

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра екології та природозахисних технологій

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Тема: Технології захисту навколишнього середовища від техногенних викидів виробництва шоколадних виробів

Завідувач кафедри Пляцук Л. Д. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник проекту Пляцук Л. Д. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультанти:

з охорони праці Фалько В.В. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Виконавець

студент групи ТМ.мз-11с Снагощенко М. О. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Суми 2022

Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра екології та природозахисних технологій  
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
Зав. кафедрою \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Снагощенко Марині Олександрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Технології захисту навколишнього середовища від техногенних викидів виробництва шоколадних виробів

затверджена наказом по університету від "03" листопада 2022 р. № 1006-VI

2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) 15 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Конструкції газоочисного обладнання, характеристика пилових викидів кондитерських виробництв, заходи з коагуляції пилу

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): характеристика шоколадного виробництва, як забруднювача атмосферного повітря, оцінка викидів шоколадного виробництва в атмосферне повітря та шляхи їх мінімізації, розробка заходів по зниженню забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсним пилом кондитерських виробництв

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

класифікація методів очистки викидів в атмосферне повітря, конструкційна схема очищувачів повітря типу циклон, зовнішній вигляд рукавного фільтра та його конструктивна схема

Консультанти по проекту (роботі), із значенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Фалько В.В.		

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Робота над розділом 1.	Квітень-Вересень 2022 р.	
2	Робота над розділом 2.	Вересень-Жовтень 2022 р.	
3	Робота над розділом 3.	Жовтень-листопад 2022 р.	
4	Робота над розділом 4.	Листопад 2022 р.	

5. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 24.09.2022 \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_

Керівник проекту \_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

*Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи магістра.* Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел, який містить 25 найменувань. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи становить 48 с., у тому числі 3 таблиці, 10 рисунків.

*Мета роботи* – підвищення рівня екологічної безпеки атмосферного повітря при попередній коагуляції пилу на шоколадних підприємствах.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та вирішено такі *завдання*:

- проаналізувати технологію виробництва шоколадку
- проаналізувати характеристику шоколадних виробництв
- зробити огляд методів і засобів очистки викидів від пилу;
- розробити заходи щодо мінімізації забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсним пилом.

*Об'єкт дослідження* – викиди шоколадних підприємств.

*Предмет дослідження* – методи пило-газо-очистки.

*Ключові слова:* ВИКИДИ, ПИЛ, ШОКОЛАДНЕ ВИРОБНИЦТВО, АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ШОКОЛАДНОГО ВИРОБНИЦТВА, ЯК ЗАБРУДНЮВАЧА АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	6
1.1 Загальний огляд ринку шоколадних виробів в Україні .....	6
1.2 Технологія виробництва шоколаду.....	8
РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА ВИКИДІВ ШОКОЛАДНОГО ВИРОБНИЦТВА В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ТА ШЛЯХИ ЇХ МІМІЗАЦІЇ .....	12
2.1 Характеристика пилу шоколадних виробництв .....	12
2.2 Огляд існуючих методів та засобів очистки вихідних газів.....	15
2.3 Апаратне оформлення процесу .....	20
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ПО ЗНИЖЕННЮ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДРІБНОДИСПЕРСНИМ ПИЛОМ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБНИЦТВ .....	33
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	38
4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів виробництва шоколадних виробів .....	38
4.2 Розрахунок вентиляції лабораторного приміщення .....	40
4.3 Безпека персоналу лабораторії в надзвичайних ситуаціях .....	42
ВИСНОВОК .....	45
ПЕРЕЛІК ДЖРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	46

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

ТС 21510195

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
		Снагощенк		
		Пляцук		
		Батальцев		
		Пляцук		

Технології захисту навколишнього середовища від техногенних викидів виробництва шоколадних виробів

Літ.	Аркуш	Аркушів
	4	48
СумДУ, ЦЗДВН ТС.мз-11с		

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Одним із джерел надходження дрібнодисперсного пилу в атмосферу є харчова промисловість, яка зараз в Україні дуже розвинена. За темпами розвитку загальнопромислового виробництва в Україні провідне місце займають підприємства харчової промисловості, які за своїм складом – підприємства з виробництва кондитерських виробів (третє місце в категорії продовольчих товарів).

Вирішення проблеми ефективного очищення дрібнодисперсного пилу відпрацьованих газів потребує реалізації комплексу технічних та організаційних заходів, які базуються на поглибленому та всебічному вивченні характеристик пилу, аналізі методів та пилоочисного обладнання.

**Метою роботи** – підвищення рівня екологічної безпеки атмосферного повітря при попередній коагуляції пилу на шоколадних підприємствах.

### **Завдання, що були поставлені:**

- проаналізувати технологію виробництва шоколадку
- проаналізувати характеристику шоколадних виробництв
- зробити огляд методів і засобів очистки викидів від пилу;
- розробити заходи щодо мінімізації забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсним пилом.

**Об'єктом роботи** є викиди шоколадних підприємств.

**Предметом роботи** є методи пило-газо-очистки.

Підп. і дата	
Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	
Інв.№дубл.	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 21510195	Арк
						5

# РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ШОКОЛАДНОГО ВИРОБНИЦТВА, ЯК ЗАБРУДНЮВАЧА АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

## 1.1 Загальний огляд ринку шоколадних виробів в Україні

Ринок кондитерських виробів України є динамічним, що пояснюється постійною появою нових гравців у конкурентному середовищі. Одним із найперспективніших сегментів ринку кондитерських виробів є, безумовно, шоколад. Якщо проаналізувати дані Регіонального управління статистики (рисунок 1.1), то можна побачити чітку тенденцію динамічного зростання виробництва шоколаду, що в свою чергу свідчить про зростання попиту на цей продукт.



Рисунок 1.1 – Динаміка виробництва шоколаду

Підп. і дата	Підп. і дата
Інв.№подл.	Взаєм.інв.№
Інв.№дубл.	Взаєм.інв.№
Вип	Арк
№ докум.	Підп.
Дата	Дата

Аналізуючи дані на графіку, можна побачити, що виробництво шоколаду в 2019 році майже подвоїлося порівняно з 2015 роком, але в 2020 році виробництво деяких товарних груп знову впало, що може бути пов'язано зі світовою пандемією, що впливає на купівельну спроможність і змінюється демографія споживча поведінка.

До провідних виробників у цій галузі належать: Корпорація «Рошен», ТОВ «КОНДИТЕРСЬКА фабрика «АВС», ПрАТ «ВО «Конті», АТ «Харківський БФ» (ТМ «Бісквіт Шоколад») та ін. (рисунк 1.2) [1].

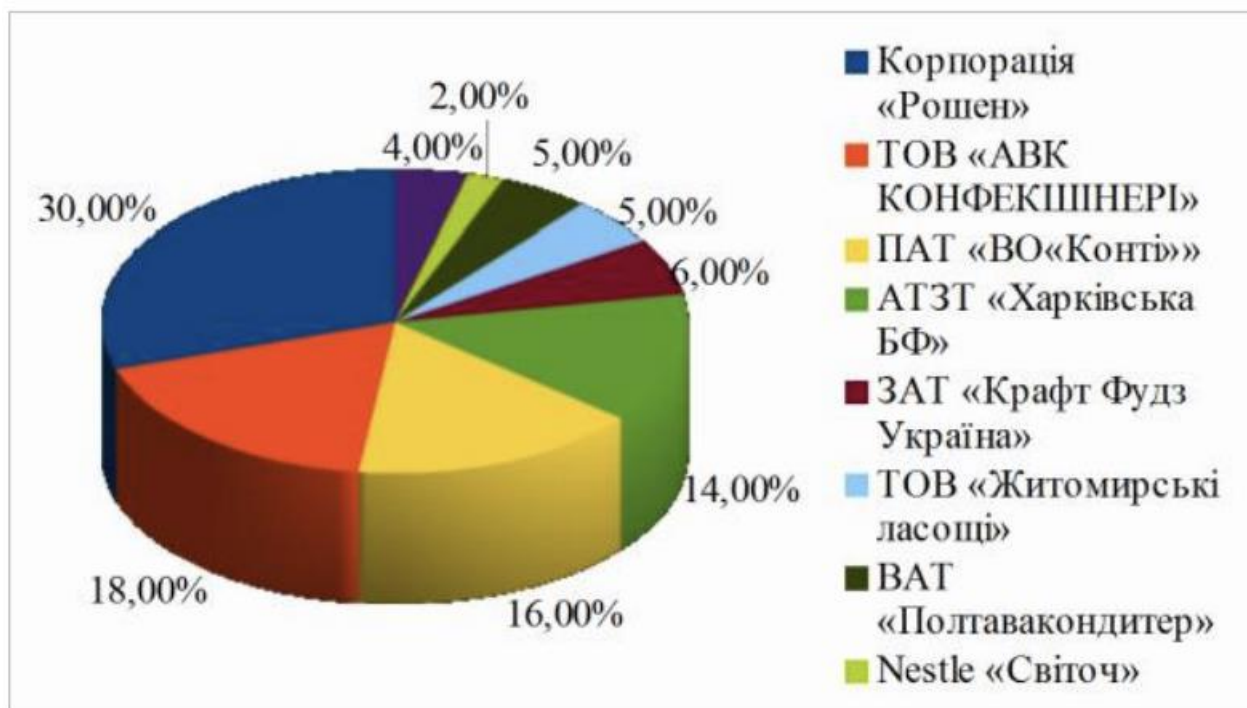


Рисунок 1.2 – Сегментація українського ринку шоколадних виробів за виробниками

Отже, виробництво шоколаду займає значну частину у харчовій промисловості нашої країни, саме тому питання зменшення техногенного навантаження від шоколадних фабрик є актуальним питанням.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	



