

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра прикладної екології

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Спеціальність 101 „Екологія”

Тема роботи: **Зниження забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсним пилом кондитерських виробництв**

Виконав:
студент Плюйко Ю.В.
прізвище, ім'я та по батькові

Залікова книжка
№ 17320833

Підпис _____

Захищена з оцінкою

оцінка, дата

Керівник:
доц. Гурець Л.Л.
посада, прізвище, ім'я та по батькові

Підпис _____
дата, підпис

Консультант з охорони праці:
доц. Васькін Р.А.
посада, прізвище, ім'я та по батькові

Підпис _____

Секретар ЕК
Аблєєва І.Ю.
прізвище, підпис

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра прикладної екології
Спеціальність 101 „Екологія”

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою _____

“ ____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту _____ Плюйку Юрію Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Група ЕКз-51с

Тема кваліфікаційної роботи Зниження забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсним пилом кондитерських виробництв

затверджена наказом по університету від 21 квітня 2020 р. № 0542-III

2. Вихідні дані: статистичні дані, законодавчі акти щодо поводження з відходами, літературні джерела

3. Перелік обов'язково графічного матеріалу:

1. Конструкції газоочисного обладнання
2. Характеристика пилових викидів кондитерських виробництв
3. Заходи з коагуляції пилу

4. Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2	3	4	5	6
1	Огляд літератури	+					
2	Розділ 1		+				
3	Розділ 2			+			
4	Розділ 3				+		
5	Розділ 4					+	
6	Оформлення, захист						+

1. Дата видачі завдання 24.01.2020 р.

Керівник _____
(підпис)

доц. Гурець Л.Л.
(посада, прізвище)

Реферат

Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 29 найменувань. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 54 с., у тому числі 3 таблиці, 8 рисунків, список використаних джерел на 4 сторінках.

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

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- аналіз впливу твердих частинок на довкілля;
- аналіз факторів, які впливають на ефективність пилоочищення;
- аналіз характеристик пилу кондитерських виробництв;
- аналіз методів інтенсифікації пилоочищення.

Об'єкт дослідження – забруднення довкілля дрібнодисперсним пилом кондитерських підприємств.

Предмет дослідження – інтенсифікація процесу пилоочищення на кондитерських підприємствах.

У кваліфікаційній роботі розглянуто вплив пилових викидів на довкілля. Наведені характеристики пилу кондитерських виробництв. Проведено аналіз апаратів для пилоочищення та методів коагуляції пилових частинок. Запропоновано для коагуляції частинок використовувати попередню іонізацію.

Ключові слова: АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ, ДРІБНОДИСПЕРСНИЙ ПИЛ, КОНДИТЕРСЬКІ ВИРОБНИЦТВА, ПИЛОВЛОВЛЕННЯ, КОАГУЛЯЦІЯ, ІОНІЗАЦІЯ

ЗМІСТ

С.

ВСТУП5

Розділ 1 Вплив пилових викидів промислових виробництв на навколишнє середовище та людину8

Розділ 2 Методи та апарати для очищення газів від пилу.....14

 2.1 Механізми пилоосадження14

 2.2 Конструкції пиловловлюючого обладнання18

Розділ 3 Характеристика пилових викидів кондитерських виробництв..... 30

 3.1. Властивості промислового пилу.....30

 3.2. Характеристика пилу кондитерських виробництв.....34

 3.3. Розробка заходів по зниженню забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсним пилом кондитерських виробництв.....39

Розділ 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 44

 4.1 Характеристика приміщення.....44

 4.2 Аналіз умов праці..... 45

Висновки45

Перелік використаних джерел. 47

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

					ЕК 17320833			
Вил	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Зниження забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсним пилом кондитерських виробництв	Літ.	Аркуш	Аокушів
Розроб	Плюйко					4		
Перев.	Гурець					СумДУ, ф-т ТеСЕТ гр. Екз-51с		
Н.Контр	Васькін							
Затв.	Пляцук							

ВСТУП

Проблема охорони навколишнього середовища є найбільш гострою глобальною проблемою початку ХХІ століття. В Україні наявний високий рівень забруднення атмосферного повітря. Основними забруднювачами атмосферного повітря є суспендовані тверді частинки, окиси азоту, окис вуглецю, сірчистий газ. В 2016 р. в Україні викинуто в атмосферне повітря 395,8 тис. тон твердих частинок [1].

На сьогодні європейська політика відносно підтримки якості атмосферного повітря на безпечному для здоров'я населення рівні, спрямована на його покращення за рахунок загального скорочення об'ємів викидів забруднюючих речовин. Україна, яка є стороною ряду міжнародних угод та знаходиться на шляху вступу до ЄС, також прийняла на себе зобов'язання щодо здійснення заходів, які спрямовані на запобігання негативного для здоров'я населення та довкілля забруднення атмосферного повітря.

Проблема очищення відхідних газів від пилу має принципове значення для забезпечення високого рівня проживання людини. Мова йде не тільки про поліпшення якості виробничого середовища, але й зниження біосферних ризиків. Особливо це питання актуальне для дрібнодисперсного пилу. Найнебезпечнішими для людини та навколишнього природного середовища є PM_{10} – суспендовані тверді частинки з розміром до 10 мкм [2].

За даними ВООЗ забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсним пилом впливає на здоров'я навіть у дуже низьких концентраціях. Фактично, межа, за якою ніяких пошкоджень для здоров'я не спостерігається, відсутня [3]. ВООЗ та інші національні установи охорони здоров'я приймають тверді частинки розміром менше 10 мкм в якості ключових показників контролю

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк
					5

ЕК 17320833

рівня забруднення атмосферного повітря твердими частинками. Концентрація в атмосферному повітрі частинок розміром менше 2,5 мкм є найкращим показником для прогнозування гострих і хронічних захворювань, що спричиняються впливом твердих частинок [4].

В Україні ще не встановлено нормативи для дрібнодисперсного пилу, хоча статистика викидів цих показників ведеться з 2004 року [5]. Імплементация Директиви 2008/50/ЄС передбачає розроблення нормативно-правових актів щодо встановлення нормативів концентрації суспендованих речовин $PM_{2.5}$, PM_{10} в атмосферному повітрі та забезпечення їх моніторингу в атмосферному повітрі.

Одним із джерел надходження дрібнодисперсного пилу в атмосферу є харчова промисловість, яка наразі інтенсивно розвивається в Україні. За темпами розвитку в загальному промисловому виробництві України саме підприємства харчової промисловості, а в їх складі – підприємства кондитерського виробництва, займають передові позиції (третє місце серед товарів продовольчої групи) [6].

Вирішення проблеми ефективного очищення відхідних газів від дрібнодисперсного пилу припускає реалізацію комплексу технічних і організаційних заходів на основі глибокого й всебічного вивчення властивостей пилу, аналізу способів і апаратів пилоочищення.

Це і визначило **мету роботи**: підвищення рівня екологічної безпеки атмосферного повітря при попередній коагуляції пилу на кондитерських підприємствах.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- аналіз впливу твердих частинок на довкілля;
- аналіз факторів, які впливають на ефективність пилоочищення;
- аналіз характеристик пилу кондитерських виробництв;
- аналіз методів інтенсифікації пилоочищення.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					Арк
									6
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833				

Об'єкт дослідження – забруднення довкілля дрібнодисперсним пилом кондитерських підприємств.

Предмет дослідження – інтенсифікація процесу пилоочищення на кондитерських підприємствах.

Методи дослідження – критичний аналіз літературних джерел, патентний пошук.

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ЕК 17320833

Арк

7

Розділ 1 Вплив пилових викидів промислових виробництв на навколишнє середовище та людину

Пилові викиди промислових підприємств впливають на навколишнє середовище, що виявляється як у глобальних масштабах, так і в дії забруднюючих речовин на людину безпосередньо на робочих місцях і, на прилеглих територіях.

Найбільший вплив у глобальному масштабі із всіх твердих частинок чинить тонкодисперсний пил, оскільки він не осідає і залишається у верхніх шарах атмосфери, звідки не видаляється ні з дощем, ні якими-небудь іншими шляхами. Пилові хмари відбивають сонячне світло, і подальше збільшення вмісту речовини в атмосфері у вигляді частинок може в майбутньому призвести до ненормального зниження середньої температури поблизу поверхні землі. Оцінка вмісту твердих частинок в атмосфері за період 1850 - 1970 р. показала ріст приблизно на 50%. Подальше збільшення вмісту твердих частинок ще на 50 % може призвести до відбиття сонячного світла і до зниження середньої температури приземного шару атмосфери на 0,5- 1,0 °С.

Викиди твердих частинок приводять до утворення пилових шарів на поверхні листочків, у результаті якого затримується проникнення до них сонячного світла й закупорюється устячка. Це призводить до погіршення фотосинтезу та пригноблення росту рослин.

Забруднення атмосфери повітря робочих місць, промислових майданчиків і прилягаючих до підприємств територій значною мірою визначаються кількістю й фізико-хімічними характеристиками викидів, технологічними особливостями, метеорологічними параметрами атмосфери й топографічних особливостей району й завдають величезної шкоди економіці країни від захворювань і отруєнь людей, зниження врожаю сільськогосподарських культур, хвороб і загибелі тварин.

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

									Арк
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					8

ЕК 17320833

Вплив атмосферних забруднень на здоров'я населення є основним питанням проблеми забруднення повітря міст.

Численні закордонні дослідження показують, що забруднене повітря сприяє виникненню або загостренню таких станів, як гостре неспецифічне захворювання верхніх дихальних шляхів, хронічний бронхіт, хронічне неспецифічне захворювання дихальних шляхів, емфізема легенів, бронхіальна астма, рак легенів і ін. Вивчення захворюваності населення, що проживає в районах розташування промислових виробництв, проводилося й вітчизняними вченими, зокрема М.Л. Красовицкой, Г.С. Запорожцем, М.И. Гусевим, Е.В. Елфимовим, Т.С. Егоровим, Ю.Е. Корнеевим, Е.М. Череповим і ін. Смертність населення перебуває в прямій залежності від ступеня концентрації промислових викидів, що у значній мірі сприяє розвитку різних хвороб.

За даними ВООЗ, яка проводить спостереження в 3000 містах світу і охоплює спостереженнями майже 1,6 млрд. людей, або 43 % міського населення із 103 країн світу [7], середньорічна концентрація найбільш небезпечних частинок діаметром 2,5 мкм в атмосферному повітрі міст значно перевищує рекомендований рівень - 10 мкг/м³.

Повний вплив забруднення атмосферного повітря на здоров'я людини ще недостатньо вивчено. Найбільш докладно проаналізований вплив забруднень повітря на хворобі органів дихання. Є певна кількість досліджень по виявленню захворювань очей, зубів, шкіри. Недостатньо досліджені хвороби органів травлення. Однак цілком з'ясоване загальне питання про те, що забруднене шкідливими речовинами атмосферне повітря негативно впливає на організм людини. Дія шкідливих речовин особливо позначається на здоров'я дітей та людей похилого віку. Захворюваність населення (особливо хворобами органів дихання) у загазованих районах перевищує захворюваність населення, що проживає в населених пунктах з відносно чистим повітрям.

