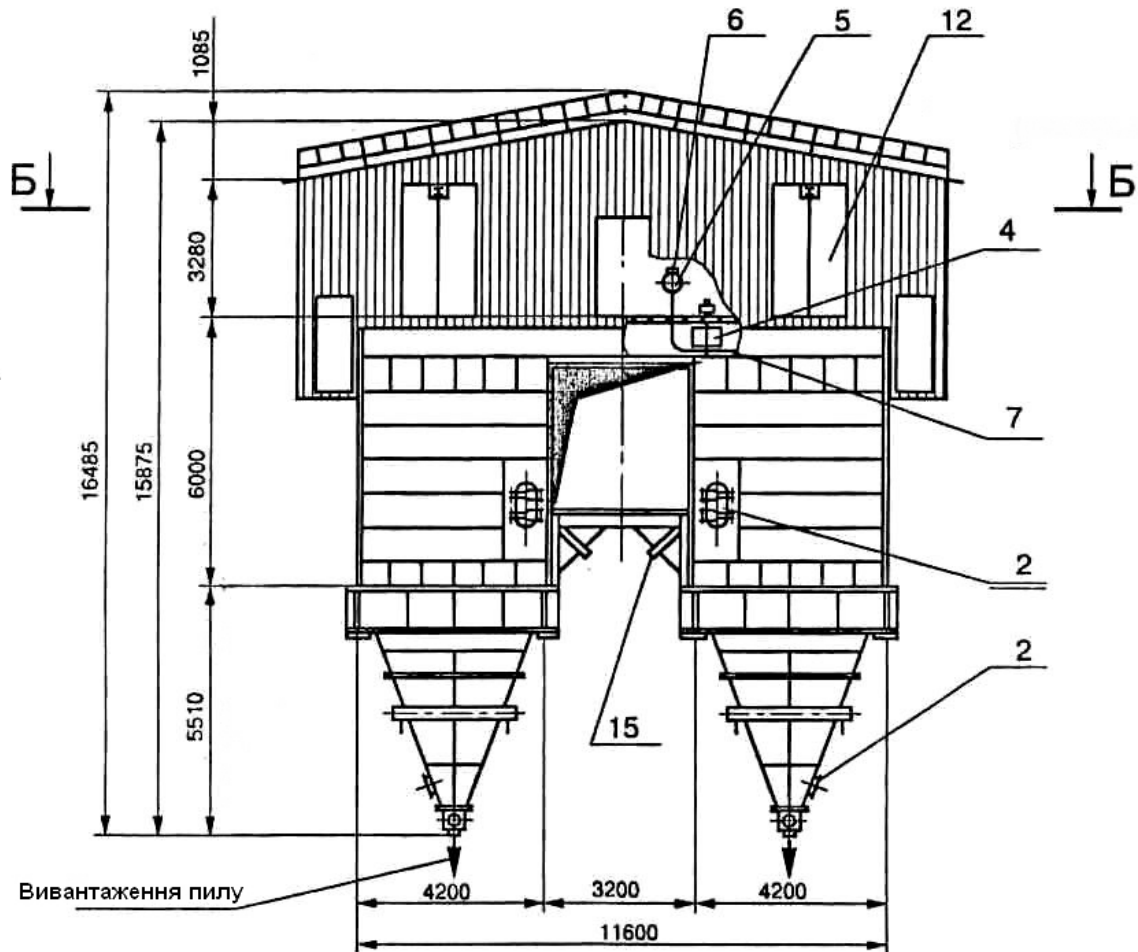
ФІЛЬТР РУКАВНИЙ Ф-2-1000-01

1 – корпус фільтра;	9 – рукав фільтрувальний;
2 – люк;	10 – каркас рукава;
3 – кришки відкидні;	11 – намет фільтра;
4 – клапан відсічний;	12 – ворота вантажного прорізу;
5 – нагнітач стиснутого повітря;	13 – рейка під вантажопідйомний пристрій;
6 – клапан продувний;	14 – шафа управління автоматики системи регенерації (ШКАСР).
7 – колектор роздавальний;	
8 – вузол вивантаження пилу;	

