

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій –
Кафедра екології та природоохоронних технологій

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою _____

“ ____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Зайцевій Ксенії Олександрівні

Група ТС-71

1. Тема кваліфікаційної роботи

Технології очищення відхідних газів від пилу

2. Вихідні дані до роботи

Статистичні дані Державної служби статистики України, законодавчі акти щодо охорони атмосферного повітря в Україні та країнах ЄС, наукові статті та інші літературні джерела

3. Перелік обов'язково графічного матеріалу:

1. Основні законодавчі акти в галузі охорони атмосферного повітря.
2. Механізми пилоловлення.
3. Характеристика пилових викидів ТОВ «Керамейя».
4. Пропозиції по підвищенню ефективності пилоочищення.

4. Етапи виконання випускної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1,2	3,4,5,6	7,8,9	10,11,12,13	14	15
1	Огляд літератури	+					
2	Розділ 1		+				
3	Розділ 2			+			
4	Розділ 3				+		
5	Розділ 4					+	
6	Оформлення, захист						+

5. Дата видачі завдання _____ 2021 р.

Керівник _____
(підпис)

проф. Гурець Л.Л.

Реферат

Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання, який містить 35 найменувань. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 52 с., у тому числі 3 таблиці, 10 рисунків, список використаних джерел на 4 сторінках.

Мета роботи – підвищення рівня екологічної безпеки атмосферного повітря при попередній коагуляції пилу на клінкерному виробництві.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні *завдання*:

— проаналізувати літературні джерела щодо техногенного впливу дрібнодисперсного пилу на довкілля.

— провести аналіз існуючих методів пилоочищення та факторів, які впливають на його ефективність.

— провести аналіз методів інтенсифікації процесів очистки від дрібнодисперсного пилу.

— розробка заходів по підвищенню ефективності пилоочисного обладнання.

Об'єкт дослідження – забруднення навколишнього природного середовища дрібнодисперсним пилом.

Предмет дослідження – підвищення ефективності процесу пилоочищення на клінкерному підприємстві.

У кваліфікаційній роботі розглянуто вплив пилових викидів на довкілля. Проведено аналіз основних методів пилоочищення та методів коагуляції пилових частинок. Запропоновано для ефективного очищення від дрібнодисперсних частинок використовувати попередню іонізацію потоку для коагуляції частинок.

Ключові слова: АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ, ДРІБНОДИСПЕРСНИЙ ПИЛ, $PM_{2,5}$, PM_{10} , ПИЛООЧИСНЕ ОБЛАДНАННЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЧИСТКИ.

Зміст

Вступ.....	5
Розділ 1 Небезпека викидів дрібнодисперсного пилу.....	7
1.1 Аналіз впливу дрібнодисперсного пилу на здоров'я людини та довкілля ..	7
1.2 Аналіз існуючої нормативної бази щодо регулювання правовідносин у сфері моніторингу та охорони якості атмосферного повітря в Україні та країнах ЄС.....	11
Розділ 2 Огляд існуючих методів очистки відхідних газів від частинок пилу ...	19
2.1 Основні механізми пиловловлювання.....	19
2.2 Напрямки підвищення ефективності вловлення дрібнодисперсного пилу.....	31
Розділ 3 Аналіз ефективності систем пилогазоочищення на ТОВ «Керамейя».	37
Розділ 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	43
Висновок.....	47
Перелік джерел посилання	49

Підп. і дата		Підп. і дата		Взаим.інв.		Инв.№дубл.		Підп. і дата	
ТС 17510023									
Инв.№подл.	Розроб.	Лис	№ докум.	Підп.	Дат	Технології очищення відхідних газів від пилу Лит. Аркуш Аркушів 4 52 СумДУ, ф-т ТеСЕТ гр. ТС-71			
	Перев.								
	Н.Конт								
	Затв.								

ВСТУП

Однією з найбільш гострих екологічних проблем сьогодення є проблема пилового забруднення. Багаторічні дослідження підтвердили, що частинки пилу негативного впливають на навколишнє природне середовище, в тому числі на здоров'я людини [1].

Основними факторами, які впливають на шкідливість впливу пилу на здоров'я людини є: дисперсність та концентрація частинок, хімічний склад та форми пилу. На тривалість суспендування пилових частинок в повітрі, глибину їх проникнення в дихальні шляхи, фізичну та хімічну активність та інші характеристики найбільш суттєво впливає їх розмір.

Найбільшу загрозу для здоров'я людини становлять дрібні частинки пилу аеродинамічні діаметри яких становлять менш ніж 10 мкм (PM_{10}) і 2,5 мкм ($PM_{2,5}$). Такі забруднювачі можуть перебувати в повітрі протягом тривалого часу, легко поширюватися на великі відстані, проникати глибоко в легені, оминаючи захисні бар'єри організму. Крім того, дрібнодисперсні частинки пилу здатні адсорбувати на своїй поверхні інші органічні та неорганічні високотоксичні сполуки, що в подальшому може призвести до утворення більш токсичних сполук в атмосферному повітрі.

Ефективність пиловловлюючих установок, які існують на теперішній час, не забезпечує достатній рівень очищення відхідних газів від $PM_{2,5}$ та PM_{10} . Насамперед, це зумовлено тим, що найбільш поширені методи видалення пилу не забезпечують необхідну ефективність очищення, а застосування багатоступеневого очищення збільшує експлуатаційні та капітальні затрати [2]. Отже, проблема пошуку сучасного та ефективного методу осадження дрібного пилу надалі є актуальною.

Инва.№подл.	Подп. и дата			
Взаим.инв.	Инва.№дубл.			
Подп. и дата				
Изва.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат

Одним з напрямків збільшення ефективності видалення дрібнодисперсних частинок з пилогазових викидів промислових підприємств є їх попереднє укрупнення, що і визначило мету роботи.

Мета дослідження: підвищення рівня екологічної безпеки атмосферного повітря при попередній коагуляції пилу на клінкерному виробництві.

Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання:

— проаналізувати літературні джерела щодо техногенного впливу дрібнодисперсного пилу на довкілля;

— провести аналіз існуючих методів пилоочищення та факторів, які впливають на його ефективність;

— провести аналіз методів інтенсифікації процесів очистки від дрібнодисперсного пилу;

— розробити заходи по підвищенню ефективності пилоочисного обладнання.

Об'єкт дослідження – забруднення навколишнього природного середовища дрібнодисперсним пилом.

Предмет дослідження – підвищення ефективності процесу пилоочищення на клінкерному підприємстві.

Методи дослідження. У роботі використано наступні методи дослідження: критичний аналіз літературних джерел та законодавчих актів, метод наукового спостереження на виробничому підприємстві з виробництва цегли та аналіз звітності підприємства: інвентаризація викидів, оцінка впливу на довкілля, лабораторні дослідження складу відхідних газів.

Ключові слова: атмосферне повітря, дрібнодисперсний пил, PM_{10} , $PM_{2,5}$, пилоочисне обладнання, ефективність очистки.

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	Инь.№дубл.
Инь.№подл.	Инь.№дубл.

Инь.№подл.	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Инь.№дубл.	Инь.№дубл.	Инь.№дубл.
Изь	Лис	№ докум.	Підп.	Дат	

ТС 17510023

Арк.

6

РОЗДІЛ 1 НЕБЕЗПЕКА ВИКИДІВ ДРІБНОДИСПЕРСНОГО ПИЛУ

1.1 Аналіз впливу дрібнодисперсного пилу на здоров'я людини та довкілля

Основним джерелом пилових викидів в атмосферне повітря є промисловість: У 2019 р. в атмосферне повітря України надійшло 334,7 тис. т зважених частинок, з яких 310,3 тис. т – зі стаціонарних джерел, що складає 92,7 % [3]. Найнебезпечнішими забруднювачами повітря в глобальному масштабі вважаються: діоксид вуглецю, дрібнодисперсні частинки твердих або рідких речовин, в якості додаткового компонента – озон, через його потенційно негативний вплив на клімат землі.

З усіх твердих частинок тонкодисперсні частинки спричиняють найбільш негативний вплив, оскільки вони не осідають, залишаються у верхніх шарах атмосфери, звідки не видаляються ні з дощем, ні будь-якими іншими шляхами.

Ґрунтуючись на спостереженнях радянських штучних супутників за верхніми шарами атмосфери, і особливо на працю космонавтів Поповича і Артюхіна в 1974 р, Бузников стверджує, що глибокі залежі пилових частинок знаходяться на висоті 10–20 км від поверхні Землі. Зокрема над північню Атлантичного океану розташовані хмари з цих частинок, викинутих промислово розвиненими країнами Європи. Ці пилові хмари відбивають сонячне світло, що в разі подальшого збільшення кількості речовини в атмосфері у вигляді частинок пилу, це стане причиною аномального зниження середньої температури поблизу земної поверхні.

Одне з актуальних завдань у сфері безпеки атмосферного повітря є зменшення обсягів викидів твердих частинок діаметром до 10 мкм (PM₁₀) і до 2,5 мкм (PM_{2,5}) та особливо запобігання їх негативного впливу на довкілля та стан здоров'я населення. Над його вирішенням наполегливо працюють науковці багатьох країн світу.

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Инь.№подл.	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Подп. и дата	Инь.№инв.	Подп. и дата
Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат	

ТС 17510023

Арк.

7

Численні дослідження зарубіжних вчених свідчать, що забруднене пиловими частинками 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 т. ін.

Вплив забруднення атмосферного повітря на здоров'я людини на тепер вивчено не в повній мірі. Найбільш докладно проаналізовано вплив забруднення повітря на хвороби органів дихання. Є значна кількість досліджень по виявленню впливу на захворюванність очей, зубів, шкіри. Дія шкідливих речовин особливо позначається на здоров'ї дітей та людей похилого віку. Найменш досліджено зв'язок із захворюваннями органів травлення.

Як свідчать численні дослідження, при забрудненому повітрі загальна захворюваність жінок в 1,14–1,81 рази вище, ніж в районах з незабрудненим повітрям. Захворюваність дихальних шляхів серед дітей у віці 1 року в місті із забрудненою атмосферою в 3,1 рази вище, ніж в 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 відповідно.

Як вже зазначалось вище, небезпека впливу пилу визначається його дисперсністю. Частинки пилу розміром більше ніж 10 мкм швидко осідають у верхніх дихальних шляхах та накопичуються у легенях. Частинки, розміром до 0,25 мкм, навпаки майже не затримуються у легенях та видихаються організмом. Отже найбільшу небезпеку несуть частинки від 1 до 10 мкм. Їх розмір дозволяє їм проходити крізь фізіологічні фільтри і потрапляти прямо у легені, де вони всмоктуються у кров. Організм не спроможний вивести таку кількість твердих частинок, вони відкладаються на стінках судин та в сполучних тканинах навколо них, та в результаті судини звужуються, що заважає нормальній циркуляції крові.

Вченими неоднократно було проведено токсикологічні дослідження, результати яких свідчать про те, що зважені частинки в повітрі спричиняють

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инва.№дубл.	Подп. и дата

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

Арк.