## 1.2 Технологія виробництва шоколаду

На сучасних кондитерських фабриках шоколад виробляють на автоматизованих лініях з електронним керуванням, вільних від будь-яких зовнішніх впливів. Технічне оснащення даної лінії дозволяє підтримувати задані технічні параметри на всіх етапах виробництва. Це гарантує виробництво високоякісної шоколадної продукції з тривалим терміном зберігання без використання стабілізаторів і консервантів. При цьому шоколад можна виробляти за кількома різними технічними схемами в залежності від наявного обладнання та ступеня його автоматизації. Однак усі вони включають стандартний виробничий процес, зображений на рисунку 1.3

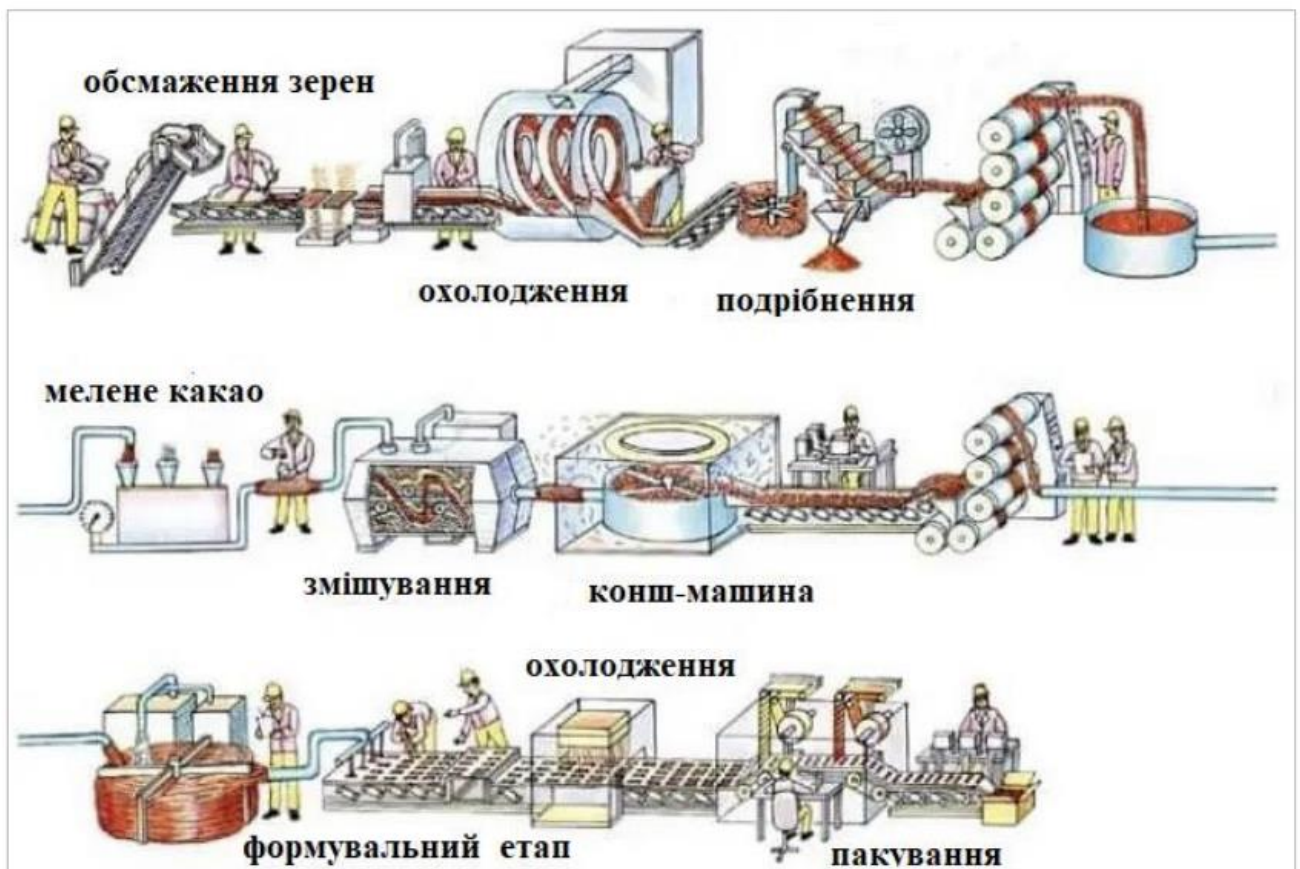


Рисунок 1.3 – Технологія виробництва шоколаду

Підп. і дата

Взаєм.інв.№ Інв.Модубл.

Взаєм.інв.№

Підп. і дата

Інв.Моподл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 21510195

Арк

8

Першим етапом виробництва шоколаду є очищення та сортування какао-бобів. Какао-боби, які йдуть на виробництво, містять різні домішки та сторонні предмети (каміння, уламки бруду, волокна мішковини, різні металеві предмети тощо). Окрім сторонніх речовин, какао-боби зазвичай містять неочищені боби, пластівці лушпиння тощо. Оскільки різні партії та сорти какао-бобів суттєво різняться за лінійним розміром, і кожен лінійний розмір вимагає власної моделі техніки термічної обробки, вони також попередньо сортуються за групами розміру. Тому какао-боби спочатку проходять через сортувальну та мийну машину для видалення сторонніх домішок, при цьому сортують какао-боби за розміром. Для подальшої переробки какао-боби надходять окремими групами або окремими компонентами різних сортів за діючими рецептами [2].

Найважливішим процесом, що впливає на якість шоколаду, є термічна обробка какао-бобів. Знезаражені зерна обсмажують і підтримують температуру зерен близько 130 °С протягом 25 хвилин при вологості до 3%. Для більш рівномірного нагрівання какао-бобів можна використовувати більш прогресивні термічні методи: інфрачервоне випромінювання, електричний індукційний нагрів, мікрохвильовий струм.

Обсмажування покращує смак і аромат какао-бобів, знижує їх вологість і підвищує їх твердість і крихкість, тим самим полегшуючи подальше подрібнення какао-бобів і відділення какао-оболонки.

На деяких кондитерських підприємствах замість какао-бобів використовують для обсмажування боби какао, попередньо відокремлені від оболонки. Після термічної обробки какао-боби охолоджуються якомога швидше до температури близько 30 °С, щоб зупинити хімічний процес.

Потім серцевину подрібнюють. Ядро, оболонка і зародок мають різний хімічний склад і твердість, тому какао-боби подрібнюють, щоб відокремити менш цінні частини бобів. У той же час какао-боби обробляються в дробильно-сортувальній машині, де какао-боби спочатку розбиваються на дрібні шматочки, а потім сортуються за розміром. Шляхом просіювання від нього відділяється

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 21510195	Арк
						9

легша (вітрильна) оболонка - какавела, збираючи ядра, розділені на сім категорій, кожен розмір відокремлюється. Чим дрібніше зерно, тим більше в ньому домішок какавели. Більші частинки використовуються для вищого сорту продукції [3].

Какавелла, яку збирають окремо, використовується не у виробництві шоколаду, а в приготуванні чайних і кавових напоїв і деяких недорогих видів кондитерських і карамельних начинок. Якість шоколаду покращується, якщо зародок також відокремлюється від зерна, для чого використовується таке обладнання, як тестовий млин. Для приготування суміші використовують какао-боби. Щоб створити смачний букет, поєднуйте різні сорти какао-бобів.

Наступним кроком у виробництві шоколаду є приготування меленого какао-порошку, який утворюється в результаті подальшого подрібнення зерен у спеціальних млинах. Основною метою подрібнення какао-бобів є руйнування та руйнування клітинної структури та вилучення какао-масла. В результаті отримують напіврідку кремopodobну масу з температурою близько 40 °С.

Шоколадну масу отримують шляхом змішування меленого какао-порошку, какао-масла і цукрової пудри. Крім цих основних інгредієнтів, в шоколадну масу додають смако-ароматичні добавки (сухе молоко, сухе молоко, ядра мелених горіхів, ванілін або ванільний ароматизатор, концентрат соєвого лецитину, а також каву, корицю, фрукти та ін.).

Шоколадні блоки отримують двома основними способами: періодичним і безперервним.

При періодичному способі какао терте (мелений какао-порошок і какао-масло) змішують у блендері з цукровою пудрою та іншими інгредієнтами. Потім суміш ретельно подрібнюють на роликовому компакторі. Для зменшення в'язкості в масу, яка загусає після подрібнення, додають какао-масло, потім знову розтирають масу, повторюють подрібнення і додають какао-масло. Шоколадні блоки звичайного шоколаду, отримані шляхом тонкого помелу, використовують для формування, а для виробництва шоколадних десертів блок додатково використовують для коншування [4].

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 21510195	Арк
						10



## РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА ВИКИДІВ ШОКОЛАДНОГО ВИРОБНИЦТВА В АТОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ТА ШЛЯХИ ЇХ МІМІЗАЦІЇ

### 2.1 Характеристика пилу шоколадних виробництв

У процесах кондитерської промисловості в якості сировини використовуються сипучі органічні речовини: какао, крохмаль, цукор, борошно, тому пил органічного походження (какао-порошок, цукрова пудра, крохмаль, порошок) потрапляє в атмосферу з вихлопними газами з технічне оснащення. Питомі показники пилоутворення в процесі виробництва різних шоколадних виробів наведені в таблиці. 2.1 [7].

Як показано в таблиці 3.1, стандартизація вмісту пилу у вихлопних газах не розрізняє типи пилу та їх дисперсні компоненти

Аналіз літературних даних показав, що цукор, борошно та крохмальний порошок містили понад 50% частинок розміром до 10 мкм, причому значна частка становила частинки розміром 1 мкм. Какао-порошок, який використовується в кондитерських виробках, складається з частинок розміром до 55 мікрон із середнім  $d_{t50}$  10 мікрон.

Як показано в таблиці 2.1, нормування вмісту пилу у відпрацьованих газах незалежно від виду пилу та його дисперсних компонентів [7].

