

Хмельницький національний університет

Гуманітарно-педагогічний факультет

Кафедра екології та біологічної освіти

### КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Екологізація цементного виробництва шляхом використання  
альтернативного палива на прикладі акціонерного товариства

«Подільський цемент»

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Галузь знань – 10 Природничі науки

Спеціальність – 101 Екологія

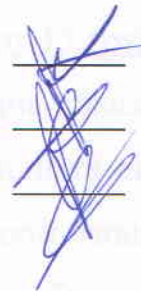
Освітня програма – «Екологія»

КвРЕКОЛ. 024059.01.04.00

Виконала здобувач 2 курсу група ЕКОЛмз-24-1

Керівник кандидат сільгосп. наук, доцент

Нормоконтролер



Лілія СТАДНІК

Сергій ШЕВЧЕНКО

Сергій ШЕВЧЕНКО

До захисту допускаю:

завідувач кафедри екології

та біологічної освіти



Ольга ЄФРЕМОВА

18 грудня 2025 р.

Хмельницький 2025

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет – Гуманітарно-педагогічний  
Кафедра – Екології та біологічної освіти  
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)  
Галузь знань – 10 Природничі науки  
Спеціальність – 101 Екологія  
Освітньо-професійна програма – «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри екології  
та біологічної освіти

 Ольга СФРЕМОВА  
«26» вересня 2025 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Стаднік Лілії Василівні

1. Тема роботи «Екологізація цементного виробництва шляхом використання альтернативного палива на прикладі АТ «Подільський цемент»»

керівник роботи Шевченко С. М., кандидат сільгосп. наук, доцент

Затверджено наказом ректора університету від 25 серпня 2025 року № 65.

2 Строк подання здобувачем роботи на кафедру 15 грудня 2025 року.

3 Вихідні дані до роботи: дані про виробничі показники цементного заводу, дані про використання палива, дані про викиди та екологічні показники, дані про відходи та побічні продукти та дані про нормативне регулювання.

4 Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити): 1 Аналіз та перспективи використання альтернативного палива у цементному виробництві. 2 Екологічна характеристика та аналіз виробничої діяльності АТ «Подільський цемент». 3 Підвищення екологічної ефективності цементного виробництва шляхом використання альтернативного палива.

5 Дата видачі завдання 29 вересня 2025 року.

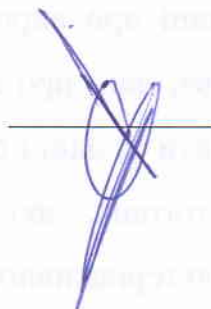
## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Термін виконання	Примітка
1 Вступ	до 01.11	виконано
2 Теоретичні засади оцінки інституційної спроможності громад	до 10.11	виконано
3 Аналіз сучасного стану інституційної спроможності територіальних громад Хмельницької області у сфері управління побутовими відходами	до 25.11	виконано
4 Напрями підвищення інституційної спроможності громад Хмельницької області у сфері управління відходами	до 01.12	виконано
5 Висновки	до 4.12	виконано
6 Перелік джерел посилання	до 6.12	виконано
7 Додатки	до 8.12	виконано

Здобувач



Лілія СТАДНІК

Керівник  
кваліфікаційної роботи

Сергій ШЕВЧЕНКО

## АНОТАЦІЯ

Тема – Екологізація цементного виробництва шляхом використання альтернативного палива на прикладі АТ «Подільський цемент».

Автор – здобувач 2 курсу група ЕКОЛ<sub>мз</sub>-24-1 Лілія СТАДНІК.

Керівник – доц. кафедри екології та біологічної освіти, к.с.-г.н., доц., Сергій ШЕВЧЕНКО.

Кваліфікаційна робота викладена на 85 сторінках, містить 4 таблиць, 17 рисунків, 1 додаток та перелік джерел посилання з 50 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АЛЬТЕРНАТИВНЕ ПАЛИВО (АП), АТ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ЦЕМЕНТ», ЦЕМЕНТНЕ ВИРОБНИЦТВО, ЕКОЛОГІЗАЦІЯ, ВІДХОДИ, SRF (SOLID RECOVERED FUEL) ТВЕРДЕ ВІДНОВЛЮВАЛЬНЕ ПАЛИВО.

