

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ПОГОДЖЕНО

**Декан факультету захисту рослин,
біотехнологій та екології**

_____ **Коломієць Ю.В.**

«___» _____ 2026 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри екології агросфери
та екологічного контролю**

_____ **Наумовська О.І.**

«___» _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему «Екологічна оцінка впливу на повітряне середовище ПАТ
Кам'янець-Подільський цементний завод Хмельницької області»**

Спеціальність 101 «Екологія»

Освітньо-професійна програма «Екологія»

**Гарант освітньої
програми, д.пед.наук,
професор**

_____ (підпис)

Володимир БОГОЛЮБОВ

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи,
к.с.-г.наук, доцент**

(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Світлана ПАЛАМАРЧУК

Виконав

_____ (підпис)

Богдан ПЕТРУШКО

КИЇВ-2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології**

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри екології агросфери
та екологічного контролю
к.с.-г.н., доцент _____ Наумовська О.І.
« ____ » _____ 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ**

Петрушко Богдану Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність _____ 101 Екологія _____
(код і назва)

Освітня програма _____ Екологія _____
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: **«Екологічна оцінка впливу на повітряне середовище ПАТ Кам'янець-Подільський цементний завод Хмельницької області»**

Затверджена наказом від «16» вересня 2026 р. №2537 «С»

Термін подання роботи на кафедру «18» травня 2026 р.

Вихідні дані до роботи: законодавчі акти, навчальна та наукова література, офіційні статистичні матеріали, звіти та інші матеріали, власні спостереження та дослідження.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Опрацювати науково-методичні та нормативно-правові засади оцінки впливу промислових підприємств будівельної галузі на якість атмосферного повітря.

2. Проаналізувати технологічний процес виробництва цементу на підприємстві (зокрема, сухий спосіб виробництва) та ідентифікувати основні джерела викидів забруднюючих речовин.

3. Здійснити аналіз обсягів та якісний склад викидів цементного заводу в атмосферне повітря (вміст пилу, оксидів азоту, діоксиду сірки, CO₂ тощо).

4. Дослідити ефективність роботи пилогазоочисного устаткування (електрофільтрів, рукавних фільтрів), що використовується на заводі.

Дата видачі завдання «10» жовтня 2025 р.

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

(підпис)

Світлана ПАЛАМАРЧУК

Завдання прийняв

Богдан ПЕТРУШКО

до виконання

(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ЦЕМЕНТНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ДОВКІЛЛЯ	6
1.1. Аналіз діяльності цементної промисловості в Україні	6
1.2. Вплив виробництва цементу на атмосферне повітря	11
II. ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ЯК СУБ'ЄКТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ	17
2.1. Історія створення АТ «Подільський цемент»	17
2.2. Фізико-географічні та кліматичні умови району розташування АТ «Подільський цемент»	20
III. ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ПОВІТРЯНЕ СЕРЕДОВИЩЕ АТ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ЦЕМЕНТ»	24
3.1. Джерела пилоутворення на цементному заводі	24
3.2. Аналіз джерел викидів забруднюючих речовин під час виробництва цементу	34
ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44

ВСТУП

Цементна промисловість є однією з ключових галузей економіки, що забезпечує матеріальну базу для будівництва інфраструктурних об'єктів і житла. Проте її діяльність супроводжується значним техногенним впливом на довкілля, зокрема забрудненням атмосферного повітря дрібнодисперсним пилом, викидами оксидів азоту, сірки, вуглекислого газу та важких металів.

Високий рівень забруднення в зоні впливу цементних підприємств спричиняє погіршення якості життя населення, деградацію екосистем і зниження рівня екологічної безпеки. Особливо небезпечним є дрібнодисперсний пил, який здатний проникати в альвеоли легень, завдаючи шкоди здоров'ю людини, а також впливати на інші компоненти природного середовища.

Цементна промисловість 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.

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 вагомій 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. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ЦЕМЕНТНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ДОВКІЛЛЯ

1.1. Аналіз діяльності цементної промисловості в Україні

Цементна промисловість посідає ключове місце серед галузей матеріального виробництва, адже її продукція є основою для багатьох сфер господарської діяльності. Вона забезпечує необхідні ресурси для розвитку будівельної галузі, транспортної інфраструктури, промислових об'єктів та житлово-комунального господарства.

Цемент широко використовується у дорожньому будівництві, при зведенні мостів, аеропортів, портових споруд, енергетичних об'єктів, включаючи гідроелектростанції та атомні електростанції. Промисловість тісно пов'язана з розвитком капітального будівництва, яке виступає одним із найважливіших рушіїв економічного зростання та забезпечує створення нових робочих місць у будівельній сфері, логістиці, виробництві будівельних матеріалів та обслуговуючих галузях.

Виробництво цементу забезпечує базові потреби інфраструктури, будівництва житлових, промислових і комунальних об'єктів, а також створює умови для модернізації та розширення існуючих споруд. Таким чином, цементна галузь є не лише невід'ємним елементом національної економіки, а й важливим фактором соціально-економічного розвитку сучасного суспільства, забезпечуючи матеріальну основу для реалізації стратегічних проєктів, спрямованих на підвищення якості життя населення та конкурентоспроможності країни в цілому [1].

Цемент - це один із найважливіших і найбільш універсальних будівельних матеріалів, який використовується для створення широкого спектра будівельних конструкцій, від фундаментів до покрівель. Його основне призначення полягає у виготовленні бетону та залізобетонних виробів, які є основою сучасного будівництва. Завдяки високій міцності та довговічності цементних розчинів, цей матеріал використовується не лише у житловому та

промисловому будівництві, а й у створенні інженерних споруд — дамб, тунелів, резервуарів, транспортних розв'язок та аеродромних покриттів.

Крім того, цемент застосовується для створення спеціальних видів будівельних сумішей, зокрема гідроізоляційних розчинів та вогнетривких покриттів, які забезпечують стійкість споруд до впливу води, агресивних середовищ та високих температур. Завдяки цьому цементні матеріали широко використовуються в екстремальних умовах, включаючи підземне будівництво та гідротехнічні роботи [2].

З технічної точки зору, цемент належить до групи мінеральних матеріалів із дрібнодисперсною порошкоподібною структурою. Його ключовою властивістю є здатність вступати у хімічну реакцію з водою, внаслідок чого утворюється пластична маса, яка за певний час твердне та перетворюється на надзвичайно міцний і довговічний кам'янистий матеріал. Ця унікальна здатність робить цемент незамінним у монолітному будівництві, де вимагається створення конструкцій складної форми без додаткових швів та стиків. Завдяки цьому забезпечується висока несуча здатність та сейсмостійкість будівель, що особливо актуально для регіонів з підвищеною сейсмічною активністю. Додатково сучасні цементні суміші можуть включати спеціальні добавки, які прискорюють або сповільнюють процес твердіння, підвищують морозостійкість або забезпечують підвищену водонепроникність [3].

Цементна промисловість характеризується високою матеріаломісткістю та енергомісткістю, адже для виробництва цементу необхідні значні обсяги природної сировини та енергетичних ресурсів. Виробничі потужності цементних заводів зазвичай розташовуються поблизу родовищ основних сировинних матеріалів - карбонатних порід та глинистих сланців, що зменшує витрати на транспортування та знижує собівартість готової продукції.

В Україні найбільші поклади вапняку, крейди та мергелю зосереджені на території ДніпровськоДонецької западини, Волино-Подільської плити, у Причорноморському регіоні, Львівській області та в Криму. Така географічна

концентрація ресурсів створює сприятливі умови для розвитку цементної промисловості та забезпечення внутрішніх потреб країни в будівельних матеріалах [1].

Основні запаси сировини для виробництва цементу сконцентровані у великих промислових родовищах, серед яких виділяються Амвросіївське, Краматорське, Шебелинське, Добрянське, Здолбунівське та Гуменецьке. Виробництво клінкеру - проміжного продукту, необхідного для отримання цементу - потребує значних обсягів сировини та енергоносіїв.



Рис. 1.1. - Динаміка виробництва цементу в Україні за період 2019 – 2023 років

Для виготовлення однієї тонни клінкеру зазвичай використовується близько 1,5 тонн карбонатної сировини (вапняк, мергель, крейда) та до 0,5 тонн глинистих порід. Процес виробництва передбачає видобуток сировини, її дроблення та змішування, після чого сировинна маса піддається випалу в обортових печах за температури близько 1450°C. Отриманий клінкер подрібнюють до дрібного порошку, додаючи гіпс для контролю часу твердіння. [1].

