

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра екології та природозахисних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього
середовища»**

Тема роботи: Технології очищення відхідних пилогазових викидів в цементній галузі

Виконав:
студентка Скриннікова
Валерія Дмитрівна

Керівник:
завідувач кафедри, д. т. н.,
професор Пляцук Леонід
Дмитрович

Залікова книжка
№ 19510062

Підпис: _____
дата, підпис

Підпис: _____

Консультант з охорони праці:
доцент Васькін Р.А.

Підпис: _____
дата, підпис

Захищена з оцінкою

оцінка, дата

Секретар ЕК
старший викладач Батальцев Є.В.

Суми 2023

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра екології та природозахисних технологій
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього
середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою _____

“ ___ ” _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студентові _____ Скринніковій Валерії Дмитрівні _____ Група ТС-91/1

1. Тема кваліфікаційної роботи: Технології очищення відхідних пилогазових викидів в цементній галузі.

2. Вихідні дані: статистичні дані, дані з наукометричної бази даних Scopus та вітчизняних наукових фахових видань, інтернет-джерела

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:

1. Список використаної літератури – 40 найменувань.
2. Рисунки – 9 найменувань.
3. Методи виробництва цементу.
4. Переваги та недоліки методів виробництва.
5. Технологічна карта виробництва цементної сировини.
6. Схема виробничого циклу цементу з імplementованим вузлом очистки для сухого методу.

4. Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2	3	4	5	6
1	Літературний огляд	+	+				
2	Аналіз проблеми			+			
3	Оброблення результатів				+		
4	Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях					+	
5	Оформлення роботи						+

Дата видачі завдання 30.03.2023

Керівник завідувач кафедри, д. т. н., професор Пляцук Леонід Дмитрович

РЕФЕРАТ

Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. Робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, переліку джерел посилання, який містить 39 найменувань. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 51 сторінок, у тому числі 8 таблиць, 8 рисунків, перелік джерел посилання сторінок.

Мета роботи – дослідження методів очищення відхідних газів у цементній промисловості та створення схеми промислової очистки газів.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та виконано такі завдання:

- описати процес виробництва цементу та характер викидів забруднюючих речовин;
- проаналізувати різноманітні методи очищення відхідних газів;
- дослідити ефективність застосування різних методів очищення відхідних газів та визначити найбільш оптимальні методи очистки;
- підібрати обладнання та описати промисловий вузол очистки відхідних газів, провести розрахунки.

Об'єкт дослідження – є процес виробництва цементу та відхідні гази, що утворюються під час цього процесу.

Предметом дослідження – є методи очищення відхідних газів у цементній промисловості, їх ефективність.

У кваліфікаційній роботі проаналізовано вплив на елементи довкілля діяльності цементних підприємств та склад забруднюючих домішок. Виконано огляд методів та апаратів очищення відхідних газів. Запропоновано підхід до очищення відхідних газів на промислових підприємствах різних методів виготовлення цементної продукції. Розроблено схему очищення відхідних газів для сухого мокрого та комбінованого методів виготовлення цементу.

Ключові слова: ОЧИЩЕННЯ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ, ЦЕМЕНТНА ПРОМИСЛОВІСТЬ, МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ, ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ ЦЕМЕНТНОГО ВИРОБНИЦТВА, ОЧИСТКА ВІД ПИЛУ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ПРОБЛЕМАТИКА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ВІД ДІЯЛЬНОСТІ ЦЕМЕНТНИХ ПІДПРИЄМСТВ	7
1.1 Вплив цементного виробництва на атмосферу	7
1.2 Хімічний склад забрудника	9
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЦЕМЕНТУ. ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА ПИЛОУТВОРЕННЯ.....	12
2.1 Джерела пилоутворення цементних заводів	12
2.3 Новітні напрямки виробництва цементу.....	17
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЦЕМЕНТУ	23
3.1 Методи очистки відхідних газів	23
3.2 Апарати для очищення відхідних газів	25
3.3 Аналіз переваг та недоліків методів та апаратів	30
3.4 Вибір апарату та схеми очистки від відхідних газів	34
РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНКИ АПАРАТУ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ЦЕМЕНТНОГО ПІДПРИЄМСТВА	37
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	41
ВИСНОВОК	45
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	47

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

ТС 19510062

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Скринніков			Технології очищення відхідних пилогазових викидів в цементній галузі	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Пляцук					4	51
Н.Контр		Батальцев				СумДУ, ф-т ТеСЕТ		
Затв.		Пляцук				гр. ТС-91/1		

ВСТУП

На сьогоднішній день однією з важливих галузей постачання будівельних матеріалів в Україні вважається цементна промисловість, яка почала свій розвиток ще з 1896 року. Виробництво цементної сировини широко розповсюджене на території України, до таких підприємств належать: ВАТ «Балцем», ВАТ «Подільський цемент» та ВАТ «Кривий Ріг Цемент». Під час виробництва цементу, а особливо, випалювання сировини при високих температурах, відбуваються викиди забруднюючих речовин, за рахунок яких поширюється негативний техногенний вплив на навколишнє середовище та здоров'я населення. Проблема збільшення обсягів забруднення від виробництва будівельних матеріалів – стає все більш актуальною.

Численні дослідження вказують, що у відхідних газах міститься значна кількість важких металів, кислот та інших забруднюючих речовин. У зв'язку з виробничими потужностями та обсягами викидів, цементне виробництво можна вважати однією з головних причин забруднення атмосфери та інших компонентів довкілля (за рахунок міграції забруднюючих речовин).

Саме тому, підприємства по виробництву цементу в Україні мають спрямувати свої ресурси на впровадження ефективних методів очистки відхідних газів для зниження негативного впливу на компоненти довкілля та місцеве населення.

Мета дипломної роботи – дослідження методів очищення відхідних газів у цементній промисловості та створення схеми промислової очистки газів.

В дипломній роботі були поставлені наступні задачі:

- описати процес виробництва цементу та характер викидів забруднюючих речовин;
- проаналізувати різноманітні методи очищення відхідних газів;

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 19510062

Арк

5

- дослідити ефективність застосування різних методів очищення відхідних газів та визначити найбільш оптимальні методи очистки;
- підібрати обладнання та описати промисловий вузол очистки відхідних газів, провести розрахунки.

Об'єктом дослідження – є процес виробництва цементу та відхідні гази, що утворюються під час цього процесу.

Предметом дослідження – є методи очищення відхідних газів у цементній промисловості, їх ефективність.

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 19510062	Арк
						6
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 1 ПРОБЛЕМАТИКА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ВІД ДІЯЛЬНОСТІ ЦЕМЕНТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

На сьогоднішній день для розвитку України необхідна сучасна промисловість. Високі промислові потужності – це запорука державної економічної стабільності, яка в свою чергу задовольняє потреби населення.

Умови місцевості, сировинна база, а також об'єми продукції, які споживає цільова аудиторія впливають на розташування цементних підприємств. Не менш важливим фактором для зростання та розвитку виробництва є екологічна ємність регіону – можливість зосереджувати вплив діяльності від промисловості без шкоди для середовища.

Будь-яке підприємство тим чи іншим способом забруднює довкілля. Накопичення промислових відходів, шкідливі, викиди утворені через спалення сировинних компонентів завдають вагомої шкоди як екології, так і економіці держави.

Загалом, цементна промисловість є одним з ключових джерел пилового забруднення в Україні. Це відбувається через тверді та газоподібні викиди, утворені в наслідок виробництва цементу, а також через скиди стічних вод після охолодження обладнання на певних виробничих етапах [1 – 4].

1.1 Вплив цементного виробництва на атмосферу

Важливим є хімічний склад елементів, які викидаються в атмосферу, який необхідно знати, за для прогнозування можливої взаємодії з компонентами довкілля. Цементний пил, який утворюється в великих обсягах, в промисловості та при житловому будівництві – є одним із компонентів забруднення повітря.

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

					ТС 19510062	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		7

Таблиця 1.1 – Хімічний склад цементного пилу в з'єднаннях [5]

Складові компоненти	Назва речовини	Вміст у пробі, %
Вапняк	CaCO ₃	49,3
Кремнезем	SiO ₂	15,02
Оксиди металів	SO ₃	9,4
	Al ₂ O ₃	9,2
	MgO	2,5
	Fe ₂ O ₃	1,4
	Na ₂ O	1,5
	K ₂ O	2,1
Важкі елементи	-	0,35
Продукти прожарювання	-	2,5
Невідомі компоненти	-	6,9

Цементний пил та його з'єднання (таблиця 1.1) несуть загрозу для здоров'я людини в цілому, але найбільш негативного впливу зазнають дихальні шляхи. Це може призвести до запалення легень, бронхіту, трахеїту, які поступово можуть переростати у хронічні форми. Пряма взаємодія людини з пилом може викликати захворювання шкіри та очей. Основні забруднюючі речовини, що викидаються в атмосферне повітря на території цементного виробництва наведені в таблиці 1.2 [5].

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 19510062	Арк
						8

Таблиця 1.2 – Забруднюючі речовини що викидаються в атмосферне повітря на території цементного виробництва [5]

Найбільш поширені забруднюючі речовини	Небезпечні забруднюючі речовини
оксид вуглецю; метали та їх сполуки; свинець та його сполуки; речовини у вигляді суспендованих твердих частинок; сполуки азоту; оксиди азоту; діоксид та інші сполуки сірки; сульфатна кислота	метали та їх сполуки; арсен та його сполуки; залізо та його сполуки; мідь та її сполуки; ртуть та її сполуки; хром та його сполуки; цинк та його сполуки; манган та його сполуки; неметанові леткі органічні сполуки; ацетон; ксилол; толуол; фтор та його сполуки.

1.2 Хімічний склад забрудника

Цемент – один з основних будівельних матеріалів, котрий при взаємодії з водою, водними розчинами та іншими рідинами утворює пластичну масу. З часом маса стає твердим тілом, на відміну від інших мінеральних в'язучих, які мають властивість тверднути тільки на повітрі чи продовжують тверднути в зовнішньому середовищі (гіпс, повітряний, гідравлічний вапняк).

Цементним пилом – вважається сухий, не залежаний цемент, з розміром частинок менших за 200 мкм. Частинки надовго зависають у повітрі, швидкість осадження від 0,2 до 6,0 см/с. Під час виготовлення цементної суміші збільшується обсяг викиду зважених часток, а разом з ним зростає і загальний рівень пиловиділення. Яке поширюється по всій території заводу. Тому, під час осипання цементного порошку утворюється пилова завіса [4,8].