У кваліфікаційній роботі досліджено сучасний стан використання альтернативного палива у цементному виробництві на прикладі АТ «Подільський цемент». Проаналізовано сучасні види альтернативного палива, що використовуються у світовій цементній промисловості, та оцінено перспективи їх застосування в українських реаліях. На основі отриманих результатів, розроблено рекомендацій щодо підвищення екологічної ефективності шляхом впровадження альтернативних енергоресурсів. Робота має практичну цінність для оптимізації виробничих процесів на АТ «Подільський цемент» та інших цементних підприємствах України, формування екологічної політики та стратегій декарбонізації галузі, розробки регіональних програм управління промисловими відходами, адаптації до вимог європейського екологічного законодавства, а також в освітніх програмах підготовки фахівців екологічного та інженерного профілю.

15.12.2025



Лілія СТАДНІК

## ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	5
1 Аналіз та перспективи використання альтернативного палива у цементному виробництві.....	8
1.1 Основні джерела негативного впливу цементного виробництва на довкілля .....	11
1.2 Види альтернативного палива, придатні для цементних печей.....	13
1.3 Оцінка екологічних і економічних ефектів заміщення традиційних енергоносіїв.....	24
1.4 Європейські практики у сфері «зеленої» цементної промисловості.....	33
2 Екологічна характеристика та аналіз виробничої діяльності АТ «Подільський цемент»... ..	42
2.1 Загальна характеристика підприємства .....	42
2.2 Технологічна схема виробництва цементу.....	46
2.3 Джерела та показники викидів забруднюючих речовин.....	51
2.4 Система природоохоронних заходів і моніторингу на підприємстві.....	59
2.5 Енергетичний баланс виробництва і споживання палива.....	62
2.6 Досвід використання альтернативного палива на АТ «Подільський цемент».....	65
3 Підвищення екологічної ефективності цементного виробництва шляхом використання альтернативного палива .....	68
Висновки.....	75
Перелік джерел посилання.....	80
Додаток А. Результати апробації досліджень .....	86

## ВСТУП

Виробництво цементу, яке є ключовим для будівельної галузі та розвитку інфраструктури, також підпадає під категорію екологічно навантажених промислових секторів. Його негативний вплив на навколишнє середовище має багатогранний характер і охоплює всі етапи технологічного процесу – починаючи з видобутку сировини і закінчуючи виробництвом готової продукції.

Використання альтернативного пального (АП) у цементному виробництві є одним з найбільш дієвих способів зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Висока енергоємність процесу виробництва портландцементного клінкеру та постійне зростання цін на викопні види пального сприяють тому, що енергетичне використання альтернативних палив, отриманих з горючих промислових і комунальних відходів, стає одним з ключових напрямків діяльності цементної промисловості для підвищення ефективності виробничих процесів [39].

Актуальність роботи обумовлена зростаючими вимогами до екологічної стійкості промисловості, зокрема цементного виробництва, яке є одним з найбільших джерел викидів парникових газів. У світлі глобальних змін клімату та посилення екологічних норм, переходити на більш екологічні технології стає не лише бажаним, але й необхідним. Використання альтернативного пального (АП) є ефективним рішенням для зниження негативного впливу на навколишнє середовище та забезпечення економічної ефективності виробництв.

Метою роботи є аналіз сучасного стану використання альтернативного палива у цементному виробництві на прикладі АТ «Подільський цемент» та розробка рекомендацій щодо підвищення екологічної ефективності шляхом впровадження альтернативних енергоресурсів.

Для досягнення поставленої мети визначено наступні завдання:

- провести аналіз сучасних видів альтернативного палива, що використовуються у світовій цементній промисловості, та оцінити перспективи їх застосування в українських реаліях;

- здійснити екологічну характеристику виробничої діяльності АТ «Подільський цемент», визначити основні джерела забруднення та обсяги викидів;

- оцінити технічні, економічні та екологічні аспекти впровадження альтернативного палива на досліджуваному підприємстві.