Історія цементної промисловості в Україні бере свій початок у 1896 році, коли в місті Амвросіївка на Донбасі було введено в експлуатацію перший цементний завод. Це стало відправною точкою для формування вітчизняної

цементної галузі. Вже до 1913 року в Україні функціонувало 12 заводів, які разом виробляли 269 тисяч тонн цементу на рік, що забезпечувало значну частину потреб тодішнього будівництва.

У наступні десятиліття галузь стрімко розвивалася, особливо у післявоєнні роки, коли необхідно було відбудовувати зруйновані міста та промислові об'єкти. До 1995 року в Україні щорічно вироблялося 7,6 мільйона тонн цементу, що підтверджує динамічний розвиток галузі та її вагоме значення для економіки країни. Нині цементна промисловість залишається ключовим сектором, який не лише задовольняє внутрішній попит, а й активно постачає продукцію на експорт у сусідні держави. [1, 2].

На сьогодні цементна промисловість України представлена Асоціацією виробників цементу «Укрцемент», яка об'єднує провідні підприємства галузі, що забезпечують значну частку загального обсягу виробництва цементу в країні. До складу Асоціації входять такі ключові виробники, які формують основу вітчизняного ринку цементу [1]:

- ПрАТ «Дікергофф Цемент Україна» - підприємство з потужними виробничими комплексами, яке активно впроваджує сучасні європейські технології виробництва та орієнтується на підвищення енергоефективності та екологічної безпеки своїх процесів;

- ПАТ «Хайдельбергцемент Україна» - частина відомої міжнародної групи HeidelbergCement, що відрізняється високими стандартами якості та застосуванням інноваційних технологій контролю якості продукції на всіх етапах виробництва;

- ПАТ «Подільський цемент» - входить до складу міжнародної групи Cement Roadstone Holding (CRH), яке спеціалізується на виробництві широкого спектру цементних продуктів, адаптованих до потреб як масового, так і спеціалізованого будівництва;

- ПрАТ «Миколаївцемент» - представник групи CRH, що працює з урахуванням кращих світових практик сталого виробництва та приділяє особливу увагу зменшенню техногенного навантаження на довкілля;

- ПАТ «Цемент» - (група CRH), реалізує масштабні інфраструктурні проєкти та постачає цемент для об'єктів державного та приватного секторів;
- ПрАТ «Івано-Франківськцемент» - один із найбільших вітчизняних виробників, що має замкнутий цикл виробництва та впроваджує сучасні технології переробки відходів;
- ПАТ «Євроцемент Україна» - незважаючи на складні економічні умови, продовжує інвестувати у модернізацію своїх потужностей та розширення асортименту продукції відповідно до актуальних потреб українського ринку [15].

Цементна промисловість України вирізняється високою конкурентоспроможністю завдяки багатим природним ресурсам і значним покладам якісної сировини, що є ключовими для виробництва цементу. Родовища вапняку, крейди, глини та мергелю, розташовані на території України, створюють умови для стабільного забезпечення виробничих потужностей власною сировиною без необхідності імпорту з інших країн. Це суттєво підвищує рівень ресурсної незалежності цементної галузі та забезпечує виробникам значну економічну гнучкість у плануванні довгострокових програм розвитку.

Завдяки незалежності від імпортової сировини українські виробники можуть ефективно управляти витратами, підтримувати стабільну цінову політику на цемент для внутрішнього ринку та швидко адаптуватися до змін у попиті. На відміну від галузей, орієнтованих на імпорт сировини або енергоресурсів, цементне виробництво може повністю базуватися на вітчизняних ресурсах, що робить його стратегічно важливим для забезпечення економічної безпеки країни.

Національні виробники здатні повністю покривати потреби українського ринку в цементі, навіть у періоди пікового попиту, наприклад, під час реалізації масштабних державних інфраструктурних програм або відновлення зруйнованих об'єктів у післякризовий період. Власна сировинна база, потужний виробничий потенціал та активна модернізація технологічного

обладнання забезпечують цементній промисловості України стійкі позиції на внутрішньому ринку та створюють передумови для розширення експортних поставок, що, у свою чергу, сприяє зміцненню позицій України як важливого гравця на регіональному ринку будівельних матеріалів [31].

1.2. Вплив виробництва цементу на атмосферне повітря

На сьогоднішній день, будівництво мегаполісів, високотехнологічних промислових об'єктів та транспортної інфраструктури неможливо уявити без цементу – ключового матеріалу, який став основою будівельної галузі. Він є невід'ємною складовою будівельного процесу і одним із найбільш затребуваних матеріалів на ринку. Його універсальність та міцність зробили цемент важливим елементом для створення різноманітних інженерних споруд. Однак, слід враховувати і екологічний вплив виробництва цементу.

Заводи, де виготовляють цей матеріал, входять до переліку основних джерел забруднення повітря, які включені до так званої «чорної книги». Зростання обсягів виробництва цементу неминуче призводить до збільшення рівня пиловиділення як на території заводів, так і в прилеглих районах. Це створює значні екологічні проблеми, які потребують вирішення [41].

Важливим є хімічний склад елементів, які викидаються в атмосферу, який необхідно знати, задля 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.

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_2O_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].

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

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 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 185 м у довжину та 5 м 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).

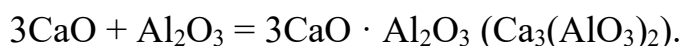
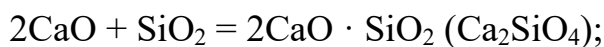
Цементні печі встановлюють горизонтально, з нахилом осі під кутом 10°. Під час обпалювання поступово відбуваються головні хімічні перетворення

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 SiO_2 і оксидом алюмінію Al_2O_3 при температурах в 1000 – 1300 °C:

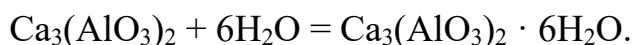
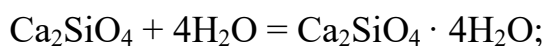


При температурі 1300 – 1450°C утворені силікати та алюмінати спікаються. Клінкер вивантажують з кінця печі, а потім охолоджують та розмелюють та упаковують у спеціальну тару [4, 5].

До складу цементу входять як домішки так і інші речовини. Та його склад зазвичай виражають процентним вмістом CaO , SiO_2 , Al_2O_3 і Fe_2O_3 . Звичайний, або силікатний цемент містить: CaO (60 – 67%); SiO_2 (17 – 25%); Al_2O_3 (3 – 8%); Fe_2O_3 (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].

Основними джерелами пилоутворення на цементних заводах є різні етапи виробничого процесу. Зокрема:

- подрібнення сировини: цей етап супроводжується значним виділенням дрібнодисперсного пилу, що розповсюджується по території заводу;
- сушіння сировини: під час цього процесу у повітря потрапляють мікрочастинки, які утворюються внаслідок нагрівання та втрати вологості матеріалів;
- обпалювання сировини у печах: цей енергомісткий етап є джерелом значних викидів пилу, а також супутніх газоподібних забруднювачів;
- подрібнення та перемішування клінкеру із добавками: механічні процеси на цьому етапі сприяють утворенню великих обсягів пилу, який складно контролювати без відповідного обладнання;
- упаковка та транспортування готової продукції: процеси фасування цементу у мішки, перевезення та завантаження на транспорт також спричиняють значні пилоутворення [6].

Окрім основних виробничих етапів, джерелами пиловиділення є робота допоміжного обладнання, такого як транспортні стрічки, елеватори, вентиляційні системи та системи перевантаження матеріалів. Всі ці фактори вимагають застосування ефективних фільтраційних систем, герметизації виробничих процесів та модернізації технологій для зменшення обсягів забруднення. Вирішення екологічних питань у цементній промисловості відіграє ключову роль у забезпеченні сталого розвитку. Мінімізація негативного впливу на довкілля сприяє збереженню природних ресурсів, а

також позитивно позначається на екологічній ситуації в промислових районах. Це, своєю чергою, сприяє покращенню умов життя місцевого населення та створенню більш безпечного середовища для майбутніх поколінь [4].

Промислові викиди погіршують стан атмосферного повітря, спричиняючи смог, кислотні опади та знижуючи рівень прозорості атмосфери. Зважені у повітрі частинки утворюють різноманітні аерозолі, які значно погіршують стан повітряного середовища. Одним із наслідків цього є зниження проникнення прямого сонячного випромінювання в міських районах, що може скорочувати його інтенсивність на 18-20%, впливаючи на освітленість та тепловий баланс урбанізованих територій [16].

Процеси фотохімічних реакцій, що відбуваються між оксидами азоту та вуглеводнями, сприяють утворенню нових рідких органічних сполук. Ці речовини існують у формі дрібних крапель, які розсіюються у повітрі, утворюючи аерозолі. Такі аерозолі не лише впливають на прозорість атмосфери, але й взаємодіють із іншими атмосферними компонентами, спричиняючи зміни в погодних умовах [14].