У Дніпропетровському медичному інституті вивчалася захворюваність населення у зв'язку із забрудненням повітря. При забрудненому повітрі

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк
					9

ЕК 17320833

загальна захворюваність жінок в 1,14-1,81 рази вище, ніж у районі з незабрудненим повітрям. Захворюваність дихальних шляхів у дітей у віці 1 року в місті із забрудненою атмосферою в 3,1 рази вище, ніж у контрольному районі, у віці 2 років - в 2,9 рази, 3 років - в 6,4 рази, від 4 до 7 років - в 6,3 рази, від 8 до 14 - в 4,4 рази.

Дослідження вітчизняних та зарубіжних вчених показують, що для людини становлять небезпеку переважно зважені в повітрі пилові частинки, тому що вони можуть потрапити із вдихуванням повітрям в органи дихання. Частинки пилу розміром до 5 мкм викликають пневмоконіозне запалення роговиці ока при тривалому знаходженні людини в запиленому середовищі. Якщо пил містить токсичні речовини, то потрапляючи на слизисту оболонку верхніх дихальних шляхів і носоглотки, він викликає порушення функцій організму, гострі місцеві запалення легенів. Пил викликає також хронічні запалення шкіри.

Пил може чинити на організм людини фіброгенну, подразнюючу і токсична дію. Нетоксичний пил (наприклад, скловолокна, слюди) чинить подразнюючу дію на верхні дихальні шляхи, слизувату оболонку ока, шкіру.

Фіброгенною називається така дія пилу, при якому в легенях відбувається розростання сполучної тканини, що порушує нормальну будову органа. Вона багато в чому визначається його дисперсністю. Найбільшу фіброгенну активність мають аерозолі з розміром частинок до 5 мкм. Дрібні частинки пилу розміром менше 0,25 мкм, потрапляючи при вдиханні в легені, майже не затримуються в них внаслідок малої швидкості осідання й видихаються з повітрям назад. Максимальний діаметр частинок пилу, що попадають у тканину легенів не перевищує 10-12 мкм. У нижніх дихальних шляхах затримуються частинки діаметром 1 мкм. Причому, чим високодисперсніший пил, тим більша його питома поверхня, а також хімічна активність, що підвищує фіброгенність пилу й сприяє більш швидкому розвитку пневмоконіозного процесу.

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

										Арк
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833					10

Частинки пилу більші за 10 мкм мають досить високу швидкість осадження, тому вони осідають у верхніх дихальних шляхах і, потрапляючи в легені, не видихаються з повітрям назад і можуть викликати поранення слизових оболонок. Накопичуючись у тканинах легенів, вони при тривалому впливі на легеневу тканину приводять до пневмоколіозів.

Виробничий пил, маючи подразнюючу дію, може викликати професійні пилові бронхіти, пневмонії, астматичні бронхіти, бронхіальну астму, знизити захисні властивості організму. Під впливом зважених речовин розвиваються кон'юктивіти, виразки шкіри.

Потрапляючи у водний об'єкт, дрібнодисперсний пил впливає на його екосистему. Дослідження [8] свідчать, що водна екосистема може бути дуже вразливою до дрібнодисперсного пилу, оскільки він накопичується в водоймах.

Пил органічного походження може викликати алергічні реакції за рахунок наявності у ньому речовин білково-рослинного, мікробного походження, фрагментів комах, мінеральних добрив, тощо [9, 10].

В пилу какао можуть бути присутні бактерії (*Micrococcus*, *Staphylococcus* and *Proteus*), грибки (*Penicillium citrinum*) та дріжджі (*Kloeckera apis*, *Candida pelliculosa*, *Candida tropicalis* and *Saccharomyces cerevisiae*), які можуть спричинити не тільки алергічні реакції, але й отруєння [11].

Органічний пил за своєю природою є опосередкованим викидом CO₂, в який окиснюються всі органічні субстрати, а отже, потенційним парниковим газом. У Великобританії підраховано, що при виробництві продуктів харчування у повітря викидається 12 % від загальної кількості парникових газів, із них виробництво кондитерської продукції на третьому місці після молочної та м'ясної промисловості за викидами парникових газів.

Тому питання зменшення обсягів пилових викидів вимагає розробки та виконання заходів щодо захисту навколишнього середовища. Виконання цього завдання безпосередньо пов'язане з нормуванням викидів, організацією контролю за дотриманням цих норм і збором вихідних даних для

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк
					11

ЕК 17320833

перспективного й річного планування заходів щодо захисту навколишнього середовища, контролем за ефективністю роботи пиловловлюючого устаткування.

В Україні здійснюється нормування та контроль за вмістом пилу у атмосферному повітрі пилом незалежно від його дисперсності. Так в [12] встановлюється ГДК для недиференційованого за складом пилу в атмосферному повітрі населених місць, за [13] нормативи встановлюються для недиференційованого за фізико-хімічним складом пилу, а також речовин у вигляді твердих частинок (суміші хімічних речовин постійного складу), за [14] нормування гранично допустимих викидів (ГДВ) зі стаціонарних джерел проводиться для речовини у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом, речовин у вигляді суспендованих твердих частинок (мікрочастинки та волокна) та органічних сполук у вигляді суспендованих твердих частинок. Нормативне значення ГДК встановлюється для недиференційованого за складом пилу, а саме максимально разове – 0,5 мг/м³, середньодобове – 0,15 мг/м³, 3-й клас небезпечності, якщо для забруднюючої речовини не встановлено відповідне значення ГДК.

Імплементация Директиви 2008/50/ЄС передбачає розроблення нормативно-правових актів щодо встановлення нормативів концентрації твердих речовин окремо для діаметрів 2,5 мкм і 10 мкм та забезпечення їх моніторингу.

В 2014 р. видано наказ Мінприроди України із узгодженими заходами на 2017 – 2018 рр., щодо «встановлення верхньої та нижньої межі оцінки, цільових та граничних значень та мети щодо зменшення впливу суспендованих твердих частинок розміром менше 2,5 мкм». Отже, в найближчий час кожне підприємство повинне буде контролювати кількість викидів дрібнодисперсного пилу.

За діючими в Україні нормативними документами вміст забруднюючих речовин в атмосферному повітрі за межами санітарно-захисної зони

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
										12
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833					

підприємства не повинен перевищувати гігієнічних нормативів, а саме гранично-допустимої концентрації (ГДК), або орієнтовно безпечного рівня впливу (ОБРВ) забруднюючої речовини в атмосферному повітрі населених місць. Кондитерські фабрики належать до V класу, санітарно-захисна зона яких становить 50 м.

Органічний пил кондитерських підприємств для населених місць нормується за ОБРВ (какао та борошно 60 мкг/м³, цукор та крохмаль 100 мкг/м³), а відповідно з нормативами ЄС середньорічна концентрація частинок розміром менше 10 мкм складає 40 мкг/м³, а 2,5 мкм - 25 мкг/м³. Це свідчить про те, що допустимі концентрації за ОБРВ не відповідають стандартам ЄС і повинні бути переглянуті. Ситуація ускладнюється тим, що кондитерські підприємства розташовані в безпосередній близькості від житлової забудови, що створює додаткову небезпеку для населення. Це ставить задачу правильного вибору високоефективного газоочисного обладнання, здатного вловлювати дрібнодисперсний пил.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
										13
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833					

Розділ 2 Методи та апарати для очищення газів від пилу

Для очищення відхідних газів від пилових частинок використовують сухі й мокрі методи [15]. В основі сухих методів лежать гравітаційні, інерційні, відцентрові механізми осадження або фільтраційні механізми. При використанні мокрих методів, очищення газових викидів здійснюється шляхом тісної взаємодії між рідиною й запиленим газом на поверхні газових бульбашок, крапель або рідкої плівки. Електричне очищення газів засноване на іонізації молекул газу електричним розрядом і електризації зважених у газі частинок.

В основу дії апаратів для очищення аерозольних викидів покладений певний фізичний механізм. В уловлювальних пристроях знаходять застосування наступні способи відділення зважених частинок від середовища, що зважує, тобто повітря (газу): осадження в гравітаційному полі, осадження під дією сил інерції, осадження у відцентровому полі, фільтрування, осадження в електричному полі, мокре очищення й ін. У пристрої для очищення аерозольних викидів, поряд з основним механізмом уловлювання, звичайно використовуються й інші закономірності. Завдяки цьому загальна й фракційна ефективність апарата досягає більш високого рівня.

2.1 Механізми пилоосадження

Осадження пилових частинок відбувається під дією різних механізмів пилоосадження [15].

Гравітаційне осадження.

Гравітаційне осадження (седиментація) відбувається в результаті вертикального осідання частинок під дією сили ваги при проходженні їх через газоочисний апарат. Параметр гравітаційного осадження G виражається відношенням сили тяжіння до опору середовища. Він також представляє собою відношення швидкості осідання частинки до швидкості потоку (при $v_1 = v_2$):

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833	Арк 14
----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

$$G = \frac{F_T}{F_C} = \frac{d_{\text{ч}}^2 \rho_{\text{ч}} g}{18 \mu_{\text{г}} v_{\text{г}}} = \frac{v_{\text{ч}}}{v_{\text{г}}}, \quad (2.1)$$

де F_T – сила ваги;

F_C – сила опору середовища (Н);

$d_{\text{ч}}$ – діаметр (м);

$\rho_{\text{ч}}$ – щільність (кг/м³) частинок;

g – прискорення вільного падіння (м/с²);

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

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

З рівняння (3.1) визначається і коефіцієнт осадження частинок під дією гравітаційних сил:

$$\eta_G = G. \quad (2.2)$$

Гравітаційний принцип осадження використовується в пилоосаджувальних камерах [16].

Інерційне осадження.

Інерційне осадження пилу засноване на видаленні з газового потоку твердих частинок, що рухаються з великою швидкістю, при зміні напрямку руху потоку.

Інтенсивність інерційного осадження можна виразити через критерій Стокса, що враховує співвідношення сил інерції й опору середовища:

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

де ρ – щільність середовища, кг/м³;

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, так зване критичне число Стокса, $Stk_{\text{кр}}$, при якому інерція частинки виявляється достатньою, щоб перебороти захоплення її газовим

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					Арк
									15
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833				

поток, і вона досягає поверхні тіла. Таким чином, захоплення частинки можливе при $Stk > Stk_{кр}$.

При ламінарному русі ефективність потоку не залежить від критерію Рейнольдса. При значеннях Re_z більше критичного (потенційне обтікання) лінії струму сильніше вигинаються й обтікають тіло на більш близькому від нього відстані, внаслідок чого при тому ж значенні Stk , ефективність осадження буде вища[16].

Осадження під дією відцентрової сили відбувається при криволінійному русі забрудненого повітряно-газового потоку. Під дією виникаючих відцентрових сил аерозольні частинки відкидаються на периферію апарата й осаджуються.