Таблиця 2.1 – Питомі показники утворення пилу

№	Вид продукції	Підвид продукції	Вид пилу, процентний вміст, $F_i$ , %	Питомий викид $q_i$ ,
1	2	3	4	5
1.	Цукерки варені, карамель, ірис та ін.	Цукерки варені ц	цукор (61 %), крохмаль (39 %)	47,503
2.	ірис та ін.	Карамелі, тофі (ірис) та солодоші аналогічні	цукор (61 %), крохмаль (39 %)	292,142

Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	Інв.№подл.

ТС 21510195

Арк

12

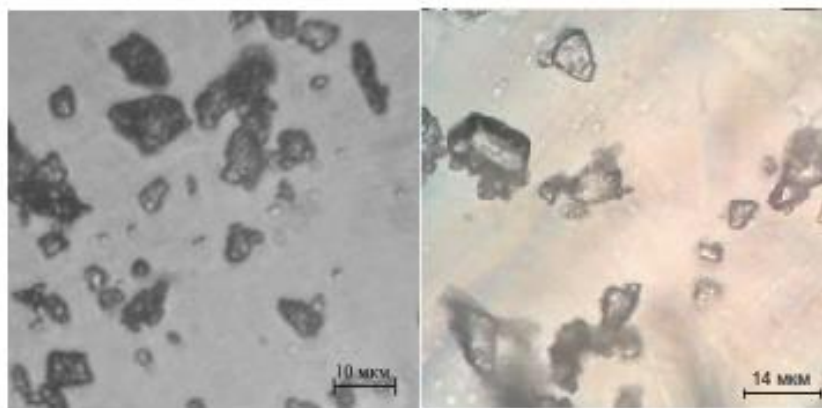
Продовження таблиці 2.1

3.	Вироби кондитерські з цукру та покриті цукром	Вироби кондитерські з цукру у вигляді пресованих таблеток	цукор (61 %), крохмаль (39 %)	1028,972
4.		Вироби, покриті цукром, включаючи мигдаль зацукрований	цукор (61 %), крохмаль (39 %)	1028,972
5.	Шоколад і аналогічні вироби	Какао-порошок без додання цукру чи інших підсолоджувальних речовин	какао (100 %)	4080,919
6.	Цукерки, вироби шоколадні	Цукерки шоколадні з вмістом алкоголю	какао (97 %), цукор (3 %)	1169,00
6.		Цукерки шоколадні інші	какао (97 %), цукор (3 %)	1169,00
7.		Вироби шоколадні кондитерські з начинкою	какао (97 %), цукор (3 %)	1049,715
8.		Вироби шоколадні кондитерські	какао (97 %), цукор (3 %)	1049,715
9.		Вироби кондитерські з цукру, з вмістом какао	какао (97 %), цукор (3 %)	1169,00
10.		Продукти пастоподібні з вмістом какао	какао (97 %), цукор (3 %)	1169,00
11.		Шоколад білий	какао (97 %), цукор (3 %)	1049,715
12.	Глазур шоколадна	Глазур шоколадна з	какао (97 %), цукор (3 %)	412,302
13.	Конд. вироби з цукру інші	Вироби кондитерські з цукру інші	цукор (86 %), крохмаль (14 %)	1028,972
14.	Фруктове желе та пастим	Гумки, фруктове желе та фруктові пасти у вигляді кондитерських виробів з цукру	цукор (86 %), крохмаль (14 %)	7,328
15.	Вироби у вигляді паст (помадка, нуга та ін.)	Вироби кондитерські з цукру у вигляді паст	цукор (86 %), крохмаль (14 %)	1028,972
16.	Пряники, печиво солодке і аналогічні вироби	Пряники та вироби аналогічні	цукор (82 %), борошно (18 %)	135,460
17.		Печиво солодке, крім покритого шоколадом)	цукор (82 %), борошно (18 %)	135,460
18.		Печиво інше	цукор (82 %), борошно (18 %)	135,460
19.	Вафлі та вафельні облатки	Печиво солодке, вафлі та вафельні облатки, частково чи повністю покриті шоколадом	цукор (82 %), борошно (18 %)	82,005
20.		Вафлі та вафельні облатки (включаючи солоні; крім покритих шоколадом)	цукор (82 %), борошно (18 %)	28,549

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

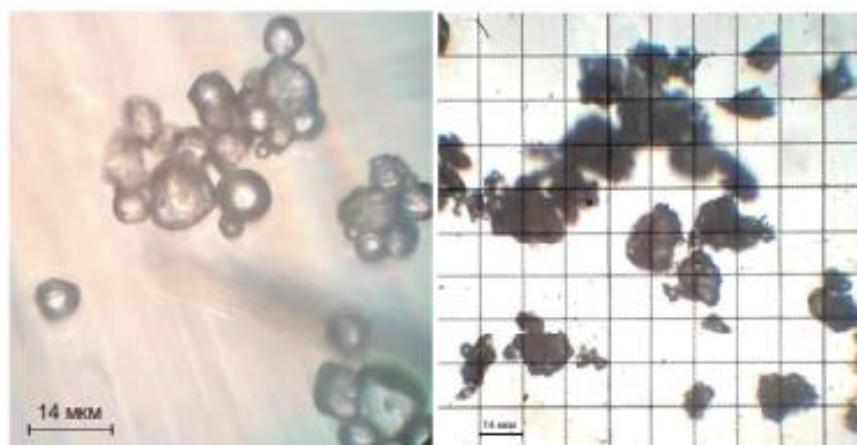
Фотографії пилу какао, цукру, крохмалю та борошна наведено на рисунку

2.1.



а)

б)



в)

г)

Рисунок 2.1 - Фотографії пилу: а) пил какао; б) пил цукру; в) пил крохмалю; г) пил борошна

Какао-порошок є полідисперсним однокомпонентним порошком органічного походження. Гранули світло-коричневого кольору, неправильної форми, з нерівними краями, гранули злипаються і погано відокремлюються одна від одної. Крохмальний порошок полідисперсний і монокомпонентний. Частинки

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 21510195

пилу круглі, блискучі та білі на світлі. Цукрова пудра полідисперсна, однокомпонентна. Частинки цукрової пудри прозорі, неправильної форми, їх важко відокремити одна від одної. Дисперсні компоненти пилу наведені в таблиці 2.2 [6-8]

Таблиця 2.2 – Дисперсний склад пишу шоколадного підприємства

Вид пилу	Вміст частинок кожної фракції, Ф, %			Медіанний розмір частино d <sub>50</sub> , мм
	≤ 2,5 мкм	2,5-10 мкм	≥ 10 мкм	
Какао	63,5±12,9	32,9±11,5	3,6±2,4	1,96±0,74
Крохмаль	7,5±1,4	68,7±2,7	23,8±2,8	6,40±0,00
Цукор	38,8±8,8	39,6±4,7	21,6±6,3	3,67±0,94
Борошно	9,6±1,8	40,6±3,3	49,7±2,4	10,22±0,89

Як показано в таблиці 2.2, пил речовин, що використовуються в шоколадному виробництві (какао, крохмаль, цукор, борошно), належить до категорії дрібно подрібнених, тобто розмір частинок менше 10 мікрон. Цей пил є найбільш екологічно небезпечним. Велика кількість дрібного пилу не затримується очисним обладнанням і потрапляє в атмосферу, а ефективність очищення вихлопних газів від дрібного пилу не перевищує 80%.

## 2.2 Огляд існуючих методів та засобів очистки вихідних газів

Для видалення частинок пилу з відпрацьованого повітря використовують сухий і вологий способи. Сухі методи засновані на гравітаційному, інерційному, відцентровому механізмах седиментації або механізмах фільтрації. При використанні мокрого методу очищення газоподібних викидів здійснюється шляхом тісної взаємодії між рідиною та запиленим газом на поверхні бульбашок, крапель або плівок рідини. Електрогазоочистка заснована на іонізації молекул газу і зарядці зважених в газі частинок електричним розрядом.

Робота пристроїв для очищення аерозольних викидів заснована на специфічних фізичних механізмах. В уловлюючому пристрої використовуються наступні способи виділення зважених частинок від вагового середовища, а саме

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№поодл.	



повітря (газу): осадження в полі тяжіння, осадження за силою інерції, осадження в відцентровому полі, фільтрація, осадження в електричному полі, вологе очищення та ін. для очищення аерозолів В установках для стоків, крім основного механізму уловлювання, часто використовуються інші механізми. Завдяки цьому загальна і часткова ефективність установки виходить на більш високий рівень. Осадження частинок пилу відбувається під впливом різних механізмів пилеосадження [9].

Гравітаційне осідання (відстоювання) — результат вертикального осідання частинок під дією сили тяжіння при їх проходженні через газоочисний пристрій. Гравітаційний параметр осідання  $G$  виражається як відношення сили тяжіння до опору середовища. Він також виражає відношення швидкості осідання частинок до швидкості потоку (при  $v_{\text{ч}} = v_{\text{Г}}$ ):

$$G = \frac{F_{\text{T}}}{F_{\text{С}}} = \frac{d_{\text{ч}}^2 \rho_{\text{ч}} g}{18 \mu_{\text{Г}} v_{\text{Г}}} = \frac{v_{\text{ч}}}{v_{\text{Г}}}, \quad (2.1)$$

де  $F_{\text{T}}$  – сила ваги;

$F_{\text{С}}$  – сила опору середовища (Н);

$d_{\text{ч}}$  – діаметр (м);  $\rho_{\text{ч}}$  – щільність ( $\text{кг/м}^3$ ) частинок;

$g$  – прискорення вільного падіння ( $\text{м/с}^2$ );

$\mu_{\text{Г}}$  – динамічна в'язкість ( $\text{Па}\cdot\text{с}$ );

$v_{\text{Г}}$  – швидкість ( $\text{м/с}$ ) газового потоку

З рівняння (2.1) визначається і коефіцієнт осадження частинок під дією гравітаційних сил:

$$\eta_{\text{Г}} = G. \quad (2.2)$$

Гравітаційний принцип осадження використовується в камерах осадження пилу [16].