8

кілька типів несприятливих клітинних змін, зокрема: цитотоксичність, мутагенність, пошкодження клітин ДНК. У містах із значним забрудненням навколишнього середовища вади розвитку дітей трапляються в 3–4 рази частіше, ніж у відносно чистих, хвороби органів дихання реєструються удвічі частіше, загальний рівень захворюваності населення вищий на 25–40%, вищі також рівні алергічних, онкологічних, серцево-судинних та генетичних захворювань [4,5].

Пил також може мати фіброгенну подразнюючу і токсичну дію на організм людини. Фіброгенною називається дія пилу, при якій в легенях відбувається розростання сполучної тканини, що порушує нормальну будову органу. Найбільшою фіброгенною активністю володіють аерозолі дезінтеграції з розміром частинок до 5 мкм і особливо частинки розміром 1–2 мкм.

Дрібні частинки пилу розміром менше 0,25 мкм, потрапляючи при вдиханні в легені, майже не затримуються в них і видихаються з повітрям назад. Частинки пилу крупніші 10 мкм мають досить високу швидкість осадження, осідають у верхніх дихальних шляхах і, потрапляючи в легені, не видихаються з повітрям назад. Накопичуючись в тканинах легенів, при тривалому впливі на легеневу тканину вони призводять 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'юнктивіти та ураження шкіри. Особливо така тенденція помітна у осіб з виробничим стажем понад 5 років.

Якщо вміст пилу у повітрі великий, то значна його кількість може осісти на кормових рослинах і під час згодовування потрапити як в травний тракт, так і в легені великої рогатої худоби. У районах з високим рівнем забруднення кількість пилу, що надходить в травну і дихальну систему, становить приблизно до 30–40 кг/місяць.

Пил діє головним чином як подразник системи травлення, тканин шлунку і кишечника, а гострі частинки можуть навіть руйнувати ці тканини. Вплив на

Підп. и дата
Инв.№дубл.
Взаим.инв.
Підп. и дата
Инв.№подл.

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

тканини шлунку може сприяти збільшенню виділення шлункового соку або, якщо пил і зола містять значні кількості розчинних лужних сполук, зниженню кислотності в шлунку, що в свою чергу руйнує систему травлення.

Частинки пилу також можуть нести на собі радіоактивність, віруси, мікроорганізми, грибки.

Дрібнодисперсний пил є причиною комплексного негативного впливу на довкілля. Причина цьому – те, що він не осідає, а залишається у верхніх шарах атмосфери, при чому він не вимивається опадами. Шари пилу спричиняють закупорку продихів листя зелених рослин, що створює перешкоди проникненню сонячного світла, уповільнює процес фотосинтезу та пригнічує ріст рослин.

Дрібнодисперсні пилові викиди є надзвичайно токсичними і самі по собі, а під дією сонячних променів та за участю озону утворюють в атмосфері нові, ще більш токсичні сполуки.

Чудовим сорбентом є вугілля, завдяки цій властивості на нього добре осідають такі забруднювачі, як, наприклад, оксиди сірки і азоту [6]. Поряд з цим атмосферна турбулентність і вітер не завжди встигають видалити з повітряного простору промислових підприємств пилові викиди, що зростають разом зі збільшенням інтенсивності виробництва.

Отже, частинки пилу різного розміру можуть знаходитись в атмосферному повітрі протягом тривалого проміжку часу і при цьому піддаватися перенесенню в атмосфері на великі відстані.

На сьогодні основна увага вчених зосереджена на пошуку шляхів зниження обсягів викидів промислових підприємств, розробці та виконанні заходів необхідних для захисту навколишнього середовища та збереженні безпечного стану атмосферного повітря.

Вирішення вищевикладених задач неможливе без загальнодержавного нормування викидів, забезпечення контролю за дотриманням цих норм, організації збору вихідних даних для коректного планування заходів для захисту

Инва.№подл.	Подп. и дата
Инва.№дубл.	
Взаим.инв.	
Подп. и дата	
Инва.№подл.	

Изва.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат
-------	------	----------	-------	-----

ТС 17510023

Арк.

10

навколишнього середовища, насамперед шляхом контролю за ефективністю роботи газоочисного і пиловловлюючого обладнання промислових підприємств.

1.2 Аналіз існуючої нормативної бази щодо регулювання правовідносин у сфері моніторингу та охорони якості атмосферного повітря в Україні та країнах ЄС

Одним з найактуальніших питань натеper в Україні є покращення стану та відтворення якості атмосферного повітря. В умовах, що існують на сьогодні, серйозну перешкоду становить недосконалий правовий захист атмосфери. Значна частка законодавчих та нормативних документів щодо захисту атмосферного повітря діють ще з радянських часів. Тому одним із основних напрямів розвитку законодавчої бази має стати її осучаснення та узгодження із законодавчими вимогами країн ЄС.

Головна мета природоохоронної політики країн Європи- не просто подолання наслідків забруднення середовища, а насамперед попередження та скорочення негативного антропогенного впливу.

Основні засади правових відносин у сфері охорони атмосферного повітря визначені Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» [7], Законом України «Про охорону атмосферного повітря» [8] та деякими іншими нормативно-правовими актами.

Основна мета цих документів це забезпечення та збереження безпечного середовища для існування, захист життя і здоров'я населення від негативного впливу та раціональне використання природних ресурсів з подальшим обов'язковим відтворенням. Закон регулює основні засади організації охорони навколишнього природного середовища, враховуючі цілі сталого розвитку, зокрема інтереси нинішнього і прийдешнього покоління.

Инва.№подл.	Подп. и дата
Инва.№дубл.	
Взаим.инв.	
Подп. и дата	
Инва.№подл.	

Изва.	Лис.	№ докум.	Підп.	Дат
-------	------	----------	-------	-----

ТС 17510023

Арк.

11

Існуюча система правових заходів щодо забезпечення охорони атмосферного повітря в Україні складається із заходи дозвільного, попереджувального, стимулюючого, контрольного та заборонного характеру [9].

1. Нормативи гранично допустимого викиду, вимоги до технологічного управління, заходи щодо скорочення обсягів викидів регламентуються дозвільними документами.

2. Заходи попереджувального характеру складаються з вимог стосовно забезпечення якісного стану атмосфери. До цієї групи заходів належать: стандартизація, нормування, планування, моніторинг, державний облік тощо [9].

Гранично допустимий рівень викидів у атмосферне повітря визначено екологічними нормативами, зокрема статтею 33 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища».

Українським законодавством передбачений широкий комплекс нормативів у сфері охорони атмосферного повітря. Виділяють наступні групи нормативів:

- екологічної безпеки атмосферного повітря;
- гранично допустимих викидів забруднюючих речовин стаціонарних джерел;
- гранично допустимого впливу фізичних та біологічних факторів стаціонарних джерел;
- вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувних джерел;
- технологічні нормативи допустимого викиду забруднюючих речовин.

Загалом законодавством України закріплено стандарти, які є загальними і обов'язковими для визначення стану довкілля. Нормативи викидів, в свою чергу, конкретизують прийняті стандарти. Якість атмосферного повітря оцінюється, з використанням нормативів граничнодопустимої концентрації, основу яких складає оцінка дії полютанта на організм людини. Нормативи, які існують в Україні на сьогодні, в більшості завищені, а в разі коли обсяги небезпечних речовин в повітрі незначні, взагалі не досліджується їх комбінована дія та

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

Арк.
12

перетворення. В законодавстві не відображено положення про вплив поллютантів на екосистему [10].

Згідно положень статті 24 державному обліку підпадають об'єкти, що чинять або можуть чинити негативний вплив на стан здоров'я населення та на стан атмосферного повітря. Відомості державного нагляду використовуються під час розробки екологічних програм, здійсненні державного контролю, врегулюванні обсягів викидів тощо [11].

Статтею 22 врегульоване проведення державного моніторингу природного середовища для підприємств, організацій та установ, які спричиняють негативний вплив на довкілля.

Моніторинг атмосферного повітря дозволяє отримати, обробити, проаналізувати та зберегти інформацію про викиди та ступінь забруднення атмосферного повітря поллютантами. Крім того, такий моніторинг дозволяє прогнозувати його зміни та своєчасно прийняти необхідні рішення для охорони атмосферного повітря [12].

3. Контрольні заходи визначаються статтею 35. Їх використовують з метою перевірки виконання вимог законодавства у сфері охорони атмосферного повітря. Розрізняють державний контроль, що здійснюється центральним органом виконавчої влади; виробничий контроль – проводиться безпосередньо суб'єктом господарювання в ході провадження господарської діяльності; громадський контроль – забезпечується громадськими інспекторами з охорони довкілля [8].

4. Стимулюючи заходи складаються з одного боку з організаційно-економічних заходів (екологічний податок, відшкодування збитків за порушення законодавства щодо охорони атмосфери, надання кредитних та податкових пільг у разі впровадження суб'єктами господарювання ресурсозберігаючих технологій), а з іншого – з відповідальності за порушення вимог чинного законодавства [9].

Инва.№подл.	Подп.и дата
Инва.№дубл.	
Взаим.инв.	
Подп.и дата	
Инва.№подл.	

Изва.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат
-------	------	----------	-------	-----

ТС 17510023

Перелік заходів стимулювання та шляхи їх впровадження визначає стаття 48 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища».

5. Заборонні заходи передбачають застосування тимчасової заборони (зупинення) експлуатації джерел викидів забруднюючих речовин якщо їх робота здійснюється з порушенням вимог чинного законодавства [10].

Організаційно-правові засади та екологічні вимоги в галузі охорони саме атмосферного повітря визначає Закон України «Про охорону атмосферного повітря».

Відповідно до вимог статті 10 передбачено обов'язок підприємств та установ, що є суб'єктами підприємницької діяльності, щодо вжиття заходів з метою охорони та збереження безпечного складу атмосферного повітря. Одним з головних заходів є проведення контролю за обсягом і складом забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферне повітря, та проведення постійного обліку за рівнями їх фізичного впливу.

Стаття 12 закону визначає заходи, які обмежують, тимчасово забороняють (зупиняють) або припиняють викиди поллютантів в атмосферу під час певних видів діяльності установами, що не додержуються встановлених нормативів викидів.

Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 року №827 внесені зміни до Порядку здійснення державного моніторингу атмосферного повітря. Зокрема, з поточного року, при проведенні підприємством моніторингу стану атмосферного повітря обсяги викидів твердих частинок $PM_{2,5}$ та PM_{10} визначаються окремо. Від тепер до переліку забруднювальних речовин, щодо яких проводяться оцінювання, який має назву Список А відносять:

Список А

1. Діоксид сірки
2. Діоксид азоту та оксиди азоту
3. Бензол

Підп. и дата
Инв.№дубл.
Взаим.инв.
Підп. и дата
Инв.№подл.

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

4. Оксид вуглецю
5. Свинець
6. Тверді частки (ТЧ₁₀)
7. Тверді частки (ТЧ_{2,5})
8. Арсен
9. Кадмій
10. Ртуть
11. Нікель
12. Бенз(а)пірен
13. Озон

Відповідно до цього положення було встановлено верхні та нижні пороги оцінювання для твердих частинок в залежності від розміру частинок, що наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Верхній та нижній пороги оцінювання для твердих часток

	Середнє значення ТЧ ₁₀ за 24 години	Середнє значення ТЧ ₁₀ на рік	Середнє значення ТЧ _{2,5} на рік
Верхній поріг оцінювання	70 % граничної величини (35 мкг/м ³)	70 % граничної величини (28 мкг/м ³)	70 % граничної величини (17 мкг/м ³)
Нижній поріг оцінювання	50 % граничної величини (25 мкг/м ³)	50 % граничної величини (20 мкг/м ³)	50 % граничної величини (12 мкг/м ³)

Для зменшення негативного впливу підприємств на атмосферне повітря зокрема від викидів пилу Міндовкілля встановив окремі нормативи для контролю викидів частинок розміром до 10 мкм та до 2.5 мкм. Це є значним кроком на шляху до вирішення проблеми забруднення атмосфери, осучаснює та наближає українське законодавство до європейського.

