

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ**

кафедра прикладної екології та охорони праці

## **Кваліфікаційна робота**

бакалавра

---

на тему Удосконалення системи очищення технологічних газів  
агломераційного виробництва

Виконав: студент 4 курсу, групи ЗНС-18-1бд

Спеціальності 183 Технології захисту

навколишнього середовища

Освітньої програми Технології захисту

навколишнього середовища

В.С. Іванов

Керівник доцент, к.т.н., Румянцев В.Р.

Рецензент \_\_\_\_\_

М. Запоріжжя

2022



## АНОТАЦІЯ

Іванов В.С. Удосконалення системи очищення технологічних газів агломераційного виробництва

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавра за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища, науковий керівник В.Р. Румянцев. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра прикладної екології та охорони праці, 2022.

Здійснено огляд процесу виробництва агломерату, виявлені джерела газових викидів під час агломерації. Наведений перелік токсичних речовин, що утворюються на етапах технологічного ланцюга переробки. Проаналізовано основні методи боротьби зі шкідливими викидами пилу, який утворюється під час агломерації здійснено їх порівняння з технологічної, економічної та екологічної точок зору. Встановлено оптимальний спосіб знепилення газових викидів в атмосферу. Розглянуто питання охорони праці та техногенної безпеки при виробництві агломерату.

Ключові слова: агломераційне виробництво, відхідні гази, знепилення викидів, рукавний фільтр.

## ABSTRACT

Ivanov V.S. Improved purification system for process gases of sintering plant  
Graduation qualification for the higher education level of a bachelor for the specialty 183 Technology for the science of science, science scientist V.R. Rumiantsev. Zaporizhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after M.Yu. Potebny, Department of Applied Ecology and Protection of Works, 2022.

An overview of the process of sintering the agglomerate was made, and a gas wiki was identified during the hour of agglomeration. Indications of a lot of toxic

speeches that are established at the stages of a technological process of processing. Analyzed the main methods of combating sloppy saw blades, which are established during the agglomeration period, it is established that they are equal to the technological, economical and ecological point of dawn. The optimal method for venting gas vents into the atmosphere has been established. The food for the protection of practical work and technogenic safety in the process of sintering is considered.

Key words: agglomeration sintering, vent gas, sintering wiki, sleeve filter.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИБОРНИЦТВА .....	9
1.1 Способи отримання збагаченого рудного концентрату.....	9
1.2 Агломашины конвейерного типу.....	9
1.2.1 Розрахунки параметрів агломераційної машини.....	15
1.2.2 Вдосконалення конструкцій агломашин .....	17
1.3 Висновки .....	19
2 ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБУ ОЧИЩЕННЯ ВІД ПИЛУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ГАЗІВ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА .....	20
2.1 Особливості технології процесу.....	20
2.1.1 Технологія випалу вапняку та стадії процесу агломерації.....	22
Запалювання шихти .....	
2.2 Аналіз і вибір ефективної системи очищення газів .....	25
2.2.1 Апарати мокрої очистки .....	26
2.2.2 Апарати сухого очищення газів .....	36
2.2.3 Рукавні фільтри та методика їх розрахунку.....	52
2.3 Використання електрофільтрів для знепилювання відхідних газів .....	62
2.4 Висновки .....	64
3 ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	65
3.1 Виявлення та оцінка шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища .....	65

	6
3.1.1 Заходи з поліпшення умов праці.....	67
3.2 Виробнича санітарія .....	68
3.2.1 Мікроклімат.....	68
3.2.3 Опалення й вентиляція .....	72
3.2.4 Інженерний розрахунок природної вентиляції приміщення цеху .	73
3.3 Засоби пожежної безпеки.....	77
3.4 Техногенна безпека.....	78
3.4.1 Заходи, спрямовані на ліквідацію надзвичайних ситуацій .....	78
3.5 Висновки .....	80
ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Захист навколишнього середовища від шкідливих викидів є однією з найгостріших проблем сучасності у світовому масштабі. Сильне забруднення атмосфери, світового океану і ґрунту, що різко зросло, внаслідок бурхливого розвитку промисловості, хімічне навантаження на біосферу вже зараз загрожує існуванню біологічного життя [1,2].

Захист атмосфери від забруднення є світовою проблемою, оскільки промислові викиди зростають у всіх індустріально розвинутих країнах та зростання їх приблизно пропорційне рівню промислового виробництва у цих країнах.

Однією з провідних галузей промисловості України є металургія. Робота металургійних підприємств призводить до значного навантаження на навколишнє середовище. Загалом в Україні підприємства металургійної промисловості припадає близько 20...25% загальних викидів у повітря, а в районах розташування великих металургійних заводів і комбінатів понад половину всіх забруднень[3]. Значну частку у цих викидах займає агломераційне виробництво.

Тому актуальною є проблема знешкодження технологічних викидів в атмосферу від технологічних процесів отримання агломерату.

**Мета роботи** – обґрунтування використання фільтрації відхідних газів як оптимального способу знепилення викидів в атмосферу при виробництві агломерату.

**Задачі дослідження.** Для досягнення поставленої мети в роботі визначено перелік задач:

- проаналізувати технологічний процес отримання агломерату з точки зору утворення забруднювачів атмосфери;
- провести аналіз існуючих методів пиловловлювання;
- обґрунтувати доцільність використання рукавних фільтрів для знепилення технологічних викидів в атмосферу.

**Об'єкт дослідження** – процес очищення технологічних газів агломераційного виробництва.

**Предмет дослідження** – процес виробництва агломерату, методи знешкодження технологічних викидів в атмосферу агловиробництва.

**Методи та засоби дослідження.** Задачі дослідження виконувались з використанням спеціалізованої літератури та технічної документації устаткування. Був здійснений аналіз перелічених джерел з викладенням ключових складових процесу очищення газів і основ функціонування газоочисного обладнання.

**Наукова новизна.** Обрано оптимальне газоочисне устаткування для зменшення техногенного навантаження від забруднення атмосфери при виробництві агломерату.

**Практична цінність.** Кінцеві положення дослідження можуть бути використані з метою подальшого налаштування відповідних систем очищення технологічних газів.

**Структура та обсяг роботи.** Бакалаврська робота включає вступ, три розділи, висновки та список використаних джерел. Загальний обсяг сторінок 87.



# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

## 1.1 Способи отримання збагаченого рудного концентрату

В промисловості отримали розповсюдження два способи отримання згрудкованого рудного концентрату у вигляді котунків та шматків агломерату. В першому випадку використовується шихта, що складається з обертання, збагаченого концентрату залізної руди, тонко подрібнений вапняк, повернення відходів готової продукції [1-4]. Дана шихта перемішується в барабані з добавкою бентоніту, як сполучного елементу і води, направляється до гранулятора у вигляді обертального барабану, чашевого або тарільчатого окомковувача. Підготовлені сирі котунки подаються до стрічкової спікальної машини, де проходять три стадії: підігрів, сушіння і випал; охолодження. Далі на грохоті проводиться розподіл продукції по фракціям: більше 10 мкм йде у домену піч, а менше на переробку. Як видно, це дуже складний і тривалий процес з використанням складного різноманітного обладнання, що має низьку продуктивність і відносно високу вартість готової продукції. В зв'язку з цим перевагу має спосіб агломерації.

Агломерат – згрудкований рудний концентрат, отриманий в процесі агломерації [2-5]. Спечена в шматки (часто пилоподібна) руда розмірами 5-100 мм з незначним вмістом дрібниці. Агломерат отримують при випалюванні залізних та інших руд. У чорній металургії він є основною залізородною сировиною для отримання чавуну в доменній печі. При виробництві агломерату основними компонентами шихти є залізородні концентрати, залізна руда, шлами, окалина, флюси і тверде паливо. Їх змішують в заданому масовому співвідношенні, що задовольняє вимогам отримання агломерату при певних технологічних параметрах. Концентрат спікають на агломашинах.

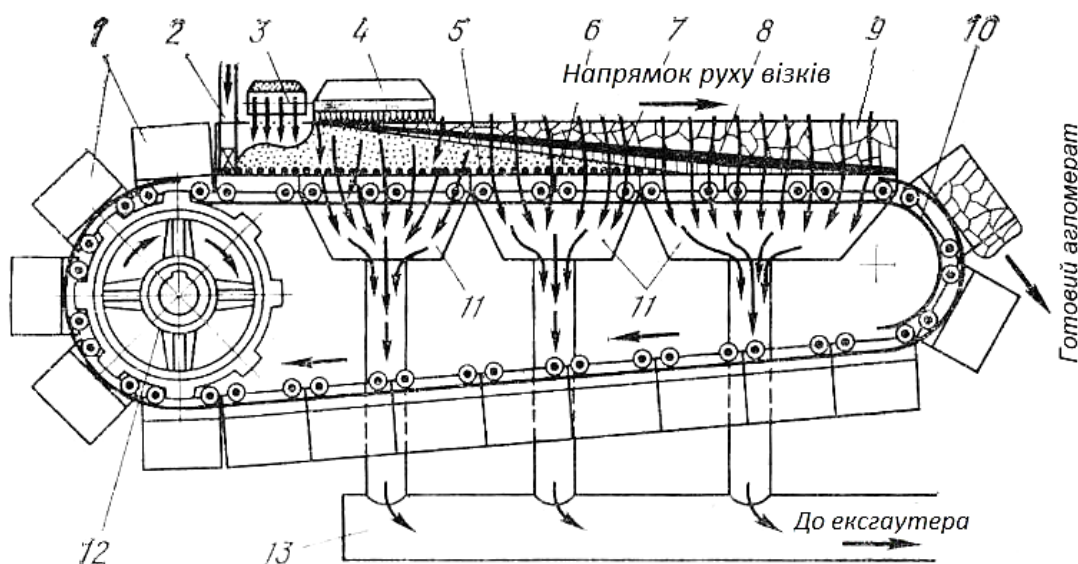
## 1.2 Агломашины конвейерного типу

На металургійних підприємствах України основне застосування знайшли

прямолінійні безперервні агломашини конвейерного типу [6]. До основних переваг цих машин варто віднести:

- повну механізацію процесу спікання, починаючи з моменту завантаження шихти й закінчуючи розвантаженням готового агломерату;
- безперервність роботи, що забезпечує високу продуктивність установки;
- відносно просту будову машини: шляхом збільшення довжини ланцюга можна одержати продуктивність, що не досягається на жодній із відомих агломераційних машин інших типів.

Хід процесу спікання на конвеєрних машинах показано на рис.1.1.



1 - спікальні візки-палети; 2 - укладальник ліжка; 3 - челноковий живильник стрічки шихтою; 4 - газове запальне горно; 5 - ліжка; 6 - зона сирої шихти; 7 - зона сушіння й підігріву шихти; 8 - зона горіння твердого палива; 9 - зона готового агломерату; 10 - розвантажувальний кінець машини; 11 - вакуум-камери; 12 - провідне зубчасте колесо привода стрічки; 13 - збірний газопровід

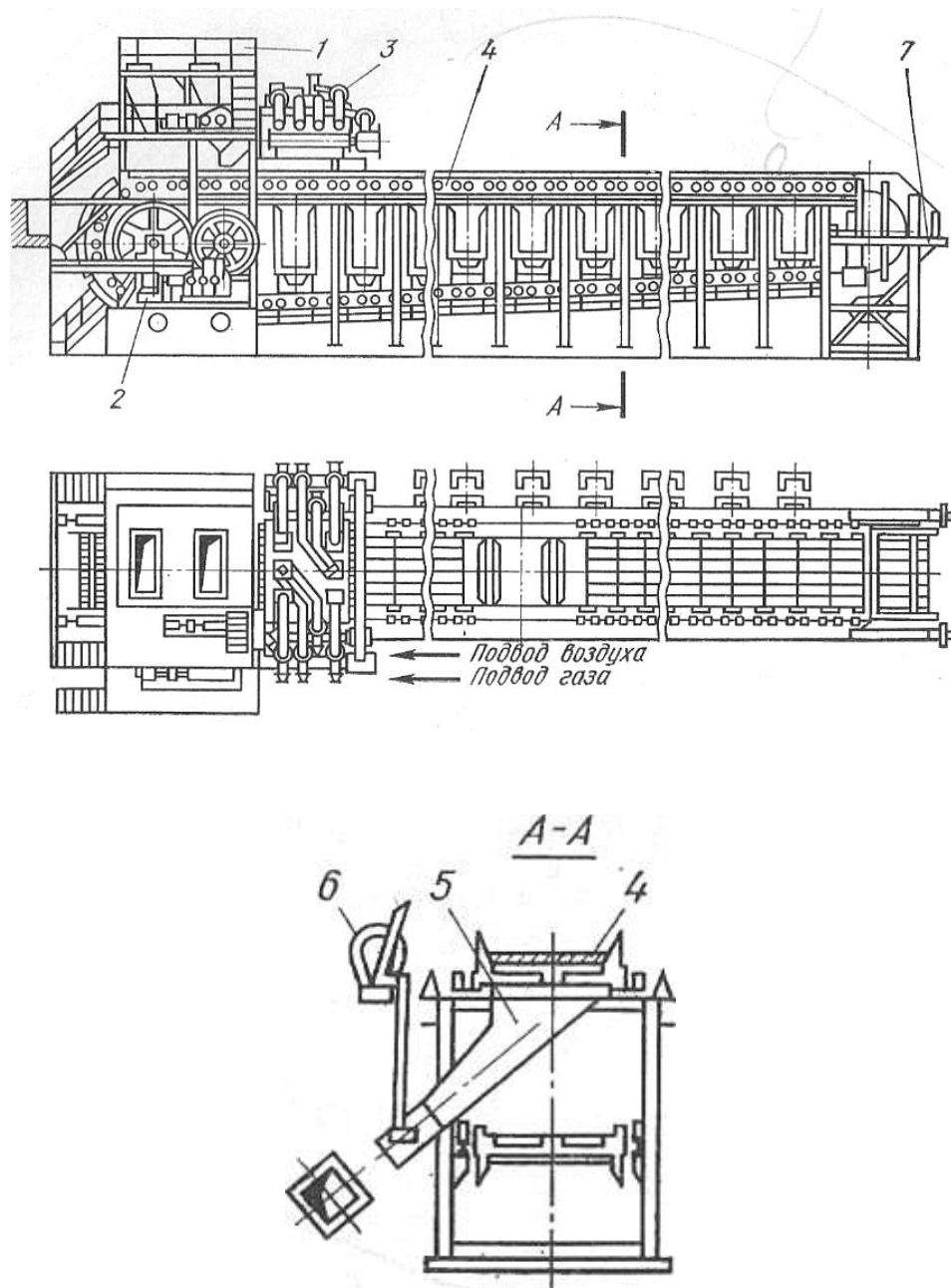
Рисунок 1.1- Схема процесу спікання на агломераційній машині стрічкового типу

Стрічкова агломераційна машина являє собою замкнутий ланцюг спікальних візків-палет, що рухаються і переміщуються по рейках верхнього

горизонтального робочого ланцюга машини під дією зубчастих коліс 12 привода, а по рейках нижньої похилої ( $2...3^\circ$ ) холостої ланки машини в переверненому положенні під дією горизонтальної складової власної ваги. Захват палет з холостої ланки й транспортування їх на верхню робочу ланку машини також здійснюються за допомогою зірочок привода. На сталевій рамі кожної з палет монтується три ряди колосників. Таким чином, палета являє собою колосникові ґрати, що рухаються. Під час руху по робочій частці ланцюга палети проходять над вакуум-камерами 11, з'єднаними через збірний газопровід 13 з екстаустером. Спеціальне ущільнення перешкоджає просочуванню повітря у вакуум-камери через стик із палетами, що рухаються. Спікальні візки рухаються по робочій ділянці машини одна за іншою без розривів або зазорів. Просочування повітря між візками у вакуум-камери виключається.

Таким чином, головна маса повітря повинна при русі палет над вакуум-камерами проходити через шар шихти, покладений на робочій ділянці машини. Укладання постелі й шихти на палети, що рухаються, проводиться спеціальними живильниками 2, 3.

Запалювання шихти здійснюють за допомогою стаціонарного газового горна 4. Час перебування палети під горном становить близько 1 хв. Теплота запалювання, що необхідна на  $1\text{ м}^2$  поверхні шихти розраховується залежно від товщини спікаємого шару та становить  $42...50,5$  МДж/хв. З моменту початку запалювання шихти палета перебуває над вакуум-камерами, у яких підтримується розрідження до 20 кПа. У міру руху палет зона горіння опускається вниз у напрямку до колосникових ґрат, проходячи весь спікаємий шар за  $10...12$  хв. (залежно від висоти шарів й вертикальної швидкості спікання). Устрій сучасної агломашини з площею спікання  $75\text{ м}^2$  представлено на рис.1.2.



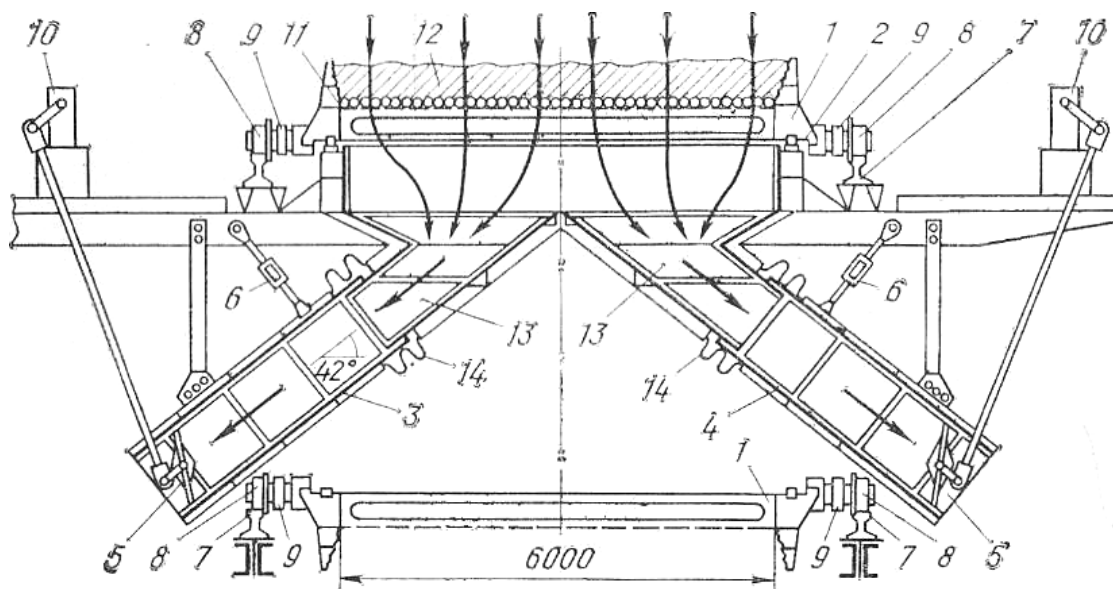
1 - живильники постелі й шихти; 2 - привод машинний; 3 - запальне горно; 4 - спікальні візки-палети; 5 - вакуум-камери; 6 - клапани для регулювання вакууму; 7 - розвантажувальний кінець машини

Рисунок 1.2 - Агломераційна машина конвеєрного типу із площею спікання  $75\text{м}^2$

Устрій спікального візка-палети наступний. Сталева рама палети виконана із трьох секцій, з'єднаних болтами. Між чотирма балками рами

набирають три ряди сталевих колосників, зазори між якими становлять 5...6 мм (живий перетин ґрат 12...15 %). Знизу до рами прикріплені пластини ущільнення, якими палета на ходу стикується з пластинами ущільнення вакуум-камер. Повний комплект палет агломераційних машин із площею спікання 50, 75 й 312 м<sup>2</sup> складається відповідно з 70, 80 й 130 спікальних візків.

Під палетами на робочій ділянці агломераційної стрічки розташовуються вакуум-камери, внутрішня поверхня яких покривається футерованими плитами для захисту від зносу під впливом запилених газів. На найбільш великих аглострічках із широкими палетами застосовують двосторонній симетричний відвід газів, що відходять, у два збірних колектора (рис.1.3).