Інерційне осадження пилу засноване на видаленні високошвидкісних твердих частинок із повітряного потоку, коли напрямок потоку змінюється. Силу

Підп. і дата	
Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

інерційного осадження можна виразити критерієм Стокса, який враховує відношення сил інерції до опору середовища:

$$Stk = \frac{d_q^2 w_{oc} \rho}{\mu l} \quad (2.3)$$

де  $\rho$  – щільність середовища, кг/м<sup>3</sup>;

$l$  – геометрична характеристика пиловловлювача.

Коефіцієнт осадження в даному випадку характеризує долю частинок, що були видалені із потоку:

$$\eta_{Stk} = Stk \quad (2.4)$$

Існує певне мінімальне значення, так зване критичне число Стокса, при якому інерція частинки достатня для того, щоб подолати захоплення її повітряним потоком і досягти поверхні об'єкта. Тому захоплення частинок можливе, коли  $Stk > Stk_{кр}$ .

При ламінарному русі ефективність потоку не залежить від критерію Рейнольдса. При значеннях  $Re_g$  більше критичного (потенційного потоку) лінії струму вигинаються сильніше і обтікають тіло на ближчій до нього відстані, таким чином, при тому ж значенні  $Stk$  ефективність осадження буде вище [10].

Осадження під дією відцентрової сили відбувається під час криволінійного руху забрудненої повітряної тяги. Під дією відцентрової сили, що виникає, частинки аерозолу відкидаються до периферії пристрою і осідають.

Під час відцентрового осадження частинка масою  $m$  рухається по круговій траєкторії радіусом  $r$  з тангенціальною швидкістю  $u_r$ , на яку діє відцентрова сила  $F_{ц}$ :

$$F_{ц} = \frac{m u_r^2}{r} \quad (2.5)$$

Відношення відцентрової сили до сили тяжіння характеризується коефіцієнтом розділення (критерій Фруда):

$$\Phi_p = \frac{F_{ц}}{F_m} = \frac{\left(\frac{m u_r^2}{r}\right)}{m g} = \frac{u_r^2}{r g} \quad (2.6)$$

де  $u_r$  – лінійна швидкість осадження, м/с;

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 21510195					Арк
										17
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

$g$  – прискорення вільного падіння,  $m/c^2$ .

Дифузійне осадження. Дифузійне осадження відбувається внаслідок безперервного впливу дрібних зважених частинок молекул газу на броунівський рух. Ефективність дифузійного осадження на сфери [11]:

$$\eta_D = 2\sqrt{2}\left(\frac{Pe}{D_{ш}}\right)^{1/2} \quad (2.7)$$

Параметр дифузійного осадження  $D_{oc}$  є оберненим до критерію Пекле:

$$D_{oc} = Pe^{-1} = u_r/D_4 \quad (2.8)$$

де  $D_4$  – коефіцієнт броунівської дифузії частинок ( $m^2/c$ ). Якщо закон Стокса правильний, коли розмір частинки перевищує середню відстань між молекулами, ми маємо:

$$D_4 = \frac{C_{пч} k T_r}{3\pi\mu_r d_ч v_r} \quad (2.9)$$

де  $k$  – постійна Больцмана;

$T_r$  – температура газів (К).

Дифузійне осадження, подібне до ефекту блокування, в основному використовується у фільтрах. Ці механізми осадження переважають, коли фільтрація забезпечує особливо високий ступінь очищення газу.

Ефект зчеплення. Зважені в повітряному (газовому) середовищі аерозольні частинки затримуються у вузьких звивистих каналах і порах при проходженні повітряного потоку через фільтруючий матеріал [12].

Якщо лінія потоку повітря знаходиться близько до перешкоди, виникає спільний ефект (рисунок 2.2). Будь-які частинки розміром 1 мкм або більше потім будуть захоплені перешкодами через природні сили. Ця ймовірність дуже висока, оскільки повітряний потік буде проходити через велику кількість перешкод.

Ефект зв'язування дозволяє розглянути вплив розміру частинок на ефективність їх осадження:

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

$$\eta_R = \frac{d_q^2 \rho_q}{D_{in}^2 \rho_r} \quad (2.10)$$

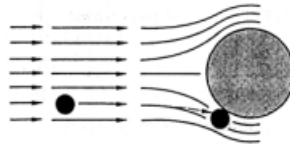


Рисунок 2.2 – Ілюстрація ефекту зчеплення

Домінування того чи іншого механізму залежить від різних факторів: конструкції колектора, розміру краплі рідини для розпилення, щільності зрошення, розміру частинок, щільності, змочуваності, швидкості повітря, властивостей газу та багатьох інших згаданих факторів, у свою чергу, залежать від контактних поверхонь фази, які можуть утворюватися на рідких плівках, бульбашках і краплинах.

На установках для збору пилу декілька механізмів осадження часто працюють одночасно. За цим виразом визначали загальну ефективність захоплення  $\eta$  [17].

$$\eta' = 1 - (1 - \eta'_G)(1 - \eta'_{Stk})(1 - \eta'_R)(1 - \eta'_D) \quad (2.11)$$

де  $\eta'_G$  – ефективність гравітаційного вловлювання;

$\eta'_{Stk}$  – ефективність інерційного вловлювання;

$\eta'_R$  – ефективність відцентрового пиловловлення;

$\eta'_D$  – ефективність дифузійного пиловловлення.

Змочування поверхні елементів апаратів водою або іншою рідиною сприяє затримці аерозольних частинок на даній поверхні [9, 10].

Інв. № оподл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
										19
					ТС 21510195					
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

### 2.3 Апаратне оформлення процесу

Існують різні види пиловловлювального обладнання, яке можна класифікувати за такими ознаками:

- за призначенням;
- за основним способом дії;
- за ефективністю;
- за конструктивними особливостями.

За коефіцієнтом очищення обладнання поділяється на дві групи: грубого очищення і видалення дрібного пилу. Однак поняття грубого очищення і видалення дрібного пилу відносні і залежать від типу виробництва і завдання видалення пилу.

Усе обладнання для гігієнічного чищення, яке використовується для видалення газів і повітря від зважених частинок, поділяється на дві категорії: обладнання для сухого чищення та обладнання для вологого чищення.

У свою чергу, за фізичними явищами, які в ньому відбуваються, обладнання, що використовує метод хімічистки, поділяється на:

- гравітаційне,
- інерційне,
- фільтрувальне,
- відцентрове.

Пристрої мокрого очищення поділяються на інерційні очисні та фільтроочисні.

Взагалі кажучи, з підвищенням ефективності видалення пилу система очищення повітря та газу може містити декілька типів обладнання, з'єднаних послідовно. Пилоочисне обладнання, яке відокремлює пил від повітряного потоку і проходить у кілька ступенів послідовно, має різні принципи роботи, конструктивні характеристики та способи очищення від пилу, і класифікується як комбіноване пиловловлювальне обладнання.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 21510195	Арк 20
-----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

Вибір обладнання при формуванні системи пиловіддалення залежить від конкретних вимог виробництва, фізико-механічних і фізико-хімічних властивостей дисперсних частинок.

На сучасному етапі розвитку технологія видалення пилу має кілька типів обладнання, яке відрізняється конструкцією та методами осадження зважених часток. Крім того, сучасний комплекс обладнання дозволяє практично повністю вловлювати будь-який дисперсний пил. Однак слід пам'ятати, що зі збільшенням ефективності зростає і економічність процесу очищення. Тому підбір методів, схем очищення та пиловловлювачів повинен здійснюватися індивідуально відповідно до конкретної ситуації.

Вологе очищення газу використовується там, де прийнятні добре налагоджені заходи щодо охолодження та зволоження газу, що очищається, а також для запобігання розбризкуванню та утилізації відпрацьованих стоків. Незважаючи на ці обмеження, вологе збирання пилу в деяких випадках може бути більш прийнятним і розумним, ніж сухе збирання пилу. Наприклад, при використанні цього методу очищення в секторі дроблення експлуатаційні витрати майже в 2 рази нижчі, а капітальні витрати на обладнання в 12-15 разів нижчі порівняно з сухим знепиленням. Блоки мокрого збору, як правило, простіші за конструкцією та мають характеристики ефективності найскладніших блоків сухого збору.

При використанні мокрого пиловловлювача вторинний пил не утворюється, а в комбінованому плані процес адсорбції виконує один і той же пристрій одночасно, тобто один пристрій з кількома функціями. Така схема більш компактна і проста в управлінні, що дуже важливо при очищенні багатокомпонентних викидів. При вологому пиловловлюванні механізм осадження такий же, як і в інших процесах видалення пилу з повітряних потоків. Недоліком мокрого пиловловлювача є утворення осаду. Для харчової промисловості мокрі пиловловлювачі недоцільні через необхідність уловлювання сухих частинок сировини.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 21510195	Арк
						21

Для видалення частинок діаметром менше 10 мкм використовують такі методи, як осадження під дією сили інерції (в тому числі відцентрової), електростатичне осадження, фільтрація [9, 12].

### 2.3.1 Ротаційні пиловловлювачі

Роторні пиловловлювачі відносяться до групи інерційних пиловловлювачів, в яких пиловловлювачі відбуваються за рахунок обертання ротора [16].