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Инь.№подл.	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Подп. и дата
Из	Лис	№ докум.	Підп.
			Дат

ТС 17510023

Арк.
15

В Європейському Союзі особливу увагу приділяють проблематиці забруднення атмосферного повітря пиловими частинками. Законодавство ЄС спрямоване в першу чергу на поступове скорочення викидів забруднюючих речовин та мінімізацію впливу на здоров'я населення. З цією метою в законодавстві ЄС обумовлені основні принципи оцінки стану довкілля, принципи проведення моніторингу, нормативи гранично допустимих викидів, визначені стандарти якості повітря та ін. [13].

Директиви та Рішення ЄС визначають стандарти якості атмосферного повітря, вимоги до контролю якості продукції, моніторингу та обміну інформації.

Стандарти якості довкілля та вимоги до контролю визначають наступні Директиви ЄС:

Директива 96/62/ЄС «Щодо оцінки та контролю навколишньої атмосфери» встановлює базові принципи визначення та оцінювання якості атмосферного повітря [14]. Директива встановлює обмежувальні рівні (кількісні значення) та критичні межі стану забруднення атмосфери. Обмежувальний рівень – науково визначені значення поллютантів, які встановлюються з метою попередження та скорочення негативного впливу на довкілля та здоров'я населення, яких необхідно досягти та не допускати перевищень в подальшому. Критичні межі – це рівень поза яким наявний ризик здоров'ю населення;

Директива № 2008/50/ЄС «Про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи» [15]. Переважна більшість положень директиви стосується моніторингу атмосфери та встановленню нормативів якості повітря. Директива визначає заходи, що направлені на: оцінку якості повітря всіма державами на основі загальноприйнятих методів та критеріїв; гарантує доступність інформації для людей щодо стану атмосферного повітря; співпрацю держав-членів ЄС з метою зменшення рівня забруднення;

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	

Инь.№подл.	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 17510023

Директива 2016/2284/ЄС передбачає скорочення національних квот на викиди окремих речовин: аміаку, оксидів азоту, НМЛОС, пилу, діоксиду сірки [16];

Директива Ради 96/61/ЄС «Щодо всеохоплюючого запобігання і контролю забруднень» визначає механізми мінімізації обсягів викидів забруднюючих речовин в ґрунт, воду, атмосферу [17];

Згідно Директиви № 94/63/ЄС «Про контроль викидів летких органічних сполук (ЛОС), що виникають зі сховищ нафти та при її транспортуванні з терміналів до сервісних станцій», зменшення викидів ЛОС є головною метою, для чого було встановлено відповідні вимоги експлуатації устаткування для безпечного зберігання та транспортування нафти і нафтопродуктів [18];

Директива № 1999/32/ЄС направлена на мінімізацію викидів діоксиду сірки, що утворюється при спалюванні палива [19];

Директива №2010/75/ЄС про контроль промислових викидів передбачає запровадження інтегрованої дозвільної системи, найкращих доступних технологій та управлінських рішень, встановлює граничні значення викидів. В основному дана директива направлена на модернізацію підприємств та посилення ролі громадськості в регулюванні та прийнятті рішень щодо видачі дозволів та дотримання виконання їх умов [20];

Директива № 2004/107/ЄС про миш'як, кадмій, ртуть, нікель і поліциклічні ароматичні вуглеводні (бенз(а)пірен) у атмосферному повітрі встановлює вимогу до концентрації речовин та методики їх вимірювань, визначає заходи, які підлягають вживанню при досягненні порогових значень концентрацій забруднюючих речовин тощо [21].

Отже, в Європейському Союзі для поліпшення якості атмосферного повітря прийнято низку нормативно-правових актів (директив), що дозволяють належним чином контролювати якість атмосферного повітря та оперативно реагувати в разі виявлення погіршення його стану. Особлива увага також приділяється моніторингу й оцінці якості атмосферного повітря. Моніторинг

Підп. и дата
Инв.№дубл.
Взаим.инв.
Підп. и дата
Инв.№подл.

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 17510023

Арк.

17

передбачає оцінку якості атмосфери механізмами вимірювання загальнопоширених забруднюючих речовин. зонування території, розробки стратегічних планів поліпшення якості атмосферного повітря в зонах та агломераціях.

Якщо порівняти підходи до нормування обсягів викидів в атмосферне повітря в Україні та інших країнах Європи побачимо наступні відмінності [6]:

В Україні визначення та обґрунтування гранично допустимих концентрацій поллютантів усіх класів небезпеки ведеться за єдиною методологією з визначенням підпорогових та порогових концентрацій речовини в лабораторних умовах шляхом експерименту. Для країн ЄС схема визначення відрізняється тим, що показники концентрацій визначаються не лише шляхом співставлення даних, отриманих в експериментальних умовах, але й згідно епідеміологічних досліджень. Таким чином, оцінка рівня небезпеки речовини визначається показником її дії на стан здоров'я живих організмів та ризиком для здоров'я населення.

В Україні нормування та контроль викидів дрібнодисперсних частинок в атмосферу на сьогодні тільки формується. Розробка шляхів організації моніторингу, розрахунку розсіювання частинок та прогнозування наслідків цього впливу до тепер робились лише в наукових дослідженнях. Важко спрогнозувати як підприємства будуть проводити необхідні заходи на практиці. Хоча в країнах ЄС ще декілька років тому здійснили поділ нормування пилу за фракціями PM_{10} та $PM_{2,5}$, в Україні до 2019 року нормування включало показник лише загального пилу (TSP), тобто загальної кількості зважених речовин, що включає всі частинки, які знаходяться у повітрі, без урахування їх дисперсності.

Проте на сьогоднішній час Україна вже реалізує План впровадження Директиви 2008/50/Є, що передбачає розроблення нормативно-правових актів з метою встановлення нормативів концентрації суспендованих речовин ($PM_{2,5}$, PM_{10}) в атмосферному повітрі та забезпечення їх моніторингу в атмосферному повітрі.

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инва.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ОЧИСТКИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ВІД
ЧАСТИНОК ПИЛУ

2.1 Основні механізми пиловловлювання

Принцип роботи всіх пиловловлювальних апаратів побудований на застосуванні одного або декількох механізмів осаджування часток, що завислі в газах [23].

1. Гравітаційне осадження (седиментація) є результатом вертикального руху вниз часток на які діє сила тяжіння під час проходження їх крізь газоочисний апарат. Цей вид осадження використовують для великих часток. Апарати, що використовують саме такий принцип уловлювання пилу, забезпечують осадження часток, що завислі за рахунок сили ваги (гравітації). Під час падіння часточки пилу зазнають опору середовища. Самий простий спосіб описати такий опір при прямолінійному і рівномірному русі кульової частки, коли турбулентність потоку вважають настільки малою, що їй можна знехтувати.

Розглянемо прямолінійний рівномірний рух частинки, що підкоряється закону Ньютона. Під час руху частка зустрічає опір середовища, який будемо визначати за формулою 2.1:

$$F = \varepsilon \cdot S \cdot \frac{V^2 \cdot \rho}{2} \quad (2.1)$$

де ε – аеродинамічний коефіцієнт опору частинки;

S – проекція поперечного перерізу частинки на напрямок її руху, м^2 ;

V – швидкість частинки, м/с ;

ρ – щільність середовища, кг/м^3 .

Для кульової частинки сила обчислимо за формулою 2.2:

Инь.№подл.	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Подп. и дата	Инь.№инв.	Взаим.инв.	Инь.№подл.	Подп. и дата	Инь.№инв.	Взаим.инв.	Инь.№дубл.	Подп. и дата	
Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат							Арк.	
						ТС 17510023						19

$$F = \varepsilon \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{8} \cdot V^2 \cdot \rho \quad (2.2)$$

де d – діаметр частинки, м.

Розглянемо рух частинки в нерухомому середовищі під дією сили ваги (осадження). При відсутності опору середовища швидкість частинок змінюється залежно від часу τ за законом $V = g \cdot \tau$. Однак зі збільшенням швидкості буде зростати величина опору середовища і зменшуватися прискорення частинки. В решті частка почне рухатися з постійною швидкістю. Цю швидкість руху можна визначити врахувавши рівність сили опору середовища та сили ваги з врахуванням сили Архімеда (формули 2.3, 2.4)

$$3\pi d \cdot \mu \cdot \omega = \frac{\pi d^3}{6} \cdot (\rho - \rho_r)g, \quad (2.3)$$

$$\omega = \frac{gd^2 \cdot (\rho - \rho_r)}{18 \cdot \mu} = \frac{gd^2 \cdot \rho_r}{18 \cdot \mu} = g \cdot \tau. \quad (2.4)$$

де ω – швидкість осадження, м/с;

g – прискорення вільного падіння (м/с²);

μ – динамічна в'язкість (Па·с);

τ – час релаксації частинки, с.

Гравітаційне осадження застосовують для розділення пилових сумішей та аерозолів, проте цей процес не забезпечує вилучення тонкодисперсних частинок і характеризується невеликою швидкістю осадження. Гравітаційний метод використовують переважно для часткової сепарації неоднорідних систем. Конструкція пилоосаджувальної камери з гравітаційним методом осадження наведена на рисунку 2.1.

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инь.№дубл.	Подп. и дата

Инь.№подл.	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Подп. и дата
Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат	

ТС 17510023

Арк.
20

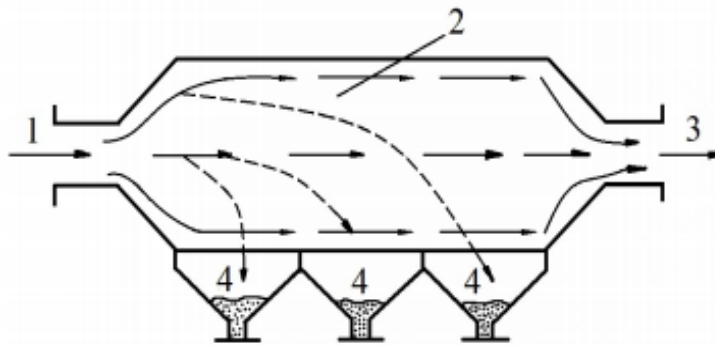


Рисунок 2.1 – Конструкція пилоосаджувальної камери з гравітаційним методом осадження: 1 – підвід запиленого газу; 2 – робочий об’єм пилоосаджувальної камери; 3 – відвід очищеного газу; 4 – бункера для збору і відводу уловленого пилу

Безсумнівною перевагою процесу є просте апаратурне оформлення та малі енергетичні витрати, але цього не достатньо для ефективної очистки, через що метод майже не використовується на підприємствах.