У виробничих підрозділах з неорганізованими джерелами викидів показник безпечного рівня вмісту шкідливих речовин, а саме концентрація пилу, може перевищувати санітарні норми в 5 і більше разів (наприклад, в цехах фасування готової продукції, на станціях подрібнення фракцій цементної

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

						ТС 19510062	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			9

сировини та на дільницях транспортування сировини). На відміну від технологічних дільниць, в яких запиленість не перевищує ГДК, хоча й загальний рівень запиленості – є досить високим [5].

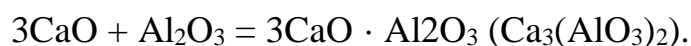
У виробництві цементу здебільшого використовують легкоплавкі глини, аргіліти і глинисті сланці, що утворюють частину цементної шихти. Другою основною її складовою частиною є карбонатні породи. Вапняк (75 – 80%) та глину (20 – 25%) змішують та випалюють при високій температурі (900 – 1500°C), в циліндричних печах встелених вогнетривким матеріалом всередині. Розмір цементних печей може сягати 185м у довжину та 5м у діаметрі.

Шихта, яка знаходиться у верхній частині печі повільно обертається завдяки чому матеріал пересипається внутрішнім периметром її поверхні рухається до нижньої частини назустріч розжареним газам – продуктам горіння палива (розпиленого вугілля або горючих газів). Цементні печі встановлюють горизонтально, з нахилом осі під кутом 10°.

Під час обпалювання поступово відбуваються головні хімічні перетворення цементного матеріалу. Випаровування вологи здійснюється при температурі 100 – 120°C. Вигорання органічних домішок може відбуватися тільки при температурах вищих за 500 °C. Розкладання вапняку відбувається при 800 – 1000 °C:



Силікати та алюмінати кальцію є основою легкоплавкої глини, яку утворюються під час взаємодії оксиду кальцію з діоксином силіцію SiO₂ і оксидом алюмінію Al₂O₃ при температурах в 1000 – 1300 °C :



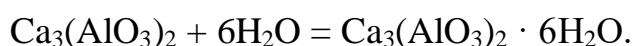
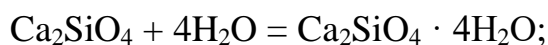
При температурі 1300 – 1450°C утворені силікати та алюмінати спікаються. Клінкер вивантажують з кінця печі, а потім охолоджують та розмелюють та упаковують у спеціальну тару [4, 5].

Інв.№поздл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	TC 19510062	Арк
						10
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

До складу цементу входять як домішки так і інші речовини. Та його склад зазвичай виражають процентним вмістом CaO, SiO₂, Al₂O₃ і Fe₂O₃. Звичайний, або силікатний цемент містить: CaO (60 – 67%); SiO₂ (17 – 25%); Al₂O₃ (3 – 8%); Fe₂O₃ (0,3 – 6%).

Найчастіше цемент використовують у суміші з піском у пропорцій 1 частини цементу до 3 – 5 частин піску. З додаванням води виходить напіврідка, тістоподібна маса, яка має назву цементний розчин. З часом він застигає, твердне та перетворюється на каменеподібний матеріал.

При звичайній температурі цементний розчин майже місяць твердне. На це впливає перебіг хімічних реакцій, найголовніші з яких можна зобразити такими рівняннями:



Бетон утворюється завдяки застиглому цементному розчину в суміші з щебнем і гравієм. При наповненні бетоном залізного каркасу (стержня, дроту тощо) матеріал можна назвати залізобетонним.

Залізобетон і бетон мають високу твердість та механічну міцність. Адже цемент дуже міцно зв'язується з залізом і має однаковий з ним коефіцієнт теплового розширення, при цьому бетон має високий опір до стиснення, а металоконструкція – до згину. Їх активно використовують при будівництві житлових будинків, мостів, каналів, гідроелектростанцій, заводських корпусів [4,5].

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 19510062	Арк
						11

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЦЕМЕНТУ. ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА ПИЛОУТВОРЕННЯ

2.1 Джерела пилоутворення цементних заводів

Існують різні методи виробництва цементу. До основних методів належать – сухий, мокрий, комбінований. Кожен з цих методів має свої особливості, кроки виробничого процесу, переваги та недоліки.

1. Сухий метод виробництва цементу. Даний метод виробництва цементу відрізняється тим, що сировина піддається сушці та подрібненню до потрібної фракції перед подальшою обробкою. Основні кроки виробничого процесу включають:

- підготовка сировини: сировина, така як вапняк і глина, постачається з кар'єрів та подрібнюються в дрібну фракцію.
- попередня гомогенізація та сушка: подрібнена сировина гомогенізується для забезпечення однорідності суміші. Потім сировина сишиться для видалення надлишкової вологи і підготовки сировини до подальшої обробки.
- помол: сушена сировина подається до млина, де вона помелюється до отримання порошку. Цей процес дозволяє збільшити поверхню частинок і покращити активність реакції під час подальшого обпалу.
- обпал: отриманий порошок піддається обпалу в ротаційній печі при високих температурах. Під впливом високих температур сировина перетворюється на цементний клінкер.
- додаткові кроки: після обпалу до клінкеру додаються добавки, такі як гіпс або попіл, для регулювання якості цементу. Потім клінкер подрібнюється до отримання кінцевого продукту – цементного порошку [4 – 8].

Інв.№поздл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 19510062				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

Таблиця 2.1 – Переваги та недоліки сухого методу виробництва цементу

Переваги	Недоліки
1. Економія води. 2. Менша вразливість до впливу атмосферних умов виготовленої продукції.	1. Енергозатрати на сушіння сировини 2. Вибірковість сировини 3. Більше обладнання та витрат на виробничий процес.

2. Мокрий метод виробництва цементу. Даний метод виробництва цементу відрізняється тим, що сировина змочується водою та піддається подальшій обробці у вигляді суспензії. Основні кроки виробничого процесу включають:

- підготовка сировини: сировина, така як вапняк і глина, постачається з кар'єрів і подрібнюється на маленькі частинки.
- змочування: подрібнена сировина змочується водою, утворюючи суспензію. Вода сприяє розчиненню речовин і розподілу компонентів сировини.
- помол: суспензія піддається процесу помолу для отримання порошку. Цей процес дозволяє збільшити поверхню частинок і забезпечити рівномірний розподіл компонентів.
- гомогенізація та дозування: отриманий порошок піддається гомогенізації для забезпечення однорідності суміші. Потім до суміші додаються додаткові компоненти для налаштування властивостей цементу.
- сушка: отримана суміш сушиться для видалення надлишкової вологи і підготовки до обпалу.
- обпалення: сушений порошок піддається обпалу в ротаційній печі, де відбувається хімічна реакція та формується клінкер.
- додаткові кроки: після обпалу до клінкеру додаються добавки, які регулюють якість цементу. Потім клінкер подрібнюється до отримання кінцевого продукту – цементного порошку [4 – 10].

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

Таблиця 2.2 – Переваги та недоліки мокрого виробництва цементу

Переваги	Недоліки
1. Висока якість та однорідність товару. 2. Можливість використання різних сировинних матеріалів. 3. Більш низька споживання енергії для помелу.	1. Велика споживання води. 2. Складність управління вологістю та потреба видалення відходів.

3. Комбінований метод виробництва цементу. Даний метод виробництва цементу поєднує елементи сухого та мокрого методів. Основні кроки виробничого процесу:

– підготовка сировини: сировина піддається подрібненню і розмелюванню, а потім змочується водою, утворюючи суспензію.

– суміш і помол: змочена сировина суміщається з додатковими компонентами, які регулюють властивості цементу. Потім суміш піддається помолу для отримання порошку.

– сушка: отриманий порошок сушиться для видалення вологи і підготовки до обпалу.

– обпалення: сушений порошок піддається обпалу в ротаційній печі, де відбувається хімічна реакція та формується клінкер.

– додаткові кроки: до клінкеру додаються добавки для регулювання якості цементу. Потім клінкер подрібнюється до отримання кінцевого продукту – цементного порошку.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 19510062	Арк
						14

Таблиця 2.3 – Переваги та недоліки комбінованого методу

Переваги	Недоліки
1. Гнучкість у виборі сировини.	1. Складність управління процесом та підвищені витрати на енергію для додаткового осушення.
2. Контролювання процесу та можливість модифікації.	
3. Продукти з високою якістю.	

Загальною характеристикою сухого, мокрого та комбінованого методів виробництва цементу є те, що вони всі передбачають підготовку сировини, помол, обпалення та додавання добавок. Вони відрізняються у способі підготовки сировини (сушка або змочування) та послідовності кроків у виробничому процесі.

Вибір методу виробництва цементу залежить від різних факторів, таких як властивості сировини, доступність ресурсів, енергетичні вимоги та вимоги до якості продукту. Кожен метод має свої переваги та недоліки, і вибір повинен здійснюватися з урахуванням конкретних умов та вимог виробництва цементу.