За місцем розташування запиленого повітряного потоку роторний пиловловлювач можна розділити на кілька груп. Перші (найчисленніші) складаються з пиловловлювачів, де потік пилу потрапляє в центральну частину колеса, яке обертається в спіральному корпусі (рисунок 2.3). Під дією відцентрової сили та сили Каріоліса частинки пилу відкидаються до периферії диска, звідки потрапляють у пиловловлювач. Продувний газ розподіляється через форсунки продувного газу. Робоче колесо зазвичай має велику кількість лопатей (лопатеї), а кут нахилу лопатей до диска ротора впливає на ефективність відділення частинок від газу. у конструкції, зображеній на рисунку 2.3 Завдяки рециркуляції частини повітряного потоку затримані частинки пилу видаляються з навколишнього простору в бункер.

Інв.№поодл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
					ТС 21510195					22
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

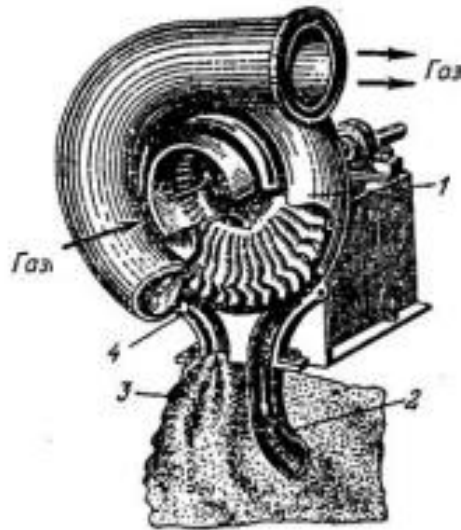


Рисунок. 2.3 – Динамічний пиловловлювач: 1 – корпус вентилятора; 2 – патрубок для відводу пилу; 3 – патрубок для відводу частини пилогазового потоку на рециркуляцію; 4 – колесо вентилятора

Другу групу роторних пиловловлювачів складають пристрої типу ЦРП, що вловлюють рухомі частинки.

Серед силових установок димоуловлювачі є найбільш поширеними. Пристрій призначений для вловлювання частинок пилу із середнім розміром  $> 15$  мкм. Пиловловлювач ДП-10 з циркуляційним циклонним сепаратором типу ЦН-15У і розвантажувальним пристроєм призначений для переміщення газів і видалення частинок пилу із середнім розміром  $> 15$  мкм. Пристрій можна використовувати як перший рівень очищення перед мокрими моторизованими фільтрами та тканинними фільтрами.

Основним недоліком пилососів є відносно швидкий знос «равликів» і елементів контуру рециркуляції газу при роботі з абразивним пилом.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	TC 21510195	Арк 23
-----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------



### 2.3.2. Циклони.

У циклонному сепараторі відцентрова сила створюється за рахунок обертального руху повітряного потоку. На даний момент, завдяки своїй простій конструкції, невеликим розмірам і надійній роботі, це одне з найбільш поширених пристроїв для видалення пилу.

Принцип роботи циклонного сепаратора заснований на відділенні частинок пилу від повітряного потоку під дією відцентрової сили, яка створюється обертанням повітряного потоку в основному корпусі пристрою. Циклонні сепаратори, в яких змінюється основний напрямок потоку повітря, відомі як протиточні циклони, стали найбільш широко використовуваними циклонами в техніці.

Внаслідок бурхливого обертання газу в циклоні статичний тиск поступово зменшується від його периферії до центру[14]. Циклонні пристрої є найпоширенішим видом сухого механічного пиловловлювання завдяки дешевизні, простоті обладнання та обслуговування, порівняно малому опору та високій продуктивності (рисунок 2.4).

Циклонні пиловловлювачі мають наступні переваги:

- 1) у пристрої відсутні рухомі частини
- 2) надійна робота при температурі газу до 500°C без будь-яких структурних змін (якщо очікуються більш високі температури, пристрій може бути виготовлено зі спеціальних матеріалів);
- 3) внутрішня поверхня циклону захищена спеціальним покриттям, яке може вбирати абразиви;
- 4) пил вловлюється в сухому вигляді;
- 5) гідравлічний опір агрегату майже постійний;
- 6) прилад працює успішно при високому тиску повітря;
- 7) виготовлення пиловловлювача досить просте;

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 21510195	Арк 24
-----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

8) збільшення вмісту пилу в газі не призведе до зниження ефективності очищення класифікації.

Правильно сконструйований циклонний сепаратор може надійно працювати протягом багатьох років. У той же час слід зазначити, що гідравлічний опір вискоефективного циклонного сепаратора досягає 1250-1500 Па, і частинки розміром менше 5-15 мікрон важко вловлювати циклонним сепаратором.

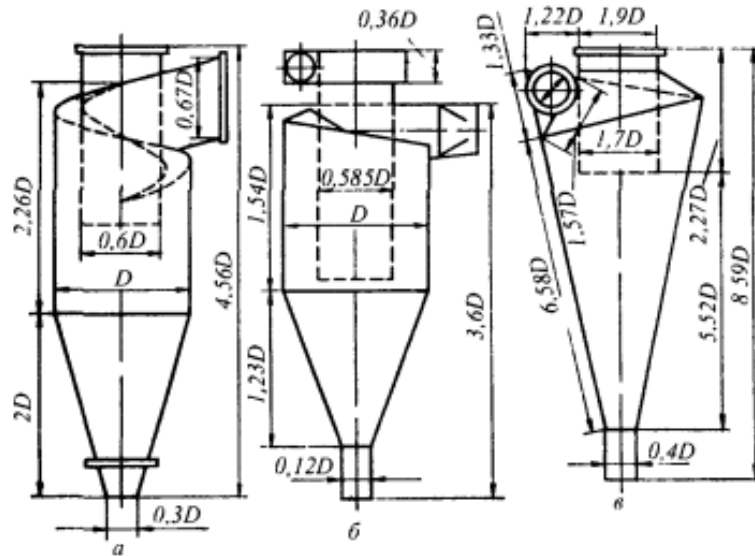


Рисунок 2.4 – Основні типу циклонів: а — конструкції НДІОгазу; б — конструкції ЛІОТ; в — конструкції СІОТ

Особливим типом циклону є батарейний циклон, який являє собою групу циклонних елементів малого діаметра (приблизно до 250 мм), розміщених у спільному корпусі, що містить загальний для всіх елементів колектор для розподілу запиленого газу та загальний колектор для збору продувного газу. Ефективність очищення циклонного сепаратора залежить від розміру вловлюваних частинок, тобто дисперсних компонентів пилу, їх щільності, в'язкості газу, що очищається, а також від діаметра циклону. сепаратор і швидкість руху газу в ньому.

Рух газів у циклонах складний і, незважаючи на значну теоретичну роботу, недостатньо вивчений.

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата



### 2.3.3 Вихрові пиловловлювачі.

Принцип роботи вихрової машини аналогічний принципу роботи циклонного сепаратора. В обох випадках відділення пилу від чистого пилу і повітряного потоку відбувається під дією відцентрової сили, яка створюється обертанням потоку в корпусі. Особливістю вихрового пристрою є те, що, по-перше, за допомогою лопатевих завихрювачів здійснюється завихрення основного потоку, а по-друге, за допомогою вторинного потоку додатково закручується вже закручений газ.

Існує два основних типи спіральних машин: соплові та лопатеві (рисунки 2.5).

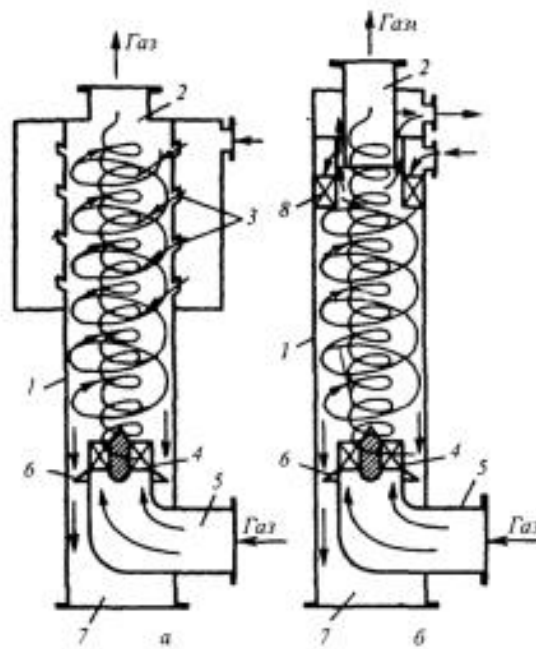


Рисунок 2.5 – Вихрові пиловловлювачі: а – соплового типу; б – лопаткового типу: 1 – камера; 2 – вихідний патрубок; 3 – сопла; 4 – лопатковий завихрювач типу "розетка"; 5 – вхідний патрубок; 6 – підпірна шайба; 7 – пиловий бункер; 8 – кільцевий лопатковий завихрювач

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	
Інв.№дубл.	
Підп. і дата	
Інв.№поодл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 21510195

Переробна потужність вихрового пиловловлювача зарубіжного виробництва становить 300-30000 м<sup>3</sup>/год. Як і циклонів, ефективність спіральних машин зменшується зі збільшенням діаметра. Тому для зменшення діаметра спіральні машини іноді розташовують групами. Відомі також акумуляторні пристрої, що складаються з окремих елементів діаметром 40 мм. Для приблизної оцінки ефективності можна скористатися даними, наведеними в таблиці. 2.3 [15].

Таблиця 2.3 – Залежність ефективності пиловловлення у вихрових апаратах від розміру частинки

Розмір частинки, мкм	2,5	5,0	10,0
Ефективність уловлення, %	92,0	95,0	98,5

Порівняно з циклонними пиловловлювачами перевагами вихрових пиловловлювачів є більш висока ефективність збору дрібного пилу, менший знос внутрішньої поверхні обладнання, можливість очищення газу при вищій температурі за рахунок розрідження газу холодним вторинним повітрям, а також в результаті зміни. Можливість регулювання процесу сепарації шляхом регулювання кількості та тиску вторинного газу. До недоліків вихрових пиловловлювачів відносяться: наявність додаткових пиловловлюючих пристроїв, збільшення загальної кількості газу при використанні в якості атмосферного вторинного газу, більша складність пристрою у виготовленні та експлуатації. Через складність процесу вихрового колектора методи інженерного розрахунку не розроблені.