При відцентровому осадженні частка масою m , що рухається по круговій траєкторії радіусом r з тангенціальною швидкістю u_T , піддана дії відцентрових сил $F_{ц}$:

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

Співвідношення відцентрової й гравітаційної сил характеризується фактором поділу (критерієм Фруда):

$$\Phi_p = \frac{F_{ц}}{F_m} = \frac{\left(\frac{mu^2}{r}\right)}{mg} = \frac{u^2}{rg} \quad (2.6)$$

де u – лінійна швидкість осадження, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Дифузійне осадження.

Дифузійне осадження відбувається в результаті безперервного впливу на дрібні зважені частинки молекул газу, що перебувають у броунівському русі.

Ефективність дифузійного осадження на кулі [23]:

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

Параметр дифузійного осадження $D_{ос}$ – величина, зворотна критерію Пекле:

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата					Арк
									16
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833				

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

де D_4 – коефіцієнт броунівської дифузії частинок (m^2/c).

При справедливості закону Стокса, коли розмір частинок більше середнього довжиною пробігу молекул, маємо:

$$D_{ч} = \frac{C_{пч} k T_{г}}{3\pi \mu_{г} d_{ч} v_{г}}, \quad (2.9)$$

де k – постійна Больцмана;

$T_{г}$ – температура газів (К).

Дифузійне осадження подібно ефекту зачеплення використовується в основному у фільтрах. Ці механізми осадження переважають при забезпеченні особливо високого ступеня очистки газів шляхом фільтрації.

Ефект зачеплення.

Частинки аерозолів, зважені в повітряному (газовому) середовищі, затримуються у вузьких звивистих каналах і порах при проходженні повітряно-газового потоку через фільтрувальні матеріали [17].

Ефект зачеплення (рис. 2.1) проявляється якщо лінія струму повітря проходить близько до перешкоди. Тоді будь-яка частка розміром 1 мкм і більше зачіпається за перешкоду завдяки природним силам. Імовірність цього дуже висока, оскільки повітряний потік проходить через величезну кількість перешкод.

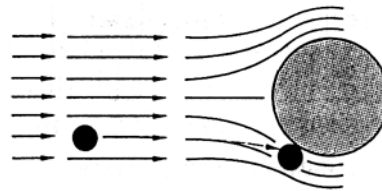


Рисунок 2.1 – Ілюстрація ефекту зачеплення

Ефект зачеплення дозволяє врахувати вплив розміру частинки на ефективність її осадження:

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

$$\eta_R = \frac{d_{\text{ч}}^2 \rho_{\text{ч}}}{D_{\text{тл}}^2 \rho_{\text{г}}} \quad (2.10)$$

Перевага того або іншого механізму залежить від різних факторів: конструкції пиловловлювача, розміру крапель розпиленої рідини, щільності зрошення, розмірів, щільності, змочуваності частинок, швидкості руху газового потоку, властивостей газу і т.д. Багато із зазначених факторів, у свою чергу, залежать від поверхні контакту фаз, що може утворюватися на плівці рідини, бульбашках і краплях.

У пиловловлюючих апаратах звичайно діють відразу кілька механізмів осадження одночасно. Загальну ефективність вловлювання η визначають виходячи з даного виразу [17].

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

де η'_G – ефективність гравітаційного вловлювання;
 η'_{Sk} – ефективність інерційного вловлювання;
 η'_R – ефективність відцентрового пиловловлення;
 η'_D – ефективність дифузійного пиловловлення.

Змочування поверхні елементів апаратів водою або іншою рідиною сприяє затримці аерозольних частинок на даній поверхні [16].

2.2 Конструкції пиловловлюючого обладнання

Пиловловлююче устаткування при всьому його різноманітті може бути класифіковане за такими ознаками:

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

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					Арк
									18
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833				

В залежності від коефіцієнта очищення апарати діляться на дві групи: грубого очищення й тонкого знепилення. Однак поняття грубого очищення й тонкого знепилення є відносними, і залежать від виду виробництва й завдань знепилення

Все устаткування для санітарного очищення газів і повітря від зважених дисперсних частинок підрозділяється на дві категорії: апарати сухого очищення й апарати мокрого очищення.

У свою чергу апарати, що використовують сухі методи очищення, по сутності фізичних явищ, що відбуваються в них, підрозділяються на:

- гравітаційні,
- інерційні,
- фільтраційні,
- відцентрові.

Апарати мокрого очищення підрозділяються на інерційні, фільтраційні.

У цілому система очищення повітря й газів може містити устаткування декількох типів, з'єднане в послідовний ланцюжок, у міру підвищення ефективності пиловловлення. Пиловловлююче устаткування, у якому відділення пилу від повітряного потоку здійснюється послідовно в кілька стадій, що відрізняються за принципом дії, конструктивними особливостями і способу очищення, відносять до комбінованого пиловловлюючого устаткування.

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

На сучасному етапі розвитку техніка пиловловлення має у своєму розпорядженні велику розмаїтість видів апаратів, що відрізняються один від одного, як по конструкції, так і по способу осадження зважених частинок. Причому сучасний набір апаратів дозволяє домогтися практично повного вловлювання пилу будь-якої дисперсності. Однак варто мати на увазі, що зі збільшенням ефективності зростають і економічні показники процесу очищення.

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

										Арк
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833					19

Тому вибір методу, схеми очищення й пиловловлювача в кожному конкретному випадку відбувається індивідуально.

Мокре очищення газів застосовують у тих випадках, коли припустиме охолодження й зволоження газів, що очищаються, і добре відпрацьовані заходи щодо запобігання бризговиносу й утилізації відпрацьованих стоків. Незважаючи на зазначені обмеження, мокре пиловловлення в ряді випадків може виявитися більше доцільним і виправданим, ніж сухе. Наприклад, при використанні цього способу очищення в дробильних відділеннях, витрати на експлуатацію скорочуються майже в 2 рази, а капітальні витрати на устаткування в 12-15 разів у порівнянні із сухою пилоочисткою. Апарати мокрого пиловловлення, найчастіше простіше по конструкції й мають ефективність, властиву найбільш складним сухим пиловловлювачам.

При використанні мокрих пиловловлювачів не відбувається вторинного пиловиділення, крім того, у комбінованих схемах у цих же апаратах здійснюється й процес абсорбції, тобто апарат стає багатофункціональним. Такі схеми більш компактні й прості в експлуатації, що дуже важливо при очищенні багатокомпонентних викидів. При мокрому пиловловленні діють ті ж механізми осадження, що й в інших процесах видалення пилу з газових потоків [17]. Недоліком мокрого пиловловлення є утворення шламів. Стосовно харчової промисловості, мокре пиловловлення недоцільно використовувати, так як бажано уловлення сухих частинок сировини.

Для видалення частинок діаметром менше 10 мкм використовується осадження під дією сил інерції (в тому числі відцентрових сил), електростатичне осадження, фільтрування.

2.2.1 Ротаційні пиловловлювачі відносяться до групи інерційних пиловловлювачів, у яких сепарація пилу відбувається внаслідок обертання ротора [16].

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833	Арк 20
----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

Залежно від місця підведення запиленого газового потоку роторні пиловловлювачі можна розбити на кілька груп. До першої (найбільш численної) ставляться пиловловлювачі, у яких запилений потік надходить у центральну частину колеса, що обертається в спіралеподібному кожусі (рис. 2.2). Частинки пилу під дією відцентрових сил і сил Каріоліса відкидаються на периферію диска, звідки надходять у пилозбірник. Очищені гази приділяються через патрубок чистого газу. Робоче колесо звичайно має велика кількість лопаток (лопат), кут нахилу яких до диска ротора впливає на ефективність сепарації частинок з газів. У конструкції, показаної на рис. 2.2, відвід уловлених частинок пилу з периферійної зони в бункер здійснюється за рахунок рециркуляції частини газового потоку.

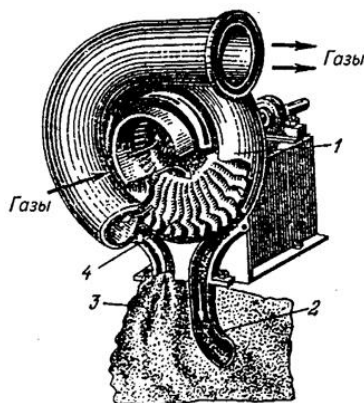


Рисунок. 2.2 – Динамічний пиловловлювач: 1 – корпус вентилятора; 2 – патрубок для відводу пилу; 3 – патрубок для відводу частини пилогазового потоку па рециркуляцію; 4 – колесо вентилятора

До другої групи роторних пиловловлювачів відносяться апарати типу ЦРП, у яких уловлюють частинки, що, переміщуються.

З динамічних апаратів найбільше поширення одержав димосос-пиловловлювач. Апарат призначений для вловлювання частинок пилу із середнім розміром > 15 мкм. Димосос-пиловловлювач ДП-10 із циклоном циркуляції типу ЦН-15У і вивантажувальним пристроєм призначений для переміщення газів і очищення їх від частинок пилу середнім розміром > 15 мкм. Апарат може бути

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк
					21

використаний як перша ступінь очищення перед мокрими електрофільтрами й тканинними фільтрами.

Основним недоліком димососів-пиловловлювачів є відносно швидке зношування «равлика» і елементів контуру рециркуляції газу при роботі з абразивним пилом.

2.2.2. Циклони. У циклонах відцентрова сила виникає за рахунок обертального руху газового потоку.

У цей час завдяки простоті конструкції, малим габаритам і надійності в роботі це один з найбільш широко розповсюджених пристроїв пилоочисної техніки.

Принцип дії циклона заснований на відділенні частинок пилу з газового потоку під впливом відцентрових сил, що виникають внаслідок обертання потоку в корпусі апарата. Найбільше поширення в техніці одержали циклони зі зміною основного напрямку потоку газу, які називаються зворотньопотічними.

Внаслідок інтенсивного обертання газу в корпусі циклона статичний тиск знижується від його периферії до центра [16].

Циклонні апарати завдяки своїй дешевизні, простоті пристрою й обслуговування, порівняно невеликим опором й високій продуктивності, є найпоширенішим типом сухого механічного пиловловлювання (рис. 2.3).

Циклонні пиловловлювачі мають наступні переваги:

- 1) відсутність частин, що рухаються, в апараті;
- 2) надійне функціонування при температурах газів до 500°C без яких-небудь конструктивних змін (якщо передбачається застосування більше високих температур, то апарати можна виготовляти зі спеціальних матеріалів);
- 3) можливість уловлювання абразивних матеріалів при захисті внутрішніх поверхонь циклонів спеціальними покриттями;
- 4) пил уловлюється в сухому виді;
- 5) гідравлічний опір апаратів майже постійний;

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833	Арк 22
----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

- б) апарати успішно працюють при високих тисках газів;
- 7) пиловловлювачі досить прості у виготовленні;
- 8) ріст запиленості газів не приводить до зниження фракційної ефективності очищення.

Правильно спроектовані циклони можуть експлуатуватися надійно протягом багатьох років. Разом з тим необхідно мати на увазі, що гідравлічний опір високоефективних циклонів досягає 1250-1500 Па й частинки розміром менш 5-15 мкм уловлюються циклонами погано.