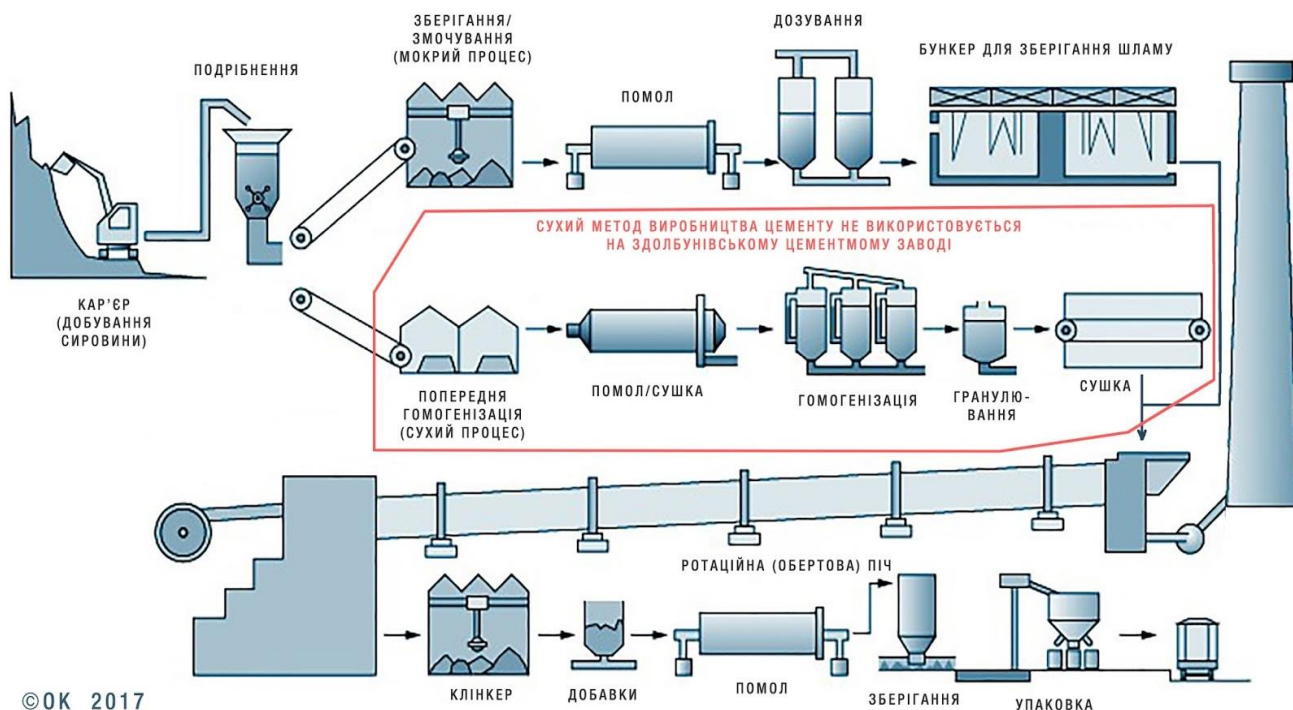


Рисунок 2.1 – Технологічна карта виробництва цементної сировини

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

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

ТС 19510062

Арк

15

Технологічна схема виготовлення цементу наведена на рисунку 2.1. На ній червоним виділена схема сухого виробництва цементу, які характерні для підприємств України.

Порівняння методів виробництва цементу. Сухий метод виробництва цементу є енергоефективним та економічно вигідним, оскільки не потребує великої кількості води та енергії для сушіння. Однак, він може призводити до викидів пилу та впливати на якість отриманого цементу.

Мокрий метод виробництва цементу забезпечує кращу якість та однорідність продукту, але вимагає значно більшої кількості води та енергії для змішування та сушіння. Комбінований метод поєднує переваги обох методів, проте вимагає більшої складності технологічного процесу та більших інвестицій.

У підсумку, кожен метод виробництва цементу має свої переваги та недоліки. Вибір методу залежить від різних факторів, таких як економічність, доступність сировини та вимоги до якості продукту [4 – 8].

2.2 Основні джерела пилоутворення при виробництві цементу

Конвеєрні лінії та пневмотранспортування – це основні джерела пилоутворення цементних заводів, за допомогою яких транспортується сировина, а також готова продукція.

Також активними генераторами пилу є обертові печі та дробильно-сушильні установки. Обертovими печами виділяється більшість пилу, який викидається в атмосферу на перших етапах виробництва цементу (більше 80%), решта – дробильно-сушильними установками, сировинними та цементними млинами, силосами зберігання сировинних матеріалів та станціями добавок.

Далі наведемо деякі фактори цементного виробництва, які впливають на склад, вологість, хімічні властивості пилу.

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

ТС 19510062

Арк

16

1. В обертових печах сухого виробництва пил має низький зміст вологи, високий питомий електричний опір ($УДС = 1,0 \cdot 10^9 \text{ Ом-м}$), та тонкий дисперсний склад (частки розміром нижче 5 мкм до 75%).

2. Пил і добавки, які містяться в сушильних барабанах сировини мають високу вологу (температура точки роси 40-60 °С) та широкий діапазон коливань концентрації аерозолю (15-70 г/м³).

3. Пилова суміш, що утворюються при дробленні і транспортуванні сировинних матеріалів мають грубодисперсний склад (близько 70% частинок більше 5 мкм), а температуру і вологість відповідну до показників навколишнього середовища.

4. Висока концентрація (до 500 г/м³) і велика кількість частинок тонких фракцій 5 мкм до 65%) міститься у пилу сировинних млинів.

5. В пилу цементних млинів вологість може коливатись в досить широких межах (температура точки роси 22 – 60°C), також пил має високу вхідну концентрацію (що досягає величини 960 г/м³).

6. Пил обертових печей з конвеєрними кальцинаторів містить низьку вологовмісткість (температура точки роси 32 – 48°C) і містять грубодисперсні частки (80% частинок розміром понад 5 мкм).

Отже, підсумуємо і виділимо деякі причини високого рівня пилу, який утворюється у цементній промисловості України:

- недосконала система автоматизації та герметизації технологічних процесів;
- низький рівень встановлення газоочисного обладнання на стаціонарних джерелах викидів забруднюючих речовин;
- тривала інтенсивна експлуатація застарілого устаткування зі значним матеріальним і майже повним моральним зносом;
- відсутність методів знепилення від неорганізованих джерел [5 – 13].

2.3 Новітні напрямки виробництва цементу

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 19510062

Арк

17

Цементні заводи – є одним з найбільших забруднювачів повітря, а також одним основних джерел викидів парникових газів серед промислових секторів. Лідерами з виробництва цементу у світі є Китай, який виробляє 2,5 млрд/рік, Індія – 285 млн т, та США – 80 млн т.

Виробництво цементу наразі супроводжувалося викидами в 1,9 гігатонн вуглекислого газу на рік, що, за різними підрахунками, є причиною від 5 до 8% світових викидів парникових газів, з яких понад 1,5 гігатонн вуглекислого газу – це викиди від цементних печей. Прогнозується, що без вжиття заходів зі скорочення викидів вуглекислого газу їх обсяг щорічно зростатиме на 3%.

Інтенсивність викидів на тону виробленої продукції відрізняється в різних регіонах світу. Наприклад, у Німеччині цей показник і становив 0,63 т CO₂-екв на т виробленого цементу, у США – 0,81 т CO₂-екв на т.

Середній показник інтенсивності викидів парникових газів при виробництві цементу у світі становить 0,79 т CO₂-екв на т. У 2019 році в Україні було вироблено близько 9,8 млн т цементу та 6,4 млн т клінкеру, що також робить цю галузь значним джерелом викидів CO₂ – 3,33 млн т, за даними Міністерства природних ресурсів України.

Існує три основні джерела прямих викидів CO₂ від виробництва цементу. Перше – це прямі викиди від процесу випалу (54%), друге – спалювання палива (43%), а також непрямі викиди, пов'язані зі споживанням електроенергії (12%).

Виробництво цементу не можна просто "очистити" за рахунок використання відновлюваних джерел енергії або підвищення ефективності, оскільки більша частина викидів CO₂ в цементній промисловості пов'язана не з енергетикою, а з безпосереднім процесом виробництва цементу з вапняку. Простіше кажучи, клінкер, основний компонент цементу, виробляється шляхом розділення вапняку на кальцій та вуглекислий газ. Кальцій використовується далі, а вуглекислий газ викидається в атмосферу [10, 11].

Підп. і дата
Інв.№доубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№поذل.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 19510062	Арк
						18

Незалежні дослідження міжнародних організацій, серед яких Міжнародне енергетичне агентство та Міжнародна бізнес-рада зі сталого розвитку (WBCSD) визначили чотири основні шляхи декарбонізації цементної промисловості:

- підвищення енергетичної (теплової та електричної) ефективності;
- заміна традиційних викопних видів палива на аналоги з нижчим вмістом вуглецю;
- заміна клінкеру на альтернативні матеріали з цементуючими властивостями;
- використання УЗВ-технологій.

Донедавна цементна промисловість була зосереджена на перших трьох заходах, що призвело до значного скорочення викидів CO² за останні 10 – 20 років. Але можливості для подальшого скорочення за допомогою таких засобів обмежені. Всі наступні скорочення викидів CO² в галузі будуть залежати від розвитку інноваційних низьковуглецевих цементних матеріалів та розвитку альтернативних джерел енергії.

До інноваційних технологій виробництва цементу належать наступні методи.

1. Заміна вапнякового клінкеру за для скорочення викидів CO² в цементній промисловості. Заміна вапнякового клінкеру іншими матеріалами може значно зменшити вміст вуглецю в цементі, але дослідження і розробка відповідних речовин все ще триває. Наприклад, такими замінниками можуть бути деякі геополімери, які характеризуються на 80% меншими викидами CO², ніж традиційний цемент.

Однак неможливість розведення їх водою через високу лужність робить геополімери нестабільними і менш довговічними. Виробництво цементу може бути на магнієвій основі. Цементний завод у Портленді (США) використовує технологію перетворення силікатів магнію в оксид магнію з використанням низьковуглецевих і низькотемпературних процесів, а також додавання мінеральних добавок для зміцнення матеріалу і поглинання CO². У майбутньому

Підп. і дата	
Інв.№докл.	
Взаєм.інв.№	
Інв.№дубл.	
Підп. і дата	
Вип	Арк

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 19510062

Арк

19

ця технологія може стати основою для виробництва цементу з нульовим вмістом вуглецю.

Такі добавки, як летюча зола, вулканічний попіл і сталеливарний шлак, також широко використовуються для заміни вапнякового клінкеру. Однак пропозиція цих матеріалів обмежена через їх використання в інших процесах. Крім того, летюча зола утворюється в результаті роботи вугільних електростанцій, що ставить під сумнів кліматичну стійкість такого рішення.

2. Використання технологій УЗВ (технології уловлення вуглецю). У 2007 році ECRA провела дослідження щодо застосування технології УЗВ у цементній промисловості. Цементні компанії, виробники обладнання та розробники технології доклали спільних зусиль для її впровадження. Основним методом є уловлювання після спалювання та спалювання палива, збагаченого киснем. Установка для очищення димових газів в кінці традиційного виробництва клінкеру поглинає CO₂ з димових газів у спеціальну хімічну рідину, після чого рідина регенерується і відділяється чистий CO₂.

3. Використання геотермальної енергії для нагрівання ротаційних печей може значно знизити викиди вуглецю та залежність від скорочених видів енергії.