Окрему роль у цьому процесі відіграє висока концентрація ядер конденсації, тобто сторонніх часток, що слугують основою для формування крапель води. У місцях із великою кількістю таких часток відбувається посилене утворення хмар, що може призводити до збільшення частоти опадів і туманів. Підвищена хмарність, своєю чергою, впливає на кліматичні умови регіону, зокрема зменшує проникнення сонячної радіації та змінює тепловий баланс атмосфери.

Таким чином, наявність у повітрі не лише водяної пари, але й інших рідких речовин, які утворюються внаслідок природних і антропогенних процесів, значною мірою впливає на формування хмарності, погодних явищ та загальний стан атмосфери. Ці процеси потребують подальшого дослідження для розробки ефективних методів контролю та зменшення впливу забруднювачів на клімат.

II. ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ЯК СУБ'ЄКТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

2.1. Історія створення АТ «Подільський цемент»

АТ «Подільський цемент» почали будувати неподалік міста Кам'янець-Подільський у 1966 році. Вже через чотири роки запустили в експлуатацію першу технологічну лінію та випустили першу продукцію. У 1971 році була здана в експлуатацію друга технологічна черга, а через рік третя та четверта. Потужність підприємства зростала, було оптимізовано подачу сировини з кар'єрів на завод.

Розпалювання першої обертової печі Кам'янець-Подільського заводу відбулося 29-30 грудня 1970 р. Її потужність становила 600 000 т цементу на рік. Виробництво відбувалось мокрим способом.



Рис. 2.1. Розпалювання першої обертової печі

Завод у Кам'янці-Подільському почав забезпечувати потреби ринку в центральній частині України, адже у Київській, Вінницькій, Черкаській областях був дефіцит цементу орієнтовно 2 мільйони тонн на рік. У ті роки виробництво цементу в Україні зосереджувалося переважно у Донецькій, Дніпропетровській областях та на заході країни. Відповідно цемент у цих

регіонах був у надлишку. Саме тому вирішили побудувати цементний завод на Поділлі.

Потрібно зазначити, що Хмельницьку область обрали для будівництва цього потужного підприємства через те, що регіон є сільськогосподарським, з високим рівнем трудових ресурсів. Відповідно на заводі почали працювати місцеве населення. Також важливим моментом було те, що поруч знаходився залізничний роз'їзд у Гуменцях. Відповідно завод мав залізничне сполучення з потенційними клієнтами.



Рис. 2.2. Вигляд заводу в 80-ті роки

Кам'янець-Подільський цемент почали використовувати при будівництві великих об'єктів по всій Україні. Продукцію цементного заводу використовували при спорудженні атомних електростанцій у Нетішині та Запорізькій області, Дністровського каскаду ГЕС, будівництві саркофага Чорнобильської АЕС тощо. Також цемент з Поділля експортували за межами країни: у Німеччину, Чехію, Італію, Польщу, Туреччину, Угорщину, Румунією та багато інших країн світу.

Завдяки діяльності підприємства у регіоні почала розвиватися соціальна інфраструктура. У 1969 році відбувається будівництво селища. Вже за кілька років завод збудував шість багатоповерхових житлових будинків у яких жили працівники підприємства. А у 1989 році вже було одинадцять

багатоповерхівок та три гуртожитки. Крім того, було збудовано школу, дитячий садок, поліклініку.

У 90-х роках минулого століття чимало підприємств в Хмельницькій області припинили свою діяльність. Але на щастя цементний завод у Кам'янці-Подільському продовжував працювати. У 1999 році він увійшов до складу міжнародної компанії з виробництва будівельних матеріалів CRH.



Рис.2.3. Сучасний вигляд заводу

Через десять років завод почали модернізовувати і вже у 2011 році було введено в експлуатацію сучасну лінію виробництва цементу. Це був екологічно-безпечний сухий метод. В ПАТ «Подільський цемент» компанією CRH plc було інвестовано понад 300 мільйонів євро. Модернізація та оновлення заводу дало свої плоди й ПАТ «Подільський цемент» вважається найпотужнішим виробником цементу в Європі.

Компанія продовжує інвестувати в збільшення логістичних потужностей та розвиток внутрішньої інфраструктури підприємства. З метою підвищення продуктивності та енергоефективності у 2020 році були модернізовані 4 кульові млини. У 2021 році побудовано другий та третій термінали для відвантаження цементу автотранспортом, а також встановлено нові знепилюючі системи на силосах. Завод бере участь у благоустрої територій довколишніх громад та підтримує життя у містах Хмельницької області, допомагаючи лікарням та встановлюючи дитячі майданчики.

Підприємство на сьогодні спеціалізується на виробництві клінкеру та цементу. Виробнича структура підприємства включає в себе:

- основне виробництво: (виробництво клінкеру; виробництво цементу);
- допоміжне виробництво: (механічна майстерня, очисні споруди; газове господарство).

Проектна річна потужність підприємства становить: цементу – 1980 тис. т, клінкеру – 2400 тис. т. Річна потреба у сировині: вапняк – 2900 – 3600 тис. т, мергель – 450 тис. т, глина, суглинки – 450 тис. т, корегуючі добавки – 150 – 350 тис. т, зола – 200 тис. т, доменний гранульований шлак – 0 – 1300 тис. т, гіпсовий камінь – 100 тис. т.

Видобуток сировини: вапняку, мергелю та глини здійснюється у навколишніх кар'єрах (Хмельницька область, Кам'янець-Подільський район, с. Гуменці). Інша сировина (відсів вапняку, залізна руда, огарки, золошлак теплоелектростанцій, доменний гранульований шлак, кек глиноземистий – доставляється автомобільним або залізничним транспортом з інших об'єктів.

2.2. Фізико-географічні та кліматичні умови району розташування АТ «Подільський цемент»

Хмельницька область займає вигідне географічне положення, характеризується сприятливими природними і кліматичними умовами, різноманітністю ландшафтних територій, багатством рослинного і тваринного світу, мінеральних вод, родючих чорноземів та широкою мережею річок. По фізико-географічному розташуванню область знаходиться в межах лісостепової зони, географічно займаючи центральну та західну частини Волино-Подільської височини, а також західний схил Українського кристалічного щита.

АТ «Подільський цемент» розташований в Кам'янець-Подільському районі Хмельницької області на заході України, в регіоні з історичною назвою «Поділля». Громада знаходиться у південно-західній частині України, у центрі

Волино-Подільської височини. Відстань до обласного центру (м. Хмельницький) залізницею 113 км, автошляхом 101 км.

З північної частини підприємство межує з Гуменецькою сільською громадою, зі східної — зі Слобідсько-Кульчієвецькою сільською громадою.

Кліматичні умови регіону визначаються особливостями радіаційних та циркуляційних процесів помірно-континентального сектору атлантично-континентальної кліматичної області помірного поясу Східної Європи. Помірно-континентальний вирізняється досить теплим літом і м'якою зимою, зі швидкими переходами від холоду до тепла і від зими до літа.

Середня річна температура повітря $+7,8^{\circ}\text{C}$. Добові та річні амплітуди температури свідчать про помірний ступінь континентальності клімату. Переважаючий напрямок вітрів змінюється за сезонами. Узимку домінують південно-східні вітри у літній період північно-західні. Середня багаторічна швидкість вітру коливається від 3,0 до 3,5 м/с, із підвищенням швидкості у зимовий період до 4,0 м/с. Максимальна швидкість 10-15 м/с.

Середньорічна відносна вологість повітря складає 77-80%. Середній багаторічний рівень зволоження складає 553 мм/рік. Кількість днів з опадами протягом року становить 90-100. Основна частка опадів формується протягом теплого періоду (травень-серпень).

З дощовими опадами надходить до 75 % вологи. В зв'язку зі змінами клімату стійкий (місяць і більше) сніговий покрив не утворюється, він є тимчасовим. Висота снігового покриву невелика і лише в окремі зими може бути більше 40 см. Сильні снігопади відмічаються рідко.

Емісійне забруднення атмосферного повітря включає викиди забруднюючих речовин від двох основних джерел — стаціонарних і пересувних. Однією з головних екологічних проблем громади є загазованість, як наслідок руху автотранспорту. Переважна кількість усіх викидів в атмосферне повітря формується пересувними джерелами, у першу чергу автомобільним транспортом.

Для громадського моніторингу якості повітря в різних районах громади встановлено станції громадського моніторингу якості атмосферного повітря Air Fresh Max. Відповідно до даних ГУС у Хмельницькій області обсяг викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у 2025 році становив 346,8 т.