Об'єктом дослідження є процеси виробництва цементу та їх вплив на стан навколишнього природного середовища на АТ «Подільський цемент».

Предметом дослідження є екологічні аспекти використання альтернативного палива у виробничій діяльності цементних підприємств.

Гіпотеза дослідження полягає у припущенні, що системне впровадження альтернативного палива на підприємствах цементної промисловості дозволить суттєво знизити викиди парникових газів та інших забруднюючих речовин, зменшити енергетичні витрати виробництва, а також сприятиме вирішенню проблеми утилізації промислових та комунальних відходів, забезпечуючи синергетичний екологічний та економічний ефект.

У роботі використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів дослідження:

- системний аналіз, для вивчення структури цементного виробництва та його впливу на навколишнє середовище;

- порівняльний аналіз, для оцінки різних видів альтернативного палива та досвіду їх застосування;

- статистичний метод, для обробки даних про викиди забруднюючих речовин та споживання енергоресурсів;

- метод техніко-економічної оцінки, для визначення ефективності впровадження альтернативних палив;

- екологічний моніторинг, для оцінки впливу виробничої діяльності на довкілля.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в комплексному аналізі можливостей використання альтернативного палива у цементній промисловості України з урахуванням специфіки вітчизняних підприємств, регіональних особливостей сировинної бази та нормативно-правових вимог.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження можуть бути використані для оптимізації виробничих процесів на АТ «Подільський цемент» та інших цементних підприємствах України, формування екологічної політики та стратегій декарбонізації галузі, розробки регіональних програм управління промисловими відходами, адаптації виробництв до вимог європейського екологічного законодавства, а також в освітніх програмах підготовки фахівців екологічного та інженерного профілю.

Основні наукові положення та результати досліджень апробовано у збірці матеріалів Всеукраїнської конференції з проблем вищої освіти «Екологічно орієнтована вища освіта. Методологія та практика – 2025» у Харківському національно автомобільно-дорожньому університеті, (місто Харків, 29 жовтня 2025 року) (Додаток А).

# 1 АНАЛІЗ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА У ЦЕМЕНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Використання альтернативного палива (АП) у цементному виробництві є одним із найефективніших інструментів зменшення негативного впливу на довкілля. Висока енергоємність виробництва портландцементного клінкеру та постійне зростання цін на викопне паливо призводять до того, що енергетичне використання альтернативних палив із горючих промислових і комунальних відходів стає одним із головних напрямків діяльності цементної промисловості на шляху до підвищення ефективності виробництва.

Альтернативним паливом у цементній промисловості вважаються матеріали, що можуть замінити традиційні викопні палива (вугілля, природний газ, нафта) у процесі виробництва клінкеру. До найпоширеніших альтернативних палив належать біомаса, промислові та побутові відходи, зношені автомобільні шини, стічні осади, біомаса. Ці матеріали характеризуються різною теплотворною здатністю, хімічним складом та вимагають різних підходів до підготовки та використання [9].

Особливістю цементних печей є те, що вони створюють ідеальні умови для безпечного спалювання різноманітних відходів. Високі температури, тривалий час перебування матеріалів у зоні горіння та лужне середовище в цементній печі можуть запобігти утворенню небезпечних летких сполук, що робить її придатною для спільної переробки відходів як альтернативного палива. Температура випалюваного матеріалу в печі підвищується від 830 °C до 850 °C до 1450 °C, час перебування газів при високій температурі (більше 1100 °C) становить від 8 секунд до 10 секунд, що забезпечує повне руйнування органічних речовин.

Альтернативне паливо (Refuse Derived Fuel, RDF або Solid Recovered Fuel, SRF) виробляється шляхом сортування, подрібнення, сушіння та

гранулювання різних видів відходів, що мають високу теплотворну здатність.