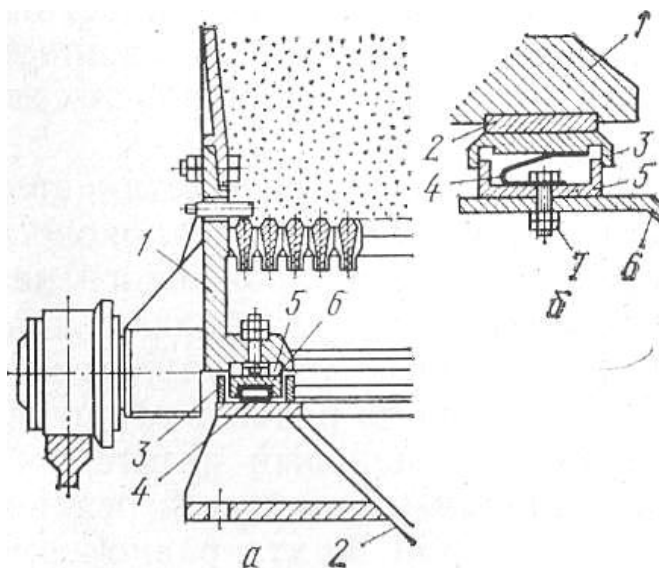


1 - палета; 2 - ущільнення; 3 - лівий патрубок вакуум-камери; 4 - правий патрубок вакуум-камери; 5 - регулювальні мотилькові клапани; 6 - тяги підвіски патрубків; 7 - ходові рейки; 8 - ходові ролики палети; 9 - вантажні ролики палети; 10 - привод до регулювальних мотилькових клапанів; 11 - постіль; 12 - аглошихта; 13 - футеровані плити; 14 - компенсатори теплового розширення конструкції

Рисунок 1.3 - Двосторонній відвід газів на агломераційній стрічці

Конструкції ущільнень між палетами, що рухаються й вакуум-камерами

показані на рис.1.4,б [7-11]. У гідравлічному ущільненні рухливі пластини, що мають можливість переміщення у вертикальній площині, притискаються до пластин ущільнення палет гумовотканинним шлангом, у який під тиском 68...78 кПа нагнітається вода. Під тиском води шланг прагне до циліндричної форми, але сплющується під дією ваги палет і шихти. Шланги (лівий і правий) покладені по верхніх кромках вакуум-камер на всю довжину стрічки. Якщо ходовий ролик палети наїхав на шматочок руди й палета перекосилася, тобто пластина палети перемістилася разом з рамою нагору, то під дією шланга зрушиться нагору й пластина вакуум-камери, зберігаючи газощільність стику. У пружинному ущільненні (рис.1.4) замість пружного шланга з водою використовується пластинчаста пружина.



а – гідравлічне (1 - палети; 2 - вакуум-камера; 3 - ринва; 4 - гумовотканинний шланг із водою під тиском; 5 - ущільнювальна пластина палети; 6- ущільнювальна пластина вакуум-камери); б - пружинне (1 - палета з ущільнювальною пластиною; 2, 3 - ущільнювальні пластини вакуум-камери; 4 - пластинчаста пружина; 5 - ринва; 6- вакуум-камера; 7 - болт кріплення ринви й пружини).

Рисунок 1.4 - Поздовжнє ущільнення між палетами й вакуум-камерами

Завантаження агломераційної шихти на стрічку здійснюються найчастіше за допомогою комбінації барабанного й челнокового живильників. З бункера шихти, розташованого над головною частиною машини, агломераційна шихта попадає спочатку на рухливий челноковий конвеєрний живильник, що робить зворотно-поступальний рух по рейковому шляху, розташованому поперек осі машини.

Довжина запального горна повинна бути пов'язана зі сталою швидкістю руху агломераційної машини. Наприклад, у випадку прийнятого часу запалюванні, рівній одній хвилині, і швидкості машини 2,5 м за хвилину довжина горна повинна бути порядку 2,5 м.

При дробленні до крупності, наприклад 150...30 мм, створюються нормальні умови для вантажно-розвантажувальних операцій і транспортування агломерату. Більш-менш рівний по крупності агломерат забезпечує умови для кращого охолодження. Дроблений агломерат дозволяє рівномірно завантажувати грохот. Відсіяний дріб'язок і пил направляється на утилізацію.

### 1.2.1 Розрахунки параметрів агломераційної машини

Розрідження під колосниковою решіткою можливо визначити за формулою Л.К. Рамзина [5,12 ]:

$$P=A \cdot H \cdot \zeta, \quad (1.1)$$

де  $P$  – розрідження перед колосниковою решіткою;

$A$  - швидкість фільтрації повітря  $\text{м}^3/(\text{м}^2/\text{с})$ ;

$H$  - висота просочувального шару, м;  $\zeta, \zeta_2$  – коефіцієнти.

В деяких випадках використовують рівняння Дарсі – Вейсбаха:

$$P=H( a \cdot \zeta + b \cdot \zeta_2), \quad (1.2)$$

де  $a, v$  - безрозмірні коефіцієнти.

Якщо вибрано розрідження, швидкість фільтрації повітря, необхідні коефіцієнти, то можливо знайти висоту шару сипучої шихти перед горном заживання:

$$H = P/A \cdot \zeta, \text{ або } H = P/(a \cdot \zeta + v \cdot \zeta_2).$$

Існує інша методика розрахунку товщини шару спікання за формулою:

$$H_{\text{ш}} = Q_{\text{м}} / F \cdot 24 \cdot 60 \cdot V_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{а}},$$

де  $Q_{\text{м}}$  – продуктивність агломашини,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$V_{\text{в}}$  – швидкість руху спікальних візків,  $\text{м}/\text{хв.}$ , приймаємо  $V_{\text{в}} = 4 \text{ м}/\text{хв.}$ ;

$\rho_{\text{а}}$  – густина агломерату, приймаємо  $\rho_{\text{а}} = 4,5 \text{ т}/\text{м}^3$ ;

24 – кількість годин за добу;

60 – кількість хвилин за годину.

$$H_{\text{ш}} = 459 / 85 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 4 \cdot 4,5 = 0,208 \text{ м} = 208 \text{ мм}$$

Вертикальна швидкість спікання:

$$V = H_{\text{ш}}/t, \quad (1.3)$$

де  $H_{\text{ш}}$  - висота (товщина) спікаємого шару шихти,  $\text{мм}$ ;

$t$  - час спікання,  $\text{хв.}$

Тривалість агломерації складає за довідковими даними відповідно 8...12хв. Приймаємо для розрахунку  $t=10\text{хв.}$  Таким чином, вертикальна швидкість спікання дорівнює:

$$V = 208/10 = 20,8 \text{ мм}/\text{хв.}$$

Враховуючи, що на аглофабриках країн СНД швидкість спікання коливається в межах 20...30  $\text{мм}/\text{хв.}$ , проведені розрахунки виконані правильно.

Довжина контуру агломашини за віссю скату спікальних візків дорівнює:

$$L_{\text{к}} = n (R + r) + L (1 + 1/\cos a), \quad (1.4)$$

де  $R, r$  - радіуси траєкторії руху вісі скату візка на ділянках підйому та



розвантаження візків, відповідно, м;

$L$  - довжина горизонтальної ділянки контуру, м;  $\alpha$  - кут нахилу порожньої гілки агломашины, що дорівнює:

$$\alpha = \arctg 2(R - r) / L, \quad (1.5)$$

приймаємо  $R = 3,5$  м;  $r = 2,1$  м;  $L = 80$  м, тоді  $\alpha = \arctg 2(3,5 - 2,1) / 80 = 6$  град.

Таким чином, довжина контуру складає:

$$L_k = 3,14 \cdot (3,5 + 2,1) + 80(1 + 1/\cos 6) = 193,58 \text{ м, скругляємо до } 194 \text{ м.}$$

Ширина аглоленти дорівнює:

$$B = F/L_r, \quad (1.6)$$

де  $L_r$  – довжина зони спікання, м.

За конструктивними даними приймаємо  $L_r = 35$  м.

$$B = 85 / 35 = 2,43 \text{ м. Приймаємо } B = 2,5 \text{ м}$$

Виконані розрахунки відповідають параметрам сучасної високопродуктивної машини типу АМ 85/160.

## 1.2.2 Вдосконалення конструкцій агломашин

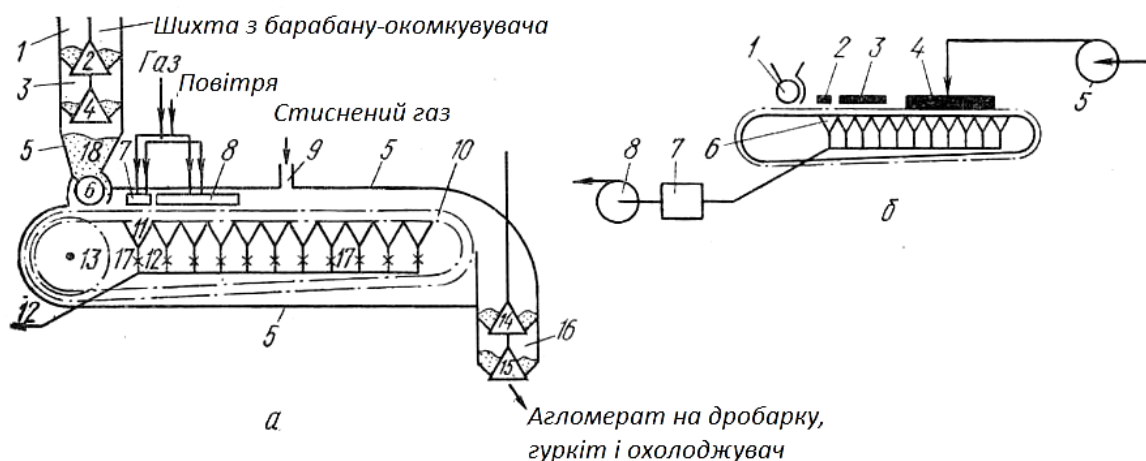
Одним із головних шляхів зросту продуктивності технологічного процесу агломерації є підвищення розрідження тиску під ланцюгом машини (наприклад, в Японії воно складає 18...20 КПа). Питомі витрати продувки зростають до 120 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·хв., разом з тим підвищуються витрати електроенергії. Якщо розрідження вище 14,7...15,68 КПа, зростають шкідливі прососи через ущільнення перед палетами.

З метою інтенсифікації агломераційного процесу й підвищення якості агломерату використовують різні технологічні і конструктивні засоби:

високоякісне змішування й окомкування агломераційної шихти, підвищення потужності ексгаустерів, введення необхідної кількості вапна в шихту, застосування збагаченого киснем повітря й нагрівання його в додатковому горні.

Необхідно відзначити перспективну технологію агломерації з підвищенням тиску над ланцюгом машини (рис.1.5). При варіанті «під тиском» суттєво змінюється конструкція машини, в якій ланцюг із горном загорання і подачі шихти розташовується в герметичному кожусі, куди нагнітають повітря з тиском до 98 кПа. Загрузка шихти та розвантаження агломерату проходить через шлюзові камери. Підвищується вертикальна швидкість спікання та продуктивність агломашини. Значно зменшується викиди пилу (в 2...3 рази), з'являється можливість спікання шарів шихти висотою до 1500 мм.

Проте такий спосіб має і значні недоліки: необхідність суттєвого переоснащення агломашини з установкою конструктивно складних шлюзів, що мають високу вартість і значну складність при експлуатації.



а) 1 - приймальна воронка; 2 - верхній конус завантажувального пристрою; 3 - міжконусний простір; 4 - нижній конус завантажувального пристрою; 5 - герметичний кожух машини; 6 - барабанний живильник; 7 - запальне горно; 8 - пальник додаткового обігріву шару, що спікається; 9 - уведення стисненого повітря в робочий простір кожуха машини; 10 - палети; 11

- камери для відводу продуктів згоряння твердого палива; 12 - збірний газовідвід продуктів згоряння; 13 - приводні зірочки агломераційної машини; 14 - верхній конус пристрою для видачі агломерату; 15 - нижній конус пристрою для видачі агломерату; 16 - між конусний простір; 17 - регулювальні дроселі на патрубках камер відводу продуктів згоряння;

б) 1 - барабанний живильник; 2 - запальне горно; 3 - горно додаткового обігріву шару, що спікається; 4 - напірний ковпак зі стисненим повітрям; 5 - напірна повітрорудна машина; 6 - вакуум-камери; 7 - пиловловлювач; 8 - ексгаустер

Рисунок 1.5 - Машини для агломерації під тиском (а) і з наддувом (б)

Більш простою представляється конструкція агломашини для процесу агломерації з наддувом (рис. 1.5, б). Вона передбачає одночасне використання напірного вентилятора, що нагнітає повітря (2...4 кПа) у спеціальний ковпак, встановлений над другою половиною довжини стрічки, і ексгаустера, що обслуговує знизу всю робочу частину аглострічки. Така система дає можливість підвищення продуктивності агломашини на 8...10 % і за рахунок росту висоти шару шихти, економії до 10 % коксового дріб'язку.

### 1.3 Висновки

1. Розглянуто устрій сучасних агломашин і вибрані засоби підвищення їх продуктивності за рахунок двостороннього відводу газів на безперервно рухаючій стрічці та вдосконалення конструкції ущільнень між палетами та вакуум-камерами.

2. Проведено аналіз джерел утворення пилових викидів в атмосферу. Встановлено якісний та кількісний склад викидів при виробництві агломерату.

## 2 ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБУ ОЧИЩЕННЯ ВІД ПИЛУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ГАЗІВ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

### 2.1 Особливості технології процесу

Типова аглофабрика (на прикладі ВАТ комбінату «Запоріжсталь») складається з:

- рудного двору, що має у своєму складі до 16 бункерів об'ємом по 45 м<sup>3</sup> для руди та концентрату, 12 бункерів для коксової дрібниці та штибу, об'ємом по 45 м<sup>3</sup> кожен і 12 бункерів для колошникового пилю, об'ємом по 45 м<sup>3</sup> кожен;
- вапняно-дробильного відділення, що має у своєму складі 3 молоткові дробарки продуктивністю 150-200 т/год для дроблення вапняку та 12 гуркотів, що повністю забезпечують потребу аглофабрики у вапняку із вмістом фракції 3-0,1 мм;
- коксодробильного відділення, що має у своєму складі 6 чотиривалкових дробарок, що забезпечують велику кількість палива 3-0 мм;
- шихтове відділення, в технологічному потоці якого працює конвеєрна машина КМ-14 для випалення вапняку площею випалення 14 м<sup>2</sup>. У резерві знаходяться 2 вапняновипалювальні машини печі ОПП-1,2 площею випалу по 10 м<sup>2</sup> кожна;
- спекального відділення, що складається з 6 реконструйованих агломашин типу К-2-50 площею спікання по 62,6 м<sup>2</sup> кожна.

Агломераційний процес є сукупністю механічних, фізичних і фізико-хімічних явищ, що протікають на агломашині стрічкового типу безперервної дії. Сутність процесу агломерації методом просмоктування полягає в тому, що руду, концентрат з добавкою подрібненого коксу, антрациту, повернення та інших компонентів шихти в змішувальних барабанах змішують, зволожують до певної міри (вміст води 7,5-8,5%), що забезпечує утворення зернистої структури-грудочків з високою газопроникністю в процесі спікання [9,15].

Шихту завантажують на колошникові ґрати спального візка. Під

колошниковими ґратами за допомогою ексгаустера створюється розрідження 10-70 Па залежно від гранулометричного складу шихти, в результаті якого через шихту з поверхні просмоктується зовнішнє повітря.

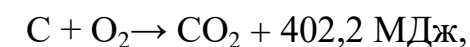
Для початку процесу спікання шихта з поверхні нагрівається спеціальним запалювальним пристроєм до 1200-1300°C, після чого пальне шихти (коксова дрібниця та антрацитовий штиб) спалахує і горить за рахунок атмосферного повітря, що всмоктується. Зона горіння поступово просувається до колосників. Процес спікання в шарі відбувається з утворенням пересувних зон, що відрізняються фізико-хімічними процесами, що протікають в них.

Початковим процесом при агломерації руд є запалення, яке виробляється газоподібним паливом. Агломерат, що сходить з палет, дробиться в одновалковій зубчастій дробарці і потрапляє на стаціонарний колосниковий гуркіт для відсіву дрібних фракцій в бункер повернення, після чого по похилому стаціонарному і перекидному жолобах надходить у спеціальні вагони-хопери і доставляється в доменний цех [8].

Повернення, виділене на стаціонарних гуркотах їхнього бункера повернення, видається живильниками в барабанні охолоджувачі, де змочується водою. Охолоджене до 80-90 °C повернення стрічковими конвеєрами транспортується в шихтове відділення і використовується як один із компонентів шихти.

Агломераційний газ відсмоктується ексгаустерами через систему газоочищення. Великий пил осідає у пилових мішках горизонтального колектора. Пил із пилових мішків за графіком вивантажується на стрічкові конвеєри елеваторами, прямує на збірний конвеєр повернення.

Потім починається процес горіння палива у шарі. Горіння твердого палива йде за реакціями:



Паливо, що виділяється цими реакціями, нагріває матеріал шихти до 1250-1400 °C. У міру опускання зони горіння температура в ній підвищується в

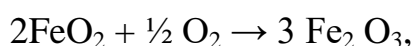
результаті регенерації тепла, в шар шихти повітря надходить холодним, а потім, у міру опускання зони горіння (проходячи через шар гарячого агломерату) він нагрівається. У зоні горіння палива відбуваються основні процеси агломерації. За зоною горіння слідує зона підігріву шихти. Запалення твердого палива відбувається при температурі близько 700 °С, яка є нижньою межею зони горіння палива та спікання шихти.

У зоні підготовки (підігріву) шихти відбувається розкладання гідратів окису, випаровування вологи шихти, часткове відновлення вищих оксидів до нижчих та розкладання маломіцних вуглекислих солей. У цій зоні можуть відбуватися реакції між твердими фазами.

Випаровування вологи відбувається в шихті, нагрітій від 100 до 50-60 °С (температура точки розп.). Волога, що у процесі, сприяє скомкуванню шихти і цим поліпшує її газопроникність.

У процесі агломерації відбувається перерозподіл вологи, що й обумовлює існування двох зон – сушіння та перезволоження.

У міру вигорання палива та переміщення всіх зон зверху вниз, у верхній частині шихти утворюється шар готового агломерату, який охолоджується повітрям, що засмоктується з атмосфери. На межі зіткнення повітря з гарячим агломератом розвивається реакція утворення вторинного гематиту:



яка призводить до деякого підвищення міцності агломерату.

### **2.1.1 Технологія випалу вапняку та стадії процесу агломерації**

На аглофабриці ВАТ комбінату «Запоріжсталь» для інтенсифікації процесу, а також підвищення якості агломерату в шихту вводиться вапно. Вводять її двома способами: 40% від загальної кількості вапна закладається в штабель концентрату, а 60% включають у потік аглошихти від випалювальних машин ОПР-1,2 та КМ-14.