Протягом останніх років спостерігається поступове зменшення викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел забруднення в атмосферне повітря, зокрема пов'язане як із реалізацією заходів міської влади з покращення стану довкілля громади, так і зі зниженням ділової активності з боку промислових підприємств.

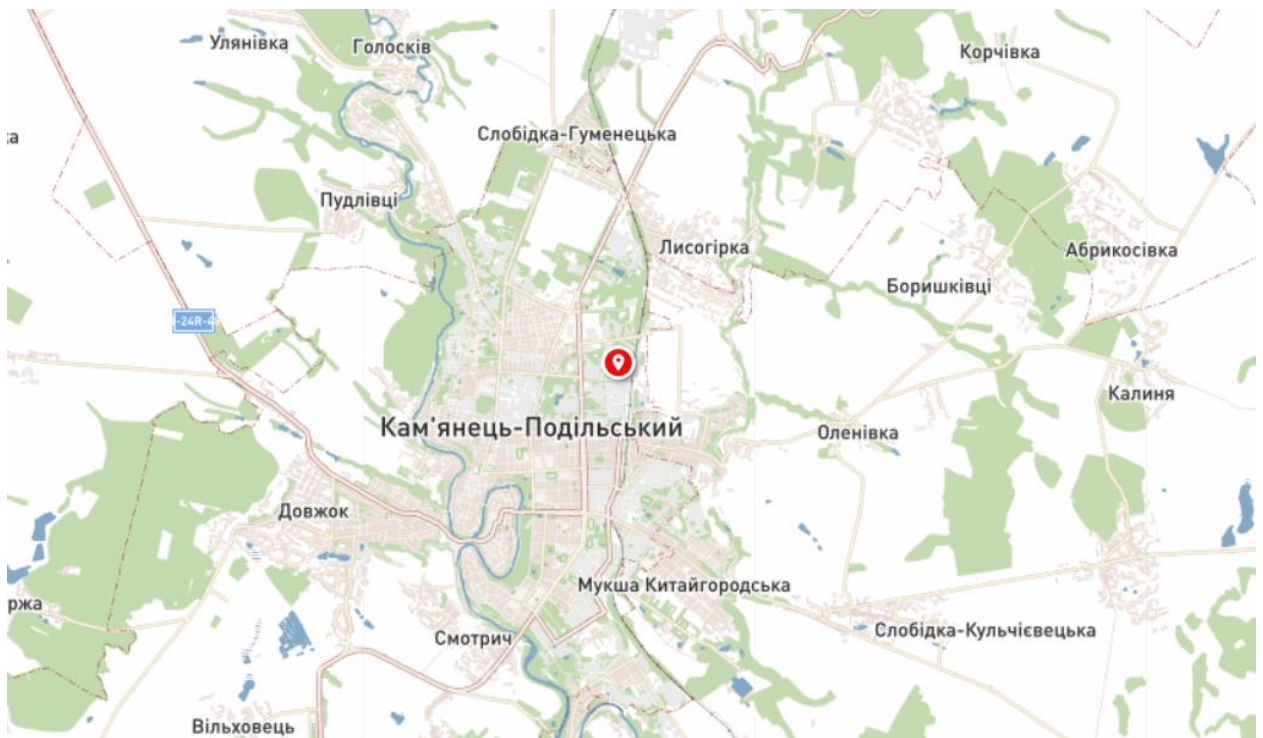


Рис.2.4. Розміщення АТ «Подільський цемент» на карті громади

Стан радіаційного забруднення атмосферного повітря громади визначається Хмельницьким обласним центром з гідрометеорології на постійному посту спостереження. Середня потужність експозиційної дози гамма-випромінювання у повітрі на території Хмельницької області у 2024 році становила 11-13 мкР/годину. В цілому суттєвих змін рівня потужності

експозиційної дози гамма-випромінювання у повітрі на території громади не спостерігається.

Підземні води поблизу підприємства належать до Волино-Подільського артезіанського басейну. Моноклінальний характер залягання давніх осадових порід створює сприятливі умови для взаємозв'язку водоносних горизонтів і виникнення спільної зони живлення підземних вод. У верхній частині розрізу, яка розміщена близько до поверхні, залягають переважно підземні води з загальною мінералізацією до 1 г/л. За складом аніонів вони здебільшого гідрокарбонатні, за катіонами – кальцієві.

Таким чином, фізико-географічні умови розташування АТ «Подільський цемент» у межах Придністровської підвищеної рівнини, що характеризуються розчленованим рельєфом та близькістю до унікальних природних ландшафтів Товтр, безпосередньо впливають на характер поширення промислових викидів. Переважаючий у регіоні західний та північно-західний перенос повітряних мас у поєднанні з помірно-континентальним кліматом зумовлює вектори розсіювання забруднюючих речовин, роблячи прилеглі населені пункти та агроєкосистеми Кам'янецьчини чутливими до аеротехногенного навантаження.

III. ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ПОВІТРЯНЕ СЕРЕДОВИЩЕ АТ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ЦЕМЕНТ»

3.1. Джерела пилоутворення на цементному заводі

Цементні заводи відносяться до підприємств з інтенсивним викидом пилу, що забруднює атмосферне повітря населених пунктів на відстані до 20 кілометрів, в залежності від потужності заводу. Під час виробництва цементу в атмосферу може попадати кількість пилу, що становить до 10-15 відсотків загального об'єму продукції, що випускає завод.

Найбільшим джерелом пилу є пічки випалення, у ряді випадків вони можуть викидати у повітря більше 80 відсотків всього пилу, що знаходиться в газах, що виходить з технологічного обладнання в процесі роботи [24]. Одним зі шляхів зниження запиленості атмосферного повітря є впровадження раціональної організації технологічного процесу на етапі проектування - випалення, сушіння та помелу сировини.

Використання сучасних установок очищення технологічних газів від пилу дозволяє значно знизити його концентрацію в повітрі. Інтенсифікація технологічних процесів, яка досягається у ряді випадків за рахунок збільшення швидкості газів і температури випалення клінкера, а також більш тонкого подрібнення сировинної суміші і цементу, без встановлення додаткового обладнання для очищення від пилу, призводить до збільшення його викиду в навколишнє середовище.

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 [8].

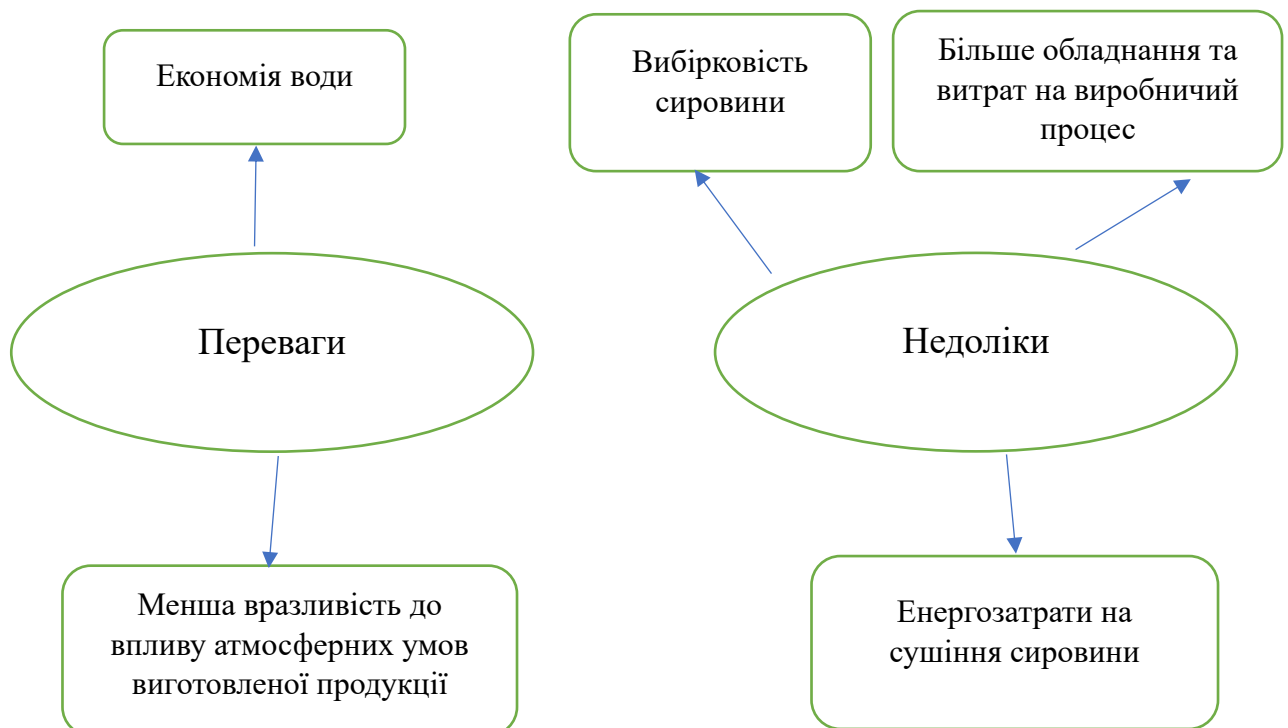


Рис.3.1. Переваги та недоліки сухого методу виробництва цементу

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.