Ступінь очищення газу вихровим пиловловлювачем від пилу розміром більше 10 мкм становить 98-99% [13].

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

#### 2.3.4. Фільтри.

У фільтр-сепараторі повітря (газ) очищається від аерозольних забруднень (пилу, крапельок вологи), коли забруднений потік повітря проходить через шар пористого матеріалу. Тканина, кокс, гравій тощо будуть використовуватися як шар фільтра.

Процес фільтрації заснований на багатьох фізичних явищах (ефект зачеплення, включаючи ефект просіювання - частинки аерозолі затримуються в порах і каналах, поперечний переріз яких менший за розмір частинок; ефект інерційної сили - коли напрямок руху пилу змінюється). зміни потоку, частинки відхиляються від цього напрямку та осадження; Броунівський рух - значною мірою визначає рух високодисперсних субмікронних частинок; гравітація, електростатичні сили - аерозольні частинки та фільтруючі матеріали можуть бути зарядженими або нейтральними).

Під час фільтрації майже завжди відбувається просіювання та інерційне захоплення частинок. Ефект просіву визначає ступінь осідання частинок, які через свій розмір не можуть пройти через пори. Він набуває одного із визначених значень після нанесення на структурні елементи фільтра первинного шару, який затримує частинки і зменшує розмір пор, а в подальшому виконує функцію фільтруючого середовища.

Більшість фільтрів мають високу ефективність очищення. Фільтри використовуються для очищення навколишнього середовища високих і низьких температур, різної концентрації зважених часток у повітрі. Відповідний вибір фільтруючих матеріалів і режиму очищення може досягти необхідної ефективності очищення у фільтрі. Фільтрувальне обладнання має багато переваг, але воно не позбавлене недоліків: вартість очищення фільтра вища, ніж у більшості іншого обладнання для збору пилу, особливо циклонів . Це пояснюється тим, що структура фільтра складніша і споживає більше енергії, ніж

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510195

інші пристрої. Багато фільтраційні колектори складні в експлуатації і вимагають кваліфікованого обслуговування.

Залежно від типу структурних елементів пористого шару розрізняють волокнисті, тканинні та сажеві фільтри.

Тканинні фільтри використовуються для осідання частинок пилу в кондитерській промисловості.

Тканинні фільтри В даний час виробляються і використовуються тканинні фільтри різних конструкцій. За формою фільтруючого елемента і тканини вони можуть бути рукавними і плоскими (брезентові), за типом опорних засобів - каркасними, каркасними і т.д., за наявністю корпусу і його формою - циліндричними, прямокутними. , відкриті (безкамерні), За кількістю секцій односекційні та багатосекційні.

Тканинні фільтри використовують тканину або повсть як підкладку для фільтрації повітря, яка є основним шаром, що вловлює пил. Фільтруюча тканина виготовляється з натуральних або синтетичних волокон діаметром 10...30 мкм, скручених у нитки діаметром приблизно 0,5 мм. Діаметр отворів між нитками зазвичай становить 100...200 мікрон. Фільтрувальні тканини повинні мати багато позитивних властивостей: забезпечувати ефективне очищення, допускати достатнє повітряне навантаження, мати необхідну пилоутримувальну здатність, здатність до регенерації, високу стійкість до стирання та інших механічних впливів, низьке вологопоглинання, низьку вартість.

Для фільтрувальних тканин використовуються наступні види волокон: натуральні волокна тваринного і рослинного походження (шерсть, льон, бавовна, шовк); штучна органіка (лавсан, нітрат, капрон, хлор та ін.); природні мінерали (азбест). штучні неорганічні речовини (склотканина, металева тканина).

Рукавні тканинні фільтри використовуються для очищення великих об'ємів повітря (газу), що містять багато пилу. Фільтруючими елементами в цих апаратах є гільзи зі спеціальної фільтрувальної тканини.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 21510195	Арк
						30

Картриджний фільтр видаляє частинки пилу розміром менше 1 мікрона, забезпечуючи тонке очищення повітря. Поряд з циклонами рукавні фільтри є одним з основних видів пиловловлювального обладнання.

З конструктивної точки зору, гнучка фільтруюча перегородка виконана у формі рукава, тому фільтр гнучкої фільтрувальної перегородки також називають "рукавом".

У звичайному робочому рукавному фільтрі концентрація пилу на виході з пристрою зазвичай не перевищує  $20 \text{ мг/м}^3$ . При використанні вискоелективних фільтруючих матеріалів для збору волокнистої пилу концентрацію на виході можна знизити до рівня нижче  $1 \text{ мг/м}^3$ . Загальний вигляд рукавного фільтра показано на рисунку 2.6.

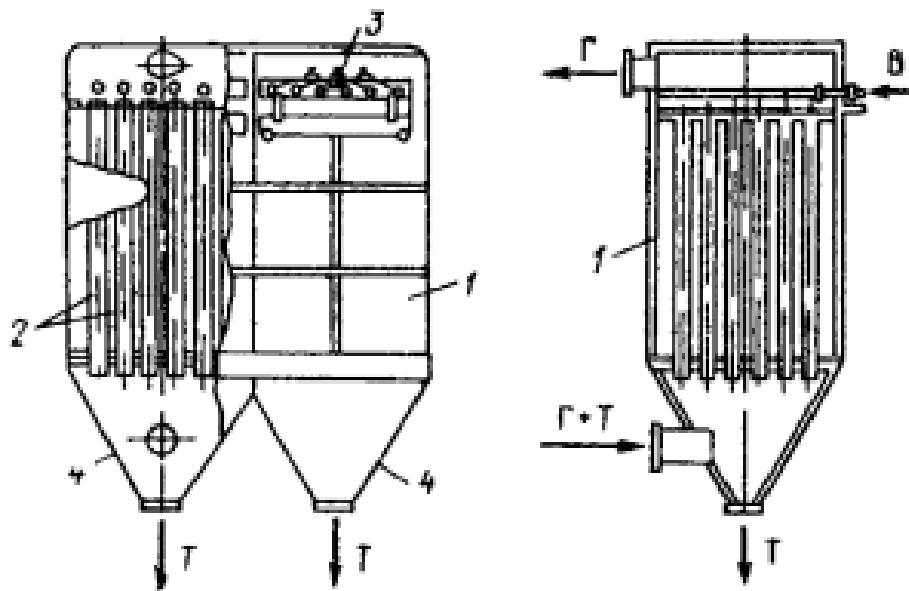


Рисунок 2.6 – Рукавний фільтр: 1 - корпус; 2 - фільтруючі рукави; 3 - колектор стисненого повітря; 4 - збірник пилу.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	



Регенерація рукавного фільтрувального полотна здійснюється механічним або аеродинамічним впливом на фільтрувальний полотно для руйнування та видалення осідлого шару пилу. У багатьох рукавних фільтрах регенерація фільтрувальної тканини здійснюється зворотним уприскуванням і імпульсним продуванням рукава [9-12].

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 21510195	Арк
						32
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		



Розглядаючи коагуляцію, розрізняють природну коагуляцію, коли процес відбувається під впливом природних сил, тобто в основному за рахунок броунівського руху і сили тяжіння, і штучну коагуляцію, коли процес посилюється застосуванням додаткових факторів, наприклад , турбулентність потоку пилу В результаті його штучної іонізації та акустичної обробки процес коагуляції багаторазово прискорюється, тому що вірогідність зіткнень і взаємодії частинок збільшується в рази.

Тепло (Коричневий) застигає. Броунівська конденсація заснована на броунівському русі дуже дрібних частинок пилу - до 0,1 мкм. Процес термічної (броунівської) конденсації майже не залежить від природи частинок пилу. Чим більший діапазон розмірів частинок, тим швидше відбувається коагуляція, оскільки відбувається поглинання менших частинок більшими частинками. Полідисперсність викликає збільшення швидкості конденсації не більше ніж на 10% порівняно з конденсацією монодисперсного пилу. Швидкість термічного затвердіння зростає зі збільшенням абсолютної температури дисперсійного середовища. Швидкість коагуляції дрібних частинок також зростає зі збільшенням тиску. Було відмічено, що дисперсія пилу в технологічному газі, що надходить у процес очищення, зазвичай вище, ніж у джерелі. Це можна пояснити тим, що коагуляція за Брауном відбувається практично відразу.

Градiєнтна конденсація. Градiєнтна конденсація спричинена градієнтами швидкості, які існують у потоках пилового газу. Найбільш типовим прикладом є потік газу біля стінки суцільного каналу. Відповідно до законів гідравліки, частинки біля стінки рухаються з меншою швидкістю, ніж частинки поблизу поздовжньої осі каналу. Контакт між частинками може виникнути, якщо відстань між частинками менше суми їхніх розмірів. Ефект градієнтної коагуляції в основному обмежений шаром стінки. Тому він має довгий канал і велику контактну поверхню, тому відіграє важливу роль.

Турбулентне затвердіння. Швидкість конденсації частинок у дисперсійному середовищі можна штучно збільшити, збурюючи аерозоль. Вихровий рух

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 21510195

середовища, викликаний турбулентністю, збільшує ймовірність зіткнень частинок і, отже, збільшує швидкість конденсації.

Рух завмирає. Процес коагуляції руху відбувається під час відносного руху частинок різного розміру під дією зовнішніх сил — тяжіння, відцентрової сили тощо. Частинки різного розміру рухаються з різною швидкістю. В результаті вони зіткнулися і злилися. Прикладом кінетичного затвердіння є осадження частинок на краплі під дією сили тяжіння (цей процес також відомий як гравітаційне затвердіння). Кінетична конденсація також виникає внаслідок протилежного руху розпиленої води та аерозолів у мокрих скруберах.