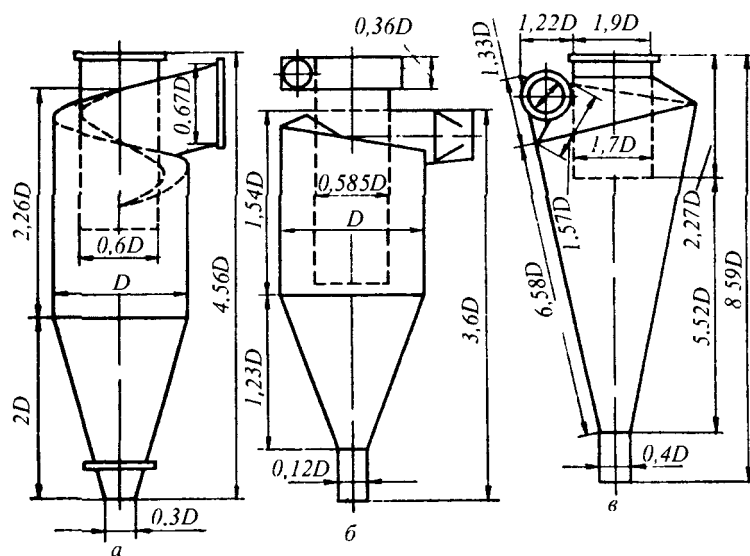


Рисунок 2.3 – Основні типу циклонів: а — конструкції НДІОгазу; б — конструкції ЛІОТ; в — конструкції СІОТ

Особливий вид циклонів – батарейні, що представляють собою набір змонтованих у загальному корпусі циклонних елементів невеликого діаметра (приблизно до 250 мм) при цьому в корпусі розміщується загальний для всіх елементів розподільний колектор запиленого газу, а також і загальний колектор для збору очищеного газу.

Ефективність очищення в циклоні визначається крупністю частинок, що вловлюються, тобто дисперсним складом пилу, і їхньою щільністю, а також

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

в'язкістю газу, що очищується; крім того, вона залежить від діаметра циклона й швидкості газу в ньому.

Рух газів у циклоні носить досить складний характер і, незважаючи на велику кількість теоретичних робіт, вивчено ще недостатньо.

Видалення пилу з газів у циклоні протікає у дві стадії. На першій стадії частинки переносяться в зону осадження. Цей процес здійснюється за рахунок відцентрової сили. Друга стадія - відділення частинок - починається, коли концентрація частинок у газовому потоці перевищує граничне навантаження, тобто та кількість пилу, яку здатен переносити газовий потік у даних умовах з урахуванням пристінного ефекту.

У циліндричній камері циклона статичний тиск, як і в кожному викривленій течії, сильно падає в напрямку від периферії до центра. В основному потоці спрямовані у внутрішню сторону стискальні зусилля приходять у рівноважний стан з відцентровими силами газів. Більш повільно текучий у стінки циклона граничний шар відповідно відчуває менші відцентрові сили.

Вторинний потік, викривлений уздовж конічної стінки, захоплює відкинутий до стінки пил і направляє його вниз до пилоосаджувальної камери (бункеру). Без цього потоку окремі частинки, що перебувають біля стінки, не змогли б потрапити вниз, оскільки спрямована вгору складова відцентрової сили є більшою в порівнянні із силою тяжіння.

Найбільш поширеними стали циліндричні циклони конструкції НДІОгазу, показані на рис. 2.3, а. Їхньою відмінною особливістю є похилий вхідний патрубок, порівняно короткі циліндрична частина й вихлопна труба, а також малий кут розкриття конічної частини. Нахил вхідного патрубку й гвинтоподібна верхня кришка сприяють спрямуванню обертового газового потоку вниз, що знижує гідравлічний опір циклона. На вихлопній трубі циклона іноді встановлюють равлика, що розкручує обертовий газовий потік [18].

Батарейні циклони, які називаються також мультициклонами, складаються з декількох десятків і навіть сотень паралельно включених циклончиків.

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833	Арк 24
----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

2.2.3 Вихрові пиловловлювачі. Принцип дії вихрових апаратів аналогічний принципу дії циклонів. І в тому, і в іншому випадку виділення пилу із очищаючого пилогазового потоку відбувається під дією відцентрових сил, що виникають при обертанні потоку в корпусі. Відмінні риси вихрового апарата полягають у тому, що, по-перше, закручування основного потоку здійснюється за допомогою лопаткового завихрювача, а, по-друге, уже закручений газ піддається додатковому закручуванню за допомогою вторинного газового потоку.

Існують два основні різновиди вихрових апаратів: соплового й лопаткового типу (рис. 2.4).

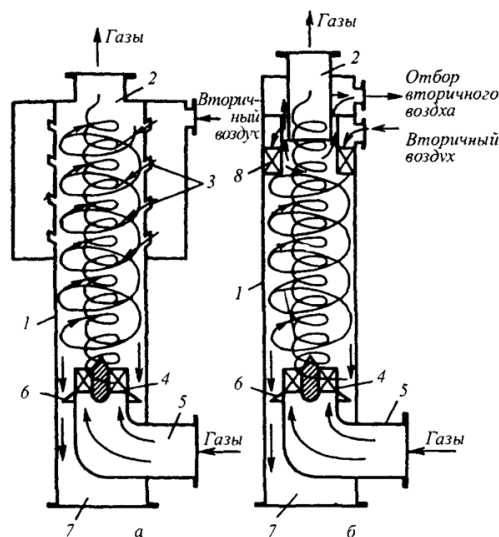


Рисунок 2.4 – Вихрові пиловловлювачі: а – соплового типу; б – лопаткового типу: 1 – камера; 2 – вихідний патрубок; 3 – сопла; 4 – лопатковий завихрювач типу "розетка"; 5 – вхідний патрубок; 6 – підпірна шайба; 7 – пиловий бункер; 8 – кільцевий лопатковий завихрювач.

В апаратах соплового типу (рис. 2.4, а) пилогазовий потік, закручений лопатковим завихрювачем, рухаючись догори, піддається впливу тангенціально спрямованих струменів вторинного потоку, що додатково закручує його в ту ж сторону. Вторинний газ, у ході спірального обтікання основного потоку входить в нього й разом з ним видаляється з апарата. Сопла струменів вторинного потоку

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833	Арк 25
----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

встановлюють не менш чим у чотири ряди під кутом 30-40° до горизонту при відношенні діаметра завихрювача до діаметра апарата 0,8-0,9. Вихровий апарат лопаткового типу (рис. 2.4, б) відрізняється тим, що вторинний газ із розташованої зверху камери подається в апарат кільцевим напрямним апаратом з похилими лопатками.

За кордоном вихрові пиловловлювачі випускаються продуктивністю від 300 до 30000 м³/ч. Як і в циклонів, ефективність вихрових апаратів зі збільшенням діаметра знижується. Тому з метою зменшення діаметра вихрові апарати іноді компонують у групи. Відомі й батарейні компонування, що складаються з окремих елементів діаметром 40 мм.

Для орієнтовної оцінки ефективності можна користуватися даними, наведеними в табл. 2.1 [18].

Таблиця 2.1 – 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

Перевагами вихрових пиловловлювачів у порівнянні із циклонами є більш висока ефективність уловлювання дрібнодисперсного пилю, менш абразивне зношування внутрішніх поверхонь апарата, можливість очищення газів більш високої температури внаслідок розведення їх холодним вторинним повітрям, а також можливість регулювання процесу сепарації шляхом зміни кількості й тиску вторинного газу. До недоліків вихрових пиловловлювачів можна віднести: наявність додаткового дуттьового пристрою, збільшення загального обсягу газів при використанні як вторинний газ атмосферного повітря, більшу складність апарата у виготовленні й експлуатації. Внаслідок складності процесів, що

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					Арк
									26
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833				

протікають у вихрових пиловловлювачах, метод інженерного розрахунку їх поки не розроблений [27].

Ступінь очищення газу від пилу у вихрових пиловловлювачах пилу більше 10 мкм становить 98-99% [18].

2.2.4. Фільтри. У фільтраційних сепараторах очищення повітря (газу) від аерозольних забруднень (пилу, краплинної вологи) відбувається при проходженні забрудненого потоку через шар пористого матеріалу. Як фільтруючий шар використовують тканини, кокс, гравій і ін.

Процес фільтрації заснований на багатьох фізичних явищах (ефект зачеплення, у тому числі ситовий ефект, - аерозольні частинки затримуються в порах і каналах, що мають перетин менше, ніж розміри частинок; дія сил інерції - при зміні напрямку руху запиленого потоку частинки відхиляються від цього напрямку й осаджуються; броунівський рух - значною мірою визначає переміщення високодисперсних субмікронних частинок; дія гравітаційних сил, електростатичних сил - аерозольні частинки й матеріал фільтра можуть мати електричні заряди або бути нейтральними).

У процесі фільтрації практично завжди відбувається відсіювання й інерційний захват частинок. Ситовий ефект визначає ступінь осадження частинок, які по розмірах не проходять крізь пори. Він набуває одне з визначальних значень після осадження на структурних елементах фільтра первинного шару частинок, що вловлюються, та зменшує розміри пор і виконує надалі функції фільтруючого середовища.

Більшість фільтрів має високу ефективність очищення. Фільтри застосовують як при високій, так і при низькій температурі очищуваного середовища, при різній концентрації в повітрі зважених частинок. Відповідним підбором фільтрувальних матеріалів і режиму очистки можна досягти необхідної ефективності очищення у фільтрі. Маючи багато позитивних якостей фільтруючі пристрої в той же час не позбавлені недоліків: вартість очищення у фільтрах

Інв. №поділ.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата					Арк
									27
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833				

вища, ніж у більшості інших пилоочисних апаратах, зокрема, у циклонах. Це пояснюється більшою конструктивною складністю фільтрів та витратою електроенергії у порівнянні з іншими апаратами,. Багато конструкцій фільтраційних пиловловлювачів більш складні в експлуатації й вимагають кваліфікованого обслуговування.

По типу структурних елементів пористого шару розрізняють волокнисті, тканинні й зернисті фільтри.

Для осадження пилових частинок кондитерських виробництв застосовуються тканинні фільтри.

Тканинні фільтри

У цей час випускається й експлуатується безліч різноманітних конструкцій тканинних фільтрів. За формою фільтрувальних елементів і тканин вони можуть бути рукавні й плоскі (полотняні), по виду опорних пристроїв - каркасні, рамні й т.д., по наявності корпусу і його формі - циліндричні, прямокутні, відкриті (безкамерні), по числу секцій одно- і багатосекційні.

У тканинних фільтрах застосовуються тканні або валяні матеріали, що виконують роль підкладки для фільтруючого газу, які є первинним шаром уловленого пилу. Тканини для фільтрів виготовляються із натуральних або синтетичних волокон діаметром 10...30 мкм, що скручують у нитки діаметром близько 0,5 мм. Розміри пор між нитками звичайно становлять 100...200 мкм.