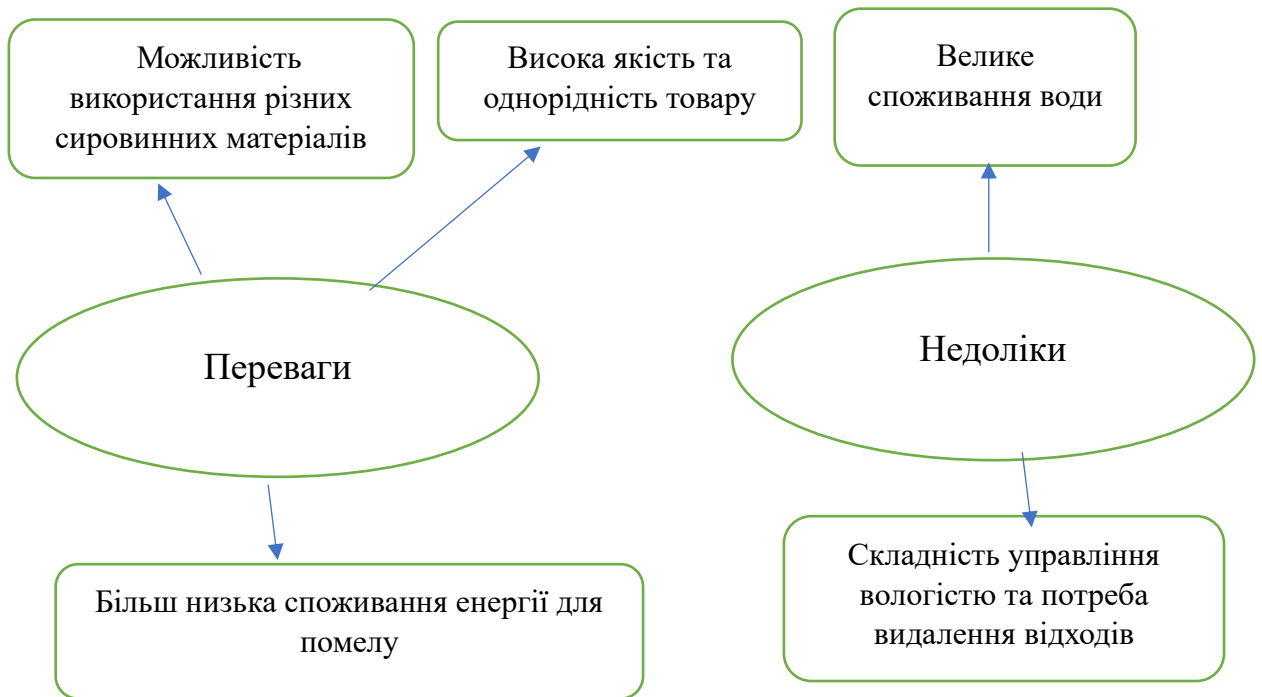


Рис. 3.2. Переваги та недоліки мокрого виробництва цементу

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 [10].

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.



Рис. 3.3. – Переваги та недоліки комбінованого методу

Загальною характеристикою сухого, мокрого та комбінованого методів виробництва цементу є те, що вони всі передбачають підготовку сировини, помел, 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.

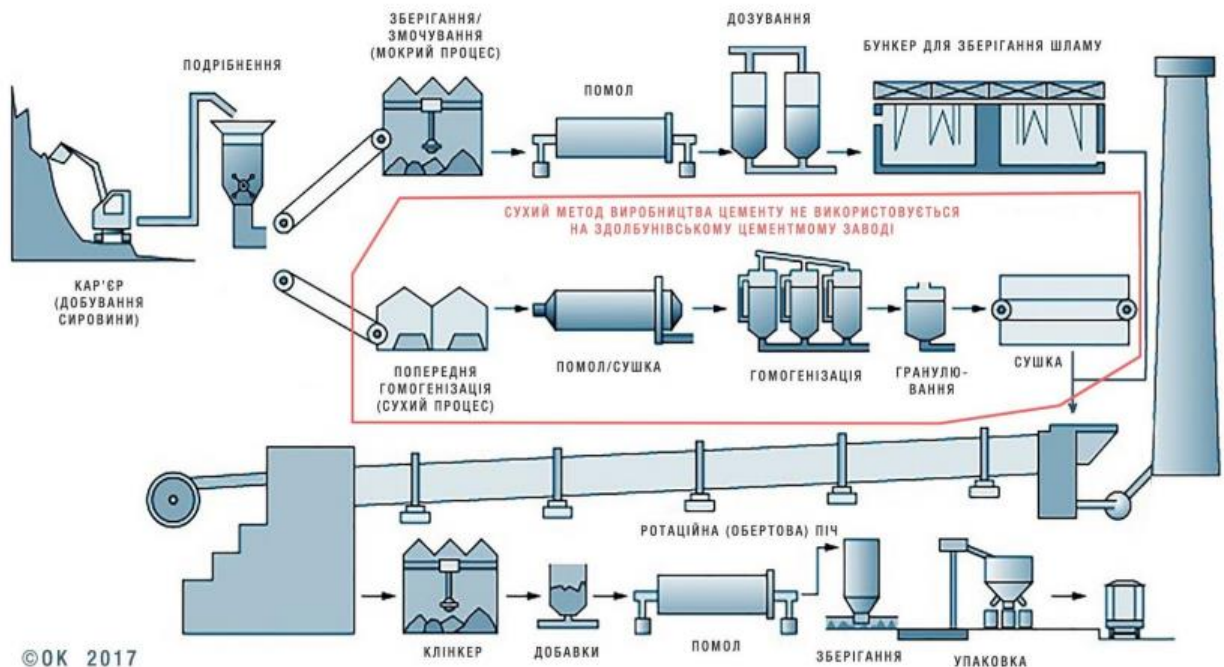


Рис.3.4. Технологічна карта виробництва цементної сировини

Технологічна схема виготовлення цементу наведена на рисунку 3.4. 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 [18].

В цілому на АТ «Подільський цемент» визначено 212 джерел викидів (94 – джерел викидів оснащені ГОУ, 94 – неорганізованих та 118 – організованих, з яких 7 є залповими).

3.1. Обсяг викидів забруднюючих речовин, 2024-2025 рр. (середнє) (т/рік)

Перелік речовин	Викиди	Одиниці виміру
азоту діоксид	2590,522	т
вуглецю оксид	7222,065892	т
аміак	0,005314	т
сажа	0,009572	т
сірки діоксид	4436,955	т
метан	0,143836	т
сірководень	0,000592721	т
водень хлористий	57,201	т
вуглеводні насичені C12-C19	82,623102	т
фтористий водень	8,08804	т
фториди добре розчинні неорганічні	0,0368	т
фториди погано розчинні неорганічні	0,01964	т
кислота оцтова	0,000005	т
метилмеркаптан	0,0000011197	т
етилмеркаптан	0,00000053705	т

бенз(а)пірен	0,00001931	т
миш'як	0,03189	т
фурані та діоксини	0,00000005722	т
хром та його сполуки	0,00525	т
хрому тривалентні сполуки (у перерахунку на Cr 3+)	0,07	т
нікель металічний	0,02022	т
кобальт металічний	4,039	т
заліза оксид	0,2114	т
мангану діоксид	4,04888	т
кадмію оксид (у перерахунку на кадмій)	0,002289	т
міді оксид	0,02256	т
руть металічна	0,1955	т
свинець і його неорганічні сполуки (у перерахунку на свинець)	0,06967	т
талію карбонат (у перерахунку на талій)	0,4044	т
сурма (стибій)	4,039	т
ванадію п'ятиоксид	4,039	т
пил недиференційований за складом	944,127496	т
Загальна кількість викидів усіх забруднюючих речовин на підприємстві – 15 389,8922 т/рік.		