Основними джерелами АП є:

- відсортовані побутові відходи (муніципальні тверді відходи);
- зношені автомобільні шини;
- промислові відходи (пластики, текстиль, папір, шлами);
- біомаса (деревна тріска, лушпиння).

Хоча заміщення викопних палив альтернативними може потенційно зменшити загальні викиди  $\text{CO}_2$  від цементної промисловості, потенціал скорочення часто є незначним (у діапазоні від 1 % до 5 % для більшості випадків і до 18 % поточних викидів  $\text{CO}_2$  у деяких випадках) і залежить від джерела біогенних викидів.

Спільне спалювання відпрацьованої олії представляє найбільший потенціал для скорочення викидів  $\text{CO}_2$  від цементної промисловості США (від 1 % до 7 % скорочення  $\text{CO}_2$  для досліджених сценаріїв), спільне спалювання осадів стічних вод та зношених шин представляє потенціал скорочення  $\text{CO}_2$  у діапазоні від 1 % до 5 %. Біомаса, пластикові відходи та паливо з відходів (RDF) мають нижчий вуглецевий слід порівняно з традиційними викопними паливами.

Використання альтернативних джерел палива заощаджує природне органічне паливо, яке відноситься до невідновних джерел природних ресурсів. Це особливо важливо в контексті вичерпання світових запасів викопного палива та необхідності переходу до сталого розвитку [23].

Існує підвищене глобальне зменшення викидів  $\text{CO}_2$  в масштабі планети, коли відходи інтегруються в системи цементних печей замість спеціалізованих інсинераторів. Спалювання альтернативного палива в цементних печах є процесом безвідходним: зола від його спалювання входить до складу портландцементного клінкеру.

Спільне спалювання всіх досліджених альтернативних палив може призвести до зменшення викидів твердих часток від 8 % до 75 % у різних

сценаріях. Викиди  $\text{NO}_x$  також зменшуються при спалюванні низькоякісних альтернативних палив завдяки реакціям повторного спалювання.

Однією з основних проблем заміщення альтернативного палива є широка варіація характеристик палива навіть від одного постачальника, для компенсації відмінностей можуть використовуватися стандартні викопні палива або стабільний потік іншого альтернативного палива.

Обладнання для дозування повинно бути встановлене якомога ближче до пальника для покращення контролю процесу, це особливо необхідно, якщо альтернативне паливо служить основним паливом для формування клінкеру.

Спектроскопія в ближньому інфрачервоному діапазоні, технологія цифрового онлайн-контролю, може використовуватися для аналізу властивостей альтернативного палива під час процесу подачі в піч, усуваючи варіації якості та дозволяючи оптимальну паливну суміш.

Однією з основних проблем є непостійність характеристик альтернативного палива. Виробники цементу потребують постійних та надійних поставок альтернативного палива, найважливіше – фундаментальне розуміння складу палива, що вимагає ґрунтовної характеристики будь-якого запропонованого палива.

Через вищі концентрації сірки, азоту, хлору, важких металів або іншої летючої речовини в деяких альтернативних паливах, спільне спалювання може збільшити викиди забруднювачів повітря, які викликають занепокоєння. Основною проблемою використання RDF цементними печами є вміст хлору, оскільки хлор послаблює цемент та збільшує ризик корозії сталевий арматури в залізобетонних конструкціях.

Критичною умовою безпечного використання альтернативного палива є дотримання жорстких екологічних стандартів та використання систем постійного автоматизованого моніторингу викидів. Європейські довідкові документи з найкращих доступних технологій (Best Available Techniques REferences BREF) для цементної промисловості встановлюють суворі

вимоги до використання АП, зокрема щодо контролю за вмістом важких металів, діоксинів та фуранів у відхідних газах [2].

### 1.1 Основні джерела негативного впливу цементного виробництва на довкілля

Виробництво цементу, будучи критично важливим для будівельної індустрії та розвитку інфраструктури, водночас належить до екологічно навантажених галузей промисловості. Його негативний вплив на довкілля має комплексний характер і охоплює всі стадії технологічного процесу – від видобутку сировини до готової продукції.