ДОДАТОК Д ФІЛЬТР РУКАВНИЙ Ф-2-1000-01



ДОДАТОК Ж ФІЛЬТР РУКАВНИЙ ФРІР-9500



ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА

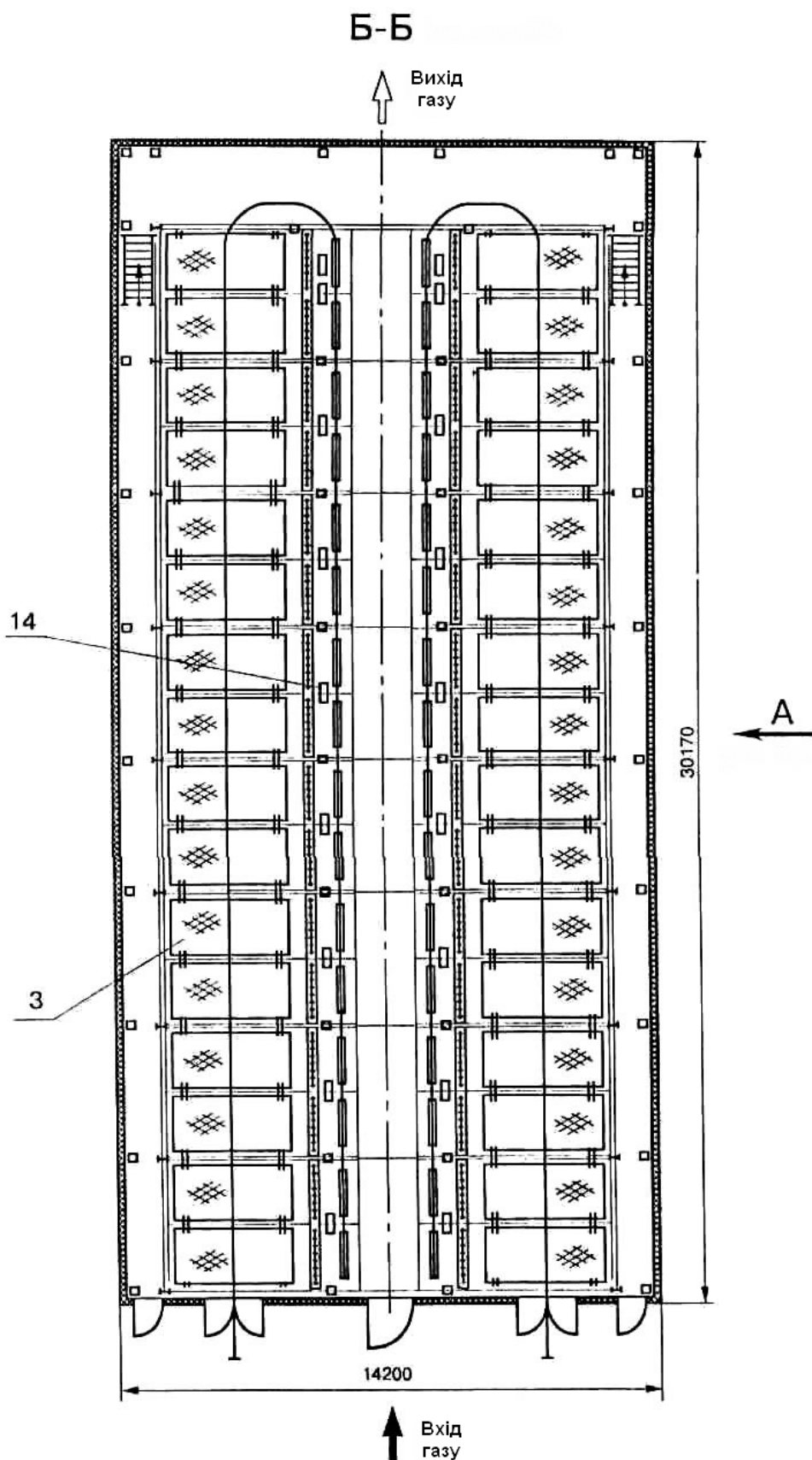
1. Продуктивність по газу, що очищається, тис. м ³ /год,	850...1100
2. Питоме газове навантаження, м ³ /м ² ·хв	1,5...2,0
3. Площа поверхні фільтрування, м ²	9500
4. Припустима температура газу, що очищається, °С,	не більше 135
5. Запиленість газу на виході з фільтра, мг/м ³ ,	не більше 20
6. Гідралічний опір фільтра, кПа,	не більше 2,0
7. Тиск стиснутого повітря, МПа,	не більше 0,6
8. Витрата стиснутого повітря, м ³ /рік,	не більше 1100
9. Кількість рукавів фільтрувальних, шт	4608
10. Розміри рукава фільтрувального, мм	
- діаметр зовнішній	133
- довжина	5140
11. Маса фільтра, кг	275000
у тому числі:	
- механічне устаткування	119000
- корпус фільтра	156000
12. Маса намету фільтра, кг	65000

ФІЛЬТР РУКАВНИЙ ФРІР-9500

1 – корпус фільтра; 2 – люк; 3 – кришки відкидні; 4 – клапан відсічний; 5 – нагнітач стиснутого повітря; 6 – клапан продувний; 7 – колектор роздавальний; 8 – вузол вивантаження пилу; 9 – рукав фільтрувальний; 10 – каркас рукава; 11 – намет фільтра; 12 – ворота вантажного прорізу; 13 – рейка під вантажопідйомний пристрій; 14 – розподілена система управління; 15 – клапан розподільний; 16 – прилад пневмообрушення; 17 – люк оглядовий

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Очищення промислових газових викидів»

ДОДАТОК 3 ФІЛЬТР РУКАВНИЙ ФРІР-9500



ДОДАТОК К
ФІЛЬТР РУКАВНИЙ ФРІР-9500