Геотермальна енергія є однією з перспективних технологій, яка може внести значний внесок у зменшення викидів вуглецю та покращення сталості виробництва цементу. Цей підхід передбачає використання тепла, яке накопичується в надрах Землі, для нагрівання ротаційних печей, які є ключовими установками у виробництві цементу.

За результатами досліджень в цій сфері, використання геотермальної енергії дозволяє значно знизити викиди CO₂ у цементній промисловості. Це досягається завдяки заміні викопного палива, яке зазвичай використовується для нагрівання печей, на енергію, отриману з геотермальних джерел. Застосування геотермальної енергії також знижує залежність цементної промисловості від

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

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

ТС 19510062

Арк

20

скорочених видів енергії, таких як вугілля або нафта, що сприяє створенню більш сталого виробничого процесу.

На сьогоднішній день деякі цементні заводи у світі вже успішно використовують геотермальну енергію для нагрівання ротаційних печей. Це свідчить про реальну придатність та перспективність цієї технології в цементній промисловості.

Заміна традиційних джерел енергії на відновлювані, такі як сонячна або вітрова, може знизити емісію вуглецю та зменшити вплив на клімат. Виробництво цементу, яке використовує відновлювану енергію, стає все більш популярним.

Стаття "Renewable energy transition in the cement industry: Assessing carbon mitigation options through techno-economic modelling for policy insights", розглядає проблему заміни традиційних джерел енергії на відновлювані в контексті виробництва цементу. Вони використовують техноекономічне моделювання для оцінки варіантів зменшення викидів вуглецю із застосуванням відновлюваних джерел енергії, щоб отримати важливі висновки для формування політики в галузі [9].

4. Карбонізація цементу. Використання викидів вуглекислого газу та інших карбоновмісних газів з промислових джерел або повітря для виробництва карбонатів може допомогти зменшити викиди CO₂ та зробити цемент більш стійким та міцним.

Стаття "An overview of accelerated carbonation technology in the field of mineral carbonation" розглядає проблему зменшення викидів CO₂ під час виробництва цементу шляхом застосування технології карбонатизації. Автори досліджують можливість використання викидів CO₂ з промислових джерел або повітря для виробництва карбонатів, які можуть бути використані в цементній промисловості [10].

Принцип карбонізації полягає у змішуванні CO₂ з цементними матеріалами або іншими підходящими матеріалами для утворення карбонатів.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 19510062

Арк

21

Цей процес може відбуватися при нормальних атмосферних умовах або при використанні підвищених температур і тиску для прискорення реакції.

Дослідження, проведене авторами, показує, що технологія карбонатації має великий потенціал для зменшення вуглецевого відбитку цементної промисловості. Вона не тільки дозволяє використовувати відходи вуглекислоти, що інакше були б викинуті в атмосферу, але й робить цемент більш стійким до впливу часу [30 – 35].

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 19510062	Арк
						22
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЦЕМЕНТУ

3.1 Методи очистки відхідний газів

Організаційні та технічні заходи необхідні для попередження викидів ЗР в атмосферне повітря. Технічні заходи – це заходи спрямовані на очищення повітря, яке відбувається різними методами. Організаційні методи – спрямовані на попередженню викиду без їх очищення.

На сьогоднішній день якість та ступені очищення викидів в атмосферу мають високі вимоги. Для того щоб ці вимоги були дотримані, необхідно використовувати устаткування та технологічні процеси, які забезпечують нейтралізацію утворених шкідливих речовин, знижує або виключає викид шкідливих речовин, а також необхідність у використанні енергетичного та виробничого обладнання, яке насамперед, виділяє кількість шкідливих речовин у мінімальному об'ємі.

Можна поділити на наступні групи за шляхами очистки:

- очистити вихідні гази від газоподібних шкідливих речовин (CO₂, NO₂, SO₂, SO₃ та інші);
- зменшити забруднення, спричинене вихлопними газами від роботи обладнання;
- зниження викидів під час транспортування вантажу, завантаження та розвантаження;
- видалення пилу та аерозольних викидів шкідливих речовин.

Також є методи очищення викидів від шкідливих речовин в атмосферу:

- хімічні;
- фізичні;
- механічні;

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 19510062	Арк 23
-----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

- фізико-хімічні;
- комбіновані.

В хімічних методах є реакції відновлення, окислення, термоокислення, нейтралізації та каталізації [14 – 20].

Фізичні методи ґрунтуються на використанні конденсації, охолодженні кристалізації, на використанні електростатичних та електричних полів, поглинанні шкідливих речовин.

У механічних методах присутні сили гравітації, інерції, принципи сепарації, дифузії, відцентровані сили та інші.

Фізико-хімічні методи опираються на принципи абсорбції, адсорбції, хемосорбції, флотації, а також коагуляції.

Комбіновані методи – це методи, яких присутні всі групи способів очищення викидів.

Від кількості відхідних газів та складу залежить вибір потрібного методу очищення. Для очищення газових викидів від грубо дисперсного пилу обирають механічний метод. Саме завдяки ньому пил відокремлюється за допомогою сили гравітації, інерції або відцентрової сили.

З урахуванням кількості пилу, його властивостей, розміру часточок, наявності водяної пари, швидкості газового потоку можна обрати систему пиловловлювання. Їх існує два види: сухе та мокре очищення. Через можливість повернути вловлений пил у виробництво, а також з економічної точки зору надаємо перевагу сухому типу. В той час коли мокрий більш матеріально затратний через утворення водяних суспензій. З недоліків сухого пиловловлювання є те, що тільки при невеликій кількості запилення відхідних газів забезпечується високий ступінь очищення.

Сухе, механічне пиловловлювання реалізується в механічних та електричних фільтрах, циклонних сепараторах і осаджувальних камерах (гази з грубодисперсними часточками від 50 до 500 мкм та більше).

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

						ТС 19510062	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			24

Під час контакту осаджених частинок пилу на поверхню рідини та запиленим газовим потоком з рідиною і винесенні їх з апарату відбувається процес мокрого пиловловлювання. Під дією сил інерції та броунівського руху і відбувається осадження частинок пилу на рідину.

Сили інерції залежать від маси краплин, частинок та від швидкості з якою вони рухаються. Частинки пилу при зближенні оминають краплини і їх не можливо вловити рідиною, на це впливає маленький розмір частинок (менше 1мкм), через що вони не мають достатньої кінетичної енергії.

Також для частинок малого розміру характерний броунівський рух. Під час зменшення швидкості руху газового потоку в апараті досягається висока ефективність очищення частинок від домішок.

Великий вплив на осадження мають і процеси випаровування, конденсації, турбулентна дифузія, взаємодія електрично заряджених частинок тощо. Значущим фактором в мокрих пиловловлювачах є змочуваність частинок рідиною. Процес очищення більш ефективний коли змочуваність краща

3.2 Апарати для очищення відхідних газів

Для вилучення твердих частинок з газових потоків використовуються апарати для механічного очищення відхідних газів. В цементній промисловості та інших промислових галузях здебільшого і використовують такі апарати

Основні апарати відхідних газів включають:

Камерні пиловловлювачі – використовують для захоплення крупнодисперсного пилу (100 мкм та більше) з забрудненого потоку газів (рисунок 3.1).

Під час попадання газу в осаджувальну камеру знижується швидкість руху і частинки пилу під дією своєї власної ваги осаджається в нижню ділянку камери, після чого будь-яким способом вивантажується. Вже очищена газова суміш від крупного пилу опиняється на подальшій стадії пиловловлення.

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

ТС 19510062

Арк

25

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

Пиловловлювальні камери досить габаритні, через що їх використовують обмежено (наприклад, як розвантажувальні камери барабанних сушарок). Ці апарати мають досить непогану ефективність (40 – 60%).

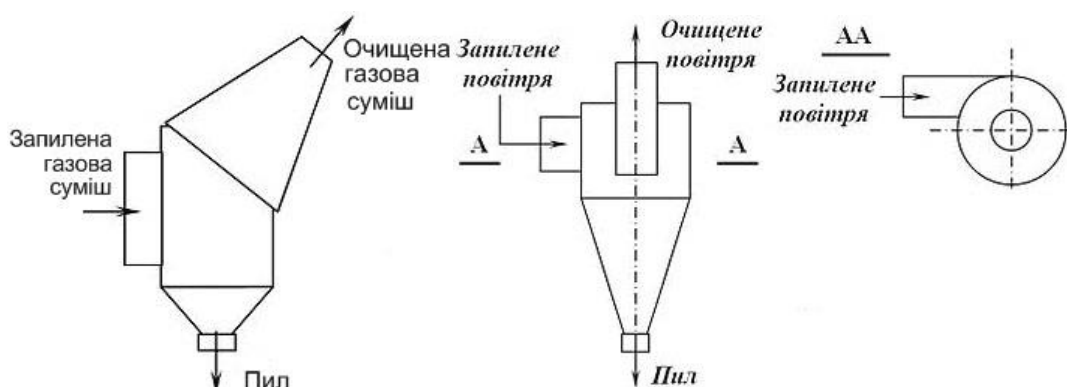


Рисунок 3.1 – Схема роботи пилоосаджувальної камери та схема роботи циклону

Циклонні пиловловлювачі – відносяться до класу пиловловлювачів інерційного типу. Їх використовують для захоплення пилових частинок розміром від 5 мкм (рисунок 3.2).

Циклони діють коли пилогазова суміш подається дотично до внутрішньої поверхні циліндричної частини корпусу після чого рухається гвинтовою лінією згори вниз

При взаємодії газового потоку, а також своєї власної ваги, притиснуті до внутрішніх стінок, частинки пилу рухаються по спіралі вниз, після чого через спеціальну насадку в кінчній частині циклону вивантажуються.

Повітря, яке вже очищене від пилу витинається через осьовий патрубок, який присутній у верхній частині циклону. В звичайних циклонах повітря очищується на 60 – 95%, в залежності від діаметру вловлюваних частинок.

Щодо батарейних циклонів, вони складаються з окремих циклонів, невеликого розміру, розраховані для виділення пилу до 5 мкм та котрі діють паралельно. Їх використовують різними за розміром, конструкцією чи

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 19510062	Арк
						26

підведенням запиленого повітря. Показник захоплення пилових часток з загального потоку становить – 97 – 99% (від 5 мкм).