Фільтрувальні тканини повинні володіти рядом позитивних властивостей: забезпечувати ефективне очищення, допускати достатнє повітряне навантаження, володіти необхідної пилоємністю, здатністю до регенерації, високою довговічністю, стійкістю до стирання й інших механічних впливів, низкою гігроскопічністю, невисокою вартістю.

У фільтрувальних тканинах застосовуються наступні види волокон: природні волокна тваринного й рослинного походження (вовняні, лляні, бавовняні, шовкові); штучні органічні (лавсан, нітрон, капрон, хлорин і ін.); природні мінеральні (азбест); штучні неорганічні (склотканина, металотканина).

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата
-------------	--------------	-------------	------------	--------------

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833	Арк 28
----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

Рукавні фільтри

Рукавні тканинні фільтри застосовуються для очищення більших обсягів повітря (газів) зі значною концентрацією пилу. Фільтруючими елементами в цих апаратах є рукави зі спеціальної фільтрувальної тканини.

Рукавні фільтри забезпечують тонке очищення повітря від пилових частинок, що мають розмір менше 1 мкм. Поряд із циклонами рукавні фільтри є одним з основних видів пиловловлюючого устаткування.

Конструктивно гнучка фільтруюча перегородка виконується у вигляді рукава, тому й фільтри із гнучкими фільтруючими перегородками одержали назву «рукавні».

У нормально працюючих рукавних фільтрах концентрація пилу на виході з апарата звичайно не перевищує 20 мг/м^3 . При використанні високоефективних фільтрувальних матеріалів і вловлюванні волокнистих пилів концентрація на виході може знижуватися до 1 мг/м^3 і менш. Загальний вид рукавного фільтра показаний на рис. 2.5.

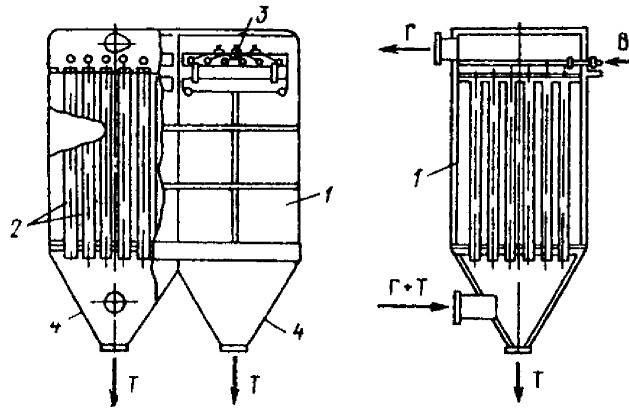


Рисунок 2.5 – Рукавний фільтр: 1 - корпус; 2 - фільтруючі рукави; 3 - колектор стисненого повітря; 4 - збірник пилу.

Регенерація фільтрувальної тканини рукавів здійснюється шляхом механічного або аеродинамічного впливу на фільтрувальну тканину з метою руйнування й видалення шару осілого пилу. У ряді рукавних фільтрів регенерація фільтрувальної тканини здійснюється шляхом зворотної струминної й імпульсної продувки рукавів.

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
----	-----	----------	-------	------

Розділ 3 Характеристика пилових викидів кондитерських виробництв

Для очистки викидних газів з пиловим забрудненням на кондитерських підприємствах використовуються циклони, які мають ефективність уловлювання 85 – 95 % (частинок більше 10 мкм), а також рукавні фільтри з ефективністю 95 – 96 % (частинок більше 1 мкм) [19, 20]. Така ефективність пилоочисного обладнання не забезпечує достатній рівень екологічної безпеки підприємства стосовно твердих частинок $PM_{2,5}$ та PM_{10} . За аналізом науково-технічних джерел щодо дисперсного складу твердих частинок (пил какао, цукру, крохмалю, борошна), що викидаються харчовими підприємствами, відсотковий вміст частинок з розміром до 10 мкм складає понад 50 %. Отже існує припущення, що суттєва кількість твердих частинок органічного походження $PM_{2,5}$ та PM_{10} , що викидається кондитерськими підприємствами, не затримується існуючим очисним обладнанням і потрапляє в атмосферне повітря.

Для правильного підбору пилоочисного обладнання та підвищення його ефективності важливе значення мають характеристики пилу.

3.1. Властивості промислового пилу

Для розробки технології очищення пилових викидів необхідно знати основні властивості пилу, до яких відносяться: хімічний склад, щільність, абразивність, кут природного укосу змочуваність, питомий електричний опір, форма й структура частинок, дисперсність, токсичність, займистість і вибуховість, адгезійні властивості [21].

Від густини частинок пилу залежить ефективність його осадження в гравітаційних та відцентрових пиловловлювачах. Чим більша здатність злипання пилу, тим більша ймовірність забивання окремих елементів пиловловлювача й налипання пилу на газоходах. Чим дрібніший пил, тим

Інв. №поділ.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата
--------------	--------------	---------------	-------------	--------------

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833	Арк 30
----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

більшу він має здатність до злипання. Злипання пилу значно зростає при його зволоженні. Абразивність пилу характеризує інтенсивність зношування металу при однакових швидкостях газів і концентраціях пил.

Хімічний склад пилу визначається характером виробництва й технологічними умовами формування частинок. По хімічному складу пилу говорять про його токсичність, корозійну активність. Знаючи хімічний склад пилу, можливо обґрунтовано вибирати сухий чи мокрий спосіб очистки газів [18].

Щільність частинок пилу. Розрізняють дійсну, насипну і уявну щільність. Насипна щільність (на відміну від дійсної) враховує повітряний прошарок між частинками пилу. При злежуванні насипна щільність зростає в 1,2-1,5 рази, Уявна щільність - це відношення маси частинок до зайнятого пилом об'єму, включаючи пори, пустоти і нерівності. Гладкі монолітні частинки мають щільність, що практично збігається з дійсною. Пилінки, схильні до коагулювання і злипання, знижують уявну щільність стосовно до дійсної.

При вирішенні завдань зі знепилювання повітря користуються величиною щільності пилу, або величиною дійсної щільності.

Під дійсною щільністю розуміють масу одиниці об'єму абсолютних сухих частинок пилу, які не мають внутрішніх щілин. При зміні дисперсного складу пилу щільність частинок його непостійна. Із зменшенням розміру частинок його щільність збільшується, що пояснюється зменшенням кількості закритих щілин [19].

Абразивність частинок. Вона залежить від твердості, форми, розміру й щільності частинок. Абразивність враховують при розрахунках апаратури (вибір швидкості газу, товщини стінок апаратури й облицювальні матеріали), оскільки впливає на знос апаратури, в основному це стосується сухих інерційних апаратів (в тому числі і циклонів).

Кут природного укосу пилу. Являє собою кут між утворюючою й підставою вільно сформованого конуса сипучого матеріалу. Величина кута

Інв. №поділ.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата
--------------	--------------	---------------	-------------	--------------

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк
					31

ЕК 17320833

природного укусу враховується при конструюванні й виборі бункерів апаратів очищення.

Змочуваність частинок пилу. Характеризується здатністю пилу змочуватися рідинами [21]. Змочуваність пилу водою визначається за величиною крайового кута змочування θ , косинус якого є мірою змочування. Чим менше розмір частинки, тим менша їхня здатність до змочування. Гладенькі частинки змочуються краще, ніж частинки з нерівною поверхнею, тому що останні більшою мірою виявляються покритими абсорбованою газовою оболонкою, що перешкоджає змочування.

Злипання пилу. Схильність частинок пилу до злипання визначається його адгезійними властивостями. Чим менший розмір частинок пилу, тим легше вони прилипають до поверхні апарата. Пил, у якого 60-70 % частинок мають діаметр менше 10 мкм, поводить як злипаючий, хоча той же пил з розміром частинок більше 10 мкм має гарну сипкість.

Зі злипанням тісно зв'язана інша характеристика пилу - його сипкість. Сипкість пилу оцінюється по куту природного укусу, що приймає пил у свіжонасипаному стані.

Форма й структура частинок пилу. Пил в аерозолях може складатися із частинок різної форми: від частинок, що мають канонічну форму (куля, куб, циліндр, тетраедр і т.д.), до частинок неправильної форми.

Неправильної форми частинки характеризуються коефіцієнтами сферичності й несферичності, що носять в собі об'єднане поняття «фактор форми частки».

Дисперсний склад пилу. Дисперсний склад є однією з найважливіших характеристик тонкоподрібнених матеріалів, що визначають їхні фізико-хімічні властивості. У техніці пиловловлення й очищення газів дисперсний склад пилу має вирішальне значення, тому що основне коло питань із розрахунку й вибору устаткування пов'язаний із цим параметром підлягаючому вловлюванню пилу.

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк
					32

ЕК 17320833

Дисперсним складом пилу називається характеристика складу дисперсної фази по розмірах або швидкостях осідання частинок. Вона показує, яку частку по масі, обсягу, поверхні або числу частинок становлять частки в будь-якому діапазоні їхніх розмірів або швидкостей осідання. Дисперсний склад може бути виражений у формі таблиці, кривої або формули розподілу частинок пилу.

Залежно від розміру частинок і їх маси пилинки можуть втримуватися в повітрі у завислому стані або осаджуватися на стінах, підлозі, стелях, повітропроводах, обладнанні, нагріваючих системах тощо. Тривалість знаходження частинок у завислому стані в повітрі залежить головним чином від їх розмірів. Пилінки розміром 10 мкм осідають у нерухомому повітрі в 100 разів швидше, ніж пилинки розміром 1 мкм.

За дисперсним складом пил ділиться на наступні класифікаційні групи [21]:

- I - дуже грубодисперсний (до 500 мкм);
- II - грубодисперсний (до 200 мкм);
- III - середньодисперсний (до 90 мкм);
- IV - дрібнодисперсний (до 50 мкм);
- V - дуже дрібнодисперсний (до 18 мкм).

Ступінь дисперсності є одним із найбільш значних факторів, що визначають вибухонебезпечність пилу.

Токсичність пилу. Токсичність пилу залежить від матеріалу, з якого вона утворена (наприклад, свинець, миш'як, ртуть і т.д.). Чим дрібніші частинки пилу, тим більша їхня здатність проникати разом з повітрям в органи дихання людини й викликати різні захворювання. Особливо небезпечні щодо цього тумани.

Займистість і вибуховість пилу. Чим менші розміри й чим більше пориста структура частинок, тим більша їхня питома поверхня й вища фізична й хімічна активності пилу. Висока хімічна активність деяких видів пилу є причиною її взаємодії з киснем повітря. Окислювання частинок пилу супроводжується

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк
					33

підвищенням температури. Тому в місцях скупчення пилу можливі її samozapalювання й вибух.

Адгезійні властивості частинок. Ці властивості визначають схильність частинок до налипання на поверхню устаткування. Підвищена адгезія частинок може привести до часткового або повного забивання апаратів.

При розгляданні адгезії пилу до різних поверхонь слід розрізнити силу зчеплення окремої пилинки з даною поверхнею і силу зчеплення пилинок між собою в достатньо товстому шарі, які прийнято називати силами аутогезії. Адгезія пилу до поверхні характеризується інтегральними кривими, які засвідчують, яка частка від первісної кількості пилинок залишилася на поверхні або, навпаки, була зірвана з неї після дії на пилинки відриваючої сили певної величини. За рахунок адгезійних сил іде й коагуляція (укрупнення) частинок пилу. Частки розміром більше 5- 10 мкм майже не коагулюються в газовому потоці.