2. Інерційне осадження відбувається у випадку, якщо маса частки або швидкість її руху настільки значні, що вона не може слідувати разом з газом по лінії потоку, що огинає перешкоди, а стикається з перешкодою прагнучі інерційно продовжити свій рух, і врешті осідає на ній.

Під час обтікання твердого тіла (чи краплини) запиленим потоком, через значне значення інерції, частинки продовжують рухатися поперек зігнутих ліній течії газів і осаджуються на поверхні тіла, що наведено на рисунку 2.2.

Коефіцієнт ефективності інерційного осадження визначається часткою частинок, витягнутих з потоку при зміні напрямку внаслідок обтікання ними різного роду перешкод. В деяких випадках його називають «ефективністю мішені».

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	

Из	Лис	№ докум.	Подп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

Арк.
21

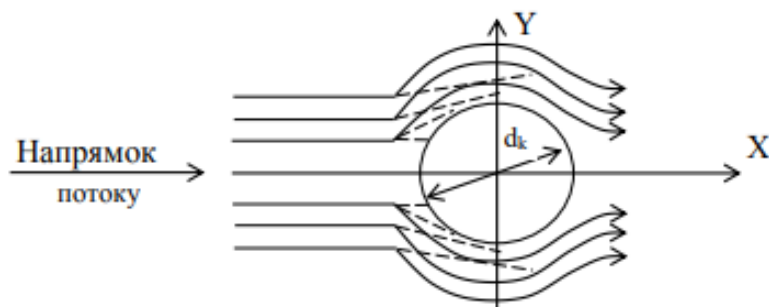


Рисунок 2.2 – Осадження частинок на кулі

_____ рух газів;

----- рух частинок

За рис. 2.2 легко прослідкувати вплив критерію Рейнольдса, Re , на інерційне осадження. У ламінарному режимі течії потоку ефективність осадження не залежить від цього критерію. Це твердження вважається вірним доки існуванням суміжного шару навколо обтічного тіла можна нехтувати. Збільшення значення критерію Рейнольдса під час переходу до турбулентного потоку призводить до утворення суміжного шару на поверхні обтічного тіла. При цьому товщина утвореного шару також залежить від критерію Re , а саме – зменшується зі збільшенням критерію Re .

Лінії течії сильніше вигинаються і обтікають тіло при значеннях Re більших критичного ($Re > 500$) на ближчій від нього відстані. Як наслідок, при однаковому значенні критерію ефективність осадження стає вищою. Зростання ефективності продовжується зі зменшенням товщини суміжного (ламінарного) шару кругом тіла, тобто зі збільшенням критерію Re .

Ще складніший характер набуває суміжний шар при розвинутій турбулентній течії потоку. Отже доцільно розглядати лише системи з однаковим значенням критерію Re або системи, в яких режим руху потоку можна не враховувати при розрахунках.

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

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инва.№дубл.
Подп. и дата	

Изва.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат
-------	------	----------	-------	-----

ТС 17510023

$$Stk = \frac{d_{ч}^2 w_{oc} \rho}{\mu l} \quad (2.5)$$

де ρ – щільність середовища, кг/м³;

l – геометрична характеристика пиловловлювача.

Існує певне мінімальне критичне число Стокса, $Stk_{кр}$, при якому інерція частинки виявляється достатньою, щоб перебороти захоплення її газовим потоком, і вона досягає поверхні тіла. Таким чином, захоплення частинки можливе лише при умові $Stk > Stk_{кр}$.

3. Ефект торкання (зачеплення) – спостерігається, коли відстань частинки, що рухається з газовим потоком до обтічного тіла, дорівнює або менше її радіусу. Тоді будь-яка частка розміром 1 мкм і більше зачіпається за перешкоду завдяки природним силам. Так як повітряний потік проходить через величезну кількість перешкод, імовірність виникнення ефекту зачеплення дуже висока.

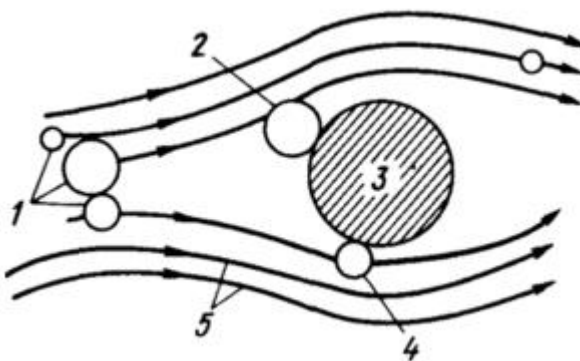


Рисунок 2.3 – Механізми зачеплення часток:

- 1 – частинки пилу; 2 – інерційне зачеплення; 3 – перешкода;
4 – ефект торкання; 5 – лінії струму

Важливе значення має розмір частинок при захоплюванні за рахунок дотику до поверхні обтічного тіла, осадження частинок за рахунок зачеплення не залежить від швидкості газів, а в основному визначається режимом течії газового

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инва.№дубл.
Подп. и дата	

Изва.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат

поток. Визначальним параметром ефекту торкання є відношення розміру частки, що уловлюється – r , до розміру твердого елемента фільтра – r_0 :

$$R = \frac{r}{r_0} \quad (2.6)$$

При потенційному обтіканні кулі, коли величина R настільки мала, що можна знехтувати інерційними ефектами, ефективність зачеплення складає:

$$\eta = (1 + R^2) - \frac{1}{1+R}, \quad (2.7)$$

$$\eta = \frac{d^2 \rho_{\text{ч}}}{D^2 \rho_{\text{г}}}. \quad (2.8)$$

Ефект торкання стає значним при осадженні частинок на сферах з малим діаметром. Крім того, осадження частинок за рахунок зачеплення не залежить від швидкості газів, а в основному визначається режимом течії газового потоку.

4. Осадження під дією відцентрової сили. При криволінійному русі газового потоку виникають відцентрові сили. Під дією цих сил зважені частинки відкидаються на зрошувані поверхні апарату (мокрі циклони) або поверхні бульбашок (барботажні апарати). Цей метод осадження широко розповсюджений в промисловості (в циклонах, мультициклонах, ротаційних апаратах, мокрих пиловловлювачах при барботуванні).

Відцентровий метод відділення частинок аерозолів від повітря (газу) значно ефективніше гравітаційного осадження, так як виникає відцентрова сила у багато разів більше, ніж сила тяжіння. Відцентрова сепарація може застосовуватися по відношенню до більш дрібним часткам.

В ділянці існування закону Стокса швидкість відцентрового осадження кульової частинки можна розрахувати, прирівнюючи відцентрову силу F , H , яка розраховується при обертанні газового потоку, стоксовій силі опору середовища.

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инь.№дубл.	Подп. и дата

Инь.№подл.	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Подп. и дата
Из	Лис	№ доквм.	Підп.	Дат	

ТС 17510023

Арк.

24

$$F = m \frac{\omega^2}{R} \quad (2.9)$$

де m – маса частинки, кг;

ω – швидкість обертання газового потоку кругом нерухомої вісі, м/с;

R – радіус обертання газового потоку, м.

$$\omega = \frac{d^2 \rho}{18\mu} \cdot \frac{\omega^2}{r} \quad (2.10)$$

З рівняння 2.10 отримуємо, що швидкість осаджування завислих частинок у відцентрових пиловловлювачах прямо пропорційна квадрату діаметра частинок

В апаратах, заснованих на використанні відцентрової сепарації, можуть застосовуватися два принципових конструктивних рішення: потік аерозолу обертається в нерухомому корпусі апарату; потік рухається в обертовому роторі. Перше рішення застосоване в циклонах (рис. 2.4), друге – в ротаційних пиловловлювачах (рис. 2.5).

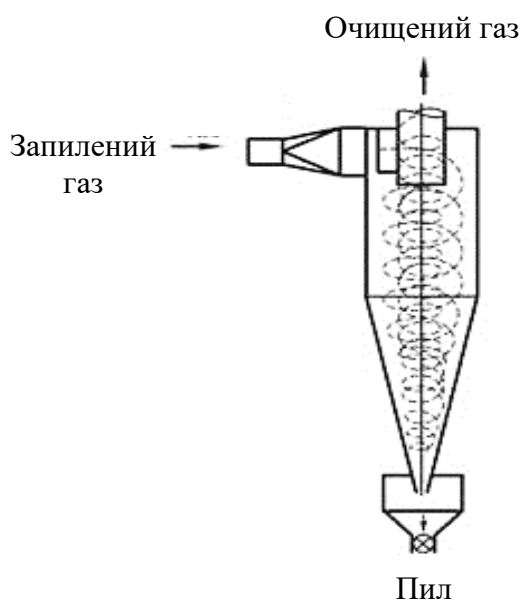


Рисунок 2.4 – Схема циклону

Ив.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Ив.№дубл.
Подп. и дата	

Ив.№подл.	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
-----------	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

Арк.
25

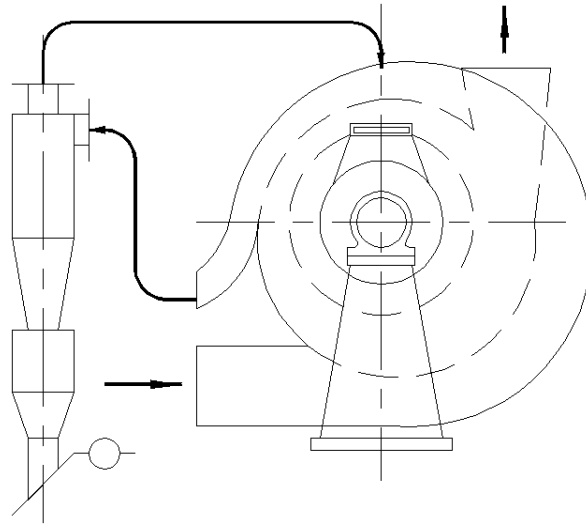


Рисунок 2.5 – Схема ротаційного пиловловлювача

Важливим параметром є радіус обертання газового потоку – R :

$$R = \frac{r_1 + r_2}{2} \quad (2.11)$$

де r_1 – радіус вихідної труби циклона, м;

r_2 – радіус корпусу циклона, м.

Найдовший шлях частки пилу в радіальному напрямку дорівнює $r_2 - r_1$. Якщо ця величина залишається не змінною при зростанні абсолютних значень r_1 та r_2 , це призводить до зменшення швидкості частинки та збільшенню часу необхідного для осадження, що знижує ефективність очищення апарату. Отже, для забезпечення високої ефективності вловлювання пилу рекомендовано застосовувати апарати з малим діаметром.

В реальних умовах не всі тонкодисперсні частинки вловлюються в циклоні повністю. У той же час частина частинок, що мають менший розмір осідає в циклоні. Це можна пояснити тим, що у розрахунках не враховується коагуляція, яка відбувається в циклоні. Крім того, частина дрібних частинок захоплюється потоком і осідає разом з більш великими частками.

Також необхідно враховувати вплив швидкості пилогазового потоку при проходженні в апараті. Оптимальне прискорення потоку до швидкості 20–25 м/с

Ив.№подл. Подп.и дата. Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп.и дата

Ив.№подл.	Подп.и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп.и дата
Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 17510023

Арк.

26

поліпшує вловлювання пилу у відцентрових апаратах. Проте перевищення цієї швидкості може призвести до зривання частинок пилу, що вже осіли, і в свою чергу зменшує ефективність очищення.