Гаряче свіжеобпалене вапно підвищує температуру шихти до 40-50 °С, тим самим інтенсифікуючи процес спечення агломерату. Випалення вапняку

відбувається за наступною технологічною схемою (рис.2.1):

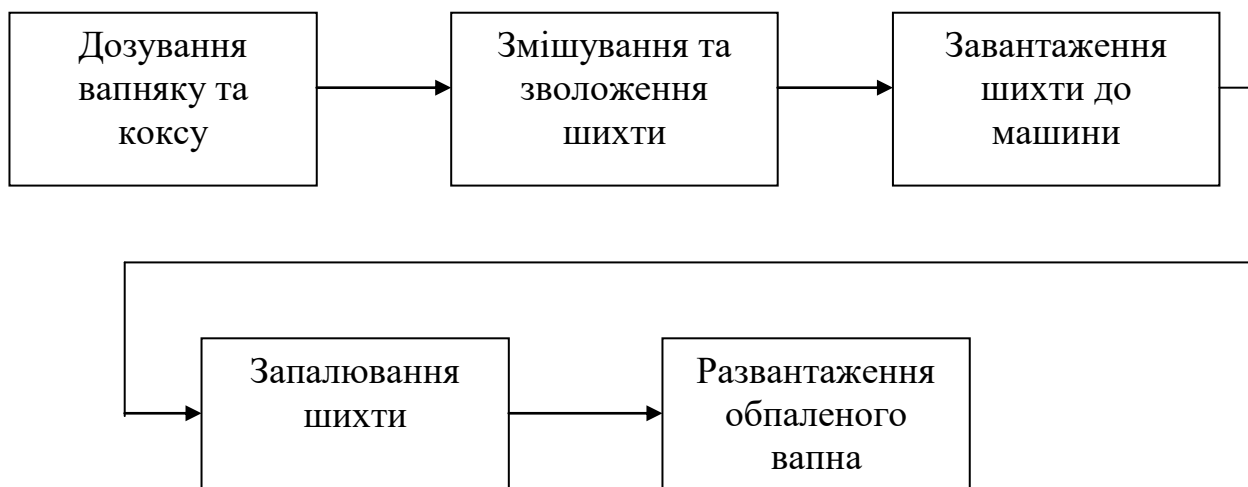


Рисунок 2.1 - Технологічна схема випалення вапняку

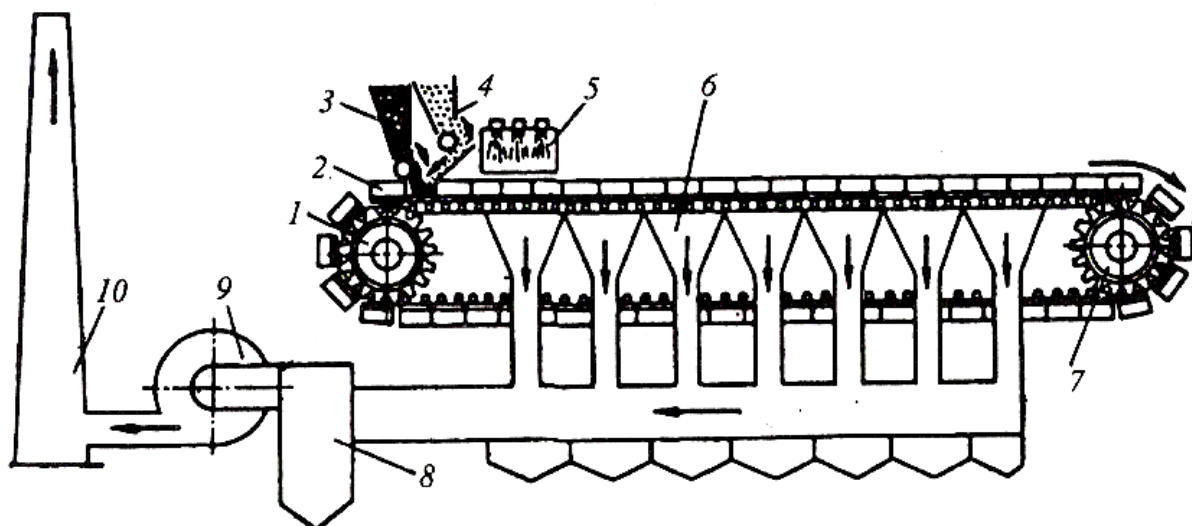
Для випалу використовується звичайний вапняк фракції 3-8 мм, який отримується після дроблення на молоткових дробарках і подальшому виділенні на віброгрохотах.

Для випалу вапняку використається паливо фракції 0-5 мм. Паливо є коксовою дрібницею, попередньо подрібненою в чотиривалкових дробарках.

Печі випалу вапняку ОПР-1,2 є карусельною машиною з корисною площею випалу  $10 \text{ м}^2$ , діаметром тарілки 5 м, встановлену в потоці подачі шихти. В даний час обидві печі ОПР-1,2 знаходяться у резерві.

Вакуум під колосниковими ґратами при її нормальній роботі повинен становити 1000-1500 Па. Час обороту тарілки 12-15 хв.

При роботі агломашини на стрічці послідовно проходить ряд різноманітних стадій: зажигання, нагрів шихти, спікання, охолодження агломерату, видача готової продукції (рис.2.2) [6].



1 - привід аглострічки; 2 - стрічка з агловізками; 3 - бункер залізородної сировини; 4 - бункер добавок; 5 - горн запалювання; 6 - вакуум-камери; 7 - ведена зірочка; 8 - газоочистка; 9 - ексгаустер; 10 - димова труба

Рисунок 2.2 - Технологічна схема виробництва агломерату на агломашині

В процесі нагрівання шихти легкоплавна частина суміші розплавляється і утримує собою більш тверді частинки. Для цього його змішують з порошкоподібним коксом, флюсами (як правило, вапняк або доломіт) і огрудковують. Потім отримана шихта завантажується рівномірним шаром на аглострічку. Запалювання і зовнішній нагрів шихти здійснюється продуктами спалювання природного газу в горні. Спінання підготовленої шихти є основним етапом в технології отримання агломерату. Цей процес ведеться на колосникових ґратах агломашини при просочуванні повітря в результаті розвитку високих температур при горінні вуглецю палива в шарі шихти. Процес агломерації носить шаровий характер. Впродовж спікання шар шихти можна умовно розділити на наступні зони:

1. Презволоження шихти.
2. Сушка і інтенсивне нагрівання шихти.
3. Горіння і досягнення максимальних температур.
4. Кристалізація і охолодження готового агломерату.



З моменту запалювання шихти волога яка міститься в ній випаровується і переходить в відхідний газ. Проходячи через холодну частину шару шихти, газ охолоджується до температури нижче точки роси, тобто до температури, при якій пари води конденсуються і шихта перезволожується. У зоні сушки і нагріву відбувається випаровування вологи і інтенсивний нагрів шихти до температури займання коксового дріб'язку з розкладанням карбонатів, окислення сульфідів і частина магнетиту. У зоні горіння і максимальних температур крім горіння вуглецю і утворення рідкої фази, де відбувається, окислення сульфідів і магнетитів, а також відновлення вищих оксидів заліза. У зоні кристалізації і охолодження агломерату, одночасно із закінченням процесу горіння, починається поступове зниження температури спікання, перехід з розплавленого стану в твердий.

Відпрацьовані гази, проходячи через шар шихти, виробляють її нагрівання і призводять до утворення пористої структури, характерної для агломерата. Розрідження, що створюється в вакуум-камерах, розташованих під ґратами агловізків дозволяє не допустити потрапляння пилу і продуктів згорання в робочий простір цеху.

У міру руху спікальних візків до хвостової частини агломашини, горіння з верхнього шару поширюється в нижні шари. При згорянні коксу, в шихті утворюється зона горіння висотою 15-30 мм з температурою 1400-1600 °С, пересувається вниз до колосників з вертикальною швидкістю спікання 0,2-0,6 мм/сек. В таких умовах зона горіння набуває форму похилій плоскості. Досягнення максимальної температури газів, що відходять свідчить про закінчення процесу спікання. Потім агломерат потрапляє в зону охолодження. Надалі агломерат дроблять і піддають просівання для виділення повернення занадто дрібного для використання в доменній печі.

## **2.2 Аналіз і вибір ефективної системи очищення газів**

У процесі виробництва та роботи технологічного обладнання часто

виникають складнощі з утворенням пилу і забрудненням виробничої зони і навколишнього середовища.

Заводські дані по шкідливим викидам показують, що в аглопроцесі викиди складають: пил - 30%, CO - 35%, SO<sub>2</sub> - 35%. Пил можна розділити за фракціями: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 90-100 мкм. На агломашинах є пил, що утворюється при дії високотемпературних термохімічних процесів з частинками до 5-10 мкм; пил в результаті горіння палива 5-70 мкм та пил подрібнення агломерату під час вивантаження 5-10 мкм. Для збереження здоров'я робітників, мінімізації викидів в атмосферу та продовження терміну служби обладнання та агрегатів необхідно очищати повітря та гази від пилу. На виробництві знайшли використання різні системи очищення газів від пилу від мокрих до сухих установок [7,13].

### 2.2.1 Апарати мокрої очистки

Для очищення вихідних газів від забруднень використовують мокрі і сухі системи [5,11]. Для першої групи очисних пристроїв відносяться різноманітні варіанти. Для очищення повітря від пилу в системах вентиляції та кондиціонування повітря зазвичай застосовують промивні камери, що включають такі вузли: підвід запиленого газу; відвід очищеного газу; корпус камери; форсункові ряди для створення водяних завіс; сітки або перфоровані листи для рівномірного руху газу; крапле уловлювач у вигляді жалюзійних решіток; відвід шламу. Розміри камери вибирають таким чином, щоб швидкість руху газів  $w_{\Gamma}$  становила 1,5÷2,5 м/с, а час перебування газів в камері  $\tau_{\Gamma}$  була не менше 3 хв. По заданому часу перебування газу  $\tau_{\Gamma}$  і його швидкості  $w_{\Gamma}$  визначають довжину камери  $L_{\kappa}$  і площу її поперечного перерізу  $S_{\kappa}$ .

$$L_{\kappa} = \tau \cdot w_{\Gamma}, S_{\kappa} = V_{\Gamma} / w_{\Gamma}; \quad (2.1)$$

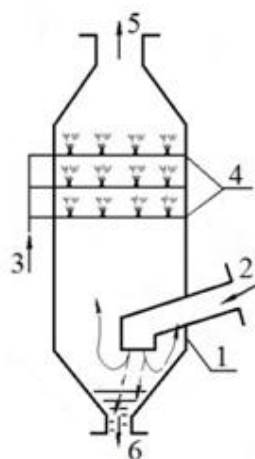
де  $V_{\Gamma}$  – витрата газу, що подається на очищення, м<sup>3</sup>/с.

Питома витрата води – 0,2÷1,0 кг/м<sup>3</sup>

Широке розповсюдження мають скрубери, які поділяються на порожнисті і насадкові. Схема порожнистого скрубера наведена на рис. 2.3.

У металургійному виробництві це вертикальні порожнисті циліндри діаметром до 6-8 м, висотою до 20-30 м. Патрубок для підведення запиленого газу дещо зміщений від осі скрубера, що покращує рівномірність розподілу газу. Отвір підвідного патрубку направлено до дзеркала води, що забезпечує ударний контакт газу з водою. В результаті удару газу о воду відбувається інерційне відділення найбільш великих часток пилу.

Форсунки зазвичай розміщуються в декілька ярусів. Факел розпилювання води з форсунки може бути направлений вгору, вниз або під кутом.



1 - циліндричний корпус; 2 - підвід запиленого газу; 3 - підведення води на зрошення; 4 - яруси зрошуючих форсунок; 5 - відвід очищеного газу; 6 - відвід шламу

Рисунок 2.3 - Схема порожнистого скрубера

Найбільш поширеною конструкцією форсунок є відцентрові форсунки, які мають підвід води та сопло. З відцентрової форсунки вода виходить з сопла у вигляді обертового порожнистого конуса, який під дією відцентрових сил розпадається на окремі краплі. Питома витрата води на очищення залежить від запиленості газу і може скласти, наприклад, до 6-8 кг води на 1 м<sup>3</sup> газу при запиленості 10-12 г/м<sup>3</sup>.

У скрубери відбувається також охолодження газу, якщо газ, що надходить

на очищення - високотемпературний. Максимально допустима температура газу на вході в скруббер – 300 °С. При більш високій температурі газу інтенсивне випаровування води виключає або знижує ефект коагуляції пилу.

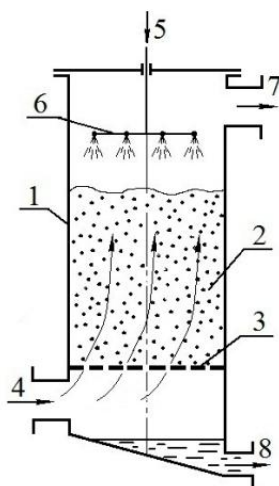
Швидкість газу в скруббері приймають в межах 0,5÷1,5 м/с. При більш високій швидкості відбувається винос крапель, що призводить до відкладення шламу в наступних за скруббером газоходах. При менш високих швидкостях газу зростають розміри скрубера і декілька знижується ефективність очищення внаслідок зменшення турбулізації потоку газу, яка сприяє кращому перемішуванню газу з водою. За заданої швидкості і ємності газу в скруббері, відповідно  $V_{\Gamma}$ ,  $w_{\Gamma}$  визначається діаметр скрубера  $D_c$ :

$$D_c = \sqrt{V_{\Gamma}/(0,785 \cdot w_{\Gamma})} \quad (2.2)$$

Оптимальне співвідношення висоти  $H_c$  і діаметра скрубера:  $H_c / D_c = 2,5$ .

Порожні скрубери забезпечують досить високий ступінь очищення газів (понад 80%) при уловлюванні частинок розміром більше 10 мкм і малоефективні при уловлюванні частинок менше 5 мкм. Внутрішню поверхню скрубера для виключення корозії (наприклад, сірчаноокисlotної) облицьовують керамічною плиткою.

Насадкові скрубери представляють собою порожні циліндри, заповнені насадкою (рис. 2.4). Насадка засипається без певного порядку або укладається на опорну решітку в певному порядку (регулярна насадка).



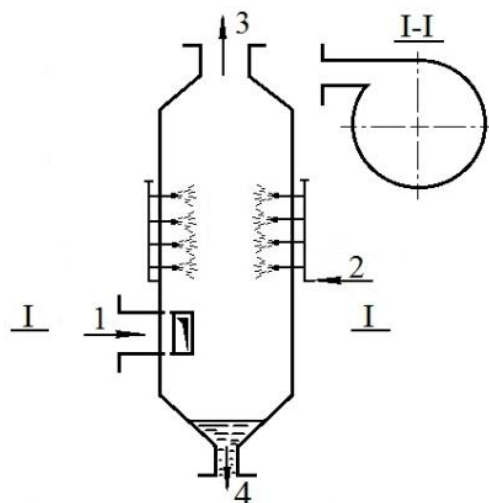
1 – корпус скрубера; 2 – насадка; 3 – опорна решітка; 4 – вхід запиленого газу; 5 – подача води на зрошення; 6 – ярус форсунок, що зрошують; 7 – вихід очищеного газу; 8 – відвід шламу

Рисунок 2.4 - Схема насадкового скрубера

Насадкові скрубери широко застосовуються в хімічній промисловості для очищення газів від добре розчинного пилу і туманів. Уловлювання пилу супроводжується охолодженням газів і адсорбцією певних його компонентів. Застосовуються різні типи насадок: кільця Рашига, кільця з перегородкою та інші. Швидкість газу в насадкових скруберах становить  $1,5 \div 2,5$  м/с.

У металургії застосовують скрубери з хордовою насадкою. Хордова насадка являє собою дерев'яні бруси товщиною 10-15 мм і шириною 100-150 мм. Витрата води –  $1,2 \div 2,5$  кг/м<sup>3</sup>. Співвідношення висоти насадки  $H_n$  і діаметра насадки скрубера  $D_n$  приймається в межах  $0,5 \div 1,5$ . Застосування насадкових скрубевів обмежено через часте забивання насадки пилом. Проте ефективність очищення в насадкових скруберах може скласти до 90% при уловлюванні частинок понад 2 мкм.

У відцентрових скруберах (рис. 2.5) досягається комбінована дія при уловлюванні пилу: коагуляція пилу водою та дія на пил відцентрових сил у закрученому потоці газу.



1 – тангенціальний підвід запиленого газу; 2 – підведення води на форсункове зрошення; 3 – відвід очищеного газу; 4 – відвід шламу

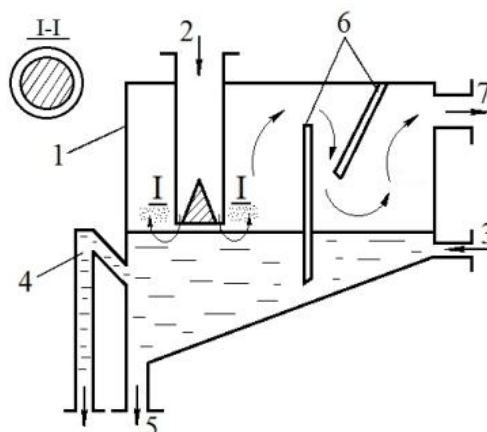
Рисунок 2.5 – Відцентровий скруббер

Форсунки розміщуються вздовж стінок скруббера. Над форсунками передбачається зона вільна від подачі води. Це дає можливість відкинути краплі зрошення на стінки скруббера перш ніж газовий потік досягне вихідного патрубка. Швидкість газу на вході в скруббер становить  $20 \div 60$  м/с, а в перетині скруббера складає  $1,2 \div 2,4$  м/с, питома витрата води на очищення –  $0,4 \div 1,3$  кг/м<sup>3</sup>. Ступінь очищення газів для частинок понад 1 мкм може скласти більше 97%. Високий ступінь очищення газу досягається внаслідок багаторазової промивки газу водою в обертовому потоці. Перевагою відцентрових скрубберів є те, що одночасно з очищенням газу від пилу та охолодженням газу відбувається абсорбція з газів оксидів сірки. Ступінь уловлювання оксидів сірки може скласти до 40-50%.

До апаратів ударно-інерційної дії відноситься група мокрих пилоуловлювачів, в яких газовий потік ударяється об поверхню рідини на великій швидкості, що призводить до часткового вилучення пилу в результаті поглиблення пилу в рідину, а потім газовий потік різко змінює напрямок руху, що призводить до видалення пилу внаслідок дії на частки пилу інерційних сил. Найбільш простою конструкцією пилоуловлювача ударно-інерційної дії є

вертикальна колона, у верхній частині якої встановлено центральний вхідний газохід, який має конфігурацію труби Вентурі, а в нижній частині колона заповнена водою. Швидкість газу спрямованого на поверхню води становить до 20-30 м/с. При ударі газу о воду великі частки пилу заглиблюються в воду, змочуються та випадають на днище апарату у вигляді шламу. Після удару об воду напрямок руху газу змінюється на  $180^\circ$ . При цьому частинки пилу, що залишилися в газі, внаслідок інерції відокремлюються від газу і також уловлюються водою. Апарат уловлює частинки більше 20 мкм. Шлам з апарату видаляється безперервно або періодично. Для видалення ущільненого шламу з дна колони застосовують змивні сопла.

За кордоном в числі апаратів ударно-інерційної дії найбільш поширений скруббер Дойля (рис. 2.6).



1 – корпус скруббера; 2 – підвід запиленого газу; 3 – підведення води в порожнину скруббера; 4 – перелив для відводу надлишку води; 5 – відвід шламу; 6 – перегородки для видалення крапель; 7 – відведення очищеного газу

Рисунок 2.6 – Скруббер Дойля

Скруббер Дойля являє собою заповнений водою резервуар. Підвід запиленого газу здійснюється через вертикальну трубу. В нижній частині труби встановлено конус, що створює звужуючий кільцевий зазор для виходу газу. Це прискорює потік запиленого газу перед контактом з водою. Перелив для відведення надлишку води виконує функцію гідрозатвору. Перегородки, які

розміщені в порожнині скрубера, забезпечують багаторазову зміну напрямку руху газу при виході його з скрубера. Це сприяє інерційному відділенню крапель вологи, що уносятся з пиловловлювача. Перегородки можуть бути виконані перфорованими або у вигляді жалюзі. У щілини кільцевого зазору на виході з труби швидкість газу складає до 35-55 м/с. Газовий потік ударяється об поверхню рідини, створюючи завісу з крапель рідини. Ударно-інерційне проникнення пилу вглиб води, а також коагуляція пилу в крапельній завісі забезпечують ефективність уловлювання пилу. Зазор між нижнім перерізом труби і рівнем води в скрубери в статичному стані становить 2-3 мм. Питома витрата води на очищення –  $0,1 \div 0,2 \text{ кг/м}^3$ . В скрубери ефективно уловлюються частинки більше 10-15 мкм. Особливістю апаратів ударно-інерційної дії є відсутність пристроїв для переміщення води. Необхідна для очищення розвинена поверхня контакту газу та води створюється за рахунок енергії газу який вдаряється об воду. У зв'язку з цим пиловловлювачі ударно-інерційної дії називають апаратами з внутрішньою циркуляцією рідини.