3.2. Характеристика пилу кондитерських виробництв

В технологічних процесах кондитерських виробництв в якості сировини використовуються сипучі органічні речовини: какао, крохмаль, цукор, борошно, тому в атмосферне повітря з відхідними газами від технологічного устаткування потрапляє пил органічного походження (пил какао, пил цукру, пил крохмалю, пил борошна). Питомі показники утворення пилу при виробництві різних видів кондитерської продукції наведені в табл. 3.1 [5, 22].

Як свідчать дані таблиці 3.1, нормування вмісту пилу у відхідних газах проводиться незалежно від виду пилу та його дисперсного складу.

Аналіз літературних джерел показав, що пил цукру, борошна та крохмалю містить більше 50 % частинок розміром до 10 мкм, а серед них значний вміст мають частинки 1 мкм. Какао порошок, який використовується в кондитерському виробництві складається з частинок до 55 мкм, а середній

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					Арк
									34
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833				

розмір частинок d_{50} складає 10 мкм [23].

Таблиця 3.1 – Питомі показники утворення недиференційованого за складом органічного пилю в кондитерському виробництві [5, 22]

№	Вид продукції	Підвид продукції	Вид пилю, процентний вміст, F_i , %	Питомий викид q_i , г/т
1	2	3	4	5
1	Цукерки варені, карамель, ірис та ін.	Цукерки варені	цукор (61 %), крохмаль (39 %)	47,503
		Карамелі, тофі (ірис) та солодоці аналогічні	цукор (61 %), крохмаль (39 %)	292,142
2	Вироби кондитерські з цукру та покриті цукром	Вироби кондитерські з цукру у вигляді пресованих таблеток	цукор (61 %), крохмаль (39 %)	1028,972
		Вироби, покриті цукром, включаючи мигдаль зацукрований	цукор (61 %), крохмаль (39 %)	1028,972
3	Шоколад і аналогічні вироби	Шоколад і аналогічні вироби з вмістом какао із вмістом какао-масла не менше 18 %	какао (100 %)	1049,715
		Шоколад у брикетах, пластинах чи плитках з начинкою	какао (97 %), цукор (3 %)	1049,715
		Шоколад у брикетах, пластинах чи плитках з доданням зернових, фруктів чи горіхів	какао (97 %), цукор (3 %)	1049,715
		Шоколад у брикетах, пластинах чи плитках інший	какао (97 %), цукор (3 %)	1049,715
4	Какао-порошок	Какао-порошок без додання цукру чи інших підсолоджувальних речовин	какао (100 %)	4080,919

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

Ви Арк № докум. Підп. Дата

ЕК 17320833

Арк

35

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
5	Цукерки, вироби шоколадні	Цукерки шоколадні з вмістом алкоголю	какао (97 %), цукор (3 %)	1169,000
		Цукерки шоколадні інші	какао (97 %), цукор (3 %)	1169,000
		Вироби шоколадні кондитерські з начинкою	какао (97 %), цукор (3 %)	1049,715
		Вироби шоколадні кондитерські	какао (97 %), цукор (3 %)	1049,715
		Вироби кондитерські з цукру, з вмістом какао	какао (97 %), цукор (3 %)	1169,000
		Продукти пастоподібні з вмістом какао	какао (97 %), цукор (3 %)	1169,000
		Шоколад білий	какао (97 %), цукор (3 %)	1049,715
6	Глазур шоколадна	Глазур шоколадна з	какао (97 %), цукор (3 %)	412,302
7	Конд. вироби з цукру інші	Вироби кондитерські з цукру інші	цукор (86 %), крохмаль (14 %)	1028,972
8	Фруктове желе та пасти	Гумки, фруктове желе та фруктові пасти у вигляді кондитерських виробів з цукру	цукор (86 %), крохмаль (14 %)	7,328
9	Вироби у вигляді паст (помадка, нуга та ін.)	Вироби кондитерські з цукру у вигляді паст	цукор (86 %), крохмаль (14 %)	1028,972
10	Пряники, печиво солодке і аналогічні вироби	Пряники та вироби аналогічні	цукор (82 %), борошно (18 %)	135,460
		Печиво солодке, крім покритого шоколадом)	цукор (82 %), борошно (18 %)	135,460
		Печиво інше	цукор (82 %), борошно (18 %)	135,460
11	Вафлі та вафельні облатки	Печиво солодке, вафлі та вафельні облатки, частково чи повністю покриті шоколадом	цукор (82 %), борошно (18 %)	82,005
		Вафлі та вафельні облатки (уключаючи солоні; крім покритих шоколадом)	цукор (82 %), борошно (18 %)	28,549

Підп. і дата

Інв. № дубл.

Взаєм. інв. №

Підп. і дата

Інв. № подл.

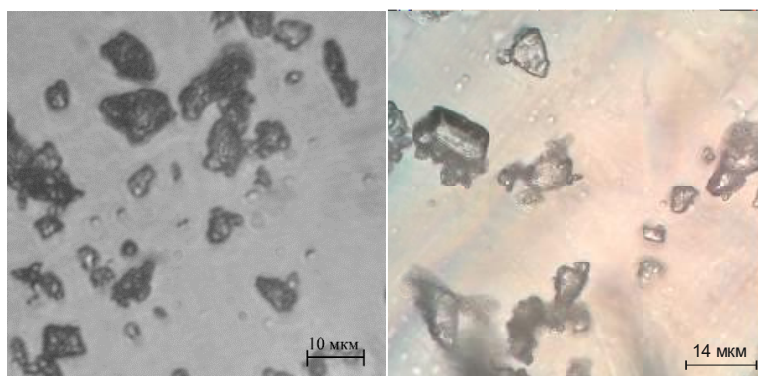
Арк

36

Ви Арк № докум. Підп. Дата

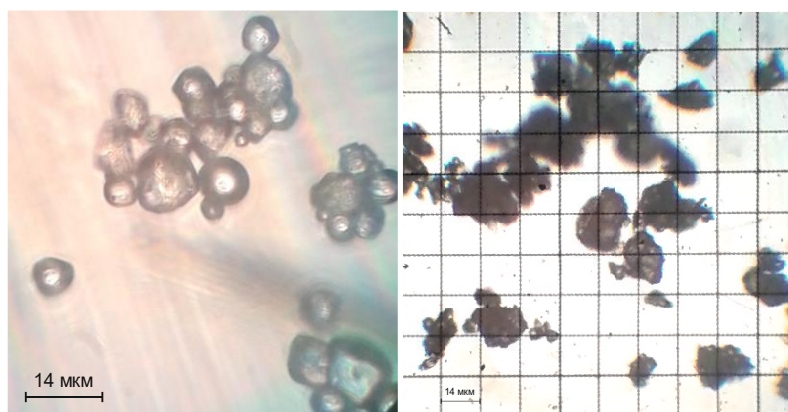
ЕК 17320833

Фотографії пилу какао, цукру, крохмалю та борошна наведено на рис. 3.1. [24].



а)

б)



в)

г)

Рисунок 3.1 – Фотографії пилу: а) пил какао; б) пил цукру; в) пил крохмалю; г) пил борошна

Як свідчать дані таблиці 3.1, нормування вмісту пилу у відхідних газах проводиться незалежно від виду пилу та його дисперсного складу.

За даними [24] пил какао – порошок органічного походження, полідисперсний, однокомпонентний. Частинки світло-коричневого кольору, неправильної форми, з нерівними краями, частинки злипаються, погано

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

відділяються одна від одної. Пил крохмалю – полідисперсний, однокомпонентний. Частинки пилу округлої форми, блискучі на світлі, білі. Пил цукру – полідисперсний, однокомпонентний. Частинки пилу цукру прозорі, неправильної форми, погано відділяються одна від одної.

Дисперсний склад пилу наведено в таблиці 3.2 [25]

Таблиця 3.2 – Дисперсний склад пилу кондитерського підприємства

Вид пилу	Вміст частинок кожної фракції Φ_i , %			Медіанний розмір часток d_{50} , мкм
	менше 2,5 мкм	від 2,5 мкм до 10 мкм	більше 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 свідчать дані таблиці 3.2, пил речовин, що використовуються у кондитерському виробництві (какао, крохмаль, цукор, борошно), відноситься до дрібнодисперсного, тобто має розмір частинок менше 10 мкм. Такий пил є екологічно найнебезпечнішим. Значна кількість дрібнодисперсного пилу не затримується очисним обладнанням і надходить в атмосферне повітря, ефективність очистки відхідних газів від дрібнодисперсного пилу не перевищує 80 %.

3.3. Розробка заходів по зниженню забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсним пилом кондитерських виробництв

Для забезпечення ефективного очищення відхідних газів кондитерських виробництв пропонуємо здійснювати попередню обробку газів з метою укрупнення частинок. Підготовку відпрацьованого газу до очищення від

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк
					38

зважених часток зазвичай проводять в таких напрямках: укрупнення частинок за допомогою різних механізмів коагуляції; зниження концентрації зважених частинок за допомогою попереднього очищення газів в простих неенергоємних апаратах; охолодження запилених газів; зволоження запилених газів у разі застосування електричної або мокрої систем очищення.

Так як нашою задачею є підвищення ефективності пиловловлення з метою захисту довкілля та попередження втрат сировини, то будемо розглядати методи коагуляції частинок, що дозволять ефективно уловлювати пил у існуючих видах пилоочисного обладнання.

Коагуляція – це процес укрупнення дисперсних часток в результаті їх взаємодії і об'єднання в агрегати. Найбільша роль в коагуляції належить молекулярним силам і силам електричного тяжіння.

Коагуляція зважених в газах часток істотно впливає на ефективність дії пиловловлюючих пристроїв. Дрібнодисперсний пил, який погано або зовсім не уловлюється простих апаратах, може бути затриманий ними після коагуляції.

Укрупнення частинок відбувається при злипанні їх внаслідок зіткнення під дією гравітаційних сил, сил інерції, броунівського руху, взаємного тяжіння і т. д. Коагуляція відбуватиметься тим інтенсивніше, чим більше вірогідність зіткнення аерозольних частинок. Дрібні частинки у більшому ступені схильні до коагуляції, чим великі. Коагуляція також прискорюється при підвищенні концентрації пилових часток в газовому середовищі.

При розгляді коагуляції виділяють *природну коагуляцію*, коли цей процес відбувається під дією природних сил, тобто в основному за рахунок броунівського руху і гравітаційних сил, і *штучну коагуляцію*, коли цей процес інтенсифікують, застосовуючи додаткові чинники, наприклад турбулізацію запиленого потоку, його штучну іонізацію і акустичну обробку. Процес коагуляції в результаті прискорюється у багато разів, бо вірогідність зіткнення і взаємодії частинок у багато разів збільшується.