5. Дифузія. Дрібні частинки зазнають безперервного впливу молекул газу, що знаходяться у броунівському русі, в результаті якого можливо осадження цих частинок на поверхні обтічних тіл або стінок апарату. У турбулентному потоці дифузний ефект різко зростає.

Частинки малих розмірів знаходяться під дією броунівського (теплого) руху молекул. Переміщення частинок в цьому випадку описується рівнянням Ейнштейна, згідно якого середній квадрат зміщення частинок складає

$$\Delta^2 = 2D \cdot T \quad (2.12)$$

де D – коефіцієнт дифузії частинки, який характеризує інтенсивність броунівського руху, m^2/s .

При вірності закону Стокса, коли розмір частинок більший середнього шляху пробігу молекул, коефіцієнт дифузії можна виразити як функцію розміру частинок:

$$D = \frac{c \cdot K_6 \cdot T}{3\pi \mu \cdot d} \quad (2.13)$$

де K_6 – постійна Больцмана, рівна $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Коефіцієнт дифузії входить в безрозмірний комплекс, який характеризує відношення сил внутрішнього тертя до дифузійних сил. Цей комплекс отримав назву критерію Шмідта Sc . Його деколи називають дифузійним критерієм.

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D} = \frac{V}{D} \quad (2.14)$$

Ивв.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Ивв.№дубл.
Подп. и дата	

Ивв.№подл.	Подп. и дата	Ивв.№дубл.	Подп. и дата
Из	Лис	№ докум.	Підп. Дат

ТС 17510023

Арк.
27

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнтів дифузії частинок і значення критерію Шмідта в залежності від їх розміру:

Розмір частинок, мкм	Коефіцієнт дифузії, м ² /с	Критерій Sc
10	$2,4 \cdot 10^{-12}$	$6,4 \cdot 10^6$
1	$2,7 \cdot 10^{-11}$	$5,6 \cdot 10^5$
0,1	$6,1 \cdot 10^{-10}$	$2,5 \cdot 10^4$

Згідно до наведених у таблиці 2.1 даних, коефіцієнт дифузії різко збільшується зі зменшенням розміру частинок. Для розрахунку ефективності дифузійного осадження частинок при обтіканні кулі використовують формулу:

$$\eta = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{(Pe \cdot d)}} \quad (2.15)$$

Згідно з рівнянням 2.15, ефективність дифузійного осадження зворотно пропорційна до розмірів частинок і швидкості газового потоку. Дифузійне осадження подібно ефекту зачеплення використовується в основному у фільтрах. Ці механізми осадження переважають при забезпеченні особливо високого ступеня очистки газів шляхом фільтрації.

6. Електричне осадження. Відбувається в результаті взаємодії електричних зарядів на краплях промивної рідини або на зважених в газі частинках, або одночасно на тих і інших. Електричне зарядження частинок може бути здійснене трьома шляхами: при генерації аерозолу, за рахунок дифузії вільних іонів і при коронному розряді. При застосуванні перших двох способів число частинок, які одержали позитивний і негативний заряди, приблизно однакові. Коронний розряд, навпаки, приводить до зарядження частинок одним знаком. Загальний принцип роботи електрофільтру зображено на рисунку 2.6.

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

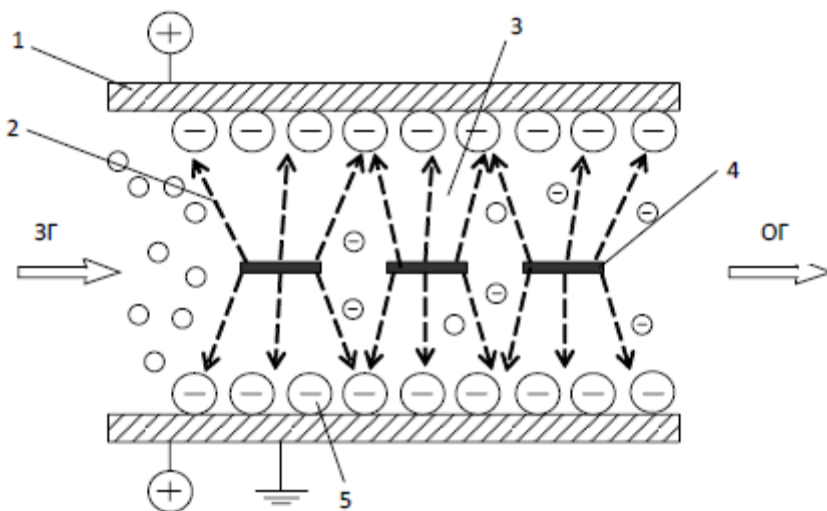


Рисунок 2.6 – Принцип роботи електрофільтрів:

- 1 – осадовий електрод; 2 – електричне поле; 3 – заряджена зона;
4 – коронувальний електрод; 5 – шар осілого пилу

Перший спосіб переважає у випадках коли розміри частинок більше 0,5 мкм, другий – при розмірах частинок менше 0,2 мкм. Для частинок діаметром 0,2–0,5 мкм ефективні обидва способи, причому мінімальна швидкість зарядження спостерігається для частинок розміром біля 0,3 мкм.

Величина заряду q , Кл, одержуваного під дією електричного поля, електропровідної частинки сферичної форми розраховується за формулою:

$$q = 3\pi d^2 \varepsilon E \quad (2.16)$$

де ε – діелектрична проникність ($\varepsilon = 8,85 \cdot 10^{-12}$ ф/м);

E – напруженість електричного поля коронного розряду, В,м.

Електростатична сила F , яка діє на заряджену частинку в електричному полі напруженістю E , дорівнює:

$$F = qE \quad (2.17)$$

Підп. и дата
Инв.№ до обл.
Взаим. инв.
Підп. и дата
Инв.№ подл.

Из	Лис	№ доквм.	Підп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

На ділянці застосування закону Стокса можна розраховувати, прирівнюючи кулонівську силу силі Стокса, швидкість осадження заряджених частинок:

$$\omega = \frac{qEc}{3\pi\mu d} \quad (2.18)$$

На методі електричного осадження частинок заснована робота електрофільтра. Пиловий потік, в якому всі частинки мають заряд одного і того ж знака, рівномірно розсіюється під дією свого власного загального заряду.

Якщо в склад аерозолів входять і позитивно, і негативно заряджені частинки, а їх концентрації неоднакові, то частинки, вміст яких є меншим, переміщуються до центра аерозольної хмарини, де їх концентрація поступово зростає. Це призводить до нейтралізації заряду в утвореному ядрі, в той час як розсіювання зовнішньої частини газопилової суміші продовжується.

Крім вказаних вище основних механізмів осадження, можна перерахувати і ряд інших: термофорез, дифузійфорез, фотофорез, вплив магнітного поля, радіометричних сил тощо. Вплив того чи іншого механізму на осадження частинок визначається цілим рядом факторів, і в першу чергу, їх розміром.

У числі найбільш застосовуваних пиловловлювачів можна виділити чотири класи апаратів:

- апарати сухого механічного очищення газу;
- апарати мокрого очищення газу;
- апарати для очищення газу фільтрацією;
- апарати для очищення газу в електричному полі(електрофільтри).

Залежно від кінцевого вмісту пилу у газовому потоці, що піддається очищенню розрізняють апарати:

- грубого очищення газу (кількість пилу на виході понад 1 г/м³);
- середнього очищення газу (кількість пилу на виході 0,1–1 г/м³);
- тонкого очищення газу (кількість пилу на виході з апарату до 0,1 г/м³).

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инь.№дубл.	Подп. и дата

Инь.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инь.№дубл.	Подп. и дата
Из	Лис	№ доквм.	Підп.	Дат

ТС 17510023

Арк.
30

Частинки меншого розміру є складнішими для захоплення і видалення з газового потоку, тому для підвищення ефективності очистки використовують методи коагуляції.

2.2 Напрямки підвищення ефективності вловлення дрібнодисперсного пилу

Діаметр частинки, що піддається осадженню, суттєво впливає на швидкість осідання в пилоосаджувальній камері згідно формули 2.20:

$$\omega = \frac{gd^2 \cdot (\rho - \rho_f)}{18 \cdot \mu} \quad (2.20)$$

Як наслідок, чим більшою буде діаметр частинки, тим швидше вона піддається осіданню гравітаційними методами, це збільшує ефективність очищення відхідних газів від пилу.

Для забезпечення більш якісної очистки пилогазових сумішей не тільки від крупних частинок, але й від найнебезпечніших – дрібнодисперсних, використовують методи попереднього укрупнення цих частинок за допомогою коагуляції.

Коагуляція – процес зближення і укрупнення дрібних твердих часток, рідких крапельок і газових бульбашок, які зважені в газі або рідині, під впливом зовнішніх факторів (акустичних коливань, теплових та електростатичних сил та ін.). Під час коагуляції дисперсність і загальна кількість частинок дисперсної системи зменшується, а в результаті відбувається їх укрупнення та осадження в камері. Малий розмір часток аерозолі є причиною їх великої рухливості: частинки беруть участь в броунівському русі, захоплюються конвективними і гідродінамічними течіями, що перешкоджає їх видаленню з пилогазового потоку. При накладенні зовнішнього поля виникають додаткові сили, що

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инь.№дубл.	Подп. и дата

Инь.№подл.	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Подп. и дата
Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат	

ТС 17510023

Арк.
31

сприяють коагуляції шляхом залучення частинки до утвореного коливального руху, що викликає її дрейф та зліпання з іншими частинками.

Коагуляція є основним методом підвищення ефективності вловлення частинок дрібнодисперсного пилу у газових потоках. Шляхом укрупнення дрібних часток у більші агрегати, які значно швидше відокремлюються у газовому потоці, ефективність очищення зростає до 90–98 %.

Збільшення середнього розміру часток в результаті коагуляції (процес злиття частинок при зіткненні один з одним) значно полегшує подальше їх осадження.

Зближення частинок може відбуватися за рахунок броунівського руху (теплова коагуляція) або під дією гідродинамічних, електричних, гравітаційних та інших сил, які накладаються на броунівський рух і впорядковують рух частинок [7].

Серед можливих варіантів видів осадження пилу розглядаються наступні:

- акустичний
- ультразвуковий
- тепловий
- градієнтний
- турбулентний
- електростатичний

Загалом ефект пришвидшення осадження пилу з використанням вказаних методів обумовлений зростанням швидкості коагуляції часток пилу. Відповідно зі зростанням розміру часток вони більш піддаються впливу гравітаційних сил.

Акустична коагуляція

Накладання звучання на процес сепарації аерозолів в полі відцентрових сил має за мету зробити явище коагуляції твердої фази більш інтенсивним, що значною мірою впливає на ефективність розділення.

Зависла у вібрувальному середовищі частинка здійснює коливальний рух. Як наслідок частинки стикаються одна з одною та утворюють більші агломерати,

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Инь.№подл.	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Подп. и дата	
Из	Лис	№ доквм.	Підп.	Дат

ТС 17510023

Арк.

32

які швидше піддаються гравітаційному осадженню, забезпечуючи більшу ефективність очищення. Було проведено спроби використання методів акустичної коагуляції для збільшення частинок, що мало забезпечити їх якісне видалення в пилоочисному пристрої.