Тарілчасті газопромивачі є вертикальними порожнистими циліндрами, всередині яких встановлені горизонтальні перегородки з отворами (тарілки). Тарілчасті газопромивачі залежно від конструкції тарілки розділяються на дві групи:

- з провальними тарілками;
- з переливними тарілками.

Підвід газу в зону контакту з рідиною здійснюється через отвори в тарілці, які можуть бути щілинними або дірчастими (круглими):

щілинні тарілки дірчасті тарілки  $b=4-5 \text{ мм}$ ,  $d=4-8 \text{ мм}$ .

Оптимальна товщина тарілки з точки зору гідравлічного опору 4-6 мм. Залежно від швидкості газу можливі три режими роботи тарілчастого газопромивача:

- барботажний, при якому газ проникає в шар рідини у вигляді бульбашок (швидкість газу до 1 м/с);
- пінний, при якому утворюється високотурбулізована піна (швидкість



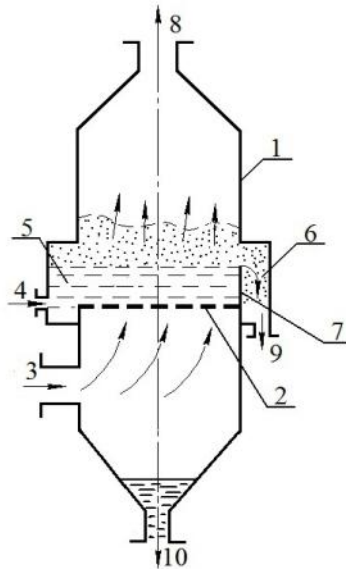
газу понад 1,2 м/с);

- хвильовий, при якому газ проходить через шар води струменями (швидкість газу понад 2,0 м/с).

Барботажний режим унаслідок невеликих швидкостей газу, що знижує продуктивність газопромивача, має обмежене застосування. У пінному режимі відбувається безперервне утворення, руйнування і злиття бульбашок, що інтенсифікує уловлювання пилу і сприяє внаслідок турбулізованому стану піни динамічному змиттю шламу з решітки. Пилоуловлювачі, що працюють в пінному режимі, називають також пінні газопромивачі. В даних пилоуловлювачах можливо ефективне уловлювання частинок більше 2 мкм. Витрата води складає  $0,4 \div 0,9$  кг/м<sup>3</sup>. Для хвильового режиму характерна гідравлічна нестабільність роботи апарату: прорив газу через шар води на решітці, порушення сходу шламу через решітку, збільшення шару води, що підвищує гідравлічний опір, підвищений краплеунос та ін.

В пилоуловлювачах з переливними тарілками (рис.2.7) зазвичай встановлюють дірчасті тарілки з діаметром отворів  $2 \div 8$  мм. Швидкість газу вільному перерізі апарату  $1 \div 3$  м/с. Основний режим роботи газопромивача з переливними тарілками – пінний.

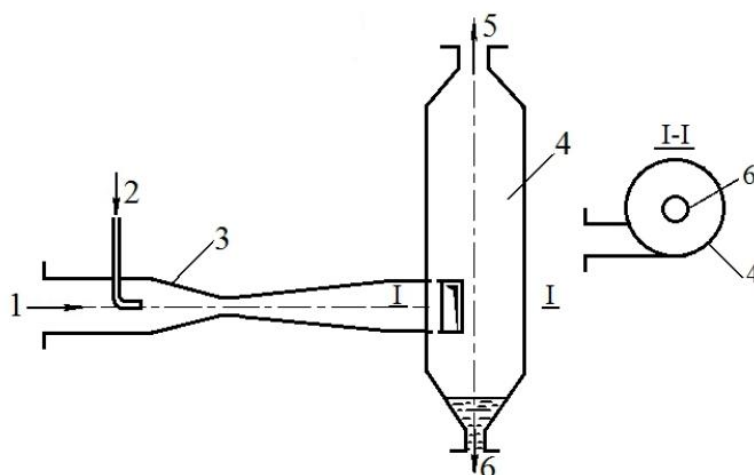
Перелив води завдяки відносно безпровальному режиму руху води дозволяє більш раціонально використовувати воду. За рахунок зниження втрат води зі шламом в 2-3 рази скорочуються витрати води на газоочищення порівняно з провальними тарілками. Недоліками газопромивача з переливними тарілками є утворення відкладень на поверхні тарілок внаслідок менш інтенсивного переміщення води на поверхні тарілки і бризкоунос внаслідок пінного режиму роботи, що обмежує застосування газопромивача з переливними тарілками.



1 – корпус газопромивача; 2 – тарілка; 3 – подача запиленого газу; 4 – подача води; 5 – приймальна камера; 6 – зливна камера; 7 – поріг регулюючий рівень води на тарілці; 8 – вихід очищеного газу; 9 і 10 – відвід шламу

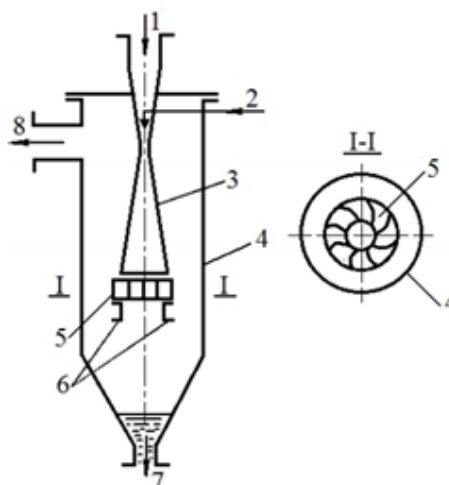
Рисунок 2.7 – Схема газопромивача з переливними тарілками

Швидкісні газопромивачі – найбільш ефективні апарати мокрого очищення газу, їх застосовують переважно для очищення газу від мікронного і субмікронного пилу (десяті частки мкм). В швидкісних газопромивачах основним фактором, що забезпечує очищення газу, є подача води на очищення у високошвидкісний потік запиленого газу. Це сприяє ретельному диспергуванню води і подальшому промиванні газу водою в турбулентному режимі руху газу. Високі швидкості очищуваного газу забезпечують труби Вентурі. У зв'язку з цим швидкісні газопромивачі також називають скруберами Вентурі. В цілому вони представляють собою поєднання труб Вентурі і наступних за трубами краплеуловлювачів. Вода надходить в найбільш швидкісну частину труб Вентурі (в конфузор або горловину). Елементи скрубера можуть бути змонтовані роздільно (рис.2.8) або сумісно в одному корпусі (рис.2.9).



1 – вхід запиленого газу; 2 – підвід зрошувальної рідини; 3 – труба Вентурі; 4 – циклон-краплеуловлювач; 5 – відвід очищеного газу; 6 – відвід шламу

Рисунок 2.8 – Скрубер Вентурі з виносним краплевловлювачем



1 – підвід запиленого газу; 2 – підвід зрошувальної рідини; 3 – труба Вентурі; 4 – корпус краплеуловлювача; 5 – відцентровий завихрювач; 6 – патрубок для концентрації шламу; 7 – відвід шламу; 8 – вихід очищеного газу

Рисунок 2.9 – Скрубер Вентурі з вбудованим краплеуловлювачем

Таким чином, принцип дії скрубера Вентурі полягає в інтенсивному дробленні рідини, що подається на очищення газу у високошвидкісний газовий потік (40÷150 м/с). Виникає коагуляція пилу рідиною в турбулентному режимі руху газу і наступне уловлювання крапель рідини, що утворює з пилом шлам.

Застосування труби Вентурі для прискорення руху газу дозволяє зробити процес дроблення рідини з мінімальними гідравлічними втратами. В якості краплеуловлювача зазвичай використовують найпростіші апарати інерційного типу або циклони.

Різноманітність в конструкції скрубєрів Вентурі вносить спосіб підведення зрошувальної води. Можливі такі варіанти:

1. Скрубєр Вентурі з центральним підведенням води та використанням накієчника для струменевої подачі зрошувальної води. Розташування накієчника, кількість отворів в ньому і діаметр отворів конструктивно приймаються таким чином, щоб виключити удари струменя зрошувальної води об стінки конфузора, оскільки в іншому випадку різко погіршується розпилювання води газовим потоком. Для більш рівномірного розподілу води в накієчнику можуть бути два ряди отворів. Діаметри отворів від 6 мм до 8-12 мм. Питома витрата води  $0,5 \div 1,0$  кг/м<sup>3</sup>. Недоліком подачі води через накієчники є забивання отворів, тому що в більшості випадків для зрошення застосовується вода оборотного циклу, що містить суспензії.

Кращі результати досягаються в ежекторних скрубєрах Вентурі. Подача води проходить під більш високим тиском і супутній цьому ефект ежекції ці скрубєри можна віднести до різновиду скрубєрів Вентурі з форсунковим підведенням води. В таких скрубєрах основна енергія, що витрачається на очищення газу, підводиться зі зрошувальною рідиною, яка забезпечує за рахунок ежекції рух очищуваного газу. Тиск нагнітання води в цих скрубєрах становить  $0,4 \div 1,2$  МПа, а швидкість витікання води  $15 \div 30$  м/с.

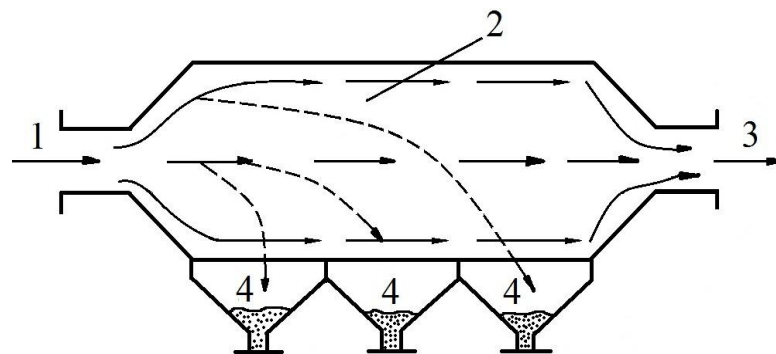
Проведений аналіз різноманітних апаратів мокрого очищення газів від пилу та промисловий досвід показує на основні недоліки: значна втрата води, складність її очищення від шламу, забруднення водойм та екології природного середовища.

### **2.2.2 Апарати сухого очищення газів**

В апаратах сухого очищення пиловловлювання досягається виключно

механічним впливом на пил внаслідок гравітаційних, інерційних і відцентрових сил [5,12]. У більшості випадків ці сили діють на частинки пилу спільно. Проте, для окремих апаратів один із впливів може переважати, що дозволяє за цією ознакою виділити наступні групи апаратів сухого очищення: пилеосаджувальні камери, інерційні уловлювачі та циклони.

Пилеосаджувальні камери застосовують для попереднього грубого очищення газів від пилу порівняно великих розмірів ( $> 50-100$  мкм). Виділення частинок пилу з газу здійснюється тут внаслідок гравітації (рис. 2.10).



1 – підвід запиленого газу; 2 – робочий об'єм камери; 3 – вихід очищеного газу; 4 – бункера для збору і відводу уловленого пилу

Рисунок 2.10 – Конструкція пилеосаджувальної камери

Для гравітаційного осадження пилу необхідно, щоб частинки пилу встигли осісти в камері за час перебування в ній, що відображає наступна рівність співвідношень:

$$L/w_{\Gamma} = H/w_{вч}, \quad (2.3)$$

де  $L$  – довжина пилеосаджувальної камери, м;

$w_{\Gamma}$  – швидкість газу, м/с;

$H$  – висота камери, м;

$w_{вч}$  – швидкість витання частинок пилу (середня швидкість падіння частинок в нерухомому газі), м/с.

Час знаходження частинок пилу при їх русі в камері зі швидкістю потоку газу:

$$\tau_1 = L/w_r \quad (2.4)$$

Час необхідний для гравітаційного осаджування частинок пилу:

$$\tau_2 = H/w_{B_ч} \quad (2.5)$$

Для осаджування пилу необхідне виконання умови  $\tau_1 \geq \tau_2$ .

Рівняння (2.3) можна використовувати для орієнтовних конструкторських розрахунків пилоосаджувальної камери. Наприклад, при відомій висоті камери  $H$  довжина камери  $L$  складе:

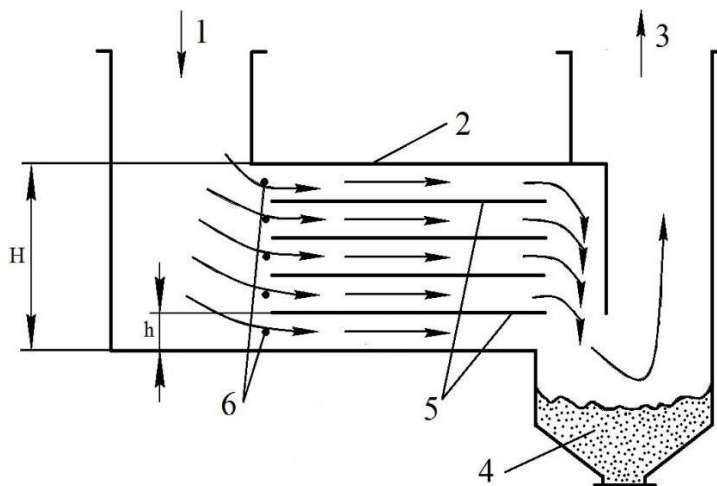
$$L = H \cdot (w_r/w_{B_ч}) \quad (2.6)$$

Швидкість газу  $w_r$  в камерах складає в межах  $0,2 \div 0,8$  м/с. Ступінь уловлювання залежить від розмірів пилу. Наприклад, для частинок 50 мкм, може складати 80-90%.

Перевагою пилоосаджувальних камер є простота конструкції.

Недоліком – громіздкість та низька продуктивність. Для гравітаційного осаджування пилу необхідно досить тривале перебування пилу в камері, а отже невеликі швидкості газу, що збільшує поперечний переріз камери і габарити в цілому.

Одним з варіантів удосконалення пилоосаджувальної камери є розміщення в робочому об'ємі камери горизонтальних або похилих полиць (рис.2.11).



1 – вхід запиленого газу; 2 – пилеосаджувальна камера; 3 – вихід очищеного газу; 4 – бункер для збору і видалення уловленої пилу; 5 – горизонтальні перегородки; 6 – горизонтальні полиці; 6 – напрям руху запиленого газу

Рисунок 2.11 – Камера з горизонтальними полицями

Горизонтальні полки поділяють робочий об'єм камери на ряд осередків, які виконують функцію автономних міні камер з висотою  $h$ :

$$h = H/(n + 1), \quad (2.7)$$

де  $n$  – кількість полиць;

$H$  – загальна висота пилеосаджувальної камери.

Час гравітаційного осаджування в осередку складе:

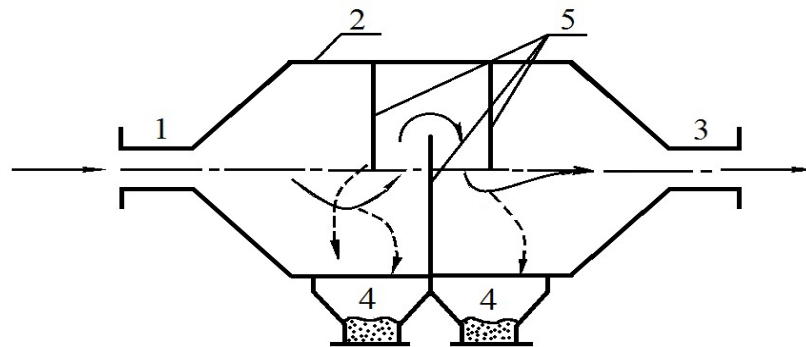
$$\tau_2 = h/w_{вч} = H/(n + 1) \cdot w_{вч}. \quad (2.8)$$

З виразу (2.7) випливає, що в разі установки горизонтальних полиць час необхідний для гравітаційного осаджування частинок зменшується в  $(n + 1)$  раз, а отже, зменшується довжина осаджувальної камери.

$$L = h \cdot (w_r/w_{вч}). \quad (2.9)$$

Певну складність при установці полиць викликає видалення пилу з пилоосаджувальної камери. Для цього камери обладнують форсунками для періодичного змиву пилу водою.

Удосконалення пилоосаджувальних камер досягається також встановленням вертикальних перегородок (рис.2.12).



1 – вхід запиленого газу; 2 – робочий об'єм осаджувальної камери; 3 – вихід очищеного газу; 4 – бункера для збору і відводу вловленої пилу; 5 – вертикальні перегородки

Рисунок 2.12 – Пилоосаджувальна камера з вертикальними перегородками

За рахунок установки вертикальних перегородок, забезпечується багаторазова зміна напрямку потоку газу, що сприяє не тільки гравітаційному, а й інерційному видаленню частинок пилу.

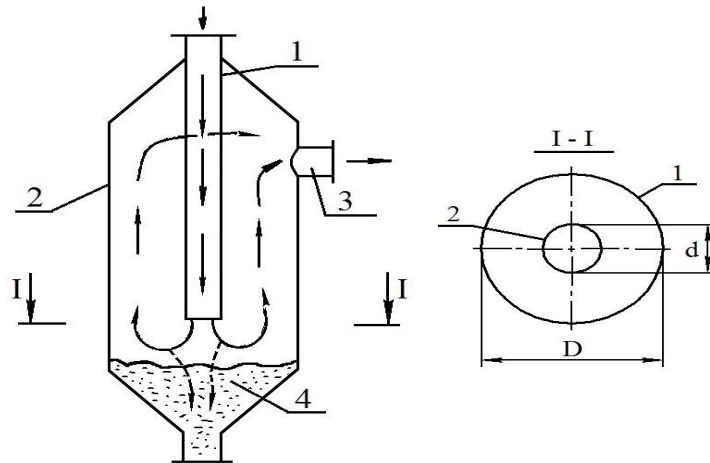
В інерційних пилевловлювачах поряд з гравітаційними силами велике значення в осадженні пилу набуває інерція руху частинок. Для цього в пилоосаджувальному апараті забезпечується різка зміна напрямку руху потоку газу. Пилі частинки прагнуть в силу інерції зберегти напрямок руху газу і при зміні напрямку випадають з потоку. Інерційні пилівловлювачі відрізняються між собою в залежності від конструктивного рішення, що забезпечує зміну напрямку потоку газу. Відомі, наприклад, такі варіанти:

- з центральним підведенням газу (радіальні пилівловлювачі);



- з боковим підведенням газу;
- з вертикальною перегородкою;
- з жалюзійними решітками.

В інерційному пиловловлювачі з центральним підведенням газу потік запиленого газу, що надходить через центральну трубу, робить поворот на  $180^{\circ}$  і розподіляється в кільцевому перерізі пиловловлювача (рис. 2.13).



1 – центральний підвід запиленого газу; 2 – циліндричний корпус пиловловлювача; 3 – відвід очищеного газу; 4 – бункер для збору і видалення вловленого пилу

Рисунок 2.13 – Інерційний пиловловлювач з центральним підведенням газу

Враховуючи, що швидкість газу в кільцевому перерізі пилоуловлювача повинна бути менше ніж швидкість витання часток [5]

$$W_r = V_r / 3,14 * (D^2 - d^2), \quad (2.10)$$

де  $V_r$ -витрати запиленого газу;

$D$  – діаметр циліндричного корпусу уловлювача;

$d$  – діаметр підвідної труби.