Електрокоагуляція. Сили взаємодії виникають між зарядженими частинками, а також між зарядженими і незарядженими частинками. Це багато в чому визначає поведінку частинок. Частинки стикаються, злипаються і утворюють агрегати.

Між частинками діють такі електричні сили: кулонівська сила тяжіння або відштовхування, яка виникає між двома зарядженими частинками, що знаходяться на відстані одна від одної, наведена сила між зарядженою частинкою та сусідньою незарядженою частинкою, сила взаємодії між частинками напруженість зовнішнього електричного поля. Принцип електрокоагуляції використовується також при штучній іонізації газопилових потоків для згущення частинок пилу.

Акустичне затвердіння. Звукове поле, створене потоком пилу та повітря, що проходить через джерело звуку або ультразвукове джерело. Внаслідок коливань середовища, за певних параметрів поля та характеристик повітряного потоку пилу кількість зіткнень між частинками пилу значно збільшується, що призводить до їх злипання, тобто агломерації пилу.

На підставі аналізу пилових характеристик кондитерського виробництва з метою підвищення ефективності пиловіддалення пропонуємо використовувати електрокоагуляцію при попередній обробці пилу та потоку повітря в іонізаторі, встановленому перед пилоуловлювачем.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 21510195

У літературі представлені поодинокі дослідження впливу іонізації повітря на органічний пил, зокрема тютюновий [17] і борошняний [18]. Ці дослідження показують, що іонізація повітря досить ефективно впливає на концентрацію органічного пилу в повітрі: тютюновий пил у приміщенні за допомогою аероіонізатора досягає стандартної концентрації в 2,5 рази швидше, ніж без іонізації. Циліндричний електрофільтр має ефективність очищення запиленого повітря 95%.

Відомий спосіб первинної іонізації негативно зарядженими іонами тютюнового пилу [17]. Потік пилу проходить через камеру, оснащену дровим іонізатором. Тютюнові частинки стають негативно зарядженими через вплив негативно заряджених іонів із гострого дротяного іонізатора на частинки тютюну. Іонізатор подає напругу від 22 кВ до 55 кВ. Такий підхід дозволяє знизити залишкову концентрацію тютюнового пилу в 3,5 рази.

Метод коагуляції малих частинок, що містяться в газовому потоці [19], включає етапи надання частинкам зарядів протилежної полярності та збурення газового потоку для змішування протилежно заряджених частинок і їх агломерації.

Розроблено також коагулятори з вуглецевими іонізаторами [20]. Газовий потік, що містить дрібнодисперсні частинки какао, подається в камери штучної іонізації, в кожній камері штучної іонізації іонізатори з вуглецевого волокна генерують велику кількість негативно заряджених іонів, тому відбувається процес зарядки дрібних частинок, потім вони змішуються в камері змішування. (рисунок 3.1) . Сила вивільнення негативних іонів

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

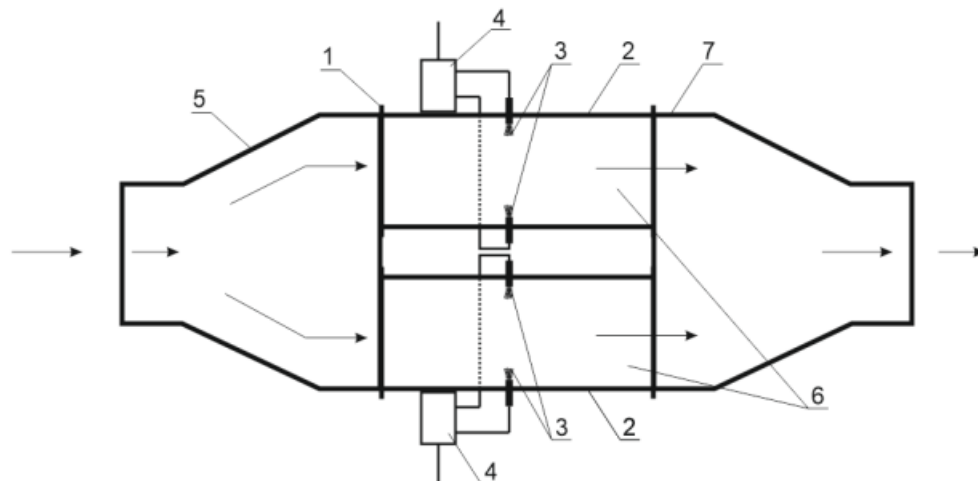


Рисунок 3.1 – Схема іонізатора: 1- фланець, 2 – повітропровід, 3 – іонізатор; 4 – блок живлення; 5 - камера розподілу потоку; 6 – камера штучної іонізації; 7- камера змішування.

Обладнання, яке раніше використовувалося на виробництві, може ефективно вловлювати накопичений пил. Іонізація істотно знижує концентрацію електрично нейтральних частинок какао і в меншій мірі - часток цукру і борошна.

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510195

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів виробництва шоколадних виробів

Усі виробничі фактори за характером дії поділяються на дві категорії: небезпечні та шкідливі.

Небезпечні фактори – це фактори виробництва, що мають короткострокову дію і можуть призвести до травми чи різкого погіршення здоров'я.

Шкідливі фактори – це фактори виробництва, що впливають протягом певного часу і можуть призвести до захворювання чи зниження працездатності. У певних умовах шкідливий фактор може стати небезпечним.

За характером дії на організм людини усі виробничі фактори умовно розділяють на чотири групи:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психофізіологічні.

Фізичні фактори включають в себе характеристику певного виробничого процесу (рухомі частини механізмів, обладнання, гострі кромки, тощо) та фактори довкілля (освітленість, мікроклімат, виробничий шум та вібрація, тощо).

Хімічні фактори підрозділяються на ті, що пов'язані з небезпекою певних хімічних речовин і можуть класифікуватися за характером дії та шляхом проникнення до організму людини. За характером впливу хімічні фактори можуть бути: токсичні, подразнюючі, канцерогенні та мутагенні. До організму людини хімічні фактори можуть потрапляти через шкіру, слизові оболонки, органи дихання та травну систему.

Підп. і дата	
Інв. № додбл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № додл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 21510195

Біологічні фактори включають живі організми (бактерії, віруси та продукти їх життєдіяльності).

До психофізичних факторів належить психічне здоров'я працівників. Особливу небезпеку на робочому місці становлять стрес, втомленість, перевантаження, тощо.

У виробничих цехах шоколадних фабрик на працівників будуть діяти наступні шкідливі і небезпечні фактори:

– Шум. Джерелом шуму на шоколадному виробництві є машини та обладнання виробничої лінії, наприклад змішувачі, конвеєрні стрічки, тощо. Оскільки організм людини піддається тривалому впливу шуму або вібрації, робота центральної нервової системи може бути порушена. Нормативні значення виробничого шуму регламентовані ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку відповідно до них, допустимий виробничий шум для виробничих приміщень виробництва шоколаду становить 75 дБА. При перевищенні допустимого значення, необхідно провести наладку обладнання та устаткування, що є джерелом шуму та користуватися засобами індивідуального захисту, наприклад – берушами.

– недостатнє освітлення промислових приміщень може призвести до травматизму на виробництві, а при регулярному впливі цього фактора може призвести до розладів органів зору. Нормативні значення освітленості встановлюються ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення норми освітлення і для виробничих приміщень виробництва шоколаду, нормативний показник освітленості становить 200 лкю При недостатньому освітленні необхідно замінити лампи на лампи більшої потужності або влаштувати додаткові джерела освітлення;

– запиленість виробничих приміщень. Основним джерелом пилу є: процес подрібнення како-бобів та пост приготування замісів.. Наказом МОЗ № 52 від 14.02.2020 «Про «затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць»

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 21510195	Арк
						39



встановлюються гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин у атмосферному повітрі (робочої зони також). Відповідно до даного нормативного акту, ГДК для пилу – 0,5 мг/м<sup>3</sup>. При перевищенні даного значення, видати працівникам засоби індивідуального захисту (маски, респіратори), зупинити виробничі процеси і провести діагностику обладнання та устаткування виробничого приміщення та перевірити справність роботи вентиляційної системи;

– фактори мікроклімату, які забезпечують комфортність виконання праці. Вимоги до умов мікроклімату виробничих приміщень встановлюються ДСН 3.3.6 042-99 Санітарні норми мікроклімату. Відповідно до цього нормативного акту, сприятливими умовами для мікроклімату працівників виробництва шоколаду є: вологість – 75 %, температура повітря – 23 ° С, швидкість руху повітря – не більше 0,3 м/м;

– небезпечність ураження електричним струмом. Задля попередження ураження, необхідно провести заземлення усього обладнання та устаткування і проводити його періодичну перевірку [29-33].

#### 4.2 Розрахунок вентиляції лабораторного приміщення

Вентиляція - це організований і контрольований процес повітрообміну в приміщенні для дотримання санітарно-гігієнічних норм, а також пожежонебезпечних умов праці. Вентиляція забезпечує видалення забрудненого домішками повітря з приміщення та заміну чистим повітрям із зовнішнього середовища.

Існує різниця між природною вентиляцією та механічною вентиляцією. У першому випадку переміщення повітря відбувається під дією фізичних факторів, а в другому це досягається встановленням допоміжного обладнання (вентиляторів тощо). За охопленням вентиляцію поділяють на загальнообмінну та місцеву.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 21510195	Арк
						40

Вибір певної системи вентиляції базується на розрахунку повітрообміну приміщення  $L$ ,  $\text{м}^3/\text{год}$ . Розрахунок необхідного об'єму повітря проводиться виходячи з таких визначальних факторів: вміст шкідливих речовин, підвищена вологість або температура повітря, велика кількість працівників у приміщенні.