Відбір проб здійснювався згідно карти місцевості радіусом не менш 50 максимальних висот труб джерела викиду. На план наносяться у відповідності з генеральним планом цементного заводу основні джерела викидів, а також у відповідності з генеральним планами планування та забудови населених пунктів райони перспективного житлового будівництва, лікарні, санаторії, місця відпочинку. Стаціонарні пункти - постійно обладнані точки відбору проб для систематичного вивчення динаміки забруднення атмосферного повітря цементним і клінкерним пилом.

Маршрутні пости – тимчасові, але суворо визначені місця для відбору проб, куди обладнання доставляється за мірою необхідності вивчення ступеню забруднення атмосферного повітря.

Систематичний нагляд за повною програмою виконується щоденно за місцевим часом за графіком о 07:00, 10:00, 13:00 годин у вівторок, четвер, суботу та о 15:00, 18:00, 21:00 у понеділок, середу, п'ятницю. У випадку постійно низьких концентрацій (нижче чутливості метода аналізу даної речовини) відбір проб проводять за скороченою програмою один раз на добу.

Первинним документом для реєстрації результатів нагляду є добова відомість по відбору проб атмосферного повітря. Крім того, ведеться місячна відомість по нагляду за чистотою атмосферного повітря на кожний інгредієнт окремо. З метою виявлення динаміки і тенденції ступеня забрудненості розраховують середньодобові, середньомісячні та середньорічні концентрації. В місці розташування цементного заводу необхідно проводити вивчення зонального розповсюдження цементного пилу та пилу клінкера.

Точки відбору проб повинні розташовуватися підвітряно до джерела викиду на відстані 100, 300, 500, 1000, 2000, 3000 метрів в залежності від потужності заводу, технологічних режимів, умов викиду, рельєфу місцевості, метеорологічних особливостей району дослідження. Крім того, виділяється контрольна точка з навітряної сторони.

Відбір проб виконується за факелом: при зміні його напрямку відповідно зміщується точка аспірації. У протоколі відмічається вологість повітря,

температура, напрям та сила вітру.

Одночасно з відбором проб безпосередньо на заводі перевіряється стан роботи очисних фільтрів, виробниче навантаження в момент відбору проб та ритмічність роботи підприємства. Визначаються статистично достовірні концентрації (мг/м^3) запиленості атмосферного повітря на різних відстанях від джерела викидів, відсоток проб (в точках досліджень) що перевищують ГДК, вплив метеорологічних факторів на ступінь забрудненості повітря. Отриманий аналіз дозволяє визначити рівень впливу різних режимів роботи цементного заводу на ступінь забрудненості атмосферного повітря, а також залежності забрудненості атмосферного повітря від стану роботи газо- та пиловловлюючих установок.

Для розробки первинних матеріалів натурних досліджень використовується вибірковий метод визначення зональних максимальних разових концентрацій, який включає в себе наступні етапи:

- вибірка серій зональних досліджень за показниками максимального викиду цементного заводу;
- відбір серій вимірювань з урахуванням найгірших для розсіювання викидів метеорологічних умов;
- відбір максимальних концентрацій, що відповідають осьовим аспіраційним точкам по кожному дню досліджень у всіх зонах;
- умовне встановлення нижньої межі, що зараховується під час наступної обробки інформації про рівень забруднення повітря;
- складання вихідних для статистичної обробки варіаційних рядів по зонам, у яких варіантами є максимальні разові концентрації, які перевищують середню їх величину у щоденній серії вимірів;
- визначення найвищої екстремальної концентрації у кожному ряді;
- розрахунок середньої величини даного ряду (M) та його середньої похибки (m);
- визначення середнього максимуму.

З точки зору впливу на навколишнє середовище, спалювання біомаси та твердого відновлювального палива у декарбонізаторі обертової печі відповідає вимогам Правил експлуатації об'єктів поводження з відходами, затверджених наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України №196 від 04.05.2012, Європейської Директиви про промислові викиди 2010/75/EU (Directive 2010/75/EU on industrial emissions), Рішення Європейської комісії 2013/163/EU з встановлення найкращих доступних практик відповідно до Європейської Директиви про промислові викиди 2010/75/EU при виробництві цементу, вапна та магнезиту від 26.03.2013 р. та Технічних керівних принципах екологічно обґрунтованої сумісної переробки небезпечних відходів у цементних печах сторін Базельської Конвенції від 11.11.2011р.

Перелічені документи та нормативно-правові акти нормують температуру горіння та час перебування газів горіння при температурі більше 850°C у випадку використання палив на основі відходів. Технологічний процес випалу клінкеру на АТ «Подільський цемент» передбачає температурний діапазон горіння палива у декарбонізаторі системи випалу клінкеру 900-1000°C та час перебування газів при температурі більше 850°C в інтервалі 5,5 – 6,0 секунд. Діоксини, фурани, а також складні вуглеводні, які можуть бути у сировинних матеріалах та паливах (всіх видах в тому числі викопних) прокалюються при високих температурах, швидке охолодження відхідних газів до температури 200°C унеможливорює повторне утворення діоксинів, фуранів та складних вуглеводнів в температурному діапазоні 300 - 450°C.

Організовані джерела викидів забруднюючих речовин оснащені сучасними пилоочисними пристроями, ефективність очищення яких становить понад 99 %, що сприяє мінімізації викидів у повітряний басейн. При отриманні дозволу на викиди будуть встановлені умови до технологічного обладнання та споруд, до адміністративних дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру для запобігання перевищення викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

3.2. Аналіз джерел викидів забруднюючих речовин під час виробництва цементу

Забруднення навколишнього середовища під впливом цементного виробництва відбувається на всіх етапах виготовлення продукції, починаючи від транспортування сировини і закінчуючи ненормованими викидами на малооб'ємних ділянках підприємства. Виробничий майданчик підприємства АТ «Подільський цемент», що входить до складу компанії CRH [9].

Джерело викиду №1 – випалювальна обертова піч (холодна частина печі). Організоване джерело викиду, що відводить пилогазоповітряну суміш від випалювальної обертової печі, декарбонізатора, циклонів-теплообмінників, млинів сировинної суміші. Забруднюючі речовини утворюються та виділяються при транспортуванні та перемелюванні сировинної суміші, у розпалювальний період та при обпалюванні клінкеру.

Пилогазоповітряна суміш, що відводиться, містить продукти спалювання палива (вугілля та природного газу) та пил неорганічний, який містить двоокис кремнію нижче 20%, що виділяється при транспортуванні матеріалу в процесі сушки та при розмелюванні матеріалу в млинах сировинної суміші, пил цементного виробництва, що виділяється при обпалюванні сировинної суміші та утворенні клінкеру.

Джерело викиду №2 – холодильник клінкеру. Забруднюючі речовини (пил цементного виробництва) утворюються та відводяться при охолодженні гарячого клінкеру на решітці, за допомогою атмосферного повітря, що нагнітається вентиляторами.

Джерела викидів №3, №4, №5 – силоси сировинної суміші №1-3. Забруднюючі речовини (пил неорганічний, який містить двоокис кремнію нижче 20%) утворюються та відводяться при завантажуванні матеріалів у силоси, додатковому змішуванні матеріалів та зберіганні сировинної суміші.

Джерела викидів №6, №7, №8, №9 - сушильні барабани №1, №2, №3, №4, що призначені для транспортування та сушки матеріалів. Сушильні барабани №2 та №3 призначені в основному для сушки вапняку та

транспортування граншлаку для сировинної суміші. Сушильні барабани №1 та №4 використовуються для сушки вапняку та глини. Сушка в барабанах здійснюється шляхом нагріву матеріалів сумішшю продуктів спалювання природного газу та атмосферного повітря. Пилогазоповітряна суміш, що відводиться містить продукти спалювання природного газу та пил неорганічний, склад якого залежить від матеріалів, що оброблюються.

Джерела викидів №10, №12, №13 – технологічне обладнання дозувального блоку (конвеєри, силоси, живильники силосів, дозатори силосів). Утворення та виділення забруднюючих речовин проходить при транспортуванні, перевантаженні матеріалів та їх змішуванні на конвеєрі. Склад пилу, що викидається, залежить від типу матеріалів, які оброблюються. Від джерела викиду №10 (аспіраційна система якого обслуговує обладнання для дозування переважно гранульованого шлаку) в атмосферу відводиться пил неорганічний, який містить двоокис кремнію 20-70%.

Від джерела викиду №12 (аспіраційна система якого обслуговує обладнання для дозування, в основному, вапняку) в атмосферу відводиться пил неорганічний, який містить двоокис кремнію нижче 20%.

Від джерела №13 (аспіраційна система якого обслуговує обладнання для обробки, в основному глини) відводиться в атмосферне повітря зола вугільна та пил неорганічний, який містить двоокис кремнію 20-70%.