Використовуючи цю формулу можна провести конструктивний

розрахунок параметрів уловлювача. Наприклад, при відомій швидкості витання частинки  $W_{вч}$  і при певному діаметрі труби  $d$  центрального підводу запиленого газу діаметр пиловловлювача  $D$  визначається за формулою:

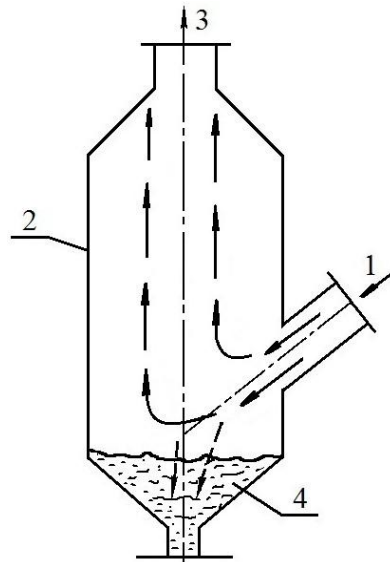
$$D^2 - d^2 = 4 V / 3,14 * W_r \quad (2.11)$$

Радіальні пиловловлювачі найефективніше працюють при швидкості газу в кільцевому зазорі  $0,6 \div 1,0$  м/с. При цьому для частинок більше 25-30 мкм ступінь уловлювання пилу може скласти 65-85 %.

В інерційному пиловловлювачі з боковим підведенням газу зміна напрямку потоку газу досягається розміщенням патрубків для підведення газу в нижній частині корпусу (рис. 2.14). При цьому відведення газу здійснюється в верхній частині пиловловлювача, що викликає різкий поворот газу в нижній частині в сторону виходу й інерційне відділення частинок пилу.

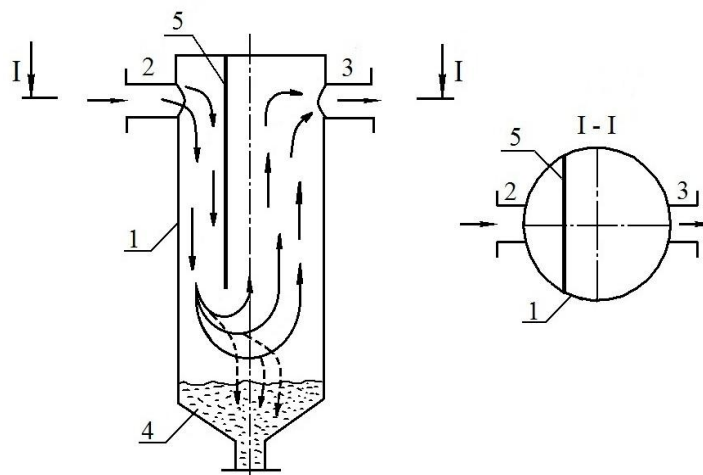
Зміна напрямку потоку і ефективність інерційного відділення пилу залежить також від кута нахилу вхідного патрубка до осі вертикального корпусу. Залежно від швидкості входу газу в корпус пиловловлювача кут нахилу патрубка змінюється в межах  $30 \div 60^\circ$ .

В інерційному пиловловлювачі з вертикальною перегородкою (рис. 2.15) зміна напрямку потоку газу і ступінь уловлювання пилу визначається положенням перегородки стосовно входу газу в пиловловлювач.



1 – бічний підвід запиленого газу; 2 – циліндричний корпус пиловловлювача; 3 – відвід очищеного газу; 4 – бункер для збирання пилу

Рисунок 2.14 – Інерційний пиловловлювач з боковим підведенням газу



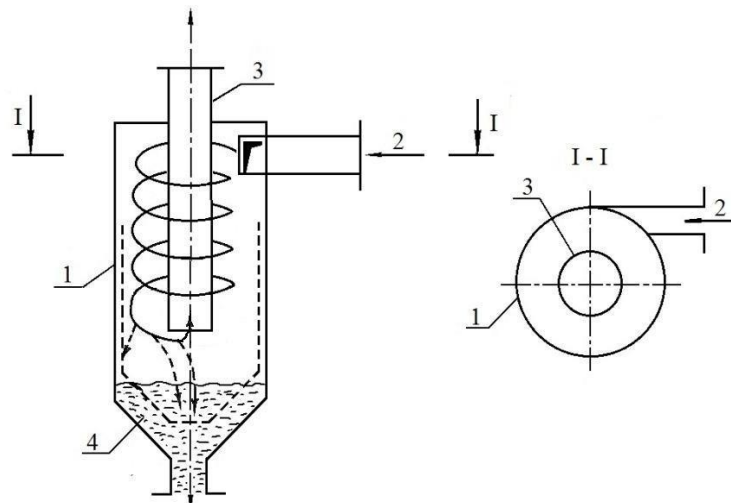
1 – циліндричний корпус; 2 – вхід газу; 3 – вихід газу; 4 – бункер для збору пилу; 5 – вертикальна перегородка

Рисунок 2.15 – Інерційний пиловловлювач з вертикальною перегородкою

Зміщення перегородки в сторону вхідного патрубку забезпечує зниження швидкості газу перед вихідним патрубком, що сприяє не тільки інерційному, але й гравітаційному осадженню пилу.

До числа інерційних пиловловлювачів відносяться також жалюзійні пиловловлювачі (рис.2.16), які зазвичай виконують функцію концентраторів пилу, що полегшує подальше очищення газу.

В жалюзійних пиловловлювачах потік запиленого газу розділяється на дві частини. Більша частина газу (80-90%) відводиться примусовою тягою в бічній газохід через жалюзі і частково звільняється від пилу. У меншій частини газу, що проходить повз жалюзі (10-20%), концентрація пилу збільшується: спочатку, внаслідок інерції руху пилу при повороті газу в жалюзійній решітці, потім внаслідок відскоку частинок пилу при ударі об жалюзійну решітку. Дані решітки застосовують для концентрації пилу більше 20 мкм. Швидкість газів в решітках 12-15 м/с. Після жалюзійного концентратора потік газу з більшою концентрацією пилу направляється на очищення, наприклад, в циклони. При цьому внаслідок невеликого об'єму газу з концентрованим пилом потрібні апарати очищення менших розмірів порівняно з очищенням всього потоку газу.



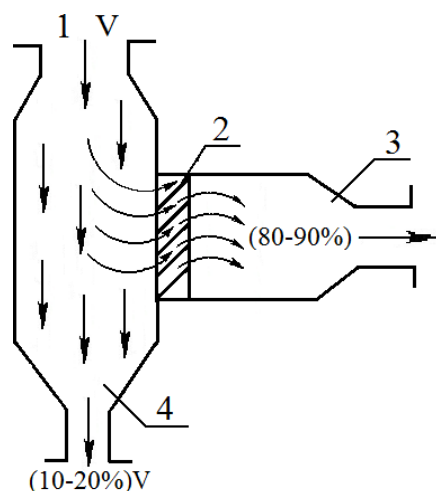
1 – вхід запиленого газу; 2 – жалюзійні решітки; 3 – вихід більшої частини газу зі зниженою концентрацією пилу; 4 – вихід меншої частини газу з підвищеною концентрацією пилу

Рисунок 2.16 – Жалюзійний пиловловлювач (концентратор пилу)

Недоліком жалюзійних пиловловлювачів є абразивний знос решіток і відкладення пилу всередині решіток.

В циклонах поряд з гравітацією й інерцією значення набувають відцентрові сили (рис.2.17) [13]. Тангенціальний підвід газу в циклоні забезпечує обертання потоку і відповідно появу відцентрових сил, які

відкидають частинки до стінок циклону, де відбувається гальмування частинок пилю і гравітаційне сповзання пилю в бункер.

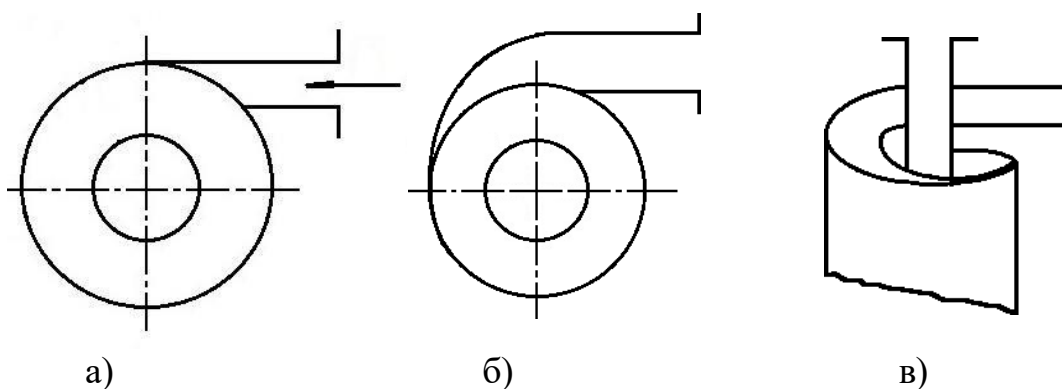


1 – циліндричний корпус; 2 – тангенціальний підвід газу; 3 – вихід очищеного газу; 4 – бункер для збору вловленої пилю

Рисунок 2.17 – Циклон з тангенціальним підведенням газу

Оптимальна швидкість газу на вході в циклон 20-25 м/с. При меншій швидкості недостатній вплив виникаючих відцентрових сил на частинки пилю. При більш високих швидкостях відбувається відскок частинок пилю від стінок циклону в потік газу, що знижує ефект очищення.

Основні варіанти підведення газу (рис.2.18):



а – тангенціальний; б – спіральний; в – гвинтоподібний

Рисунок 2.18 – Схеми підводу газу до циклону:

Залежно від конфігурації корпусу циклони діляться на два види: циліндричний і конічний. Поодинокі циклони, як правило, виконують циліндричними (рис.2.19).

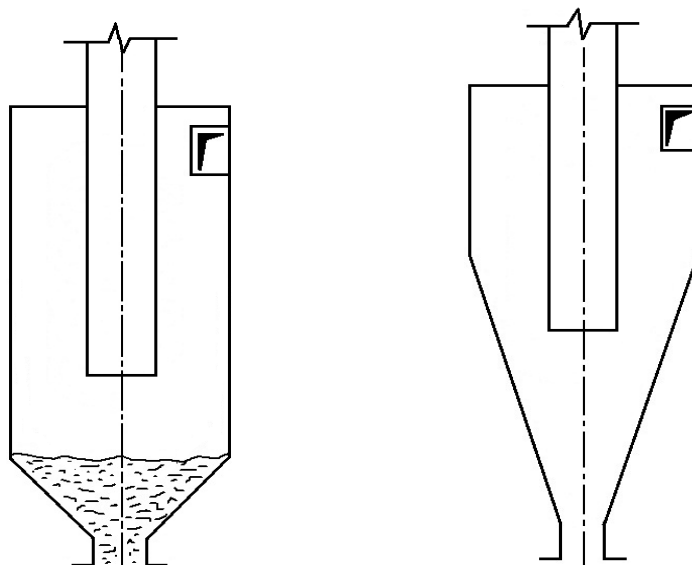
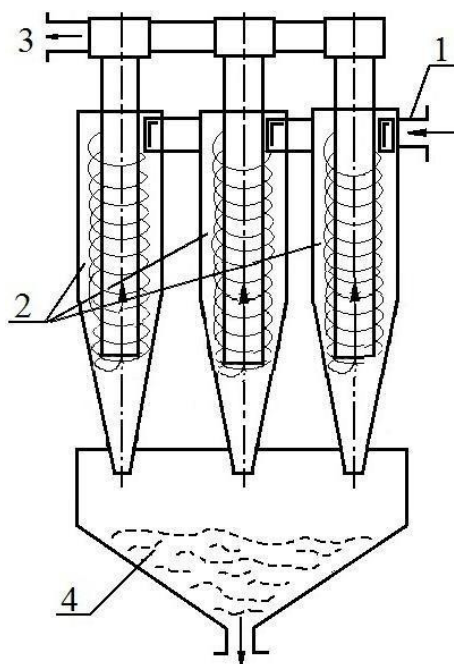


Рисунок 2.19 - Варіанти виконання одиночних циклонів

Зі збільшенням діаметра циклону ефективність пиловловлювання в циклоні знижується, так як зменшується закручування газового потоку і відповідно знижується дія відцентрових сил на частинки. У тому випадку, якщо кількість газу, що надходить на очищення, вимагає встановлення циклону діаметром більше 800 мм, циклон роблять груповим, тобто таким, що складається з групи циклонів меншого діаметра. Таким чином, груповий циклон представляє собою групу паралельно підключених по газу циклонів менших розмірів порівняно з одиночним циклоном (рис. 2.20).

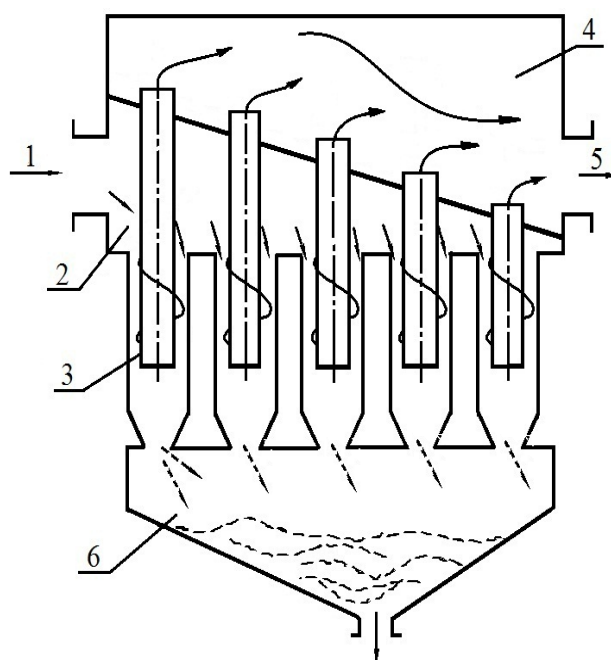
Розміщення елементів групового циклону може бути в два ряди (4 штуки), або в три ряди по 3 штуки в ряду.



1 – колектор для тангенціального підведення газу; 2 – елемент групового циклону; 3 – колектор для відводу очищеного газу; 4 – бункер для збору вловленої пилу

Рисунок 2.20 – Груповий циклон

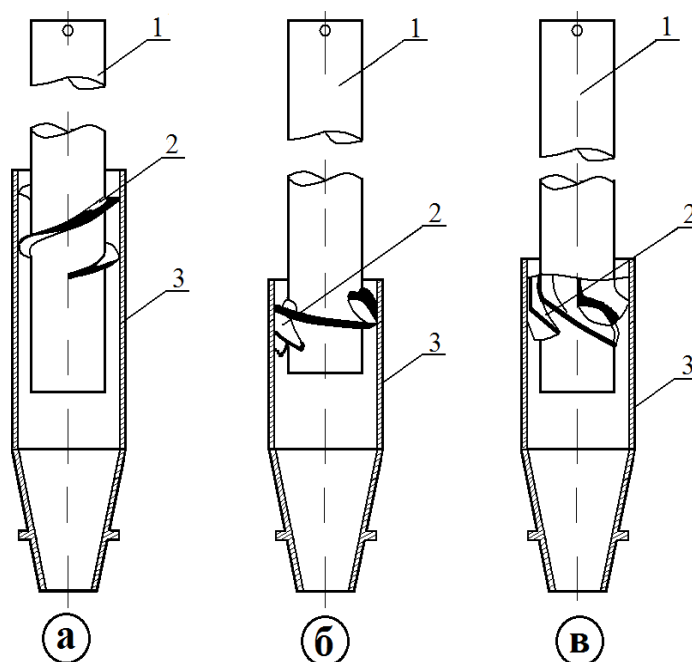
При кількості циклонів більше дев'яти слід застосовувати батарейні циклони (рис. 2.21).



1 – підвідний патрубок запиленого газу; 2 – розподільна камера; 3 – елемент батарейного циклону з гвинтовим підведенням газу; 4 – камера очищеного газу; 5 – патрубок для очищеного газу; 6 – бункер для збору вловленої пилу

Рисунок 2.21 – Батарейний циклон

Найбільш ефективно (до 80%) в циклонах уловлюються частинки більше 10 мкм. Для частинок менше 5 мкм циклони малоефективні. При розрахунку батарейного циклону визначають його гідравличний опір, ступінь уловлювання пилу в залежності від кількості газу, що поступає на очищення; щільність і температуру газу при нормальних умовах; в'язкість при робочих умовах, запиленість та щільність пилу. Залежно від властивостей вловлюваного пилу вибирається тип напрямного апарату циклонних елементів (рис.2.22).



а – напрямний апарат «гвинт»; б – «розетка»; в – «розетка» з без ударним входом; 1 – вихідна труба; 2– напрямний апарат; 3– корпус.

Рисунок 2.22 – Елементи батарейного циклону



Для пилу, схильного до злипання, застосовують напрямний апарат типу «гвинт», який менш схильний до забивання пилом. Діаметр циклонного елемента приймають залежно від запиленості газу, що надходить на очищення (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Допустима запиленість вхідного газу ( $\text{г/м}^3$ ), в залежності від діаметру циклонного елемента

Діаметр циклонного елемента, мм		100	150	250
Тип напрямного апарату	«гвинт»	25	50	100
	«розетка»	15	35	75

Втрата тиску в батарейному циклоні, визначається за формулою [5,14 ]:

$$P = \zeta w^2 / 2 \rho. \text{Па. с,} \quad (2.12)$$

де  $\zeta$  – коефіцієнт гідравлічного опору циклонного елемента;

$w$  – умовна швидкість газу в циклонному елементі, м/с;

$\rho$  – густина газу за робочих умов,  $\text{кг/м}^3$ .

Для напрямних апаратів типу «гвинт»  $\zeta=85$ , для апаратів типу «розетка» з лопатками, нахиленими під кутом  $\alpha=25^\circ$  –  $\zeta=90$ , а при  $30^\circ$  –  $\zeta=65$ .

Умовна швидкість газу в циклонах складе:

$$w = (4 \cdot V_1) / (\pi \cdot D^2), \text{ м/с,} \quad (2.13)$$

де  $V_1$  – витрата газу через один циклонний елемент за робочих умов,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$D$  – діаметр циклонного елемента, м.

Для батарейних циклонів при  $\zeta = 85-90$  оптимальне значення умовної швидкості  $w_{\text{опт}} = 3,85$  м/с, а при  $\zeta = 65$  оптимальне значення –  $w_{\text{опт}} = 4,5$  м/с. Значення умовної швидкості газу за робочих умов не повинно відхилятися від

оптимального більш, ніж на  $\pm 15\%$ .

Витрата газу через один циклонний елемент складе:

$$V_1 = w_{\text{опт}} \cdot (\pi \cdot D^2) / 4, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.14)$$

Потрібна кількість циклонних елементів визначається відношенням:

$$N = V / V_1, \quad (2.15)$$

де  $V$  – об'єм газу що поступає на очищення за робочих умовах,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Ступінь уловлювання пилу в елементі батарейного циклону визначається в наступній послідовності (таб.2.2).

На підставі математичної обробки рівняння для імовірнісних функцій отримано вираз для визначення ступеня уловлювання пилу циклоном:

$$\eta = 100 \cdot \Phi(x), \%. \quad (2.16)$$

де:  $\Phi(x)$  значення нормальної функції розподілу.

Таблиця 2.2 – Параметри, що визначають ступінь уловлювання пилу елементами батарейних циклонів

Характеристики елемента			$d^T$ , мкм	$\lg \sigma^T$
тип прямого апарату	кут нахилу $\alpha$ , град	діаметр $D$ , мм		
гвинт	25	250	4,5	0,46
розетка	25	250	3,85	0,46
розетка	30	250	5,0	0,46
розетка	25	150	3,38	0,46
розетка	25	100	3,0	0,46

Розмір частинок, уловлюваних елементами батарейного циклону на 50%, визначається за спеціальною формулою при заданих параметрів:

$$\rho_{1T}=2200 \text{ кг/м}^3; \mu_T=23,7 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}; w_T=4,5 \text{ м/с}.$$

Отримане значення  $d_{50}$  використовують для обчислення  $x$ . В свою чергу  $x$  дозволяє визначити за додатком А значення відповідної функції  $\Phi(x)$ . Обчислений за формулою (2.14) ступінь уловлювання пилу елементом батарейного циклона зіставляють з потрібним значенням.