Збільшення рівня ефективності розділення фаз за допомогою озвучення можна пояснити тим, що за однаковий проміжок часу перебування однорідного потоку в циклоні, розміри твердих частинок збільшуються і досягають критичного розміру. Під час транспортування через циклон вони зтикаються зі стінками апарату, втрачають свою швидкість і падають у бункер [25].

Використовуючи метод теоретичного аналізу, беручи до уваги результати попередніх досліджень, були визначені основні фактори, що валивають на процес акустичної коагуляції: частота, інтенсивність звуку, час озвучування і звукова експозиція, початкова концентрація пилу, режим хвилі.

Після дослідження взаємозалежності кінетики процесу коагуляції та параметрів пилогазового потоку і звукового поля маємо наступні висновки:

1. Для кожного конкретного розміру аерозолю існує оптимальна величина частоти поля.
2. Потрібно використовувати низькі частоти для коагуляції аерозолів.
3. Ефективність зростає при збільшенням частоти і інтенсивності поля; початкової концентрації пилу; часу озвучування; звукового тиску і звукової експозиції; витрат повітря.
4. Для отримання заданої ефективності пилоочищення можливо розрахувати мінімально необхідні рівні інтенсивності звуку.
5. Зміна дисперсного складу пилу є функцією параметрів звукового поля і пилогазового потоку.
6. Час озвучування визначає довжину ділянок, які озвучуються, для забезпечення заданої ефективності пиловловлювання.
7. Збільшення часу озвучування вище від необхідної границі практично не підвищує ефективності пилоочищення.

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	Взаим.инв.
Инь.№подл.	Подп. и дата

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

Арк.
33

8. Для кожної початкової концентрації пилу існує своя "звукова експозиція", за якої процес коагуляції відбувається найефективніше.

9. Акустична коагуляція аерозолів проходить більш інтенсивно в режимі «стоячої хвилі» і в «схрещених полях».

Ультразвуковою коагуляцією називають процес зближення та агрегації дрібнодисперсних частинок, крапель рідини або бульбашок газу під впливом акустичних звукових коливань або ультразвукових частот. Швидкість коагуляції і, як наслідок, ефективність процесу очищення промислових газів від дисперсних домішок шляхом застосування високоінтенсивних ультразвукових коливань визначається: інтенсивністю коливань, часом експозиції, частотою, початковою концентрацією політантау [26]. Більш висока частота випромінювання дозволяє коагулювати частинки меншого діаметру, а для осадження крупних частинок переважніше застосовувати низькі частоти.

Досліджений метод забезпечує ефект очищення завдяки постачання забрудненого повітря через вхідний патрубок в корпус фільтра за допомогою всмоктуючого вентилятора, потім під дією відцентрових сил та ультразвукового випромінювання частинки пилу рухаються у напрямку до внутрішньої стінки корпусу апарату та осаджуються у пилозбірнику.

Але в той же час існує проблема впливу ультразвукового випромінювання на людину. З метою мінімізації негативного впливу ультразвукового випромінювання на організм людини, корпус фільтра необхідно обладнати спеціальним звукоізолюючим матеріалом.

Теплова (броунівська) коагуляція

Основу броунівської коагуляції становить 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

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	Взаим.инв.
Инь.№подл.	Подп. и дата

Изь	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

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 градиєнта швидкості в потоці запилених газів. Найбільш характерним прикладом є течія газів біля твердої стінки каналу. У відповідності із законами гiдравліки, частинка поблизу стінки рухається з меншою швидкістю, ніж частинка, що знаходиться ближче до подовжньої осі каналу. Контакт часток можливий, за умови що відстань між ними менша суми їх розмірів. Дія градiєнтної 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 аерозолі. Вихровий рух середовища, що виникає внаслідок турбулізації, збільшує вірогідність зіткнення частинок і, отже, підвищує швидкість коагуляції.

Електростатична коагуляція

Істотно збільшити швидкість осадження частинок вдається в разі використання в якості рушійної сили електричних сил [27]. Найчастіше такі процеси реалізуються в електрофільтрах при очищенні газів. Під впливом постійної напруги, що подається на коронуючий та осаджувальний електроди, відбувається іонізація повітря і накопичення частками негативного заряду від вільних електронів. Під дією електричної сили частки осідають на осаджувальних електродах.

Инва.№подл.	Подп. и дата
Инва.№дубл.	
Взаим.инв.	
Подп. и дата	
Инва.№подл.	

Изва.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат
-------	------	----------	-------	-----

ТС 17510023

Арк.

35

У більшості випадків частки отримують електричний заряд в результаті дроблення або розпилення матеріалу під час русхуї в потоці газу через тертя частинок між собою та об стінки апарату, а також при обробці матеріалів в розпеченому стані внаслідок термоіонної і фотоелектричної емісії електронів. Крім того частинки можуть заряджатися в результаті хімічної реакції, під дією ультразвуку, рентгенівського і радіоактивного випромінювання та електромагнітної індукції. Число позитивних і негативних частинок може бути однаковим, але у деяких випадках можуть переважати частинки, що несуть заряд одного знаку.

Прикладом електрокоагуляції є метод агломерації (коагуляції) дрібних частинок у забрудненому газовому потоці. До процесу електрокоагуляції входять наступні етапи: створення електричних зарядів протилежної полярності у частинках, зміна фізичних характеристик потоку газу, що сприяє агломерації частинок. Цей метод відноситься до способу коагуляції частинок, зокрема електростатичної коагуляції для більш ефективного наступного уловлювання укрупнених частинок за допомогою відомих пилоочисних технологій (циклони, рукавні фільтри, та ін.), призначені для обробки пилогазових потоків з дрібнодисперсними частинками, зокрема $PM_{2,5}$. Електростатична коагуляція заснована на методі штучної іонізації, для перемішування потоку використано камеру змішування.

За даними [28–29], при іонізації газопилового потоку спостерігається збільшення рівня ефективності очищення пилогазового потоку від дрібнодисперсних частинок PM_{10} та $PM_{2,5}$ за рахунок коагуляції, мінімізація енерговитрат процесу пиловловлення та підвищення екологічної безпеки.

Таким чином, з метою мінімізації обсягів пилових викидів та зниження рівня техногенного навантаження на довкілля необхідна розробка заходів по удосконаленню систем пилоочищення. Огляд літературних джерел показав, що досягнути більшої ефективності очищення відхідних газів підприємства від дрібнодисперсного пилу можливо при електрокоагуляції.

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ПИЛОГАЗООЧИЩЕННЯ НА ТОВ «КЕРАМЕЙЯ»

Клінкерне виробництво ТОВ «Керамейя» розташоване у місті Суми та впроваджує діяльність з видобутку та переробки глинистих сланців з подальшим виробництвом цегли, черепиці та інших будівельних виробів з випаленої глини.

Виробнича структура ТОВ «Керамейя» складається з наступних виробництв і дільниць, що є джерелами забруднення атмосферного повітря: відкритий склад глини; лінії №1 та №2, в яких розміщені: дільниця масопідготовки, дільниця формовки, дільниця сушки та випалу з тунельною сушаркою, кейзинговою тунельною піччю; інфрачервоні обігрівачі на дільниці масопідготовки; на лінії брущатки дільниця сушки та випалу з камерною сушаркою; склад готової продукції з технологічним автотранспортом.

Річна виробнича потужність складає:

Всього: клінкерна керамічна цегла, брущатка, великоформатний керамічний блок – 129980 т. Клінкерна керамічна цегла – 93996 т, брущатка – 7181 т, великоформатний керамічний блок – 28803 т.

Характеристика виробничої лінії підприємства

Основною сировиною для виробництва керамічних виробів є коричневі і червоно-бурі суглинки Верхньосироватського родовища. Доставка глини з кар'єру здійснюється автосамоскидами і розвантажується самозсипом в бурти. На відкритому складі глина вилежується не менше 6 місяців, вологість глини підтримується не менше 18 % з метою уникнення пилення. Для зволоження глини використовують очищену воду з резервуару існуючих очисних споруджень дощових стоків. Робота складу сезонна 3 місяці на рік: червень, липень, серпень.

Дільниця масопідготовки призначена для заготівлі необхідної кількості сировинної маси. Глина з місця складування, за допомогою фронтального

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Инь.№подл.	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Подп. и дата	Инь.№инв.	Подп. и дата
Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат	

ТС 17510023

Арк.
37

вантажника потрапляє в два ящичні живильники, куди подаються пісок та додаткова глина. Далі суміш подається на дезінтеграторні вальці для подрібнення і ручного видалення крупних включень. Утворений при розмелюванні сировини пил вловлюється газоочисним обладнанням: на лінії №1 циклоном ЦН 15–500x4 з ефективністю очищення 80,1 %; на лінії №2 – блоком фільтрації з фільтром ТА 3000/3.0 з ефективністю очищення 80,4 %. Розмелена сировина подається в двовальний глинозмішувач, де подається вода в необхідній кількості. Отримана шихта транспортується до запасника для вилежування протягом 7 діб.



Рисунок 3.1 – Дільниця масопідготовки ТОВ «Керамейя»

Дільниця формовки призначена для формування цегли-сирцю. До сировини додається відходи золошлаків Сумської ТЕЦ, з суміші вилучається повітря, потім пресовим шнеком екструдера маса переміщується та продавлюється для отримання глиняного бруса, який посипається присипкою. Цей процес обладнаний циклоном ЦН 15–500x2 з рукавним фільтром з ефективністю очищення 80,2 %. Отриманий брус за допомогою автомата-різака розрізається на окремі цеглини. Обрізки видаляються за межі цеху і використовуються повторно для приготування шихти.

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	

Инь.№подл.	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 17510023

Далі цегла переміщується до тунельної сушарки. Сушка цегли-сирцю відбувається за рахунок подачі до сушильних зон необхідної кількості побічного гарячого повітря від випалювальної печі. Із цегли видаляються залишки води і продукти згоряння природного газу в пальниках. Отримана готова продукція охолоджується та подається на дільницю пакування.

На лінії сушіння тунельна сушарка працює на природному газі та твердому паливі – пелетах, що знижує кількість викидів від спалювання палив. Сушка тротуарної плитки здійснюється саме продуктами згорання природного газу у суміжній тунельній печі поряд, що також зменшує обсяги спалювання палива та, як наслідок, негативний вплив на довкілля.

На підприємстві виділяють 27 джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферу, найбільш небезпечними є джерела викидів на ділянках масопідготовки та формовки, що викидають дрібнодисперсний пил.

Наявна ефективність пилоочисного обладнання не забезпечує достатній рівень екологічної безпеки підприємства стосовно твердих частинок $PM_{2,5}$ та PM_{10} . Тонкодисперсні пилові частинки не затримуються очисними апаратами і потрапляють в атмосферне повітря, що призведе не тільки до забруднення навколишнього середовища, але й до втрат цінного продукту, який можна було б повертати до виробництва для повторного використання.

Утилізація наявного обладнання та повна його заміна новими коштовними апаратами вимагає суттєвих фінансових витрат від керівництва підприємства, що може бути проблемою для багатьох підприємців.