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

										Арк
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833					39

Теплова (броунівська) коагуляція. У основі броунівської коагуляції лежить броунівський рух дуже малих частинок пилу – до 0,1 мкм. Процес теплової (броунівською) коагуляції мало залежить від природи пилових частинок. Коагуляція відбувається тим швидше, чим більше діапазон розмірів частинок, оскільки має місце процес поглинання крупними частинками дрібних. Збільшення швидкості коагуляції за рахунок полідисперсності, в порівнянні з коагуляцією монодисперсного пилу, не перевищує 10 %. Швидкість теплової коагуляції підвищується зі збільшенням абсолютної температури дисперсного середовища. Швидкість коагуляції малих частинок також зростає з підвищенням тиску. Помічено, що дисперсність пилу в технологічних газах, що надходять на очищення, зазвичай вище, ніж в джерелі. Це можна пояснити тим, що броунівська коагуляція відбувається майже миттєво.

Градiєнтна коагуляція. Градiєнтна коагуляція обумовлена наявністю градієнта швидкості в потоці запилених газів. Найбільш характерним прикладом є течія газів біля твердої стінки каналу. У відповідності із законами гідравліки, частинка поблизу стінки рухається з меншою швидкістю, ніж частинка, що знаходиться ближче до подовжньої осі каналу. Контакт часток можливий, якщо відстань між ними менша суми їх розмірів. Дія градієнтної коагуляції обмежується в основному пристінним шаром. Тому вона грає істотну роль при значній довжині каналів і великій поверхні контакту.

Турбулентна коагуляція. Швидкість коагуляції частинок в дисперсному середовищі може бути штучно підвищена шляхом турбулізації аерозоля. Вихровий рух середовища, що виникає внаслідок турбулізації, збільшує вірогідність зіткнення частинок і, отже, підвищує швидкість коагуляції.

Кінематична коагуляція. Процес кінематичної коагуляції відбувається при відносному русі частинок різного розміру під дією зовнішніх сил - сили гравітації, відцентрових сил та ін. Частинки різного розміру рухаються з різними швидкостями. Внаслідок цього відбувається їх зіткнення і укрупнення.

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833	Арк
						40

Прикладом кінематичної коагуляції є осадження часток на краплях, що знаходяться під дією сили тяжіння (цей процес називається також гравітаційною коагуляцією). Кінематична коагуляція відбувається також при зустрічному русі розпорошеної води і аерозоля в мокрих пиловловлювачах.

Електрична коагуляція. Між зарядженими частинками, а також між зарядженими і незарядженими частинками виникають сили взаємодії. Це значною мірою визначає поведінку частинок. Частинки стикаються, злипаються, утворюючи агрегати.

Між частинками діють наступні електричні сили: кулонівська сила тяжіння або відштовхування, яка виникає між двома зарядженими частинками, що знаходяться на певній відстані одна від одної; сила індукції між зарядженою часткою і сусідньою незарядженою; сила взаємодії між зарядженою частинкою і іншими частинками з тим же знаком; сила зовнішнього електричного поля. Принципи електричної коагуляції використовуються також при штучній іонізації газопилових потоків з метою укрупнення пилових частинок.

Акустична коагуляція. Пилогазовий потік проходить через акустичне поле, що створюється джерелом звуку або ультразвуку. При певних параметрах поля і характеристиках пилогазового потоку внаслідок коливання середовища значно зростає число зіткнень між пиловими частками, що призводить до їх злипання, тобто до укрупненню пилу.

На основі проведеного аналізу властивостей пилу кондитерських виробництва для підвищення ефективності пиловловлення пропонуємо використовувати електричну коагуляцію при попередній обробці пилогазових потоків в іонізаторі, який встановлюється перед пиловловлюючими установками.

В літературі представлені поодинокі дослідження впливу іонізації повітря на органічний пил, зокрема пил тютюну [26], та пил борошна [27]. Ці дослідження показали, що іонізація повітря досить ефективно впливає на концентрацію органічного пилу у повітрі: нормативна концентрація пилу

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк
					41

ЕК 17320833

тютюну в камері з іонізатором повітря досягала в 2,5 рази швидше, ніж без іонізації. Ефективність очистки повітря з пилом борошна в циліндричному електрофільтрі досягає 95 %.

Відомий спосіб попередньої іонізаційної обробки негативно зарядженими іонами пилу тютюну [26]. Запилений потік пропускають через камеру, обладнану дротяним іонізатором. Частинки тютюну набувають негативного заряду за рахунок дії на них негативно заряджених іонів, що генеруються загостреним дротяним іонізатором. На іонізатор подається напруга від 22 кВ до 55 кВ. Зазначений спосіб дає змогу знизити залишкову концентрацію пилу тютюну в 3,5 рази..

Спосіб коагуляції дрібних частинок, які містяться у потоці газу [28], включає етапи надання частинкам електричних зарядів протилежної полярності та турбулізації потоку газу для перемішування протилежно заряджених частинок і їх агломерації.

Розроблений також електрокоагулятор із іонізатором з вуглецевого волокна [29]. Газовий потік, який містить з дрібнодисперсні частинки какао, подають у камери штучної іонізації, в кожній з яких іонізатори з вуглецевого волокна генерують значну кількість негативно заряджених іонів, за рахунок чого відбувається процес зарядження дрібнодисперсних частинок, а потім їх коагуляція в камері змішування (рис. 3.2). Інтенсивність емісії негативних іонів $C_{\text{іон}} = 1,9 \times 10^7$ іонів/см³; швидкість потоку $v = 1$ м/с.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
										42
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833					

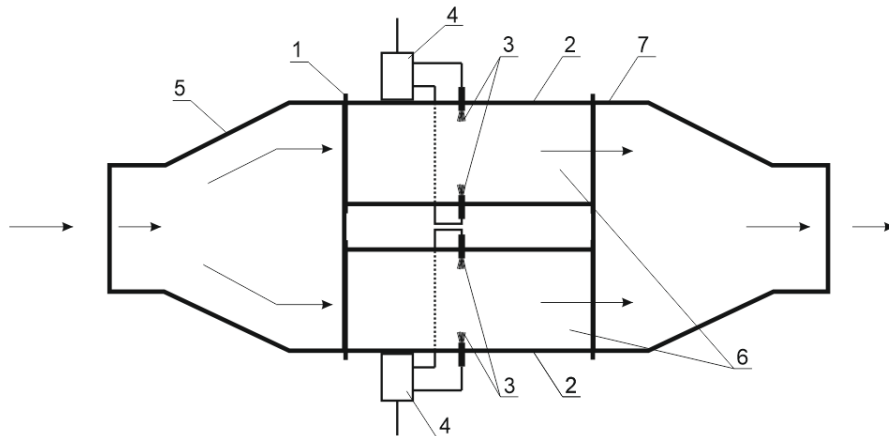


Рисунок 3.2 – Схема іонізатора: 1- фланець, 2 – повітропровід, 3 – іонізатор; 4 – блок живлення; 5 - камера розподілу потоку; 6 – камера штучної іонізації; 7- камера змішування.

Укрупнений пил може ефективно вловлюватися апаратами, які раніше застосовувались у виробництві. Іонізація суттєво зменшує концентрацію електронейтральних частинок какао, в меншій мірі – частинок цукру та борошна.

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
				Арк
				43

Розділ 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.1 Характеристика приміщення

Приміщення знаходиться на першому поверсі трьохповерхового цегляного будинку, який у відповідності з згідно із ДБН В.1.1.7-2002 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва» має категорію В по вибухопожежній і пожежній безпеці. Розміри приміщення: довжина приміщення 5 м, ширина приміщення 3 м, висота приміщення 3 м. В ньому знаходиться одне вікно висотою 2 м, шириною 2 м. Площа приміщення 15 м².

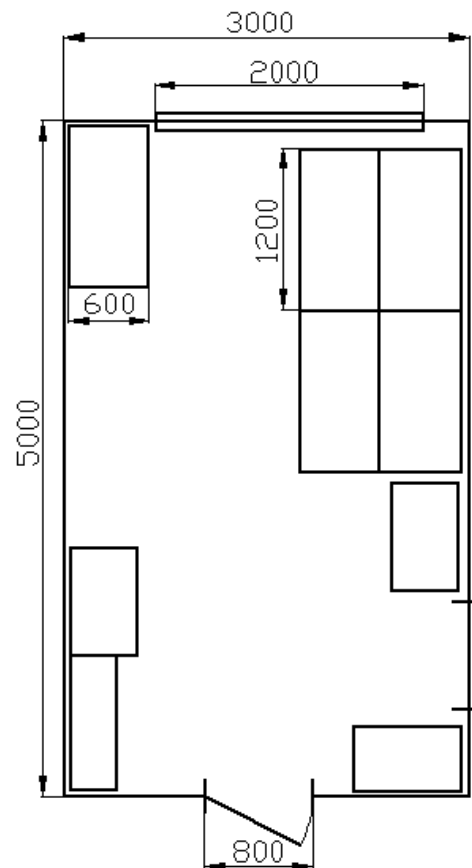


Рисунок 4.1 – Схема приміщення

Площа робочих приміщень повинна складати не менше 4 м² на одного працівника управлінських приміщень, і не менше 6 м² на одного працівника обчислювального центру. В приміщенні можуть одночасно працювати три

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк
					44

ЕК 17320833

працівника, одне місце обладнано комп'ютером. Джерело живлення комп'ютера у приміщенні – 220 В. У кімнаті розміщено п'ять столів розмірами 1,2х0,6м, три сейфи та книжкова шафа. Враховуючи, що площа приміщення складає 15 м² і висота 3м, можемо зробити висновки про відповідність даного приміщення нормам. Стіни приміщення обклеєні шпалерами світлого кольору, стеля побілена білим кольором, підлога дерев'яна.

4.2 Аналіз умов праці

4.2.1 Виробнича санітарія

Робочі місця в кімнаті відділу повинні забезпечувати оптимальні параметри мікроклімату (температура, відносна вологість, швидкість руху повітря), необхідне освітлення приміщення і робочого місця, належні ергономічні характеристики робочого місця, а також враховувати наступні небезпечні і шкідливі фактори: можливість враження електричним струмом, шум, електростатичне поле, електромагнітне і м'яке рентгенівське опромінення, електростатичне поле біля екрана комп'ютера, а також можливість виникнення пожежі.

Робочі місця співробітників і їх розміщення повинні відповідати ергономічним вимогам. В кімнаті встановлені столи висотою 755мм, шириною 600мм і довжиною 1200 мм, стільці з напівм'якими сидіннями, хоч робоче сидіння користувача повинне бути підйомно-поворотним, таким, що регулюється по висоті, куту нахилу сидіння і спинки, ширина і глибина сидіння повинні бути не менше 400мм, поверхня повинна бути пласкою з заокругленим переднім краєм. Поверхня сидіння і спинки повинна бути нековзкою і забезпечувати можливість очищення від бруду.

Дисплей і клавіатура комп'ютера повинні розміщуватись на оптимальній відстані (600мм) від очей користувача. Конструкція робочого місця повинна забезпечувати оптимальну робочу позу : ступні ніг – на підлозі або підставці для

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата					Арк
									45
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833				

ніг, передпліччя – вертикально, лікті – під кутом 70°- 90° до вертикальної площини, зап'ястя зігнуті під кутом 20° відносно горизонтальної площини, нахил голови – 15° - 20°.