У разі необхідності ступінь уловлювання пилу може бути збільшений зменшенням діаметра елемента батарейного циклону або вибором більш ефективного типу напрямного апарату.

Ступінь уловлювання пилу батарейним циклоном зазвичай нижчий, ніж його окремими елементами. Це викликано перетіканням газу, що очищується, між елементами циклона, внаслідок різниці значень їх гідравлічних опорів.

Для розрахунку батарейного циклону для очищення газів агломераційної машини, необхідно визначити його гідравлічний опір і ступінь уловлювання пилу при наступних вихідних даних: кількість газу, що надходить на очищення за нормальних умов  $V_0=200000 \text{ м}^3/\text{час}$ ; густина газу за нормальних умов  $\rho_0=1,29 \text{ кг/м}^3$ ; температура газу  $t=150^\circ\text{C}$ ; в'язкість газу за робочих умов  $\mu=24,1 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; розрідження в циклоні  $p=8 \text{ кПа}$ ; запиленість газу, що поступає на очищення  $Z^1=6 \text{ г/м}^3$ ; густина пилу  $\rho_1=4000 \text{ кг/м}^3$ .

Дисперсний (фракційний) склад пилу:

крупність частинок, мкм	<5	5... 10	10...20	20...40	>40	
масова доля, %	8	9	16	24	4	6

Розв'язок проводиться в наступному порядку.

Визначається густина газу за робочих умов: де  $p_H$  – тиск газу за нормальних умов,  $101325 \text{ Па}$ ;

Обчислюється витрата газу за робочих умов: виходячи з властивостей агломераційного пилу приймається циклонний елемент діаметром  $D = 250 \text{ мм}$  з напрямним апаратом типу «розетка» з  $\alpha = 30^\circ$ . Оптимальна швидкість газу в циклонному елементі в цьому випадку становить  $4,5 \text{ м/с}$ .

Потрібна кількість циклонних елементів складається таким чином: беремо 400 циклонних елементів, тобто компонування з чотирьох груп по 100 циклонних елементів у кожній, з розміщенням по 10 елементів в кожному ряду. В цьому разі визначається умовна швидкість газу в циклонних елементах.

Ступінь уловлювання пилу визначається за обчисленням розміру частинок, уловлюваних на 50% обраним циклонним елементом.

За заданим фракційним складом пилу будується інтегральна крива (рис. 2.23), що показує відносний вміст частинок пилу з розмірами меншими за даний розмір.

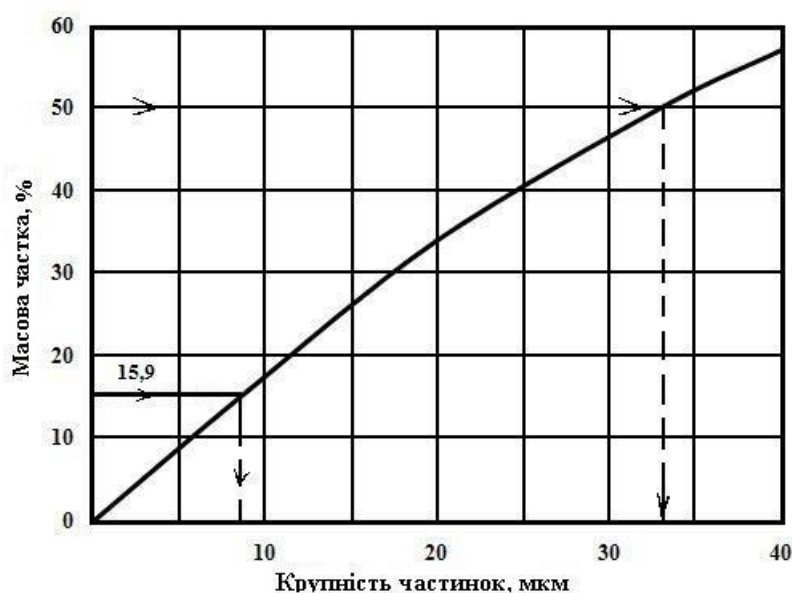


Рисунок 2.23 – Дисперсний (фракційний) склад пилу

Ступінь вловлювання пилу складе:

$$\eta = 100 \cdot 0,905 = 90,5\%.$$

В процесі експлуатації батарейних циклонів із різних виробничих причин ступінь уловлювання пилу знижується, і в умовах агломераційного виробництва в більшості випадків знаходиться на рівні 80-85%.

### 2.2.3 Рукавні фільтри та методика їх розрахунку

Серед безлічі видів пиловловлюючого обладнання широке застосування,

завдяки ефективності очищення та універсальним характеристикам, отримали рукавні фільтри. Рукавні фільтри – це спецобладнання, призначенням якого є очищення забрудненого стисненого повітря від пилу. Вони використовуються для сухого поділу пилових частинок або для вилучення корисного пилу з потоків повітря. Зазвичай забрудненість на виході, після процесу очищення становить не більше  $10 \text{ мг/м}^3$ , при цьому чистота повітря після процесу фільтрації досягає 99,99 % [6,16 ]:

Такі фільтри широко застосовуються в різних галузях виробництва видалення пилу на металургійних, хімічних підприємствах, у цементній промисловості;

- для обробки залізородних і нерудних металів, наприклад, у ливарному цеху;
- видалення пилу з котельних установок, зокрема також при спалюванні біомаси.

Головними перевагами рукавних фільтрів є ефективність, економічність, надійність і, відповідно, довговічність. Фільтр для очистки стисненого повітря встановлюють у системи пиловловлювання і аспірації. Основний елемент рукавного фільтра – це фільтрувальні рукави, які вимагають заміни і найчастіше зношуються. Залежно від умов використання обирається матеріал, з якого виготовлений рукав. Велику роль для надійної експлуатації таких рукавів грає якість матеріалу та пошиття, так як під час роботи вони проходять велику кількість процесів регенерації, тобто впливів на рукава різних струшувальних механізмів, імпульсів стисненого повітря і очищення продувкою. Для забезпечення надійності роботи даних фільтрів, рукава повинні мати високі технологічні властивості та пройти випробування на міцність, стійкість і довговічність. Конфігурація фільтрувальних рукавів має досить простий склад, вони зроблені з двох частин (верхньої і нижньої). Нижня частина може бути відкритою або закритою, тобто з вшитим дном або без нього. Верхня частина – відкрита і, зазвичай, включає в себе фіксувальні елементи (пружини, металеві закріплювальні кільця та інші елементи ущільнювачів). Поздовжній шов – це

сполучний елемент, якому приділяється особлива увага. Шов виготовляють не одним прошивним рядком, а декількома, це забезпечує його 100% надійність. Саме тому він витримує більше навантаження на розрив, у порівнянні з фільтрувальним полотном. Щоб забезпечити високу якість рукава, а також надійність експлуатації фільтра, виготовлення шва, зшивання бортів, шнурів та пружин проходить на спеціалізованому обладнанні. Фільтрувальні рукава мають циліндричну або круглу форму і виготовлені з фільтрувальної або голкопробивної тканини. Тканина фільтра повинна відповідати вимогам промислового процесу, хімічним, газовим і пиловим характеристикам, технічним характеристикам технологічного процесу.

Способи регенерації (очищення) фільтрувальних рукавів:

1. Продування зворотним напором повітря. У камерах використовуються безперервні потоки повітря низького тиску для видалення твердих речовин.
2. Механічне струшування або вібраційні дії для очищення від пилу.
3. Імпульсна регенерація, у процесі якої використовуються стиснуті потоки повітря під високим тиском для видалення твердих частинок. Такий вид очищення застосовується в рукавах, де встановлено металевий каркас.

Влаштування рукавних фільтрів їх технічні характеристики незначно відрізняються у різних виробників. Основні блоки та принципова схема конструкції складається з наступних елементів: камера брудного газу; камера чистого газу; корпус рукавного фільтра; монтажна плита (роздільна плита між чистою та брудною камерою); фільтрувальні рукави; система регенерації з ресиверами, пневмоклапанами, продувними трубами( рис. 2.24).

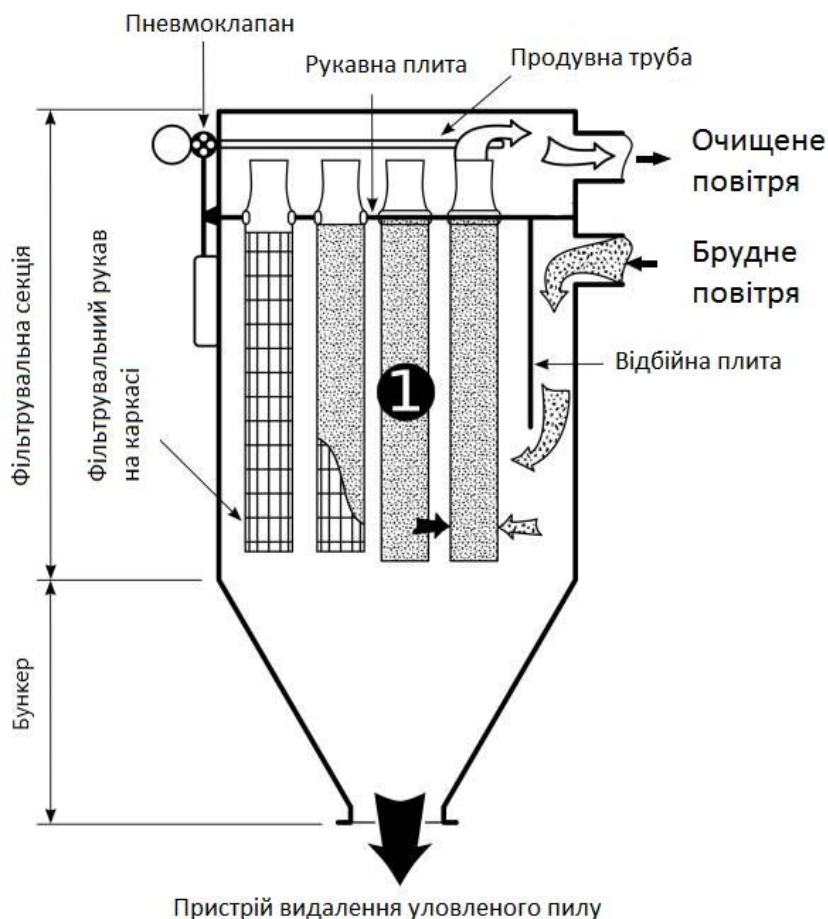


Рисунок 2.24 - Схема рукавного фільтра

Конфігурація фільтра відрізняється залежно від умов експлуатації і може бути доповнена майданчиками обслуговування, системою автоматичного вивантаження бункера, пневмо або вібро системою обвалу бункера, системою аварійного підмішування зовнішнього повітря для зниження температури. У разі розташування обладнання на вулиці, щоб уникнути утворення конденсату на корпусі, фільтр оснащується обігрівом пневмоклапанів і бункера, а також теплоізоляцією. Для фільтрації вибухонебезпечного пилу, наприклад, при виробництві борошна, цементу, вугільних підприємствах, фільтри виготовляються у вибухозахищеному виконанні. Така конструкція фільтра передбачає використання рукавів з антистатичним покриттям, що запобігає утворенню електричного заряду на поверхні фільтруючого матеріалу. Також на корпусі фільтра встановлюються вибухорозривні мембрани, які вивільняють надлишковий тиск у разі вибуху.

Фільтрувальний матеріал рукавів підбирається виходячи з особливостей середовища, властивостей і дисперсності пилу. Основні матеріали, що використовуються у рукавних фільтрах: поліестер (PE), мета-арамід (AR), поліамід (P84), скловолокно (FG), політетрафторетилен (PTFE), поліакрилонітрил (PAN), поліфеніленсульфід (PPS) та інші.

Принцип роботи рукавних фільтрів заснований на проходженні брудного повітря через пори нетканного матеріалу, що фільтрує. Запилене повітря газомходом через вхідний патрубок потрапляє в камеру брудного газу і проходить через поверхню фільтрувальних рукавів. Пил осідає на матеріалі, що фільтрує, а очищене повітря потрапляє в камеру чистого газу і потім видаляється з фільтра. У міру накопичення пилу на поверхні матеріалу фільтра, зростає опір руху повітря і знижується пропускна здатність фільтрувальних рукавів. Для очищення рукавів від уловленого пилу здійснюється їх регенерація стисненим повітрям або вібруванням, залежно від методу регенерації рукавного фільтра. Скинутий з рукавів пил потрапляє в бункер накопичувач і через пристрій розвантаження видаляється. Очищення рукавів від пилу проводиться переважно імпульсним продуванням (рис.2.25). Для імпульсної регенерації фільтрів використовується попередньо підготовлене стиснене повітря класу 9 тиском від 4 до 8 Бар. Витрата стисненого повітря індивідуальний кожному за фільтра і відбито у технічних характеристиках. Регенерація рукавів відбувається в автоматичному режимі за таймером або сигналом про перепад тиску (по дифманометру), без зупинки роботи фільтра.



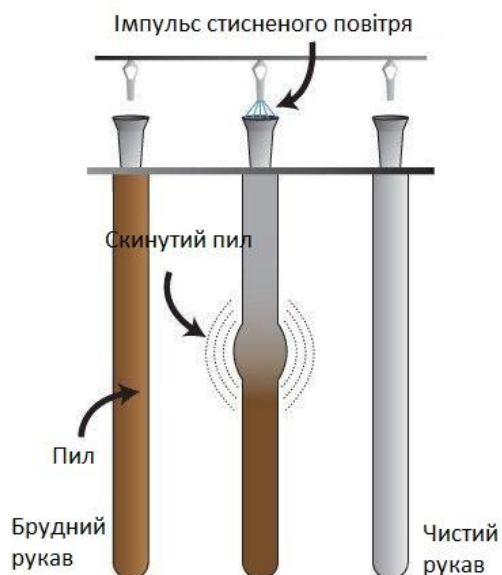


Рисунок 2.25 - Влаштування імпульсного продування рукавного фільтра

Рукавні фільтри можуть бути односекційними для малих об'ємів вихідного газу та багатосекційних для значних викидів (рис. 2.26, 2.27).



Рисунок 2.26 - Односекційний рукавний фільтр



Рисунок 2.27 - Багатосекційна установка (батарея) рукавних фільтрів послідовного з'єднання.

Заміна несправних фільтрів, як і монтаж нових, виконуються відповідно до проектної документації та умов експлуатації очисної системи. При заміні необхідно врахувати такі параметри і умови:

- щільність пилу;
- продуктивність фільтруючого пристрою;
- місце встановлення;
- якість та дисперсність пилу;
- параметри робочого середовища;
- ступінь очищення.

При виході з ладу одного рукава в батареї існує можливість відключити його, не змінюючи. Для цього необхідно закупорити фільтр за рівнем трубних ґрат. Знімати каркас або трубку продувки при цьому не потрібно. Для безпеки зміна рукавного фільтра має виконуватися фахівцями.

Рукавний фільтр потребує заміни у випадку, якщо спостерігається його повне зношування або знижується ефективність регенерації. Якщо у стінках фільтра утворилися наскрізні отвори, у цьому випадку заміна виконується раніше за встановлений час. Коли ж потрібна повна заміна вузла, проводяться

такі дії:

1. Перекриваються вхідні та вихідні заслінки відсіку у разі, якщо цього вимагає конфігурація пристрою.

2. Через оглядовий люк знімається продувна труба, яка підведена до частини батареї, що замінюється.

3. Від'єднується каркас рукава.

4. Рукав видаляється шляхом підняття його трубною решіткою, або опускання його в пилозбірний бункер. В останньому варіанті фільтр видаляється з відсіку через оглядовий люк.

5. Новий рукав монтується у зворотному порядку. Після приєднання закріплюється каркас, підключається продувна трубка. Після виконання заміни проводиться пробний пуск пристрою, щоб перевірити його справність і функціональність.

Завдяки універсальності своєї конструкції, а також багатой функціональності рукавні фільтри мають масу переваг перед розглянутими апаратами мокрої та сухої очистки і знайшли широке застосування в різних галузях. Однією з переваг є те, що вони легко вбудовуються в технологічну лінію, можуть бути адаптовані під умови обмежених габаритів. Серед пиловловлювачів сухого типу рукавні фільтри мають найвищий ступінь очищення – до 99%. Вони мають порівняно низькі експлуатаційні витрати, що обмежуються регламентною заміною фільтруючих рукавів один раз на 2-3 роки (даний термін залежить від агресивності середовища, температури та вологості) та періодичною заміною пневмоклапанів. Рукавні фільтри можуть так само ефективно функціонувати в умовах зими з температурою зовнішнього повітря до (- 15...30<sup>0</sup>C). В умовах України їх можна використовувати на відкритому просторі за межами будівлі цеху.

В зв'язку з цими перевагами зроблено вибір апаратів з рукавними фільтрами для модернізації системи очищення газів аглопроцесу.

При цьому існують особливі вимоги при експлуатації рукавних фільтрів. Один з них це необхідність визначення достатнього об'єму стисненого

повітря. Для забезпечення фільтрації 150-200 тис. м<sup>3</sup>/год забрудненого газу, необхідна подача стисненого повітря в обсязі 4000 л/хв. Для деяких фільтрів необхідне застосування рукавів із метаараміду, скловолокна, поліаміду та інших дорогих матеріалів, від правильності підбору яких залежить термін їх служби. Помилки у підборі фільтруючого матеріалу спричиняють значне збільшення вартості експлуатації всього обладнання.

Визначаємо поверхню фільтрування [5.11]:

$$F_{\text{пф}} = (V_{\text{г}} + V_{\text{пз}} + V_{\text{пв}}) / w_y \quad (2.17)$$

де  $V_{\text{г}}$  - витрата запиленого газу;  $V_{\text{г}} = V_{\text{з}} = 2,65 \text{ м}^3 / \text{с}$ ;

$V_{\text{пр}}$  - витрата продувного газу;  $(0,1 - 0,2) V_{\text{г}}$ ;

$V_{\text{пв}}$  - витрата повітря, що підсмоктується в апарат, приймаємо на 10% більше витрати газу  $(1,05 - 1,1) V_{\text{г}}$ ;

$w_y$  - допустиме питома навантаження тканинного фільтра газу,

$w_y = (0,8 - 1,0) \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{с}$ ;

$V_{\text{пр}} = 0,15 \times 2,65 = 0,3975 \text{ м}^3 / \text{с}$ ,  $V_{\text{пв}} = 1,1 \times 2,65 = 2,915 \text{ м}^3 / \text{с}$ .

Розрахована поверхня фільтрації має бути перевірена на допустиму запиленість тканин :

$$F = G^{\text{н}} / G^{\text{д}}; \quad (2.18)$$

де  $G^{\text{н}}$  - вихідна кількість пилу в газі, кг/с, що надходить у рукавний фільтр;

$G^{\text{д}} = (0,2 - 0,3) W$  допустима питома запиленість тканини,  $\text{м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{с}$

$(W = 0,9 \cdot 10^{-2})$

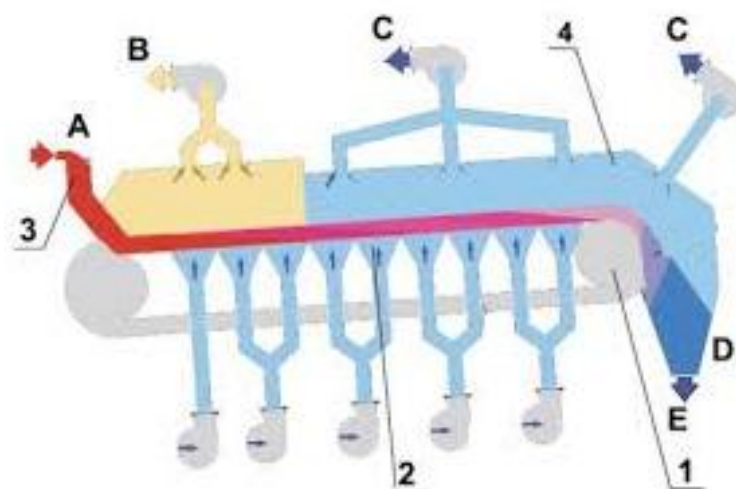
Тоді:  $F = (0,3975 + 2,915 + 2,65) / 0,009 = 662,5 \text{ м}^2$

$662,5 > 10,15 \Rightarrow$  умову дотримано.