Джерела викидів №14, №15 – сушильні барабани №5, №6, що призначенні для транспортування та сушки матеріалів, переважно гранульованого шлаку. В атмосферне повітря виділяються пилогазоповітряна суміш, що відводиться, містить продукти спалювання природного газу та пил неорганічний, який містить двоокис кремнію 20-70%.

Джерело викиду №16 – елеватор сировинної муки. Забруднюючі речовини (пил неорганічний, який містить двоокис кремнію нижче 20%) утворюються та відводяться при транспортуванні сировинної муки.

Джерела викидів №17-20 – цементні млини №1-4. Забруднюючі речовини (пил неорганічний, який містить двоокис кремнію 20-70%)

утворюються при перемелюванні цементного клінкеру та різноманітних добавок з утворенням безпосередньо цементу.

Джерело викиду №26 – об'єднаний склад. В атмосферне повітря виділяються пилові фракції матеріалів, що класифікуються як пил неорганічний, який містить двоокис кремнію 20-70%, пил (неорганічний) гіпсового в'язучого, пил цементного виробництва.

Джерело викиду №31 – базисний склад. В атмосферне повітря виділяються пилові фракції матеріалів, що класифікуються як пил неорганічний, який містить двоокис кремнію нижче 20%, 20-70% та вище 70%.

Джерело викиду №32 – склад переробки сушки сировини. В атмосферне повітря виділяються пилові фракції матеріалів, що класифікуються як зола вугільна та пил неорганічний, який містить двоокис кремнію нижче 20%, 20-70% та вище 70%.

Джерело викиду №59 – вагоноперекидач ВРС-134. В атмосферне повітря виділяється пил неорганічний, який містить двоокис кремнію нижче 20%, 20-70%, та вище 70%, пил цементного виробництва, пил (неорганічний) гіпсового в'язучого, пил вугільного концентрату.

Джерело викиду №73 – приймальний бункер вібророзвантажувача вагонів. В атмосферне повітря виділяється пил (неорганічний) гіпсового в'язучого та пил цементного виробництва.

Джерело викиду №74 – сушильний барабан №7, що призначений для транспортування та сушки матеріалів, переважно гранульованого шлаку (є резервним). В атмосферне повітря виділяються пилогазоповітряна суміш, що відводиться, містить продукти спалювання природного газу та пил неорганічний, який містить двоокис кремнію 20-70%.

Джерело викиду №75 – склад клінкеру №1. В атмосферне повітря виділяється пил цементного виробництва.

Джерело викиду №84 – місце завантаження матеріалів грейфером. В атмосферне повітря виділяється пил неорганічний, який містить двоокис кремнію 20-70%, пил (неорганічний) гіпсового в'язучого.

Джерело викиду №85 – місце завантаження матеріалів грейфером. В атмосферне повітря виділяється пил неорганічний, який містить двоокис кремнію нижче 20%, 20-70% та вище 70%.

Джерело викиду №87 – вузол перевантаження складу переробки сушки сировини. В атмосферне повітря виділяється зола вугільна, пил неорганічний, який містить двоокис кремнію нижче 20%, 20-70% та вище 70%.

3.2. Характеристики цехів, як джерела викиду забруднюючих речовин

Джерела викидів	Перелік забруднюючих речовин			
	Пил (неорганічний)	Оксида		
		вуглецю	сірки	азоту
Місце розвантаження та складування сировини для виготовлення цементу	+	-	-	-
Сушильні барабани	+	+	+	+
Цементні млини	+	+	-	+
Установка по виготовленню цементного клінкеру	+	+	+	+
Автотранспорт	+	+	-	+

Можна відмітити, що найбільш потужним джерелом викидів забруднюючих речовин є сушильні барабани та установка по виготовленню цементного клінкеру.

При проведенні оцінки джерел викидів, які знаходяться на підприємстві цементного заводу можна визначити перелік видів забруднюючих речовин, які надходять до навколишнього середовища від виробництва.

3.3. Вихідні дані від джерела забруднення № 14, сушильного барабана №5

Виробництво, промислова дільниця, технологічний процес	Виробництво цементу. Виробничий цех. Сушіння гранульованого шлаку
Технологічне обладнання	Сушильний барабан №5 (прямоточний, розмір 2,8 x 20 м)
Фактичний час роботи обладнання	7200 год./рік
Фактична витрата природного газу	2500,5 тис. м ³ /рік
Фактична виробнича потужність	5 т/год.
Проектний обсяг на сушку гранульованого шлаку	12,06 тис. т/рік
Проектний обсяг сухого гранульованого шлаку	106,6 тис. т/рік
Проектний час роботи обладнання	5200 год./рік
Проектна витрата природного газу	3000,0 тис. м ³ /рік

Перелік забруднюючих речовин, що надходять в атмосферне повітря від джерела забруднення № 14, сушильного барабана № 5 наведено в таблиці 3.3 та відповідні значення ГДК представлені в таблиці 3.4 шкідливих речовин, які виділяються від сушильних барабанів [11].

3.4. Перелік забруднюючих речовин, що надходять в атмосферне повітря від джерела забруднення № 14, сушильного барабана №5

№	Назва забруднюючої речовини	ГДК с.д. мг/м³	ГДК м.р. мг/м³	Максимально разовий викид, г/с	Валовий викид речовини т/рік
1	Пил неорганічний: 70- 20%	0,1	0,3	0,76	1,71

2	Азот (IV) оксид (азоту діоксид)	0,04	0,2	0,11	2,95
3	Сірка діоксид (ангідрид сірчистий)	0,05	0,5	0,86	22,38
4	Вуглецю оксид	3	5	0,27	6,99

3.5. Значення ГДК в атмосферному повітрі населених пунктів, які виділяються від джерела забруднення № 14, сушильного барабана №5

Назва речовини	ГДК, мг/м3	
	Максимально – разова	Середньодобова
Окис вуглецю	5,0	3,0
Азоту двоокис	0,2	0,04
Ангідрид сірчистий	0,5	0,05
Пил неорганічний	0,3	0,1

3.6. Результати розрахунків викидів, після очищення у циклоні, від сушильного барабану №5

№	Назва речовини	Максимально - разовий викид, г/с	Валовий викид, т/рік
1	азоту двоокис	0,13	1,71
2	сірки двоокис	2,3	29,8
3	окис вуглецю	0,86	22,38
4	пил неорганічний	8,7	112,75

Таким чином з таблиці 3.6 пил неорганічний становить незначний валовий викид (112,75 т/рік) в порівнянні з іншими забруднюючими речовинами і разовий викид (8,7 г/с) після впровадження очисних методів.

Основні компоненти пилу цементного: оксиди заліза, алюмінію, кальцію, кремнію. В складі пилу містяться значні концентрації Mn, Ni, Cu, Cr, Pb, Zn.

Насьогодні АТ «Подільський цемент» (яке працює під брендом CEMARK) цемент виготовляють виключно сухим способом. Ірландська група CRH, яка викупила завод, провела масштабну модернізацію, інвестувавши понад 300 мільйонів євро у повне переведення підприємства на нові технології.

У 2011–2012 роках на заводі запустили надсучасну, екологічно безпечну лінію сухого способу виробництва, яка є однією з найбільших у Європі (проектна потужність становить 2,05 млн тонн цементу на рік). Усі застарілі енергомісткі печі мокрого способу було остаточно зупинено й виведено з експлуатації.

Сухе подрібнення: сировина (вапняк і глина) більше не розбавляється водою. Вона висушується димовими газами безпосередньо під час розмелювання в сировинних млинах до стану дрібнодисперсного сухого порошку (сировинного борошна).

Циклонні теплообмінники: Перед потраплянням у піч сухе борошно проходить крізь систему вертикальних циклонів. Там воно за лічені секунди нагрівається гарячими газами до $+800^{\circ}\text{C}$ і декарбонізується (частково обпалюється).

Коротка обертова піч: Оскільки випаровувати воду більше не потрібно, довжина сучасної печі сухого способу є значно меншою за старі «мокрі» печі, а сам процес випалювання клінкеру за температури до $+1450^{\circ}\text{C}$ відбувається значно швидше.

Головні екологічні та економічні переваги:

1. Енергоефективність: Витрати палива на виробництво тонни клінкеру скоротилися більш ніж удвічі.

Зниження викидів: Обсяги викидів парникових газів (CO_2) знизились на 20–30%, а завдяки сучасним системам знепилення з рукавними фільтрами викиди пилу в атмосферу зменшилися у 10 разів.

Екологічність кінцевого продукту: Готовий цемент тепер відповідає найжорсткішим європейським стандартам якості та екологічності.