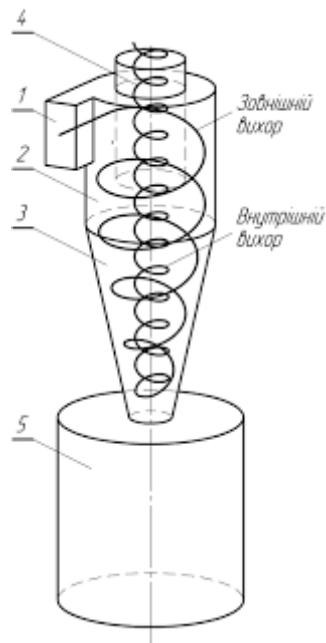


Рисунок 3.2 – Загальний схематичний вигляд циклона: 1 – вхідний патрубок; 2 – циліндрична частина; 3 – конічна частина; 4 – вихлопний патрубок; 5 – бункер.

Фільтр – це конструкція для механічного очищення відхідних потоків газів, через фільтр-елементи (наприклад, тканина, поліестерол та різні засипки) за для втримання твердих частинок (рисунок 3.3). Розберемо принцип його дії. Він працює завдяки відокремлення твердих частинок від газового потоку на поверхні фільтру. Зазвичай фільтри використовують для очищення відхідних газів (дим, пил) [20 – 27].

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата
ТС 19510062				
				Арк
				27
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

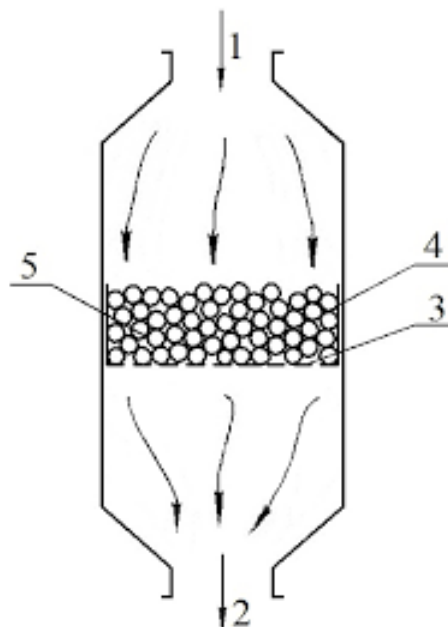


Рисунок 3.3 – Схема роботи простого фільтра: 1 – вхідний патрубок, 2 – вихідний патрубок, 3 – 5 – прошарок фільтр-елементів

Електрофільтри – використовують для захоплення пилових часток розмірами до 0,1 мкм з ефективністю вловлення до 99,9% (рисунок 3.4). Вони можуть очищувати повітря та різні гази зі складними хімічним складом, високою вологістю та температурами.

Такі фільтри використовують коли виникає необхідність у чіткому очищенню великих об'ємі газів, котрі містять в собі тонкодисперсний пил з дорогих або токсичних речовин та при очищенні вентиляційних установок.

Електрофільтр має схожість з електричним сепаратором з коронними електродами. Коронні електроди електрофільтрів реалізуються як металеві стержні встановлені всередині труб чи між пластинами. Вони постійно заряджаються негативним струмом з напругою до 60 кВ.

Осаджувальні електроди електрофільтрів реалізуються у вигляді заземлених вертикальних труб чи пластин. Вони мають позитивний заряд. І коронні, і осаджувальні електроди збираються в герметичній камері, через яку в проміжках між ними протискається до гори з низу пилогазова суміш. Частинки негативно заряджаються та осаджуються на електродах під дією коронних

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 19510062
-----	-----	----------	-------	------	-------------

розрядів. Час від часу пил струшується в пиловий бункер, а очищений газ викидається у повітря.

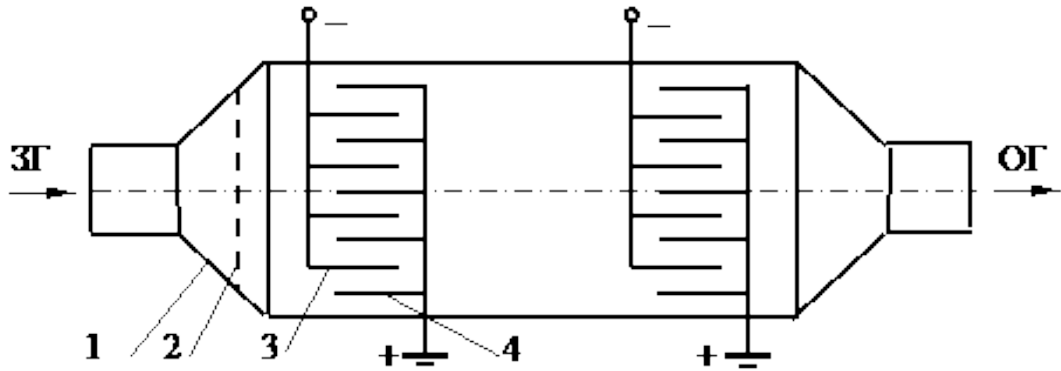


Рисунок 3.4 – Схема конструкції однозонового двофазного електрофільтру: 1 – корпус фільтру; 2 – газорозподільна решітка; 3 – система коронувальних електродів; 4 – осаджувальні електроди

Мокрі пиловловлювачі використовують шар води за для очищення пилових газових потоків. Пилові частки проходять через зважені частинки води, які мають високу контактну поверхню та захоплюють тверді частинки (рисунок 3.5).

Він представляє з себе циліндричної форми резервуар 1, який повністю наповнений водою. Через нього барботує запилене повітря та подається центральною трубою що занурена під шаром води 2. Під час проходження через водний шар пилогазова суміш очищається через патрубок 3.

Після чого пил осідає у воді і продовжує накопичуватися у кінчній ділянці пиловловлювача і систематично пропускається через патрубок у вигляді шламу. Ефективність мокрих пиловловлювачів становить 98% для часток пилу більших за 5 мкм [19, 20].

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

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

ТС 19510062

Арк

29

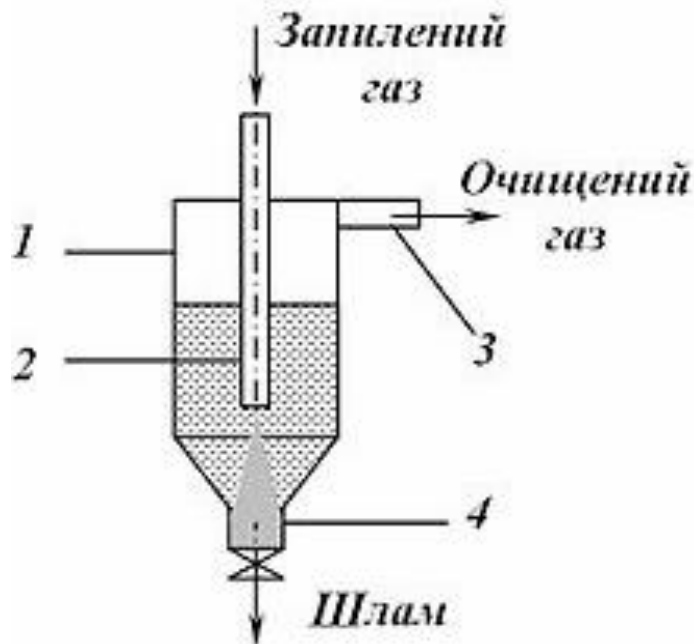


Рисунок 3.5 – Схематичне зображення мокрого пиловловлювача: 1 – циліндроконічний резервуар; 2 – центральна труба; 3 – верхній патрубок; 4 – нижній патрубок

3.3 Аналіз переваг та недоліків методів та апаратів

Розглянемо переваги та недоліки мокрих пиловловлювачів у порівнянні з іншими типами апаратів.

До основних переваг мокрих пиловловлювачів належать:

- низька вартість і висока ефективність пиловловлення;
- очищення газів від частинок розміром до 5 мкм;
- можливість очищення газу при високій температурі та вологості, а також при високій пожежо- та вибухонебезпеці процесу очистки;
- здатність вловлювати як пар, так і газоподібні разом із пилом.

Під час криволінійного руху запиленого потоку газу під дією відцентрових сил відбувається осадження пилу. Під дією цих сил з потоку газу виділяються частинки, які відкидаються на поверхню осадження апарату газоочищення.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 19510062

Для очищення дрібних частинок найефективнішим способом вважається фільтрування. Це хід розділення неоднорідних систем із дисперсною твердою фазою завдяки пористих перегородок, які, в свою чергу затримують тверді дисперсні частинки і легко пропускають дисперсійне середовище. Також є різновиди фільтрування газових систем, на це впливають властивості дисперсійного середовища.

У природоохоронних технологіях фільтрування застосовується для санітарного очищення запилених газів, в установках кондиціонування повітря.

Переваги використання процесу фільтрування для очистки пилогазової суміші:

- висока ефективність очищення до 99% для частинок діаметром менше 1 мкм;
- апарат займає не велику виробничу площу;
- можливість регенерації фільтру, що збільшує термін експлуатації фільтрувального елемента.

Електрофільтри застосовують для тонкого очищення газів від пилу. Вони мають змогу очищувати газ не лише від пилу, а й від гідрозолів та аерозолів, отже можуть вловлювати більш дисперговані часточки. Електрофільтр складається осаджувального електроду (+) та коронувального електроду (-). Осаджувальний має вигляд трубки чи пластини. Також електрофільтр потребує струм з високою напругою (50 – 100 кВт).

Під час напруги між електродами 15 кВ/см повітря іонізується внаслідок чого виникають позитивні та негативні заряди. Заряджені частинки діють на часточки пилу, рухаються до протилежно заряджених електродів та осідають на них.

Струшувальні пристрої 5-ударно-молоткового типу використовують при потребі очищення від пилу поверхні електродів. Саме електрофільтри мають змогу очищувати великі об'єми газів з часточками 0,01 – 100 мкм та при

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

					ТС 19510062		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			31

температурі газів 500 °С. Фільтр має найвищий ступінь очищення (99,9%) під час роботи при невеликих потоках газів [3, 20 – 25].

Для видалення осадів утворених під час очищення механічних частинок зазвичай використовують доповнені циклонами труби Вентурі. Виготовлену з металу, цегли чи залізобетону циліндричну або прямокутну башту називають порожнистим форсунковим скруббером. Вони працюють за допомогою газу, який рухається знизу вгору, а поглинаюча рідина розпилюється згори вниз форсунками. Діє принцип протитечії.