Вибираємо фільтр із зворотним посекційним продуванням ФР-518 з наступними характеристиками:

фільтруюча поверхня  $F=518 \text{ м}^2$ , кількість секцій - 6 шт, кількість рукавів в апараті - 432шт, діаметр рукава, 127 мм, висота рукава, 3 м, габарити: ширина, 3,4 м, довжина, 13,7 м, висота, 9,5 м, маса, 25 т.

Позитивний досвід використання рукавних фільтрів отримано на ВАТ комбінату «Запоріжсталь». Для підвищення аспірації вихідних газів приділено стану укриття стрічки агломашини [6]. На аглофабриці зроблено додаткове укриття хвостової частині агломашини (рис. 2.28).



1 - привід агломашини; 2 - вакуум камери; 3 - рух шихти; 4 - укриття; А - завантаження шихти; В - відвід газів з горна запалювання; С - відвід газів з укриття; Д - видалення газів і пилу із зони видачі агломерату; Е - видача агломерату: для В, С, Д використовуються димососи; а для вакуум камер-ексгаустери

Рисунок 2.28 - Схема укриття і аспірації шкідливих газоподібних виділень аглопроцесу

Після повного завершення на ПАТ комбінат «Запоріжсталь» модернізації газоочисних систем агломашин №1-6 у 2018р. встановлено, що забезпечується необхідне очищення повітря робочої зони від пилу - до  $30 \text{ мг/м}^3$  і сірчаного ангідриду - нижче  $400 \text{ мг/м}^3$ , що відповідає європейським нормативам викидів. Також виникає реальна можливість поетапно знижувати скидання шламових

вод від оборотного циклу аглоцеху.

### **2.3 Використання електрофільтрів для знепилювання відхідних газів**

Серед відомих способів очищення газів електричний спосіб є одним з найбільш ефективних, а електрофільтр - універсальним апаратом із всіх сучасних апаратів, створених для видалення дисперсних частинок з повітря і газів. Йому властиві наступні основні особливості [4]:

- залежно від вимог виробництва можливо сконструювати електрофільтр будь-якої продуктивності (від одиниць до декількох мільйонів кубічних метрів на годину) і з бажаним ступенем очищення газів (до 99 і навіть 99,9%);

- електрофільтри володіють в порівнянні з іншими апаратами найменшим гідравлічним опором (50 - 150 Па) і можуть працювати як при атмосферному тиску, так і при тиску вище і нижче за атмосферний;

- електрофільтри ефективно видаляють пил з газу в широкому діапазоні концентрацій до  $50 \text{ г/м}^3$ , а температура газу може досягати  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  і вище;

- у електрофільтрах можна уловлювати частинки розміром від 0,01 до 100 мкм, причому процес очищення газів повністю автоматизується і здійснюється зазвичай при меншій витраті енергії, ніж в інших газоочисних апаратах;

- електрофільтри можуть виконуватися з матеріалів, стійких до кислот, лугів і інших агресивних речовин, що розширює спектр їх застосування.

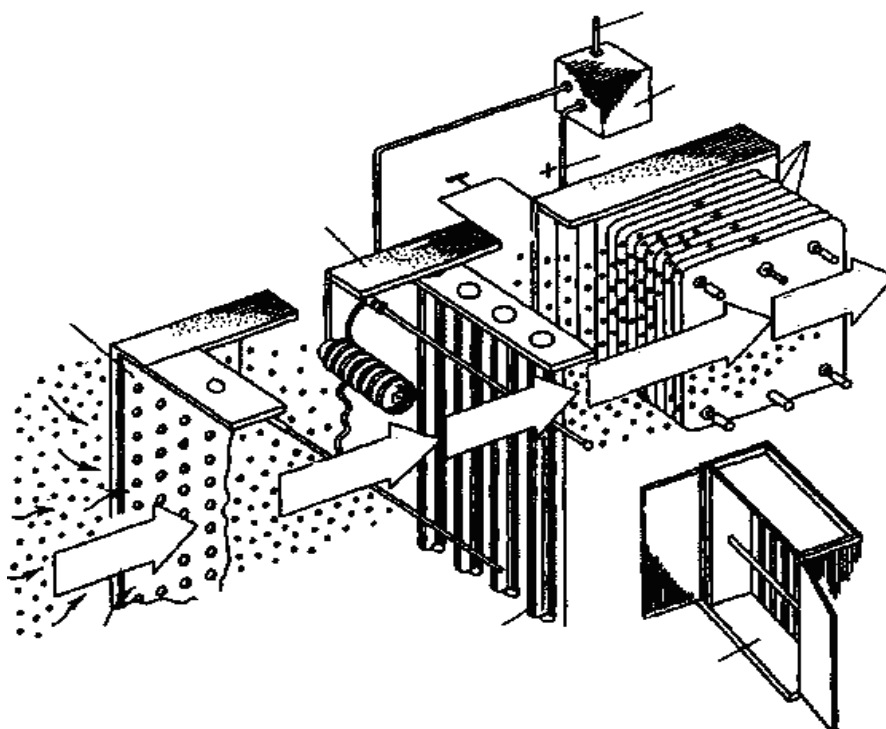
Електричне очищення газу від зважених частинок (пилу, туману, диму) засноване на тому, що за рахунок іонізації газових молекул електричним розрядом і подальшої їх сорбції на частинках пилу відбувається зарядження зважених частинок, які під впливом електричного поля рухаються до протилежно заряджених електродів і осідають на них (рис. 2.29).

Найбільш істотним недоліком цих апаратів є те, що в електрофільтрах можуть осідати тільки речовини, що знаходяться в зваженому стані, тобто у вигляді пилу або туману. У них не можна відокремити один газ від іншого чи від парів без попередньої конденсації парів або без здійснення хімічних реакцій з переведенням уловлюваного компонента з газоподібного в твердий стан.

Крім того, капітальні витрати на придбання і установку електрофільтру більші ніж вартість інших апаратів і тому, якщо газу мають невисоку температуру, а уловлюваний матеріал сухий і не викликає корозії, то доцільніше використовувати для очищення рукавний фільтр. Якщо ж пил, який треба уловити, має розміри понад 15 мкм, то газ можна очищати від пилу з меншими витратами в циклонах. Проте і тканинний фільтр, і циклон створюють великий гідравлічний опір, що зумовлює більші експлуатаційні витрати в порівнянні з електрофільтром.

Слід зазначити, що іноді пил має такі фізико-хімічні властивості, які виключають можливість застосування електрофільтру для його уловлювання, як наприклад сажа, що складається з надзвичайно дрібних частинок, має незначну масу і дуже низький питомий електричний опір.

Разом з тим слід підкреслити, що при правильному виборі електрофільтру і його експлуатації в оптимальному технологічному режимі він за всіма показниками в більшості випадків перевершує газоочисні і пиловловлюючі апарати всіх відомих типів.



I - запылене повітря; II - незаряджені частинки; III - заряджені частинки;

IV - позитивно-заряджені частинки; V - осаджені частинки; VI - чисте повітря; 1 - решітка для вирівнювання потоку повітря; 2 - іонізатор; 3 - пластини, на яких осідають частинки пилу; 4 - джерело високої напруги; 5 - підключення до електромережі; 6 - підведення електроструму напругою 6 кВ до трубок іонізатора; 7 - підведена шина; 8 - елемент, на якому осідають частинки (загальний вигляд)

Рисунок 2.29 - Схема роботи електрофільтра

## 2.4 Висновки

1. Проведено аналітичне порівняння різних способів очищення вихідних газів від пилу: мокрої та сухої очистки. Виявлено суттєві переваги апаратів сухого очищення з точки зору екології виробничого і природного середовища, можливості використання вторинних продуктів.

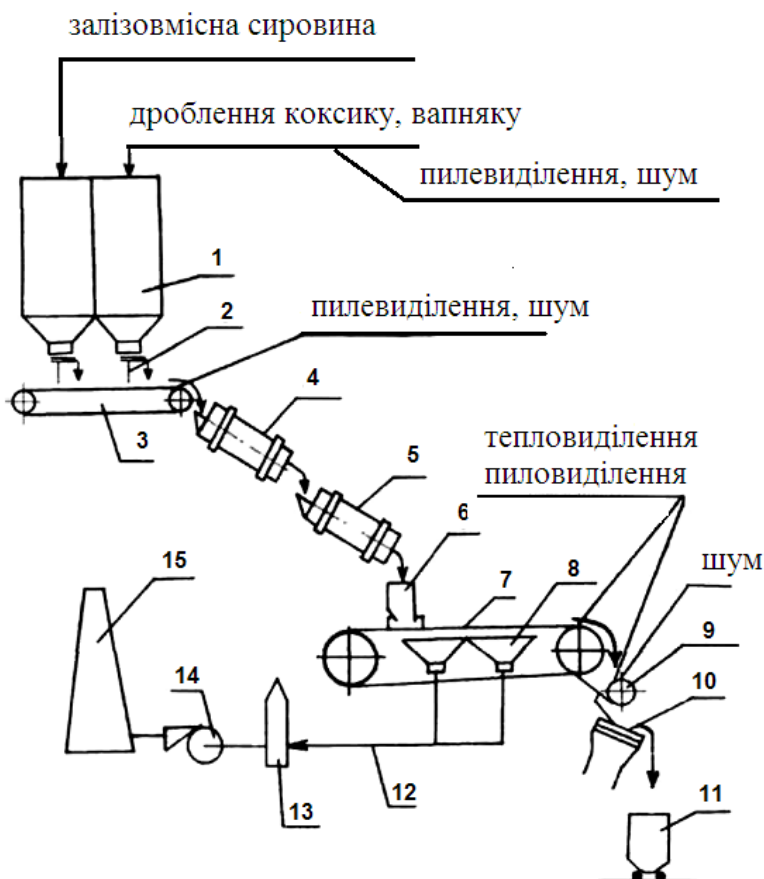
2. Доведено, що оптимальним є використання багатосекційних апаратів з рукавними фільтрами і імпульсною регенерацією.



### 3 ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

#### 3.1 Виявлення та оцінка шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища

Потенційні шкідливі фактори в агломераційному виробництві виділяються на всьому ланцюгу технологічних операцій (рис.3.1) [6].



1 - бункер; 2 - живильники; 3 - стрічковий конвейер; 4 - барабанний змішувач; 5 - окомковувачі; 6 - бункер розподільник; 7 - стрічка машини; 8 - вакуум-камери; 9 - дробарка; 10 - гуркіт; 11 - хопер; 12 - газовий колектор; 13 - газоохолоджуючий пристрій; 14 - ексгаустер; 15 - димова труба

Рисунок 3.1 - Апаратурно-технологічна схема процесу агломерації з позначенням шкідливих і небезпечних факторів

На ділянках подрібнення коксу і вапняку основними є шум і

пиловиділення, які виникають як у дробарок, так і у бункерів при завантаженні залізородної сировини. Пил в великих кількостях виділятися і від живильників бункерів.

Також шум і пиловиділення виникають при перевантаженні сировинних матеріалів на стрічкові конвеєри. Значні перевищення цих факторів видно з карти умов праці (табл. 3.1) на робочому місці дробильника. Як видно з таблиці, в робочій зоні діють 7 шкідливих і небезпечних факторів, з них 4 фактора 3-го ступеня шкідливості; 1 другого ступеня і 2 - першої. Таким чином, умови праці можна віднести до особливо шкідливим.

Таблиця 3.1 - Оцінка факторів виробничого середовища трудового процесу (дробарник)

№ п/п	Фактори виробництв, іншого середовища і трудового процесу	Нормативне значення ДК,ГДУ)	Фактичне значення	III клас- шкідливі і небезпечні умови і характер праці			Час дії фактору, % за зміну						
				1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь							
1	2	3	4	5	6	7	8						
1.	Шкідливі хімічні речовини, мг / м <sup>3</sup> ; I клас безпеки	0,0010	0,012	1,2 р			96,6						
	Хромовий ангідрид												
	II клас безпеки	0,200	0,11							96,6			
	Аерозоль оксиду марганцю												
	III-IV клас безпеки	2	0,7										96,6
	Азоту діоксид												
Сірчистий ангідрид	10	2,5			96,6								
2.	Пил переважно фіброгенного дії, мг / м <sup>3</sup>	4				30							
3.	Вібрація (локальна), дБ	97				118			21	80			
4.	Шум, дБА	80				106			26	96,6			
5.	Мікроклімат в приміщенні:												
6.	Тяжкість і напруженість	середня тяжкість, 2б; напруженість помірна											
7	Загальна оцінка умови праці			2	1	4							

### 3.1.1 Заходи з поліпшення умов праці

У таблиці 3.2 наведені заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища в аглоцеху. Всі працівники цеху безкоштовно забезпечені спецодягом, спецвзуттям і засобами індивідуального захисту [17].

При відсутності засобів захисту наведених вище шкідливості спричиняють появу окремих ознак профзахворювань (глухота, підвищений тиск), а також спричиняють росту патологій з короткочасною втратою працездатності (теплові удари).

Для поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці у цеху приймаються заходи для зменшення забруднення виробничого середовища:

- бездимне завантаження аглострічки;
- систематичний контроль за станом стиків, укриття;
- контроль за станом газопроводів і апаратури з метою ліквідації просочування газу;
- зменшення пилевидалення при завантаженні і видалення шихти із бункерів;
- використання установок для спалювання газу;
- забезпечення повного видалення газу від робочих майданчиків.

Таблиця 3.2 - Технічні міри захисту виробничого середовища

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор виробничого середовища	Захисний пристрій	Тип пристрою	Параметри пристрою	Місце установки
1	Запиленість	Витяжна вентиляція	КСЗ	До 20мг/м <sup>3</sup>	У місцях утворення пилу(завантаження аглострічки)
2	Запиленість	Респіратор ЗІЗОД	ШБ-1М	До 10мг/м <sup>3</sup>	Індивідуально
3	Шум	Навушники противошумові, беруші		Придатний до 110дБА	Індивідуально
4	Теплий період року	Костюм з х/б тканини, черевики	Тм	До 40 °С	Індивідуально
5	Шкідливі хімічні речовини	Теж що й при запиленості - костюм х/б, рукавиці	Пм	До 12мг/м <sup>3</sup>	За розміром зросту працівника

## 3.2 Виробнича санітарія

### 3.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення робочих місць і приміщень необхідному мікроклімату і чистого повітря використовують різноманітні заходи і пристрої. Залежно від способу переміщення повітря розрізняють природну й механічну вентиляцію. Для усунення надлишків теплоти використовують механічну і природну витяжну вентиляцію. Холодне повітря надходить через вікна, двері, ворота, а тепле видаляється через ліхтарі [17].

Ефективним засобом забезпечення необхідних гігієнічних якостей повітря, що сприяють нормальній роботі, і відповідають санітарним вимогам передбачена місцева вентиляція деяких робочих місць. Норми мікроклімату на постійних робочих місцях зазначені в таблиці 3.3 (ДСН 3.3.6.042-99).

Таблиця 3.3 - Значення припустимих параметрів повітряного середовища в робочій зоні

Період року	Характеристика виробничих приміщень по надлишковим тепловиділенням	Категорія робіт з важкості	На постійні роб. місцях			Температура за постійним робочим місцем, °С
			Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с	
Теплий Холодний	>23 Вт/м <sup>3</sup>	11б	16/27	70	0,2-0,5	29
	Менше 23 Вт/м <sup>3</sup>	11б	15/21	75	До 0,4	23

В холодний період року багато уваги приділяється герметизації приміщення з метою збереження частки тепла необхідного для підтримання допустимого мікроклімату в цеху. Для цього припливні жалюзі відкриваються тільки на висоті не нижче 1,8 м, залізничні і автомобільні ворота обладнаються повітряними завісами. Робітникам, що працюють в зонах без значних тепловиділень виділяють теплу одягу.

### 3.2.2 Природне й штучне освітлення виробничих приміщень

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне висвітлення. Незадовільне висвітлення утрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й працездатності очей і може бути причиною нещасних випадків й їхніх захворювань.

Характеристика приміщення ділянки агломашин:

- характер робіт - середня точність;
- розмір об'єкта розпізнавання, мм від 0,5 до 1;
- розряд зорової роботи – IV;
- підрозряд роботи – В;
- контрастність об'єкта розрізнення – середня;
- фон – середній;

- рівень освітленості  $E_n$ , лк – 200.

Під час ремонту встаткування передбачене штучне висвітлення.

На промислових підприємствах штучне висвітлення підрозділяється на робоче (для проведення робіт у темний час доби або в місцях без достатнього природного висвітлення), аварійне - не менше 50% робочого. Евакуаційне висвітлення застосовують для евакуації людей із приміщення при аварійному відключенні робочого висвітлення. Охоронне висвітлення використовують у неробочий час. При необхідності частина світильників того або іншого виду висвітлення можна використати для чергового висвітлення.

Штучне висвітлення проектується двох систем: загальне (рівномірне або локалізоване з урахуванням розташування робочих місць) і комбіноване, коли до загального висвітлення додається місцеве. Застосування одного місцевого висвітлення не допускається, тому що різкий контраст між яскраво освітленими й неосвітленими місцями стомлює очі, сповільнює швидкість роботи й нерідко є причиною нещасних випадків. Застосовуються сучасні енергозберігаючі лампи люмінесцентні чи світлодіодні типу LED потужністю 100-200 Вт та світильники «Астра». При наявності пилу у повітрі цеху краще діють дугові ртутні лампи типу ДРЛ, потужністю до 1000 Вт з світильниками прямого світла.

Згідно ДБН 8.2.5-28-2006 для приміщень, у яких проводяться роботи 6-го розряду, тобто спостереження за ходом виробничого процесу, передбачається комбіноване висвітлення.

Природне висвітлення нормується. Основним показником нормування служить коефіцієнт природної освітленості (КПО).

Місто Запоріжжя перебуває в 3 поясі світлового клімату, тому КПО для нього буде обчислюватися за формулою:

$$KEO_n^4 = KEO_n^3 \cdot m \cdot e = 1,8 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 1,38\% , \quad (3.1)$$

де  $KEO_n^3$  – значення КПО для 3- го поясу світлового клімату;

$m$  - коефіцієнт світлового клімату;  $e$  - коефіцієнт сонячного клімату.

Освітленість повинна бути забезпечена не менш 75% необхідного, що досягається застосуванням комбінованого висвітлення.

Для розрахунку штучного освітлення визначають необхідний світловий потік лампи кожного світильника [18]:

$$F = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (3.2)$$

де  $E$  - найменша освітленість, лк;

$k$  - коефіцієнт запасу;

$S$  - освітлювана площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$z$  - коефіцієнт мінімальної освітленості, для люмінесцентних ламп приймають  $z = 1,1$ ;

$\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку;

$N$  - кількість світильників.

Значення  $\eta$  визначається залежно від індексу приміщення, що визначається:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (3.3)$$

де:  $A$  і  $B$  - довжина й ширина приміщення, м; розглянемо машинний зал печі:  $A=30$  м;  $B=20$  м ;

$h$  - висота підвісу світильників над розрахунковою поверхнею,  $h=4$  м.

$$i = \frac{20 \cdot 30}{4 \cdot (20 + 30)} = 3,0$$

Тоді коефіцієнт використання, тобто відносна частка потоку лампи, що падає на поверхню  $S$ , дорівнює 78% ( $=0,78$ ).