4.2.2 Забезпечення нормованих параметрів мікроклімату

Для офісних приміщень, в яких виконується легка робота, відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 для теплого періоду року температура повітря повинна бути не вище +28°C, або $T=301^{\circ}\text{K}$, для холодного періоду року відповідно +17°C, або 290°K .

Приміщення відділу обладнано системою опалення. Вентиляція в приміщенні здійснюється за допомогою природної вентиляції.

Для розрахунку ефективності природної вентиляції приміщення було взято наступні вихідні дані: довжина приміщення 5 м, ширина 3м, висота 3м. В кімнаті працюють троє співробітників. Вікно має розміри 2х2м, розмір кватирки 1,2 х 0,5 м. Об'єм приміщення на одного працюючого складає

$$V = a \cdot b \cdot c \quad (4.1)$$

$$V = 5 \cdot 3 \cdot 3 = 45 \text{ м}^3.$$

Так як в приміщенні працюють троє працівників, то на одного працюючого припадає 15 м^3 об'єму робочого приміщення, що не відповідає нормі. Для нормальної роботи в приміщенні необхідно забезпечити постійний повітрообмін за допомогою вентиляції не менше ніж $L = 30 \text{ м}^3/\text{год}$ на одного працюючого. Таким чином, необхідний повітрообмін L_n розраховується за формулою

$$L_n = L \cdot n, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.2)$$

де n – кількість працюючих .

$$L_n = 30 \cdot 3 = 90 \text{ м}^3/\text{год}$$

Фактичний повітрообмін в приміщенні здійснюється за допомогою природної вентиляції (аерації) як неорганізовано – через різні нещільності в

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк
					46

ЕК 17320833

віконних і дверних прорізах, так і організовано – через квартиру в віконному прорізі.

Фактичний повітрообмін L_{ϕ} , м³/год, розраховується за формулою:

$$L_{\phi} = \mu \cdot F \cdot V \cdot 3600, \quad (4.3)$$

де μ - коефіцієнт витрати повітря, в межах 0,3-0,8 (у розрахунках можна прийняти середнє значення $\mu = 0,55$)

F- площа квартирки, через яку буде виходити повітря, $1,2 \cdot 0,5 = 0,6 \text{ м}^2$;

V- швидкість виходу повітря через квартиру, м/с. Її можна розрахувати за формулою:

$$V = \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta H_2}{\nu_{\text{вн.сп}}}} \quad (4.4)$$

де g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

ΔH_2 - тепловий напір, під дією якого буде здійснюватися вихід повітря з квартирки, кг/ м²

$$\Delta H_2 = h_2 (\nu_{\text{н}} - \nu_{\text{вн}}) \quad (4.5)$$

де h_2 - висота від площини однакових тисків до центра квартирки; $\nu_{\text{н}}$ і $\nu_{\text{вн}}$ – відповідно об'єм та вага повітря ззовні приміщення та зсередини його, кгс/ м³ .

Об'ємна вага повітря визначається за формулою:

$$\nu = 0,465 \cdot \frac{P_6}{T} \quad (4.6)$$

де P_6 – барометричний тиск, мм.рт.ст., приймаємо $P_6 = 750 \text{ мм.рт.ст.}$;

T-температура повітря в К .

Робота, яку виконують працівники, відноситься до розряду легкі роботи, тому для теплого періоду року температура повітря в приміщенні повинна складати не більше 28° С або T = 301 К, для холодного періоду року відповідно 17°С або T = 290 К.

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк
					47

ЕК 17320833

Для повітря ззовні приміщення температуру визначаємо за СНиП 2.04.05-91: для літа - температура 24° С, Т = 297 К; для зими - температура 11°С, Т= 262 К.

Розрахунок проводиться окремо для теплого і холодного періодів року.

Теплий період року

Об'ємна вага зовнішнього повітря складає

$$v_3 = 0,465 \frac{750}{297} = 1,174 \text{ кгс/м}^3$$

Об'ємна вага повітря всередині приміщення складає

$$v_{вн} = 0,465 \frac{750}{301} = 1,158 \text{ кгс/м}^3$$

Визначимо висоту від площини рівних тисків до центра квартирки

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{S_{нижн}^2}{S_{верхн}^2} \quad (4.7),$$

$$H = h_1 + h_2 = 0.8 + 2 - 0.5/2 - 1 = 1.55 \text{ м} \quad (4.8)$$

$$h_2 = 1.55 - h_1 \quad (4.9)$$

$$\frac{1,55 - h_2}{h_2} = \frac{2 \cdot 0.8}{0,5 \cdot 1,2}$$

$$h_2 = 1.13 \text{ м}$$

$$h_1 = 1.55 - 1.13 = 0.42 \text{ м}$$

$$\Delta H_2 = 1,13 (1,174 - 1,158) = 0,018 \text{ кг/ м}^2$$

Швидкість руху повітря через квартирку

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot 0,018}{1,158}} = 0,55 \text{ м/с}$$

Фактичний повітрообмін для теплого періоду року

$$L_\phi = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 0,55 \cdot 3600 = 594 \text{ м}^3/\text{год}$$

Холодний період року

Об'ємна вага зовнішнього повітря складає

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					Арк
									48
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833				

$$v_3 = 0,465 \frac{750}{264} = 1,331 \text{ кгс/м}^3$$

Об'ємна вага повітря всередині приміщення складає

$$v_{вн} = 0,465 \frac{750}{290} = 1,202 \text{ кгс/м}^3$$

Тепловий напір $\Delta H_2 = 1,13 (1,331 - 1,202) = 0,145 \text{ кг/ м}^2$

Швидкість руху повітря через квартиру

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot 0,145}{1,202}} = 1,54 \text{ м/с}^2$$

Фактичний повітрообмін для холодного періоду року

$$L_{\phi} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 1,54 \cdot 3600 = 1663,2 \text{ м}^3/\text{год}$$

В результаті розрахунку видно, що природна вентиляція в приміщенні неефективна, так як фактичний повітрообмін перевищує нормовані значення, проте в літній час це перевищення в шість з лишнім разів, в холодний період року більш ніж в десять разів, що може спричинити сильні протяги і виникнення застудних захворювань працівників. Тому в літній час потрібно не повністю відкривати квартиру, а в зимовий період влаштовувати короткострокові провітрювання.

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата					Арк
									49
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833				

Висновок

У дипломній роботі розглянуто шляхи підвищення ефективності уловлювання дрібнодисперсного пилу кондитерських виробництв.

Проведений аналіз пилу какао, борошна та цукру показав, що пил містить значний об'єм дрібнодисперсних частинок. Аналіз застосовуваних на підприємствах технологій по захисту навколишнього середовища показує, що існуюче природоохоронне устаткування в деяких випадках не забезпечує необхідної ефективності очищення.

У дипломній проведеній аналіз пилоочисного устаткування та механізмів пиловловлення. На підставі цього аналізу було встановлено, що для очищення пилових викидів кондитерських виробництв, які містять дрібнодисперсний пил доцільно застосовувати попередню коагуляцію.

Запропоновано для коагуляції застосовувати іонізатори з інтенсивністю емісії негативних іонів $C_{\text{іон}} - 1,9 \times 10^7$ іонів/см³; швидкістю потоку $v - 1$ м/с.

У розділі охорони праці та безпеки життєдіяльності розглянуті небезпечні й шкідливі фактори і наведений розрахунок природної вентиляції кімнати.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
										50
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833					

Перелік використаних джерел

1. Викиди забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у 2016 році (остаточні дані) : статистичний бюлетень / відп. за вип. О. М. Прокопенко. Київ : Держ. служба статистики України, 2017. 34 с.

2. Particulate Matter (PM) Pollution. *United States Environmental Protection Agency* : website. URL: <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm> (Last accessed: 20.10.2017).

3. Ambient air quality and cleaner air for Europe : Directive of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008. № 2008/50/EC. URL: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0050#ntr1-L_2008152EN.01001401-E0001 (Last accessed: 28.10.2017).

4. Matus K. J., Nam K.-M., Selin N. E., Lamsal L. N., Reilly J. M., Paltsev S. Health Damages from Air Pollution in China. *Global Environmental Chang.* 2012. № 22(1). P. 55–66.

5. Державна служба статистики України. Київ, 2017. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>

6. Прес-бюлетень № 8 за січень – серпень 2017 р. / відп. за вип. О. О. Шестак. Київ : Державна служба статистики України, Головне управління статистики у м. Києві, 2017. 21 с.

7. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease / director of Public Health, Environmental and Social Determinants of Health, Dr M. Neira. Geneva, Switzerland : WHO Document Production Services, 2016. 132 p.

8. Verma V., Rico-Martinez R., Kotra N., Rennolds C., Liu J., Snell T. W., Weber R. J. Estimating the toxicity of ambient fine aerosols using freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus* (Rotifera: Monogononta). *Environmental Pollution.* 2013. Vol. 182. P. 379–384.

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833	Арк
						51

9. Маленький В. П. Професійні хвороби : навч. посібн. Київ : Нова Книга, 2001. 336 с.

10. Бочарова К. А. Неотложные состояния в аллергологии : клиника, диагностика, профилактика анафилактических и анафилактоидных реакций. Белгород : ООО «Константа», 2010. 60 с.

11. Ardhana M. Microbial ecology and biochemistry of cocoa bean fermentation : a thesis ... doctor of philosophy : Master of Applied Science, Kensington, N.S.W., Australia, 1990. 294 p.

12. Гранично допустимі концентрації (ГДК) хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць», затвердженого т.в.о. головного державного санітарного лікаря України від 03.03.2015 р.

13. Про затвердження Методичних вказівок «Обґрунтування орієнтовних безпечних рівнів впливу (ОБРВ) хімічних речовин в атмосферному повітрі населених місць» : наказ МОЗ України від 07.10.2004 р. № 485. Дата оновлення: 07.10.2004. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0485282-04>

14. Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел : наказ Міністерства охорони навколишнього середовища України від 27.06.2006 р. № 309. *Офіційний вісник України*. 2006. 16 серпня (№ 31). С. 236.

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

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

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

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

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк
					52

ЕК 17320833

19. 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.

20. Гурець Л.Л. Вибір високоефективного газоочисного обладнання з метою запобігання забруднення атмосфери. *Екологічна безпека* : наук. журн. 2009. № 2. С. 69–72

21. Коузов П. А., Скрябина Л. Я. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. Ленинград : Химия, 1983. 143 с.

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

23. Матыцын Я. Г. Техническая справка по результатам определения размера частиц пробы какао-порошка. Х. : ТОВ «Ариадна», 2014. 7 с.

24. 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.

25. Атлас промышленных пылей. В трех частях. Часть 3. Пыли предприятий химической и пищевой промышленности. М. : ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1982. 44 с.

26. 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.

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

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833
----	-----	----------	-------	------	-------------

Арк	53
-----	----

28. 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.

29. 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.

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ЕК 17320833

Арк
54