Тому, для підвищення ефективності очищення газових викидів від частинок пилу запропоновано використовувати метод попередньої іонізації для інтенсифікації процесу осадження. Попередня обробка пилогазового потоку компактним іонізатором призведе до коагуляційного ефекту. Укрупнені частинки легше будуть піддаватися гравітаційному осадженню у рукавних фільтрах, що призведе до збільшення ефективності вловлення

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инва.№дубл.
Подп. и дата	

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

дрібнодисперсного пилю, а також сприяє поверненню уловленої сировини назад до лінії виробництва, що є економічно доцільним.

Розрахунок ефективності очисного обладнання з використанням
попередньої коагуляції

На дільниці масопідготовки використовують циклон ЦН-15 з діаметром 500 мм з подальшою обробкою потоку рукавним фільтром, проте загальна ефективність 80 % є дуже малою для такого обладнання і не забезпечує необхідного рівня очистки від дрібнодисперсного пилю.

Для того щоб визначити рівень очищення саме дрібнодисперсних частинок циклоном використовуємо графічний метод розрахунку за допомогою графіку на рисунку 3.2.

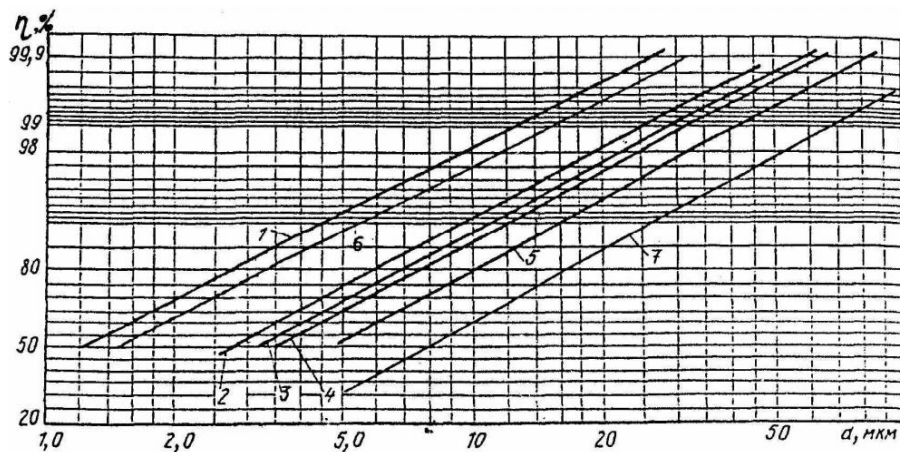


Рисунок 3.2 – Фракційна ефективність очистки циклонів: 1 – СК-ЦН-34;
2 – ЦН-11; 3 – ЦН-15; 4 – ЦН-15у;
5 – ЦН-24; 6 – СДК-ЦН-33

На графік фракційної ефективності очищення (рис. 3.2) наносимо точку з координатами 50 % і 5 мкм та з неї проводимо лінію, паралельну лініям графіків, що визначає фракційну ефективність очищення запроєктованого циклона.

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инва.№дубл.
Подп. и дата	

Изва	Лист	№ докум.	Подп.	Дат
------	------	----------	-------	-----

ТС 17510023

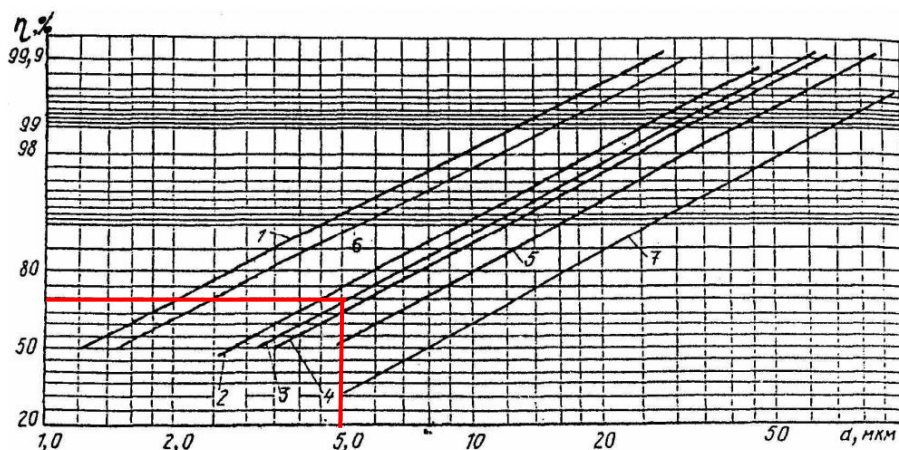


Рисунок 3.3 – Визначення ефективності очистки циклону від РМ₅

Відповідно до рисунку 3.3, за умови розміру частинок 5 мкм, знаходимо відповідну точку на осі Х. Встановлюємо перпендикуляр до перетину з побудованою кривою й по горизонтальній прямій на перетині з віссю Y одержуємо шукане значення ефективності очищення запроєктованого циклона, що складає лише 70 %.

Така ефективність пилоочисного обладнання призводить до збільшення техногенного навантаження на довкілля та втрат сировини, що вимагає розробки заходів по збільшенню ефективності систем пилоочищення.

З метою підвищення ефективності очищення відхідних газів від дрібнодисперсних частинок використовують високоефективне пилоочисне обладнання, проте це вимагає повну заміну наявних апаратів та високих економічних витрат. Економічно доцільним є метод попередньої коагуляції твердих частинок компактним іонізатором, який шляхом надання частинкам електричного заряду призводить до їх злипання та укрупнення у 2 рази.

Частинки більшого діаметру, як вже було сказано, легше піддаються гравітаційному осадженню у циклонах, через що ефективність очищення зростає.

Підп. и дата
Инв.№дубл.
Взаим.инв.
Підп. и дата
Инв.№подл.

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

Проводимо аналогічний графічний розрахунок ефективності циклону при попередній іонізації для укрупнених частинок діаметром 10 мкм, що наведений на рисунку 3.4.

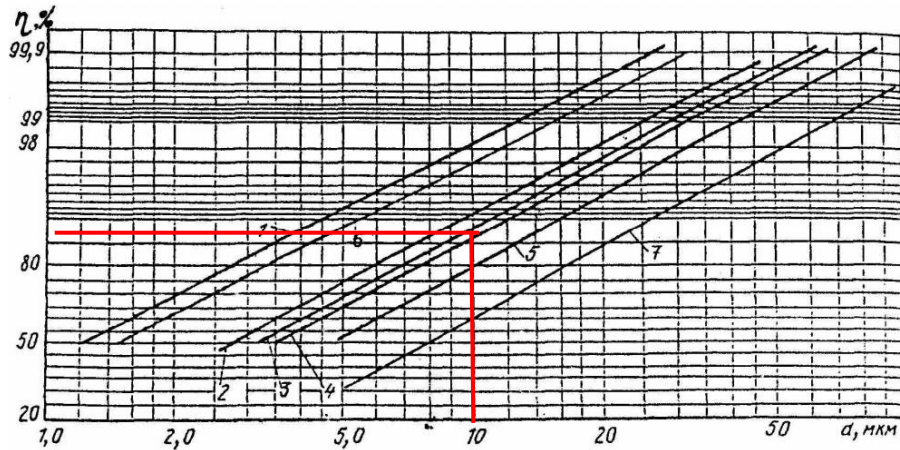


Рисунок 3.4 – Визначення ефективності очистки циклону від PM_{10}

Отримане значення ефективності очищення циклона при попередній обробці потоку коагулятором складає 87 %. У поєднанні з рукавним фільтром, обрані апарати зможуть забезпечити необхідний рівень екологічної безпеки на підприємстві, повернуть цінний продукт до виробництва та знизять техногенне навантаження ТОВ «Керамейя» на навколишнє природне середовище.

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инь.№дубл.	Подп. и дата

Инь.№подл.	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Подп. и дата
Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат	

ТС 17510023

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Головною метою охорони праці на будь-якому підприємстві є забезпечення оптимальних умов праці, які попереджують та мінімізують ризики небезпечного впливу різноманітних шкідливих факторів на працівників.

Відповідно до вимог Статті 153 Трудового кодексу України, керівник підприємства зобов'язаний забезпечити працівників та їх робочі місця відповідним технічним обладнанням, створити та підтримувати умови праці згідно загальних правил охорони праці та життєдіяльності [30].

Розглядаючи об'єкти клінкерної промисловості з процесами добуванням глинистого сланцю та виробництва керамічної цегли, використовуються горючі, легкозаймисті та вибухонебезпечні реагенти, вогнестійка сировина. Технологічний процес вимагає великої кількості електричної, теплової, механічної енергії, а також виникає енергія хімічних реакцій [31].

Для високої ефективності роботи, всі процеси видобутку сировини з кар'єру та технологічна лінія перетворення сировини є механізованими. Оскільки завданням керівництва підприємства є забезпечення безпечних та комфортних умов праці, працівники заводу повинні в обов'язковому порядку проходити вступний, первинний, повторний та цільовий інструктажі від інженера з охорони праці на підприємстві. Керівництво повинно докладати певних зусиль щодо підвищення свідомості працівників з метою поліпшення умов ведення робіт та якості виробничого середовища.

На підприємствах з виробництва керамічних матеріалів після приготування глинистої маси далі за технологічною схемою має проходити сушка та випал. Випал проводять у печах, в яких внутрішня температура для випалу матеріалу може досягати 1200 °С, в залежності від кінцевої продукції. Така температура, без вжиття додаткових заходів, може переходити в робочі

Инь.№подл.	Подп.и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп.и дата	

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

Арк.
43

приміщення та значно ускладнювати роботу працівників. В разі виникнення, така ситуація вказує, що на виробництві є небезпечний шкідливий виробничий фактор, який має назву підвищена температура обладнання. Неприпустимість виникнення підвищення температури обумовлена тим, що перебування організму людини у дискомфортному мікрокліматі призводить до ускладнення терморегуляційних властивостей організму, порушенню теплового балансу та виникненню інших системних порушень у працівників.

Перелік небезпечних факторів клінкерного виробництва на типових промислових ділянках [32]:

- загазованість повітря;
- забруднення приміщень. Оскільки виробництво цегли пов'язане з постійним транспортуванням сировини, утворюється велика кількість промислового пилу, що є шкідливим як для здоров'я людини, так і для якісного стану атмосфери;
- підвищення температури приміщень, машинного обладнання та безпосередньо пічі-сушарки цегляних виробів;
- зміна вологості повітря та швидкість його руху на ділянці сушки, так як температура всередині та зовні пічі відрізняється за температурою та, як наслідок, швидкістю переміщення простором ділянки;
- підвищений рівень шуму та вібрації, що завдає шкідливої дії на працівників підприємства на ділянках масозаготовки.

Технологічне обладнання на виробництві є джерелом постійного шуму. Згідно стандартів ДСН 3.3.6 037–99 [33] в промислових приміщеннях допустимий рівень шуму не має перевищувати 80 дБА. На ТОВ «Керамейя» рівень шуму у цеху становить 50–65 дБА, тобто є допустимими та нешкідливим для працівників.

З метою мінімізації шумового впливу та попередження негативного впливу на здоров'я людини, між джерелом шуму та робочим місцем встановлюють

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

спеціальні шумоізоляційні прилади такі як: перегородки, екрани, звукопоглиначі, засоби індивідуального захисту (навушники).