Швидкість потоку газів в скрубберних апаратів становить 1,0 – 1,5 м/с. Ефективність очистки залежить від коефіцієнту змочування в апараті та може досягати 96 – 98% вловлення для частинок більших за 5 мкм.

Для того щоб вловити важко-змочувальний пил у воду додають поверхнево-активну речовину (ПАР). Скрубери використовують для гарячих та холодних газів, в яких не містяться токсичні речовини (кислоти, хлор та інші), бо саме вони виділяються в атмосферу у вигляді туману разом з очищеним газом.

Отже, очищення відхідних газів на цементних заводах є важливим аспектом охорони довкілля. Тверді частки, що викидаються в атмосферу, можуть мати негативний вплив на здоров'я людей і тварин, а також на рослинний покрив. Для зменшення викидів твердих часток застосовують різні методи очистки відхідних газів, такі як електрофільтри, фільтри та циклони.

Електрофільтри працюють по принципу електростатичного заряджання твердих часточок, через що вони притягуються до колектора та являються іншим очищувачом відхідних газів на цементних заводах. Вони мають найбільшу продуктивність вловлення твердих часток на відмін від рукавних фільтрів з імпульсною регенерацією.

Але, є й певні недоліки, такі як висока вартість та енергетичні затрати. Адже електрофільтри потребують достатньої кількості електроенергії. Це може завдати високих витрат для підприємств працюючих в цементній галузі.

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

ТС 19510062

Арк

32

Фільтри мають середню вартість та забезпечують високу ефективність вловлювання твердих частинок. Хоча вони більш вибагливі в обслуговуванні та заміні елементів фільтруванні.

Циклони мають найнижчу вартість серед розглянутих методів очистки відхідних газів, але їхня ефективність вловлювання твердих частинок найменша та не перевищує 85% для тонкодисперсних частинок. Крім того, циклони не забезпечують повної очистки відхідних газів від шкідливих речовин, таких як SO_x та NO_x [19 – 23].

Для підприємств з виробництва цементу найбільш відповідними до технічних параметрів та економічної ефективності – є одиночні та батарейні циклони. Батарейний циклон забезпечує високий рівень збору твердих частинок та інших забруднень з відхідних газів. Його конструкція передбачає формування вихрового потоку, що сприяє розділенню твердих частинок від газу шляхом дії центробіжної сили. Це дозволяє ефективно збирати пил та інші забруднення, що містяться в відхідних газах.

Мінімальні експлуатаційні витрати. Батарейний циклон є простим в установці та експлуатації. Його конструкція не вимагає використання додаткових фільтрувальних матеріалів або хімічних реагентів, що знижує витрати на обслуговування та заміну засобів очищення.

Висока стійкість до абразивних матеріалів. Цементне виробництво часто супроводжується випуском абразивних частинок та відходів, які можуть завдати шкоди обладнанню для очищення газів. Батарейні циклони відзначаються високою стійкістю до абразивного зносу, оскільки вони не мають рухомих частин, що потрапляють у контакт з газом.

Енергоефективність. Батарейні циклони працюють на принципі гравітаційного осідання і не потребують значних енергетичних витрат для своєї роботи. Це забезпечує енергоефективну систему очищення відхідних газів, що дозволяє знизити споживання енергії та витрати на експлуатацію.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 19510062	Арк
						33

Екологічна стійкість. Батарейні циклони є екологічно стійкими технологіями, оскільки не використовують хімічних реагентів або фільтрувальних матеріалів, які можуть негативно впливати на довкілля. Вони забезпечують ефективне збирання твердих частинок без утворення вторинних відходів або шкідливих викидів [26].

3.4 Вибір апарату та схеми очистки від відхідних газів

Основним апаратом для очистки пилових газів на підприємствах виготовлення цементу є одиночні та батарейні циклони. На виробничій лінії необхідно враховувати специфіку утворення викидів пилу. Особливу увагу приділяють очисному обладнанню на пунктах подрібнення фракції сировини та в місцях пересипання цементу в бункери на транспортних лініях.

Найбільш розповсюдженим та вживаним циклоном для будівельних матеріалів є циклони моделей ЦН. Характеристика циклону ЦН – 1000 наведена в таблиці 3.1, схематичне зображення моделі на рисунку 3.6 [36].



Рисунок 3.6 – Схема циклону ЦН – 1000 [36]

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 19510062

Арк

34

Таблиця 3.1 – Характеристика циклону ЦН – 1000 [18]

Параметр	Характеристика
Ступінь очищення повітря	90 – 98 %
Продуктивність	До 30 370 м ³ /год
Максимальний тиск	До 2000 Па
Діаметр	300 – 1200 мм
Швидкість потоку	1,3 – 1,9 м/с
Робоча температура	Від -40 - +40°C
Матеріал корпусу	Вуглецева сталь, нержавіюча сталь
Кількість циклонів у групі	Від 1 до 4

Призначення циклонів ЦН-1000 – уловлювати пил від шліфувальних, цукрових, будівельних матеріалів та металеві частинки в аспіраційних апаратах. Обладнання переважно застосовують для важкого машинобудування, в цехах виробництва розсипних матеріалів та на пилорамах.

В аналізі розділу 2 зазначені основні джерела пилоутворення, а саме конвеєрні лінії (пневмотранспортування), дробильно-сушильні установки та станції гомогенування, в загальному всі етапи процесу, де відбувається подрібнення матеріалу. На основі проведено аналізу була створена схема виробничого вузлу очистки на цементних заводах при сухому виготовленні цементу (рисунки 3.7 та 3.8).

Циклон №1, моделі ЦН – 1000, доцільно розмістити після млину для розмелювання фракцій для вловлення первинного пилу. Циклон №2, моделі ЦН - 1000, розміщується після ультразвукових гомогенезаторів. В процесі гомогенізації використовують апарати для розмелювання, змішування та термообробки для досягнення необхідного хімічного складу та якості цементної продукції. Циклон №3, встановлюють на конвеєрних лініях або пневмотрубах, що дозволяє знизити витрати сировини при внутрішньому транспортуванні до

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

						ТС 19510062	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			35

бункерних сховів, та повертати сировинний пил. Останній циклон №4 на технологічну лінію добавок та додаткового подрібнення.

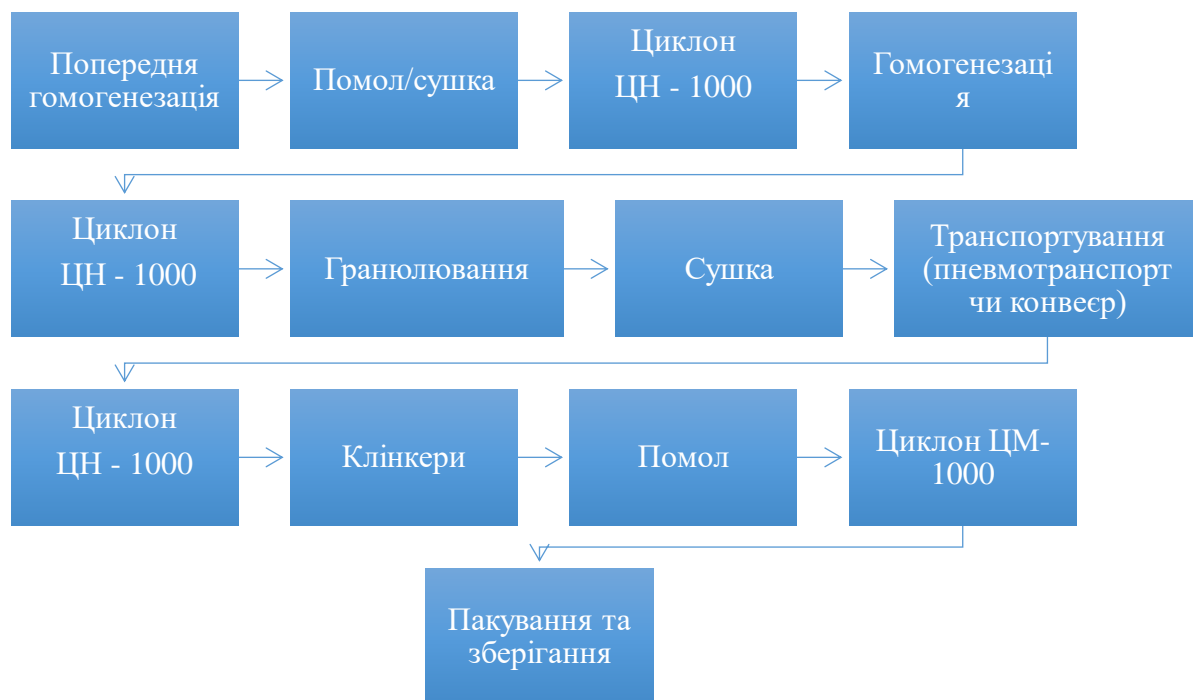


Рисунок 3.7 – Схема виробничого циклу цементу з імплементованим вузлом очистки для сухого методу

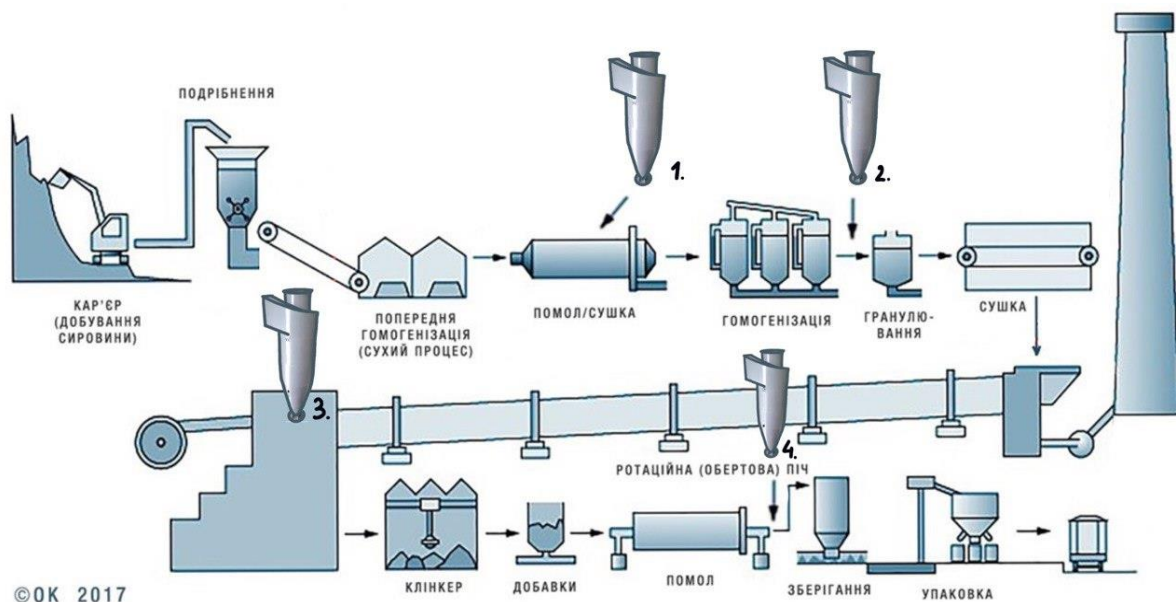


Рисунок 3.8 – Схема виробничого циклу цементу з імплементованим вузлом очистки для сухого методу

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

ТС 19510062

Арк

36

РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНКИ АПАРАТУ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ЦЕМЕНТНОГО ПІДПРИЄМСТВА

В Україні наявні потужні підприємства з виготовлення цементної продукції, саме підприємств: ВАТ «Балцем», ВАТ «Подільський цемент» та ВАТ «Кривий Ріг Цемент». Проаналізуємо середньостатистичні показники обсягів викидів та промислові потужності цементних підприємств України.