Визначаємо кількість світильників:

$$N = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{n \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 2 \cdot 600 \cdot 1,1}{1 \cdot 35000 \cdot 0,78} = 7,2 \text{ шт}; \quad (3.4)$$

де: E - найменша освітленість для газорозрядних ламп у плавильних цехах E = 150 лк);

k=2; S=600м<sup>2</sup>; для люмінесцентних ламп приймають z = 1,1;

n - число ламп у світильнику, n=1;

Φ<sub>л</sub> – світловий потік лампи, Φ<sub>л</sub>=35000лм.

Вибираємо тип лампи: ДРЛ - 700, потужністю 700 Вт; світильники «Астра-32» з однією лампою в кожному ,або сучасні світлодіодні світильники типу EGLO 31093,потужністю 317 Вт, світловий потік - 5800лм.

### 3.2.3 Опалення й вентиляція

Найважливіше значення для нормальної життєдіяльності людини має наявність чистого повітря необхідного хімічного складу й маючого оптимальну температуру, вологість і швидкість руху. Ці параметри регламентуються ДСТУ, НПАОП, БН1П, СН «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги. Повітря робочої зони» й «Санітарні норми проектування промислових підприємств».

На підтримку цих параметрів відповідно до нормативних документів спрямовані заходи щодо опалення, і вентиляції .

Опалення основних виробничих приміщень передбачається парою з температурою 120 °С і повітряне, сполучене із припливною вентиляцією. Приплив здійснюється великими установками, розташованих групами. У місцях, де умови формування струменя дозволяють створити необхідні температурні умови й рухливість повітря в робочій зоні й у місць можливих пило виділень (0,15-0,3 м/с), застосовують струминну подачу повітря. У приміщеннях невеликої висоти з більшою кількістю встаткування, роздача повітря здійснюється повітророзподільними насадками безпосередньо в робочу зону.



Виходячи з категорій виконуваних робіт їх важкості і характеристики виробничих приміщень по надлишкам явного тепла, з урахуванням періодів року (теплий, холодний), установлюють параметри повітряного середовища для робочої зони пічного і розливного відділення.

Більша швидкість руху повітря в теплий період року відповідає максимальній температурі повітря, менша - мінімальній температурі повітря. Природна вентиляція здійснюється за допомогою аерації - організованого регульованого природного повітрообміну.

### **3.2.4 Інженерний розрахунок природної вентиляції приміщення цеху**

Для створення допустимого мікроклімату цеху ,особливо влітку, необхідно використання витяжної вентиляції: механічної або природної. Враховуючи наявність в цеху місцевої витяжки у місцях шкідливих викидів газу і пилу з використанням системи газоочищення, теплові викиди мають незначне забруднення. Виникає можливість більш ефективно використати природну вентиляцію, що не потребує дорогих енерговитрат і обладнання. Природна вентиляція (аерація) це організований і регульований повітрообмін. Для аерації в цеху влаштовані три ряди отворів у поздовжніх стінах будівлі: перший ряд - на рівні 1м від підлоги, другий - 4,2 м і третій - на рівні підкранових балок. Таке розміщення отворів дозволяє збільшити повітрообмін улітку, а взимку, закривши нижні прорізи, зменшити його й забезпечити за рахунок тепла приміщення підігрів холодного повітря перше, ніж воно дійде до робочих місць. На даху влаштований витяжний аераційний ліхтар з кутом відкриття стулок  $80^{\circ}$ . При розрахунку загального повітрообміну на теплий період року (як самого несприятливого для аерації) переважною шкідливістю в цеху є надлишки явної теплоти.

Кількість необхідного припливного повітря,  $\text{м}^3/\text{год.}$ :

$$L_{np} = \frac{Q_y - C_6(t_{pz} - t_{np})}{C_6(t_{yx} - t_{np})} + L_{mo}, \quad (3.5)$$

де  $Q_l$  - надлишки явної теплоти в приміщенні цеху, кВт;

$L_{mo}$  - кількість повітря, що видаляє з робочої зони місцевою витяжкою, м<sup>3</sup>/с;

$C_6$  - теплоємність повітря ( $C_y = 1,005$  кДж/( м<sup>3</sup> ·°С));

$t_{pz}$  - температура робочої зони, °С ;

$t_{np}$  - температура припливного повітря, °С (для теплого періоду дорівнює температурі зовнішнього повітря);

$t_{yx}$  - температура повітря, що видаляється з верхньої зони приміщення, °С.

Температуру повітря, що видаляється,  $t_{yx}$  визначаємо за формулою:

$$t_{yx} = \frac{t_{pz} - (1-m)t_{np}}{m}, \quad (3.6)$$

де  $m$  - коефіцієнт, обумовлений залежно від відношення площі, займаної тепловиділяючим устаткуванням до площі приміщення цеху (приймаємо рівним 0,6).

$$t_{yx} = \frac{t_{pz} - (1-m)t_{np}}{m} = \frac{32 - (1-0,6) \cdot 20}{0,6} = 40 \text{ °С}$$

Надлишки явної теплоти в приміщенні цеху складаються з тепловиділень від рідкого феросплаву і шлаку, що виходить з печі та остигає на повітрі. Тепловиділення, кВт:

$$Q_l = N_y \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4, \quad (3.7)$$

де  $N_y$  - номінальна потужність устаткування, кВт;

$k_1, k_2, k_3, k_4$  - відповідно, коефіцієнти використання настановної потужності (0,7–0,9); завантаження встаткування (0,9); одночасності роботи встаткування

(1,0); переходу тепла в приміщення (0,1-0,7).

$$Q_1 = 2500 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 0,5 = 900 \text{ кВт}$$

Тепловиділення від металу, що остигає, кВт:

$$Q_2 = \frac{G_m}{3600} \cdot C_m \cdot (t_n - t_k), \quad (3.8)$$

де  $G_m$  – годинна продуктивність цеху, кг/год.;

$C_m$  – теплоємність сплаву при середній температурі, кДж/кг, °С;

$t_n$  й  $t_k$  – відповідно початкова й кінцева температура зливків, що остигають, °С.

$$Q_2 = 3500/3600 \cdot 0,425(1450-1200) = 103,3 \text{ кВт}$$

Кількість теплоти вступник у приміщення від сонячної радіації, кВт:

$$Q_3 = g_{ocm} \cdot F_{ocm} \cdot A_{ocm} \cdot 10^{-3}, \quad (3.9)$$

де  $g_{ocm}$  – величина радіації через  $1\text{ м}^2$  заклоєної поверхні (приймаємо рівної  $83 \text{ Вт/м}^2$ );

$F_{ocm}$  – площа поверхні скла,  $\text{м}^2$ ;

$A_{ocm}$  – коефіцієнт, що залежить від характеристики скла (приймаємо рівним 0,8);

$$Q_3 = 83 \cdot 100 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 7 \text{ кВт}$$

Загальна кількість теплоти  $Q$ , кВт:

$$Q_\Sigma = 900 + 103,3 + 7 = 1010 \text{ кВт}$$

Кількість припливного повітря

$$L_{np} = \frac{1010 - 1,005(32 - 22)}{1,005(40 - 22)} + 1,2 = 50,8 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для оптимальної роботи на робочих місцях необхідно здійснювати приплив холодного повітря в розмірі  $50,8 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Розрахунок площі припливних  $F_{np}$  і витяжних  $F_{вит}$  прорізів приміщення

цеху, м<sup>2</sup>:

$$F_{\text{пр}} = G / \mu_1 \cdot \sqrt{2gh_{\text{пр}}\rho_{\text{уд}}(\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{уд}})}, \quad (3.10)$$

$$F_{\text{вид}} = G / \mu_2 \cdot \sqrt{2gh_{\text{выт}}\rho_{\text{уд}}(\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{уд}})}, \quad (3.11)$$

де  $\mu_1, \mu_2$  – коефіцієнти втрат, які приймаються  $\mu_1=0,56$ ;  $\mu_2=0,57$ .

$h_{\text{пр}}, h_{\text{в}}$  – відстань від нейтральної зони до центрів відносно припливних і витяжних прорізів, м;

$$h_{\text{пр}} = H_1 - h_{\text{в}}, \quad (3.12)$$

$$h_{\text{в}} = H_1 / (0,64 \rho_{\text{в}} / \rho_{\text{з}} + 1), \quad (3.13)$$

$$h_{\text{в}} = 8 / (0,64 \cdot 1,33 / 1,34 + 1) = 4,89 \text{ м},$$

де  $H_1$  – відстань по вертикалі між центрами припливних і витяжних прорізів;  $\rho_{\text{в}}, \rho_{\text{з}}$  – щільність повітря, відповідно, що видаляється й поступає, кг/м<sup>3</sup>;

$$\rho_{\text{в}} = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \alpha_{\text{в}}, \quad (3.12)$$

де  $\alpha_{\text{в}}$  – коефіцієнт, для теплого періоду року – 10, для холодного – 25;

$$\rho_{\text{з}} = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \alpha_{\text{н}} \quad (3.13)$$

де  $\alpha_{\text{н}}$  – коефіцієнт, для теплого періоду року – 13, для холодного – 28.

$$\rho_{\text{уд}} = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 1,33, \quad \rho_{\text{н}} = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 13 = 1,34$$

$$h_{\text{пр}} = 8 - 4,89 = 3,11 \text{ м}.$$

$$F_{\text{пр}} = 50,8 / 0,56 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3,11 \cdot 1,33 \cdot (1,34 - 1,33)} = 100 \text{ м}^2$$

Таким чином

$$F_{\text{вид}} = 50,8 / 0,57 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4,89 \cdot 1,33 \cdot (1,34 - 1,33)} = 89 \text{ м}^2.$$

Згідно розрахунків площа припливних отворів відрізняється від площі витяжних ліхтарів на 11% ,що відповідає вимогам інженерних розрахунків природної вентиляції.

Враховуючи обставини, що тепле повітря підіймається догори різко погіршуються умови праці кранових машиністів. В зв'язку з цим пропонується використання додаткової механічної вентиляції на рівні розміщення мостових кранів.

### **3.3 Засоби пожежної безпеки**

Цех по пожежонебезпеці має категорію Г (негорючі речовини в гарячому стані).Адміністративна будівля цеху ставиться до 11 I ступеня вогнестійкості (будівля з несучими конструкціями, що огорожені, із природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плитових негорючих матеріалів) згідно ДБН 1.1-7.2002. Інші приміщення цеху мають наступну категорію пожежної небезпеки: відділення трансформаторних камер-В, тобто пожежонебезпечні виробництва з горючими мастилами і їх парами; шихтове відділення, склад готової продукції- категорію Д, неспалимі матеріали в холодному стані. Межі вогнестійкості конструкцій:

- несучі й сходові клітки – 1год.;
- само несучі – 0,5год.;
- зовнішні несучі - 0,25год.;
- внутрішні несучі - 0,25 год.;
- колони - 1 год.;
- сходові площадки, щаблі, балки, марші сходових кліток -0,5год.;
- плити, настили й інші несучі конструкційні перекриття - 0,75 год..

До первинних засобів пожежогасіння в цеху відносять: порошкові вогнегасники ВП-10 (5 шт.),вуглекислотні ВВ-2 (14 шт.), ВВП-1Д (8 шт.), пожежний інвентар (покривало з негорючого теплоізоляційного полотна,

ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати); пожежний інвентар (багри, ломи, сокири й ін.). Цех має внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами й рукавами.

На території цеху забороняється:

- закривати й захаращувати проїзди, під'їзди й підходи до будівлі, водопровідним і пожежним гідрантам;
- виключати окремі ділянки водогінної мережі, внутрішні пожежні крани, знижувати встановлений тиск у мережах;
- допускати до вогневих робіт осіб, що не пройшли інструктаж пожежного техмінімуму;
- користуватися водою з пожежних водойм і засобами пожежогасіння не по прямому призначенню;
- застосовувати відкритий вогонь при огляді встаткування й комунікацій.

### **3.4 Техногенна безпека**

Під час експлуатації і ремонтних роботах в цеху можливі небезпечні ситуації. У відділенні агломашин: підвищена загазованість, висока температура і значні теплові випромінювання. У шихтовому відділенні безпеку представляють рухаючі частини стрічкових транспортерів і живильників. Для швидкої зупинки встановлено уздовж них аварійні вимикачі. Ремонтні роботи проходять при наявності працюючих рядом агломашин. План організації ремонту обов'язково включає заходи забезпечення безпеки ремонтних робіт і експлуатації машин. При обслуговуванні систем газовідводу працює не менше 2-х чоловік. При огляді і ремонту обладнання використовують біркову систему. Ключ-бірку має все електроустаткування плавильних печей, вантажні крани, приводи стрічкових конвеєрів та інше технологічне обладнання.

#### **3.4.1 Заходи, спрямовані на ліквідацію надзвичайних ситуацій**

Оперативною частиною плану ліквідації аварій (ПЛА) і аварійних

ситуацій (ПЛАС) повинні охоплювати всі види можливих аварій.

При залишенні ПЛА так само враховується порушення нормальних виробничих умов і режимів роботи, відключення електроенергії, припинення роботи вентиляції, вимикання освітлення, припинення подачі сировини, палива, газу, води, пара, порушення технологічного процесу або режиму роботи агрегатів, апаратів, пилоочисного і газових установок, комунікацій, загоряння від газових розривів і вторинних напрямків блискавок, які можуть привести до аварії.

До аварійних ситуацій в агломераційному цеху можливо віднести: пожежі при запалюванні шихти, наявність горючого газу і коксу в шихті, вибухонебезпечного пилу, розриви і пожежі на газопроводах.

В одну позицію плану може включатися один або кілька виробничих місць, якщо заходи з порятунку людей з місць однакові.

Допускають об'єднання в одну позицію можливих випадків вибуху і пожежі. При цьому для зазначених аварій необхідно передбачити окремі заходи.

Заходи з порятунку людей і ліквідації аварій повинні розроблятися з урахуванням взаємозв'язку з комунікацій і взаємного розташування виробництв, цехів, відділень, установок і інших об'єктів.

В оперативній частині ПЛА повинні бути передбачені:

- заходи з порятунку людей і ліквідації аварій, конкретно по кожному передбаченому нагоди аварій;
- особи, відповідальні за виконання передбачених заходів та контроль за виконавцями;
- дії газорятувального підрозділи і пожежної частини в початковий момент з порятунку людей і ліквідації аварій;
- місця знаходження коштів для ліквідації аварій.

Розглянемо заходи, спрямовані на ліквідацію розриву газопроводу (Табл.3.4).

Таблиця 3.4 - Заходи з ліквідації аварії при пошкодженні газопроводу в будівлі цеху

Заходи з порятунку людей і ліквідації аварії	Особи відповідальні за виконання	Дії газорятувального підрозділу і пожежників	Місця знаходження засобів порятунку людей
1. По гучному зв'язку попередити всіх про аварію, а при його пош-кодженні окриком	Газовщик або перший, хто помітив аварію	Обстежити місце аварії і надати допомогу постраждалим	Газозахисна апаратура знаходиться в газовій будці
2.Видалити усіх людей із загазованої зони	Начальник зміни, майстер цеху і старший газівник	Майстер аглоцеху зобов'язаний вивести людей з робочих місць за межі цеху	Відкрита територія біля цеху
3.Виставити попереджувальні знаки або людей для обмеження загазованої зони	Майстер, бригадир	Не допускати людей в небезпечну зону	Протигази на складі
4.Визвати рятувальників, працівників медпункту і пожежну частину	Майстер	При необхідності надавати допомогу	Територія заводу
5.Припинити транспортування продуктів плавки	Майстер, диспетчер цеху	Забезпечувати контроль	Агломашина, шихтове відділення
6.Відключити газопостачання до агрегату	Старший газовик, газівник	Не допускати порушень	Територія цеху
7.Повідомити про аварію начальника цеху або його заступників	Бути на зв'язку	Брати до уваги розпорядження	

### 3.5 Висновки

1. Розроблена апаратно-технологічна схема аглопроцесу з визначенням місць виділення потенційних шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища.

2. Проведена оцінка рівня дії шкідливих чинників згідно гранично припустимих концентрацій та шкідливості умов праці. Запропоновані технічні міри захисту. Визначені ймовірні причини небезпек і аварій, виділені заходи, що спрямовані на ліквідацію надзвичайних ситуацій.



## ВИСНОВКИ

1. Розглянуто устрій сучасних агломашин і вибрані засоби підвищення їх продуктивності за рахунок двостороннього відводу газів на безперервно рухаючій стрічці та вдосконалення конструкції ущільнень між палетами та вакуум-камерами. Проведено аналіз джерел утворення пилових викидів в атмосферу. Встановлено якісний та кількісний склад викидів.

2. У другому розділі проведено аналітичне порівняння різних способів очищення вихідних газів від пилу: мокрої та сухої очистки. Виявлено суттєві переваги апаратів сухого очищення з точки зору екології виробничого і природного середовища, можливості використання вторинних продуктів. В роботі доведено, що оптимальним є використання багатосекційних апаратів з рукавними фільтрами і імпульсною регенерацією. Проведено дослідження їх роботи і необхідні розрахунки.

3. В розділі «Охорона праці і техногенна безпека» розроблена апаратно-технологічна схема аглопроцесу з визначенням місць виділення потенційних шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища. Проведена оцінка їх рівня згідно гранично припустимих концентрацій та шкідливості умов праці. Запропоновані технічні міри захисту. Визначені ймовірні причини небезпек і аварій, виділені заходи, що спрямовані на ліквідацію надзвичайних ситуацій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вплив об'єктів чорної металургії на забруднення атмосфери. Інтернет - ресурс URL: <http://pidruchniki.com/70482/ekologiya/yplivdovkilliya>.
2. Сухарев С.М., Чудак С.Ю., Сухарева О.Ю. Техноекологія та охорона навколишнього середовища. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. 2-ге видання, стереотипне. Львів : «Новий Світ-2000», 2005. 256 с.
3. Самойленко Н.М., Аверченко В.І., Байрачний В.Б. Системи технологій та промислова екологія. Частина 1. Металургійній та енергетичний комплекс : навч. посіб. Харків : НТУ «ХП», Лідер, 2020. 212 с.
4. Ратушняк Г.С., Лялюк О.Г. Засоби очищення газових викидів. Київ : ІВНВКП «Укргеліотех», 2009. 204с.
5. Гічов Ю.О. Очищення газів. Частина I : Конспект лекцій. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2015. 51с.
6. Румянцев В.Р., Тарасов В.К. Аспіраційні системи промислових підприємств : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньо-професійної програми «Промислова екологія і охорона праці». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 91 с.
7. Кобецька Н.Р. Екологічне право України : Навч. Посібник. Київ : Юрінком Інтер, 2007. 352с.
8. Воскобойников В.Г., Кудрин А.А., Якушев А.М. Общая металлургия : учебник для вузов. Москва : ИКЦ «Академкнига» 2005. 768с.
9. Пліскановській С.Т., Полтавець В.В. Устаткування та експлуатація доменних печей. Дніпропетровськ : Пороги, 2004. 495 с.
10. Воденніков С.А., Тарасов В.К., Воденнікова О.С. Конструкції агрегатів чорної металургії : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 192с.
11. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом

производстве. Москва : Металлургия. 1990. 400с.

12. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты газоочистки. Учебное пособие. Пенза : Изд-во ПГУ, 2006. 201 с.

13. Даніченко М.В., Гераскіна Е.А., Шевченко Л.Ф., Хоменко О.І. Методичні вказівки з дисципліни «Вентиляція до виконання КР (КП) на тему : «Аспіраційні системи виробничих будівель». Одеса, 2019. 54с.

14. Рябов А.В. Вентиляція виробничих приміщень. Одеса : «Астропринт», 2002. 152с.

15. Чернега Д.Ф. Основи металургійного виробництва металів і сталі: підручник. Київ : Вища шк., 2006. 503 с.

16. Рукавный фильтр - Greenex Eco, <https://greenex-eco.com/services/aspiration/bag-filter/>

17. Ткачук К.Н., Філіпчук В.Л., Каштанов С.Ф. Виробнича санітарія. Навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2012. 385с.

18. Голінько В.І., Чеберячко С.І. Практикум з охорони праці: навчальний посібник. Дніпропетровськ : Державний ВНЗ «НГУ», 2011. 270с.