Комплексний аналіз структури та обсягів техногенного навантаження АТ «Подільський цемент» свідчить, що підприємство залишається потужним джерелом екологічного впливу на атмосферне повітря Хмельницької області, щорічно генеруючи тисячі тонн валових викидів забруднюючих речовин (CO), (SO_2), (NO_2). Проте масштабний перехід заводу з мокрого на сухий спосіб виробництва, модернізація 94 джерел викидів високоефективними рукавними фільтрами (з очищенням до 99,8%) та впровадження автоматизованого моніторингу дозволили суттєво мінімізувати приземні концентрації цементного пилу на межі санітарно-захисної зони. Подальша екологічна безпека Кам'янецьчини та успішна інтеграція альтернативного відновленого палива (SRF) безпосередньо залежатимуть від суворого дотримання підприємством технологічного регламенту та безперервного контролю за викидами специфічних мікродомішок.

ВИСНОВКИ

1. Під час написання бакалаврської дипломної роботи було розглянуто проблему забруднення повітря цементним заводом у Кам'янці-Подільському, проаналізовано загальний стан атмосфери у місті, технологію виробництва цементу, що використовується підприємством, як утворюються шкідливі речовини та їх склад, що дозволило оцінити вплив підприємства на навколишнє середовище та міське населення.

2. Цементна промисловість є стратегічною галуззю економіки України, проте вона створює суттєве техногенне навантаження на довкілля. Основними забруднювачами є дрібнодисперсний пил (PM1, PM2.5, PM10), оксиди азоту (NO_x), діоксид сірки (SO₂), вуглекислий газ (CO₂) та важкі метали. Найбільшу екологічну небезпеку становлять тверді частинки, що легко проникають у дихальні шляхи людини. Для їхнього аналізу ефективним є застосування математичних моделей атмосферного розсіювання.

3. На прикладі АТ «Подільський цемент» проаналізовано основні джерела пилового забруднення, серед яких домінують етапи випалу клінкеру, помелу цементу та транспортування сировини. Незважаючи на впровадження сучасного фільтраційного обладнання з ефективністю до 99,99%, в окремі часові проміжки фіксуються пікові перевищення концентрацій забруднювачів у сусідніх населених пунктах (Гуменці, селище Цементне). Це свідчить про необхідність додаткових заходів із герметизації технологічних процесів і вдосконалення моніторингу.

4. Рівень забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсними частинками (PM1, PM2.5, PM10) у зоні впливу підприємства не перевищував фонові показники.

5. Спалювання біомаси та твердого відновлювального палива у декарбонізаторі обертової печі відповідає вимогам Правил експлуатації об'єктів поводження з відходами.

6. Організовані джерела викидів забруднюючих речовин оснащені сучасними пилоочисними пристроями, ефективність очищення яких становить понад 99 %, що сприяє мінімізації викидів у повітряний басейн.

7. Перехід АТ «Подільський цемент» на сухий спосіб виробництва дозволив кардинально змінити якісний та кількісний склад емісії забруднюючих речовин. Основними компонентами сучасних викидів є продукти спалювання палива (оксид вуглецю — близько 7200 т/рік, діоксид сірки — понад 4400 т/рік та оксиди азоту — близько 2600 т/рік), тоді як обсяги викидів специфічного цементного пилу було успішно знижено до мінімальних нормативних значень (близько 143 т/рік). Найбільшим екологічним викликом для підприємства залишається високий рівень емісії парникових газів (CO_2), обсяг яких перевищує 1 млн тонн на рік через неминучі хімічні процеси декарбонізації (кальцинації) вапнякової сировини в обертових печах.

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. Турянця 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.
10. Brook, R.D., Rajagopalan, S., Pope, C.A., et al. "Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association." *Circulation*, 2010. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.893461

11. Бахарєв В.С. Екологічна безпека регіону в умовах техногенного пилового забруднення атмосферного повітря: дис... канд.. техн. наук: 21.06.01 / В. С. Бахарєв. – Кременчук, 2005. – 179 с.

12. Мокін В.Б. Моделювання поширення забруднювальних речовин у повітрі міста з використанням геоінформаційних технологій / В.Б. Мокін, І.В. Варчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 5. — С. 13-18.

13. Пляцук Л.Д. Підвищення якості атмосферного повітря на основі управління екологічною безпекою промислового підприємства/ Л.Д. Пляцук, Л.Л. Гурець // Sciences of Europe. – VOL 1, No 3 (3) (2016). – р. 62-66. 69. WHO. "Air Quality Guidelines: Global Update 2021." URL <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>

14. Pope, C.A., Dockery, D.W. "Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect." Journal of the American College of Cardiology, 2019. DOI: 10.1016/j.jacc.2019.05.001

15. Zhang, R., et al. "Impacts of atmospheric aerosols on agricultural productivity." Environmental Pollution, 2021. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115925

16. Seinfeld, J.H., Pandis, S.N. "Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change." Wiley-Interscience, 2016. URL: <https://www.wiley.com/en-us/Atmospheric+Chemistry+and+Physics>

17. Advanced Grapher 2.2 / Alentum Software, Inc. [Електронний ресурс]. – 2009. – URL <http://www.alentum.com/agrapher/>

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

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

20. 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://visnykonu.od.ua/index.php/chem/article/view/1229>.

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

22. 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.

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

24. 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).

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

26. Узунова Г.Д. Вплив цементного виробництва на стан довкілля міста Одеса // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Екологічна безпека: проблеми та шляхи вирішення". – Одеса: ОДЕКУ, 2018. – С. 114–119. – URL: https://eprints.library.odeku.edu.ua/1149/1/UzunovaGD_KEOD_MKR_W2018.pdf

27. Куян Є.С. Технології захисту навколишнього середовища: курсова робота. – Дніпро: Національний гірничий університет, 2019. – 32 с. – URL: https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/161580/KP%20Куян%20ЄС%20_183м-19з-1.pdf?isAllowed=y&sequence=1

28. Оцінка ефективності екологічної модернізації підприємств цементної промисловості // Вісник Ужгородського національного університету. Серія: Економіка. – 2019. – Вип. 23(1). – С. 85–89. – URL: https://www.visnykeconom.uzhnu.uz.ua/archive/23_1_2019ua/17.pdf

29. AirFresh: пристрій моніторингу якості повітря на вулиці // Beegreen. URL: <https://beegreen.com.ua/airfresh-pristryy-mon%D1%96toringu-jakostipov%D1%96trja-vulic%D1%96-16519>

30. Український гідрометеорологічний центр [Електронний ресурс]. URL <http://meteo.gov.ua> 48. Данилів О.О. Ґрунтові ресурси Івано-Франківської області та їх охорона // Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. – 2022. – Випуск 2. – С. 18–22. DOI <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2022-2-18-22>

31. Паньків З.П. Ґрунти України: навчально-методичний посібник - Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – 112 с. URL <https://geography.lnu.edu.ua/wpcontent/uploads/2020/09/grunty-Ukraine-Pankiv.pdf>

32. Метеорологія і кліматологія: навчальний посібник / Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. – Харків, 2020. URL <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2020/05/12-meteorologija-iklimatologija.pdf>

33. 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.

34. 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.

35. 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.

36. 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

37. 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>.

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

39. Karstensen, K.H. Guidelines for co-processing of alternative fuels and raw materials and treatment of organic hazardous wastes in cement kilns. – UNEP, 2008. URL <https://sawic.environment.gov.za/documents/461.pdf>

40. Василенко В.М., Тарасенко О.А. Екологічні аспекти виробництва цементу / В.М. Василенко, О.А. Тарасенко // Екологічна безпека та природокористування. – 2015. – № 1. – С. 35–40.

41. Василенко В.М. Аналіз впливу цементної промисловості на навколишнє середовище / В.М. Василенко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2010. – № 668. – С. 28–33.

42. Державна служба статистики України. Статистичний збірник "Охорона навколишнього природного середовища в Україні". – Київ, 2020.

43. Цементна промисловість України [Електронний ресурс] // Вікіпедія. — URL https://uk.wikipedia.org/wiki/Цементна_промисловість_України

44. Цемент [Електронний ресурс] // Вікіпедія. — URL <https://uk.wikipedia.org/wiki/Цемент>

45. Цемент // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р.А. Шмиг, В.М. Боярчук, І.М. Добрянський, В.М. Барабаш; за заг. ред. Р.А. Шмига. — Львів: [б. в.], 2010. — С. 207. — ISBN 978-966-7407-83-4.

46. Про затвердження Методики проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин на цементних заводах [Електронний ресурс]: Наказ

Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 18.09.2023 № 1475. URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1475-23#Text>

47. Holmes N.S., Morawska L. A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available // Atmospheric Environment. — 2006. — Vol. 40, No. 30. — P. 5902–5928.