1. Об'єм відхідних газів – становить від 10000 до 15000 м³/год.

2. Температура вихідних газів, які потрапляють до очисних установок на цементних виробництвах, може суттєво відрізнятись залежно від процесу виробництва та використовуваних технологій очищення. Однак, зазвичай температура вихідних газів на вході до очисних установок на цементних виробництвах коливається від 20 до 100 градусів Цельсія.

3. Запиленість вхідних газів – не перевищує 50 г/м³. На різних етапах виробництва запиленість може сягати від 1/20, грамів пилу до кубометру повітря, до 1/50 м³.

4. Середній діаметр часток у відхідних газах – в середньому від 10 до 50 мкм.

Розрахуємо ефективність вловлення пилу циклоном ЦН-1000. Вихідні данні наведені в таблиці 4.1 [40].

Таблиця 4.1 – Вихідні данні для розрахунку ефективності циклону ЦН-1000

Показники	Q, м ³ /с	ρ, кг/м ³	μ·10 ⁻⁶ , Па*с	d _m , мкм	lgδ _ч	С _{вх} , г/м ³	ρ _ч , кг/м ³	η	ω _{оп} , м/с	dt ₅₀ , мкм	lgδ _т η
Значення	4,17	1,44	17,3	25	0,25	50	2600	0,8	3,5	6	0,283

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

ТС 19510062

Арк

37

Діаметр циклону розраховується за формулою, D:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * \omega_{on}}} = \sqrt{\frac{4 * 4,17}{\pi * 3,5}} = 1,2 \text{ м.}$$

За обраним діаметром циклону визначається фактична швидкість руху газу всередині циклону, ω_r :

$$\omega_r = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 4,17}{\pi * 1,2^2} = 3,687 \text{ м/с.}$$

Для перевірки результатів використовується умова $100 * \left| \frac{\omega_p - \omega_{on}}{\omega_{on}} \right| \leq 15\%$, при відхиленні більше 15% необхідно обрати іншу модель циклону:

$$100 * \left| \frac{3,687 - 3,5}{3,5} \right| \leq 5\% \text{ – умова виконується.}$$

Діаметр часток, які реально осідають з ефективністю 50% при робочих умовах (d_{50}), визначається за допомогою формули, при $\omega_{on} = 3,5 \text{ м/с}$, $\rho_{чт} = 1930 \text{ кг/м}^3$, $\mu_t = 22,2 \times 10^{-6}$:

$$d_{50} = 6 * \sqrt{\frac{D_{ц}}{0,6} * \frac{1930}{\rho_{ц}} * \frac{\mu}{22,2 * 10^{-6}} * \frac{3,5}{\omega_p}}$$

$$d_{50} = 6 * \sqrt{\frac{1,2}{0,6} * \frac{1930}{1,44} * \frac{17,3}{22,2 * 10^{-6}} * \frac{3,5}{3,687}} = 6,288 \text{ мкм.}$$

$$d_{50} = 6,288 \text{ мкм} < d_m = 25 \text{ мкм} \text{ – умова виконана}$$

Інв.№поздл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 19510062				Арк
									38
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					

$$X = \frac{\lg\left(\frac{d_M}{d_{50}}\right)}{\sqrt{\lg^2 \sigma_n^m + \lg^2 \sigma_{\text{ч}}}} = \frac{\lg\left(\frac{25}{6,288}\right)}{\sqrt{0,283^2 + 0,25^2}} = 1,587$$

Значення нормальної функції розподілу $\Phi(X)$ визначається відносно величини параметра X . $\Phi(X)$ - це повний коефіцієнт очищення газу, виражений у відсотках. $\Phi(X)$ розраховуємо за формулою для $X > 0,6$:

$$\Phi(X) = 1 - \frac{1}{5,8 * X * 0,5} = 1 - \left(\frac{1}{5,8 * 1,587 * 0,5}\right) = 0,897$$

Ефективність очистки газу в циклоні розраховуємо за наступною формулою, η :

$$\eta = \frac{1 + \Phi(X)}{2} = \frac{1 + 0,897}{2} = 0,9485, \eta > 0,80$$

Визначення коефіцієнта гідравлічного опору циклона:

$$\xi = K1 * K2 * \xi_{500} = 1 * 0,93 * 155 = 144,15,$$

де $K1$ - коригуючий коефіцієнт на діаметр циклона = 1

$K2$ - коригуючий коефіцієнт на забрудненість газу = 0,93

ξ_{500} - коефіцієнт гідравлічного опору окремого циклона діаметром 500 мм = 155.

Обчислення гідравлічного опору циклона виконуються за формулою:

$$\Delta P = \xi * \frac{\rho * \omega_p^2}{2} = 144,15 * \left(\frac{1,44 * 13,59397^2}{2}\right) = 1410,89 \text{ Па},$$

де ρ - щільність газу, кг/м³,

ω_p - швидкість газу в циклоні, м/с.

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 19510062				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

Величину гідравлічного опору і об'ємний розхід (Q) очищеного газу визначають потужність (N) приводу пристрою для подачі газу до циклона.

$$N = \frac{K_3 * \Delta P * Q}{\eta_M * \eta_B} = \left(\frac{(1,2 * 1410,89 * 4,17)}{0,8 * 0,8} \right) = 11031,39619 \text{ Вт.}$$

Вихідну концентрацію газів вичислюємо за наступною формулою:

$$C_{\text{вих}} = C_{\text{вх}}(1 - \eta) = 50(1 - 0,9485) = 2,575 \text{ г/м}^3.$$

В промисловій схемі очистки використовується 4 циклони, моделі ЦН-1000. Тому, розрахуємо загальну ефективність батареї циклонів:

$$\eta_{\text{заг}} = 1 - (1 - \eta)^n = 1 - (1 - 0,9485)^4 = 0,999992966 = 99,9\%$$

Таблиця 4.2 – Показники циклону

Показники	D, м	Ωр, м/с	d50, мкм	X	Φ(X)	η	Cвих	ξ	ΔP, Па	N, Вт	η _{заг}
Значення	1,2	3,69	6,29	1,59	0,897	0,949	2,58	144,15	1410,89	11031,39	0,99

Отже, в залежності від методу виготовлення цементу, обсягів виробництва, сировини та обладнання необхідно встановлювати різний промисловий пункт очистки. Був проведений розрахунок циклонів, результати розрахунків наведені у таблиці 4.2.

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 19510062						Арк
											40
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата							

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці – це система заходів та засобів, що спрямовані на збереження життя, здоров'я та працездатності людини під час трудової діяльності.

З метою охорони праці в цементній промисловості, слід дотримуватися правил та рекомендацій. Адже, найголовніше – це забезпечення безпеки життєдіяльності під час роботи з відхідними газами.

В процесі виробництва цементу утворені відхідні гази можуть містити шкідливі речовини, що мають негативний вплив на здоров'я людини. Не залежно від методу очистки відхідних газів потрібно дотримуватися правил екологічної безпеки та охорони праці. Можуть виникнути отруєння вихлопними газами, пилом, небезпека опіків, оскільки процеси очищення відхідних газів пов'язані з високими температурами.

Організація роботи з відходами повинна забезпечувати захист здоров'я робітників та дотримання правил охорони довкілля. Але, потрібно дотримуватися деяких заходів:

Відповідно до вимог законодавства з охорони праці та виробничої санітарії треба забезпечити усіх робітників необхідним захистом: спецодяг, респіратори, окуляри, рукавиці тощо.

Забезпечити робітників необхідними засобами індивідуального захисту, з метою зменшення ризику отруєння вихлопними газами та пилом.

Контроль робочого місця на відповідність вимогам охорони праці, а також реалізовувати проф. огляд спеціалістом з охорони праці та забезпечити усіх робітників інструктажем з правил безпечної роботи та засобами захисту.

Забезпечити вчасне технічне обслуговування та ремонт обладнання для забезпечення безперебійної роботи та запобігання аварій.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 19510062

Арк

41

Періодично проводити навчання, а також контроль знань з охорони праці для співробітників.

Національні нормативні документи України, які регулюють питання охорони праці на цементній промисловості, включають:

1. Кодекс законів про працю України;
2. Закон України "Про охорону праці";
3. Наказ Міністерства охорони здоров'я України "Про затвердження Правил внутрішнього трудового розпорядку на підприємствах, в установах та організаціях" (№ 222 від 05.04.2005);
4. Наказ Міністерства охорони здоров'я України "Про затвердження Правил з техніки безпеки при виробництві цементу" (№ 87 від 16.05.2003) [39].

До того ж, на підприємствах цементної промисловості функціонують внутрішні нормативні документи, що регулюють питання охорони праці. Такі як: Правила внутрішнього розпорядку та Правила безпеки при роботі з обладнанням.