Насоси, преси, відсікачі є джерелами вібрації. Шляхом мінімізації рівня вібрації на виробництві є застосування сталевих пружинних амортизаторів. Фундаменти, на яких встановлено вібраційне обладнання, ізолюють від несучих конструкцій та комунікацій для запобігання поширення вібраційних хвиль за допомоги вібропоглинаючих гумових покриттів і мастик.

Особливої уваги заслуговує забезпечення відповідних мікрокліматичних показників у робочих приміщеннях. Шкідливі фактори та небезпечні умови праці на деяких ділянках кленкерного виробництва вимагають встановлення оптимальних норм температури, відносної вологості та швидкості руху повітря у промисловій зоні. Допустимі значення та норми при середній інтенсивності роботи обладнання визначаються окремо для холодного та теплого сезону року відповідно.

Забезпечення нормативних метеорологічних умов на ділянках формування та випалювання готової продукції встановлюється відповідно до ДСН 3.3.6.042–99 [34]. Для цього необхідно встановлення теплоізоляційних стін та системи вентиляції. Параметри для установок, що за класифікацією відносять до категорії Па – середньої інтенсивності, наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042–99

Температура повітря, °С		Відносна вологість повітря, %		Швидкість руху повітря, м/с, не більше	
оптимальна	допустима	оптимальна	допустима	оптимальна	допустима
18–20	17–23	60–40	75	0,2	0,3

Клінкерне виробництво є доволі матеріально та енергозатратним процесом, що потребує суттєвих витрат як сировини, так і робочої сили. Саме через це в процесі виробництва виникає багато проблемних питань, пов'язаних

Инв.№подл. Подп.и дата
 Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп.и дата

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 17510023

Арк.
45

із забезпеченням охорони праці, зокрема створення нормативних мікрокліматичних показників у виробничих приміщеннях підприємства.

Регулювання правил безпеки на технологічних лініях та їх устрій визначається нормативами та правилами техніки безпеки і промислової санітарії при виробництві цегли НПАОП 26.0-1.07-75 [35]. В них визначені правила поводження з виробничим устаткуванням, порядок проведення навчальних інструктажів з охорони праці працівників та перевірку цих знань впродовж всього періоду роботи, правила проведення транспортних, навантажувально-розвантажувальних робіт тощо.

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взаим. инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата
Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 17510023

Арк.

46

ВИСНОВОК

Для зменшення техногенного навантаження на довкілля від пилових викидів промислових підприємств необхідна розробка заходів по удосконаленню наявних систем пилоочищення для збільшення ефективності вловлення дрібнодисперсного пилу.

Огляд літературних джерел підтвердив небезпеку викидів дрібнодисперсного пилу для здоров'я людини та навколишнього природного середовища.

Аналіз існуючих методів пилоочищення показав, що досягнути достатнього рівня ефективності очищення відхідних газів від дрібнодисперсного пилу можливо при попередньому укрупненні дрібних частинок методом електрокоагуляції.

На існуючих підприємствах заміна пилоочисного обладнання вимагає високих економічних витрат, тому перспективним і економічно-доцільним представляється метод електрокоагуляції твердих частинок, заснований на попередній штучній іонізації запиленних газів у камері змішування.

Електрокоагуляція іонізатором є ефективним методом інтенсифікації процесу очистки пилогозового потоку від $PM_{2,5}$, оскільки укрупнені частинки легше піддаються вловлюванню, що забезпечує високу ефективність роботи наявного обладнання.

Пилоочисне обладнання на досліджуваному підприємстві ТОВ «Керамейя» у вигляді Циклону з рукавним фільтром не забезпечувало достатнього рівня екологічної безпеки з ефективність очистки лише 80,2 %. Запропоновано інтенсифікувати процес методом попередньої електрокоагуляції. Розрахунково доведено, що ефективність видалення пилових частинок циклоном у цьому випадку зростає з 70 % до 87 %. У поєднанні з рукавним фільтром, рівень очищення буде більшим ніж 90 %, що знизить рівень техногенного навантаження

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

Арк.

47

підприємством на довкілля та забезпечить повернення продукту назад до лінії виробництва, що є економічно доцільним.

Таким чином, іонізація твердих частинок є ефективним методом очистки газопилових сумішей, що дозволяє зменшити концентрацію дрібнодисперсного пилу у викидах, підвищити ефективність пиловловлення та знизити техногенне навантаження на природне середовище від пилового забруднення.

Инь.№подл.	Подп.и.дата	Взаим.инв.	Инь.№дубл.	Подп.и.дата
Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
ТС 17510023				Арк. 48

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ужов В. Н.. Борьба з пилом у промисловості. Госхимиздат – Москва, 1962. С. 184.
2. Бардіян Р.О., Антошкін О.А.. Електростатичне поле як інструмент для осадження пилу// Тези доповідей Другої Вскукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні». – Херсон. –2019. С. 126-127 с.
3. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
4. Маленький В. П. Професійні хвороби: навч. посібн. Київ: Нова Книга, 2001. 336 с.
5. Стахів І.Р. Вплив забрудненого повітряного середовища на стан здоров'я населення за 2001. Київський НУ ім. Тараса Шевченка, Київ – 2010р. С. 126–132.
6. Волкова Ю. В. До проблеми нормування дрібнодисперсного пилу в Україні/ Волкова Ю.В., наук. кер.: к. мед. н., доц. Севальнев А.І. //Тези доповідей V Регіональної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми та перспективи розвитку медичних, фармацевтичних та природничих наук», Запоріжжя – 2016. С. 152-155.
7. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25 чер. 1991 р. № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#n280>.
8. Про охорону атмосферного повітря: Закону України від 16 жов. 1992 р. № 2707-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>.
9. Екологічне право: підручник. / заг. ред.. Гетьман А. П. Харків, 2013 431 с. URL: https://pidru4niki.com/1220041155658/pravo/ekologichne_pravo.
10. Морозова Т. Нормування якості повітря: що потрібно знати природокористувачеві? ECOBUSINESS. Екологія підприємства. 2020. №10, URL: <https://ecolog-ua.com/news/u-chomu-rozbizhnosti-mizh-yevropeyskym-ta-ukrayinskym-pidhodamy-do-normuvannya-yakosti-povitrya>.

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат
----	-----	----------	-------	-----

ТС 17510023

11. Про затвердження Порядку ведення державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря: Постанова Кабінету Міністрів України від 13 груд. 2001 р. №1655. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1655-2001-%D0%BF>.

12. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря : Постанова Кабінету Міністрів від 14.08.2019 №827. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF>.

13. Правове регулювання відносин в сфері довкілля в Європейському Союзі та в Україні /В. Г. Дідиказаг. ред. Київ, 2007.

14. Щодо оцінки та контролю навколишньої атмосфери: Директива Ради від 27 вер. 1996р. № 96/62/ЄС.URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_498.

15. Про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи Директива 2008/50/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 21 тр. 2008р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_950.

16. Директива (Євросоюз) 2016/2284 Європейського Парламенту та Ради від 14 грудня 2016 року про скорочення викидів окремих атмосферних забруднюючих речовин на національному рівні, що вносить зміни до Директиви 2003/35/ЄС та скасовує Директиву 2001/81/ЄС. Реферативний огляд європейського права (Інформаційно-аналітичний дайджест). 2016. вип. 4 с. 58. URL:<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32016L2284>.

17. Щодо всеохоплюючого запобігання і контролю забруднень: Директива Ради від 24 вер. 1996р. №96/61/ЄС. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_497.

18. Стосовно контролю викидів летючих органічних сполук (ЛОС), що виникають зі сховищ нафти та при її транспортуванні з терміналів до сервісних станцій : Директива Європейського Парламенту та Ради № 94/63/ЄС від 20 груд. 1994 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_439.

Підп. і дата
Інв.№ добул.
Взаим.інв.
Підп. і дата
Інв.№ подл.

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 17510023

Арк.
50

19. Щодо скорочення вмісту сірки в деяких видах рідкого палива та зміни до Директиви N 93/12/ЄЕС: Директива від 26 кв. 1999 р. № 1999/32/ЄС. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_909#.

20. Урядовий портал: веб - сайт URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/media/ugoda-pro-asociaciyu/30_Annex.pdf.

21. Козак Л.А. Законодавство в галузі охорони атмосферного повітря: які ключові проблеми та головні завдання для України. ECOBUSINESS. Екологія підприємства. 2019. №11. URL: <https://ecolog-ua.com/articles/zakonodavstvo-v-galuzi-ohorony-atmosfernogo-povitrya-yaki-klyuchovi-problemy-ta-golovni>.

22. План імплементації Директиви 2008/50/ЄС Європейського Парламенту та Ради про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи: наказ Мінприроди України від 15.10.2014 р. № 317. URL: <http://old.menr.gov.ua/docs/activity-adaptation/N317.pdf>.

23. Довідник по пило- і золовловленню / Биргер М. И., Вальдберг А. Ю., Мягков Б. И. и др.; под общ. ред. А. А. Русанова. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.

24. Simulating PM_{2,5} Air Quality when only PM₁₀ is available: case study for South Korea Worldwide Air Quality: website. URL: <https://aqicn.org/experiments/south-korea-pm25-air-quality/>.

25. Батлук В.А., Ступницька Н.В., Дадак Ю.Р., // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні : український міжвідомчий науково-технічний збірник / Національний університет "Львівська політехніка" ; відповідальний редактор Стоцько З. А.. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – С. 3–5.

26. Андрейчиков М. В. Інноваційні розробки для підвищення ефективності сухого очищення повітря за допомогою ультразвуку / М. В. Андрейчиков // Гірничий вісник : науково-технічний збірник. – Кривий Ріг, 2015. – Вип. 99. – С. 65-68.

Підп. и дата
Инь.№дубл.
Взаим.инв.
Підп. и дата
Инь.№подл.

Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 17510023

Арк.
51

27. Пономарьова С. Д., Юрченко В. О., Пономарьов К. С. Інтенсифікація очищення викидів дрібнодисперсного пилу какао з допомогою попередньої іонізаційної обробки. Науковий вісник будівництва №1.– Харків. 2019 р. С. 246 – 250.

28. Optical Particle Counters. The University of Manchester: website. URL: <http://www.cas.manchester.ac.uk/restools/instruments/aerosol/opc/>.

29. Condensation Particle Counters (CPC). The University of Manchester: website. URL: <http://www.cas.manchester.ac.uk/restools/instruments/aerosol/cpc/>.

30. Закон України «Про охорону праці» від 27.02.2021 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>.

31. Куп'як І., Семенюк П.В. Аналіз безпеки праці у ТзОВ Мостиський цегельний завод «Промінь» Львівської області // Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів. – Львів. – 2017. – С.34–35.

32. Гогіташвілі Г. Г. Охорона праці на підприємствах промисловості будівельних матеріалів: Навч. посіб. / Гогіташвілі Г. Г. – К.: ІСДО, 1993. – 252с.

33. ДСН 3.3.6.037–99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

34. ДСН 3.3.6.042–99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

35. НПАОП 26.0–1.07–75. Правила техніки безпеки і виробничої санітарії при виробництві цегли та вапна.

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инь.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Инь.№подл.	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Подп. и дата	Инь.№инв.	Подп. и дата
Из	Лис	№ докум.	Підп.	Дат	

ТС 17510023

Арк.

52