Розрахунок вентиляції для виробничого приміщення (цеху) шоколадної фабрики проводиться за формулою 4.1. Визначальним фактором при розрахунку є вміст пилу у атмосферному повітрі робочої зони.

$$L = \frac{G \cdot 3600}{q_{\text{ГДК}} - q_{\text{пр}}} \quad (4.1)$$

де  $G$  – обсяг забруднюючих речовин, що викидаються у виробниче приміщення, приймається рівним  $G = 0,25 \text{ мг/с}$ ;

$q_{\text{ГДК}}$  – гранично допустима концентрації забруднюючих речовин у повітрі робочої зони. Згідно Наказу МОЗ № 52 від 14.01.2020 р. «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць»  $\text{ГДК}_{\text{м.р.}}$  для пилу становить  $0,5 \text{ мг/м}^3$ .

$q_{\text{пр}}$  - концентрація забруднюючих речовин у повітря, що подається. У розрахунку приймаємо рівний  $0,3\text{ГДК}_{\text{рз}}$ ,  $q_{\text{пр}} = 0,15 \text{ мг/м}^3$ .

$$L = \frac{0,25 \cdot 3600}{0,5 - 0,15} = 2571,43 \text{ м}^3/\text{год}$$

Отже, з метою дотримання санітарно-гігієнічних умов праці виробничого приміщення, а саме виробничого приміщення (цеху) шоколадної фабрики, необхідно забезпечити загальнообмінну вентиляцію з витратою повітря не менше  $4628,57 \text{ м}^3/\text{год}$  [23, 24].

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

### 4.3 Безпека персоналу лабораторії в надзвичайних ситуаціях

Від ефективності розроблення та впровадження заходів щодо запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій залежить життя та здоров'я працівників.

Відповідно до Закону України «Про цивільний захист України» навчання особового складу підприємств незалежно від форми власності діям у надзвичайних ситуаціях здійснюється за спеціально розробленим планом заходів із захисту населення і території.

Для великих і малих підприємств система заходів захисту від надзвичайних ситуацій включає:

- планування та здійснення необхідних заходів щодо захисту працівників, господарських об'єктів;
- подальше узгодження з ДСНС України щодо розробки плану розташування та ліквідації аварії;
- підтримка стану готовності до застосування сил і засобів для запобігання виникненню надзвичайної ситуації та ліквідації її наслідків;
- створення та підтримка запасів засобів для запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій;
- забезпечення своєчасного сповіщення своїх співробітників про загрози або надзвичайні ситуації, що виникають.

Вищезазначені заходи є загальними і не повністю враховують конкретні обставини конкретних підприємств, чисельність працівників, обсяг виробництва та види виробництва тощо.

Наприклад, розглянемо порядок дій персоналу у випадку пожежі на підприємстві.

Пожежа – це неконтрольований руйнівний процес, який веде до виділення тепла, завдає матеріальних збитків, завдає шкоди здоров'ю та життю людей.

Це може статися з наступних причин:

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

- порушення правил експлуатації електрообладнання або його вихід з ладу;
- невідповідність технічним регламентам;
- недотримання правил пожежної безпеки, наприклад куріння в приміщенні
- недозволені місця, розпалювання багать тощо;
- необережне поводження з вогнем.

До пожежної небезпеки відносяться: спека, погана видимість, небезпека від продуктів горіння.

Вибух — це явище, при якому за короткий проміжок часу виділяється велика кількість теплової енергії. Наслідки вибуху включають утворення та поширення ударної хвилі, яка може спричинити механічні пошкодження навколишнього середовища. До основних факторів вибуху відносяться: ударна хвиля та уламки, що утворюються при руйнуванні об'єктів.

У разі виникнення пожежі працівники повинні вжити наступних заходів:

1.1. У разі небезпеки вибуху ляжте на землю, прикрийте голову руками та тримайтеся на певній відстані від вікон, скляних дверей, проходів чи сходів.

1.2. При вибуху не панікувати, а при необхідності надати першу допомогу.

1.3 При виявленні перших ознак пожежі (дим, запах гару тощо) необхідно вжити наступних заходів:

- не гайте часу зателефонуйте в пожежну охорону (наберіть «101»), вказавши адресу, місце виникнення пожежі та свої дані;

- швидко евакуюйте людей.

1.4 Після прибуття на місце пожежі керівники та уповноважені працівники пожежної безпеки підприємства повинні:

- повторити запит до пожежної частини та повідомити керівництво про пожежу;
- як найшвидше евакуювати людей;
- перевірити придатність системи протипожежного захисту;

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

- якщо необхідно, вимкнути живлення та використовувати всі можливі протипожежні заходи;
- негайно припинити будь-яку виробничу діяльність, крім пов'язаної з протипожежним захистом;
- вивести з небезпечної зони всіх працівників;
- брати участь у протипожежних заходах;
- евакуацію проводити відповідно до встановленого плану евакуації на випадок надзвичайної ситуації;
- вжити заходів для локалізації пожежі до прибуття пожежників;
- вживати заходів щодо охорони матеріальних цінностей;
- якщо на підприємстві є легкозаймисті та вибухонебезпечні матеріали або хімічні небезпеки, повідомити пожежну службу [30]

Інв. № по одл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № одубл.	Підп. і дата	TC 21510195				Арк
									44
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					



## ПЕРЕЛІК ДЖРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Коваленко В. В. Екологічні дослідження впливу техногенного фактору на якість шоколадних продуктів :робота на здобуття кваліфікаційного ступень бакалавр за спец. : 101 – екологія / наук. кер. Єгорова О. В. – Черкаси: Черкаський державний технологічний університет. 2020

2. Кондрашова Є.А., Конік Н.В., Пешкова Т.А. Товарознавство продовольчих товарів: навчальний посібник. – М.: Альфа –М: ИНФРА –М, 2007.

3. Прохорова Н.Г., Новікова А.М. Бакалійні, кондитерські, гастрономічні, молочні товари, хлібобулочні вироби: підручник. – М.: Економіка, 1992. 207

4. Шепелєв А.Ф., Печенізька І.А., Кожухова О.І., Туров А.С., Мхітарян К.Р. Товарознавство та експертиза продовольчих товарів: Навчальний посібник. – Ростов –на –Дону: Видавничий центр "Март", 2001. – 680 с.

5. Товарознавство та експертиза продовольчих товарів: навчальний посібник. ростов –на –Дону: Видавничий центр «Март» 2001

6. Плюйко Ю. В. Зниження забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсним пилом кондитерських виробництв :робота на здобуття кваліфікаційного ступень бакалавр за спец. : 101 – екологія / наук. кер. Гурець Л. Л.. – Суми: СумДу. 2020

7. Пономарьова С. Д. Захист атмосферного повітря від забруднення викидами дрібнодисперсних органічних частинок кондитерських підприємств. – дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Харків, 2019.

8. Атлас промышленных пылей. В трех частях. Часть 3. Пыли предприятий химической и пищевой промышленности. М. : ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1982

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 21510195	Арк 46
-----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

9. Плюйко Ю. В. Зниження забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсним пилом кондитерських виробництв :робота на здобуття кваліфікаційного ступень бакалавр за спец. : 101 – екологія / наук. кер. Гурэц Л. Л.– Суми: СумДУ. 2020

10. Ужов В. Н. Борьба с пылью в промышленности. Москва : Госхимиздат, 1962. 184 с

11. Пономарьова С. Д. Захист атмосферного повітря від забруднення викидами дрібнодисперсних органічних частинок кондитерських підприємств. – дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Харків, 2019.

12. Сборник удельных показателей выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от предприятий перерабатывающей промышленности агропромышленного комплекса / К. И. Беляева и др. Курск : Росгипросахагропром, 1990. 80 с.

13. Практикум із охорони праці / В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, В. М. Сторожук. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.

14. Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю., Очистка газов мокрыми фильтрами. М.: Химия, 1972. – 248с

15. Оборудование для санитарной очистки газов: Справочник / Кузнецов И.Е, К.И.Шмат, Кузнецов С.И / Под ред.. И.Е. Кузнецова. – К.: «Тэхника», 1989 – 304.

16. Швыдкий В. С, Ладыгичев М. Г. Очистка газов: Справочное издание / В.С. Швыдкий, М. Г. Ладыгичев. — М.: Теплоэнергетик, 2002. — 640 с

17. Вентиляция и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности / Е. А. Штокман, В. А. Шилов, Е. Е. Новгородский, Т. А. Скорик, Р. А. Амерханов. Москва : АСБ, 2001. 567 с.

18. Чепелев Н. И., Богульский И. О., Едимичев Д. А. Моделирование процесса осаждения пыли электрофильтрами на зерноперерабатывающих предприятиях. Вестник КрасГАУ. 2012. № 5. С. 351–355

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 21510195	Арк
						47



19. Спосіб та пристрій для агломерації частинок: пат. 73962 Україна: МПК В03С 3/00, В01D 49/00; заявл. 10.11.2000; опубл. 17.10.2005, Бюл. № 12. 11 с.

20. Спосіб іонізаційної обробки дрібнодисперсного пилу какао перед очищенням : пат. 135881 Україна : МПК (2019.01) В03С 3/00. № у 2019 01141 ; заявл. 04.02.2019 ; опубл. 25.07.2019, Бюл. № 14.

21. Охорона праці : Навч. посіб. / Я. І. Бедрій, Є. О. Геврик, І. Я. Кіт, О. С. Мурін, В. М. Єнкало; ред.: Є. О. Геврик; Укр. держ.. ун-т. - Л., 2000.-ф 280 с. - Бібліогр.: с. 277-279.

22. ДСН 3.3.6 042-99 Санітарні норми мікроклімату

23. Наказом МОЗ № 52 від 14.02.2020 Про «затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць

24. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення

25. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 21510195	Арк
						48