Робота на підприємствах цементного виробництва завжди включає певні ризики та небезпеки, пов'язані з особливостями виробничого процесу та використанням специфічного обладнання, а саме:

1. В цементних цехах висока запиленість, яка може мати негативний вплив на здоров'я працівників. Вдихання цементного пилу може спричинити проблеми з диханням, подразнення дихальних шляхів та алергічні реакції. Регулярний контакт з пилом може призвести до розвитку хронічних захворювань легень, таких як силікоз.
2. На цементних заводах використовується велике та вибагливе до обслуговування обладнання, таке як печі, дробарки, млини та конвеєрні лінії. Неправильне використання або недостатня організація робочих місць можуть призвести до виробничих травм.
3. В деяких етапах цементного виробництва можуть бути присутні горючі матеріали та небезпека вибуху. Неправильне зберігання та обробка цих

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 19510062

Арк

42

евакуації, місць збору та використання панелей попередження та інших засобів для вказівки шляху до безпечного виходу.

Налагодження систем комунікації. Процедури безпеки повинні бути чітко сповіщені всім працівникам, а також надана можливість звертатися до відповідних служб у разі небезпеки або потреби допомоги.

Також, обов'язковими є перевірка та технічне обслуговування обладнання: Регулярна перевірка та технічне обслуговування обладнання є важливими аспектами безпеки. Працівники повинні знати процедури перевірки, обслуговування та ремонту обладнання, а також негайно повідомляти про будь-які відхилення або несправності.

Працівники повинні бути ознайомлені з планами дій у разі надзвичайних ситуацій, таких як вибух, витік хімічних речовин, аварія обладнання тощо. Це допоможе уникнути паніки та вжити відповідних заходів для захисту [39].

Враховуючи всі ризики та небезпечні ситуації, які можуть виникнути під час виробничої діяльності, необхідно створювати систему охорони праці на цементних заводах для забезпечення безпечних умов праці.

Інв.№поذل.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	TC 19510062	Арк
						44
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Манжос В.М., Борисенко Л.П. Оцінка впливу забруднення повітря на здоров'я населення міста Кам'янське // Проблеми гігієни та екології. - 2015. - № 2 (38). - С. 87-90.
2. Міщенко О.В. Аналіз впливу забруднення повітря на здоров'я населення на прикладі міста Кам'янське // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Біологічні науки. - 2019. - Вип. 1. - С. 105-111.)
3. Туряниця І.С. Оцінка екологічної ситуації на території м. Кам'янське в контексті роботи місцевих підприємств // Вісник Дніпропетровського університету. Геологія, географія. - 2016. - Т. 24, Вип. 1. - С. 75-81.
4. Scrivener, K. L., Juilland, P., & Monteiro, P. J. M. (2015). Advances in understanding cement hydration mechanisms. *Cement and Concrete Research*, 78, 38-56.
5. Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2013). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw Hill Education.
6. Ramachandran, V. S., & Beaudoin, J. J. (2005). *Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology: Principles, Techniques and Applications*. William Andrew.
7. V. Jain, R. Kumar. "Evaluation of Dry Process in Cement Manufacturing." *International Journal of Scientific Research and Engineering Development*, 2018.
8. S. Gupta, A. Kumar, R. Kumar. "Wet Process of Cement Manufacturing - Cement Manufacturing Wet Process." *Civil Engineering*, 2018. [Online].
9. S. Kumar, V. Jain, R. Kumar. "Review on Application of Modified Dry Process in Cement Production." *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2019.

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

10. Tuller, M., & Walker, M. (2018). Renewable energy transition in the cement industry: Assessing carbon mitigation options through techno-economic modelling for policy insights. *Renewable Energy*, 123, 1-13.

11. Sanna, A., Uibu, M., Caramanna, G., Kuusik, R., & Maroto-Valer, M. M. (2014). An overview of accelerated carbonation technology in the field of mineral carbonation. *Energy Procedia*, 63, 5964-5972.

12. М. С. Лемешев, К. К. Сівак, і М. Ю. Стаднійчук, «Особливості використання промислових техногенних відходів в галузі будівельних матеріалів», *СучТехнБудів*, вип. 29, вип. 2, с. 24–34, Лип 2021.

13. Савіцька, І.О. та Грицюк, Ю.І., Львівський ДУ БЖД. "Проблеми вловлювання цементного пилу на промислових об'єктах." URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_7/74_Saw.pdf

14. Chernayk L.P (2013). Particularities of structure formation of dispersed systems in the portland cement technology. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(5(14), 8–10. URL: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2013.19654>.

15. Саницький М.А. Модифіковані композиційні цементи / М.А. Саницький, Х.С. Соболев, Т.Є. Марків. – Л.: Вид-во Львів. політехніки, 2010. – 132 с.

16. Сальник, В.Г. Фізико-хімічна механіка дисперсних структур у технології будівельного фарфору [Текст] / В.Г. Сальник, В.А. Свідерський, Л.П. Черняк. – К.: Знання, 2012. – 158 с. – (Сучасна наука).

17. Принципи стратегії сталого розвитку в цементній промисловості / Т.М. Круць, І.М. Гев'юк, М.А. Саницький, Т.П. Кропивницька // *Буд. мат. і вир.* – 2015. – № 3. – С. 14-1 17.

18. Systemax.ua. URL: <https://systemax.ua/ua/ciklony/cikloni-dlja-pnevмотransпорта/scn/>.

19. Іванов В.В. та ін. «Очистка відходних газів промислових підприємств». *Вісник Приазовського державного технічного університету*, 2014. С. 141-146. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vpdtu_2014_24_27/.

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

					ТС 19510062		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			48

20. Жовнір Є.П. та ін. «Повітряне середовище: проблеми і шляхи вирішення». Збірник наукових праць НТУ «ХП», 2016. С. 199-204. URL: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPIPress/30855/1/2016_Zhovnir_Povitriane_seredovysche.pdf.

21. Титов Ю.С. та ін. «Оптимізація процесу очищення відходних газів від пилу на цементних заводах». Наукові праці ДонНТУ. Серія: Гірничо-електромеханічна, 2018. С. 23-29. URL: <https://journals.donntu.edu.ua/nsm/gem/article/view/1028>.

22. Гончаров О.І., Дроздов І.В. та ін. «Дослідження процесу очищення відходних газів від пилу цементного виробництва від камерних пиловловлювачів з гладкими стінками». Вісник Одеського національного університету. Серія: Хімія, 2015. С. 100-107. URL: <https://visnyk-onu.od.ua/index.php/chem/article/view/1229>.

23. Кармазіна В.М. та ін. «Дослідження роботи пиловловлювача цементної фабрики з періодичною регенерацією». Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

24. Порубченко В.М. «Основні способи очищення відходних газів від пилу на цементних заводах». Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2017. С. 105-109. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vvpir_2017_2_20.

25. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №24097 "Техніка очищення газів" / Геннадій Погарський. – Київ, Україна, 2010.

26. Баєр Н. Переваги та недоліки мокрих пиловловлювачів [Електронний ресурс] / Н. Баєр. – Режим доступу: <https://ukrtechstroy.com.ua/perewagi-ta-nedoliki-mokryh-pylovloluvachiv/>, вільний (дата звернення: 25.03.2023).

27. Сасенко О. Переваги та недоліки фільтрування газів /О. Сасенко. – URL: https://zaxid.net/perewagi_ta_nedoliki_filtruvannya_gaziv_n1323943, вільний (дата звернення: 25.03.2023).

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

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

ТС 19510062

Арк

49

28. Ravi Kumar, P., Kumar, R., Sharma, S.K. and Bhargava, S.K. (2013). Electrostatic Precipitator: A Study. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(1), pp. 559-562. URL: https://www.ijetae.com/files/Volume3Issue1/IJETAE_0113_104.pdf

29. Mothes, R., Pöschke, K. and Schiele, R. (2005). Comparison of electrostatic precipitator and fabric filter in cement kiln/mill applications. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 41(3), pp. 734-740. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1432664>

30. Li, J., Li, C., Li, Q. and Zhang, L. (2020). Analysis of the operating characteristics of pulse jet bag filters for cement kiln exhaust gas treatment. *Journal of Cleaner Production*, 259, pp. 120830. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620333655>

31. Xu, W., Wang, W., Yang, X., Liu, Z. and Liu, X. (2017). Numerical simulation and experimental study on the performance of a cyclone separator with different inlet shapes. *Powder Technology*, 321, pp. 157-164. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591017304156>

32. Chen, W., Luo, Y., He, F. and Tang, X. (2017). Effect of a gas-solid cyclone on the filtration performance of bag filters for fine particles. *Journal of Environmental Sciences*, 54, pp. 93-102. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074216311948>

33. Hutten, Irwin M. *Handbook of Nonwoven Filter Media*. Butterworth-Heinemann, 24 Oct. 2015.

34. Matteson, Michael J, and Clyde Orr. *Filtration : Principles and Practices*. New York, M. Dekker, 1987.

35. States., United, and United States. *Principles and Practice of Air Pollution Control*. 1974.

36. Aton Service. "C2.500.08.ANT." *Атон Сервіс*, 2023, URL: aton-service.com.ua/product/cf-antistatic/. Accessed 27 May 2023.

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

37. Про Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки // Відомості Верховної Ради (ВВР), 1998. – № 38-39. – 248 с. [Електронний ресурс]. – URL: <http://www.esopra-vo.org.ua/2006/06/29/pro-osnovn-naprjami-derzhavno-poltiki-ukrani-u-galuz-oxoroni-dovkllja-viko-ristannja-prirodnih-resursv-ta-zabezpechennja-ekologchno-bezpeki/>

38. Плашихин С.В. Експериментальні дослідження циклофільтра в процесі вловлювання цементного пилу / С.В. Плашихин, Д.А. Серебрянський, Ю.А. Безносик // Вісник Національного технічного університету "ХПІ" : зб. наук. праць. – Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : Вид-во НТУ "ХПІ". – 2010. – № 57. – С. 3-5.

39. Закон України «Про охорону праці» // (ВВР), 1992, № 49, ст.668). – 2022. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>.

40. Розрахунок продуктивності, ефективності пиловловлення та гідравлічного опору циклонів // Металлум. – 2023. – URL: <https://www.metallum.com.ua/ua/blog/czikloni/rozraxonok-produktivnost%D1%96,-efektivnost%D1%96-pilovlovlennya-ta-g%D1%96dravl%D1%96chnogo-oporu-cziklon%D1%96v>.

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

ТС 19510062