Цементне виробництво є одним із найбільших джерел промислових викидів в атмосферу.

Основні джерела негативного впливу цементних підприємств на довкілля можна класифікувати за такими напрямками – викиди пилу (тверді частинки), є найбільш видимим і значущим забруднювачем. Пил утворюється на всіх етапах: подрібнення сировини, транспортування матеріалів, робота обертових печей, охолодження клінкеру та пакування готового цементу. Неконтрольовані викиди пилу негативно впливають на дихальну систему людини, рослинність та якість ґрунту в прилеглих до підприємства районах[3].

Викиди парникових газів ( $\text{CO}_2$ ): цементна промисловість відповідає за значну частку світових антропогенних викидів вуглекислого газу. Джерела  $\text{CO}_2$ :

– технологічний процес (декарбонізація): розкладання вапняку ( $\text{CaCO}_3$ ) під дією високої температури з утворенням оксиду кальцію ( $\text{CaO}$ ) та ( $\text{CO}_2$ );

– спалювання палива: використання вугілля, нафтопродуктов або альтернативного палива для підтримки високих температур у печах.

Викиди газоподібних забруднювачів: включають оксиди сірки ( $\text{SO}_x$ ), оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ), які утворюються в процесі горіння палива та сприяють утворенню кислотних дощів та смогу. При використанні вторинних видів палива можуть також виділятися важкі метали та стійкі органічні забруднювачі.

Видобуток нерудної сировини – цементне виробництво потребує великих обсягів видобутку вапняку, глини, мергелю, гіпсу. Це призводить до значних порушень земельного покриву, зміни природних ландшафтів, знищення біорізноманіття та виснаження родовищ корисних копалин.

Енергоємність виробництва – процес випалу клінкеру потребує величезних обсягів теплової та електричної енергії, що посилює залежність від енергоносіїв та збільшує загальний екологічний слід галузі.

Стічні води – хоча сучасні цементні заводи часто використовують замкнені системи водопостачання, скиди промислових та побутових стічних вод, що містять завислі речовини або хімічні домішки, можуть негативно впливати на якість поверхневих та підземних вод.

Тверді відходи – утворюються у вигляді пилу, зібраного системами очищення (фільтрами), шламів з відстійників, а також некондиційної сировини та будівельного сміття. Накопичення цих відходів вимагає спеціальних полігонів для зберігання та утилізації.

Технологічне обладнання – робота важкої кар'єрної техніки, млинів для помелу сировини та клінкеру, обертових печей, транспортних систем є джерелом постійного інтенсивного шуму та вібрації. Це створює дискомфорт для працівників підприємства та мешканців прилеглих населених пунктів.

Узагальнюючи, негативний вплив цементного виробництва є багатофакторним. Ефективне управління екологічними ризиками вимагає впровадження комплексних підходів, що включають модернізацію технологій, використання альтернативної сировини та палива, а також посилений контроль за дотриманням екологічних стандартів [6].

Виробництво цементу, незважаючи на його важливість для будівельної індустрії, має значний негативний вплив на довкілля, включаючи викиди пилу, парникових газів ( $\text{CO}_2$ ), оксидів сірки та азоту, що погіршують якість повітря і сприяють глобальному потеплінню. Видобуток сировини призводить до порушення земельного покриву та знищення біорізноманіття, а енергоємність процесу підвищує залежність від енергетичних ресурсів. Скиди стічних вод можуть забруднювати водні ресурси, а накопичення твердих відходів вимагає належного управління. Крім того, робота технологічного обладнання супроводжується шумом і вібрацією, що створює дискомфорт для працівників і мешканців прилеглих територій. Таким чином, для зменшення екологічного впливу цементного виробництва необхідно впроваджувати більш екологічні технології та практики.

## 1.2 Види альтернативного палива, придатні для цементних печей

Сучасна промисловість стикається з численними викликами, пов'язаними з екологічними проблемами та зменшенням запасів традиційних енергетичних ресурсів. Виробництво цементу, яке є одним з найбільш енергоємних процесів у будівельній галузі, потребує значних обсягів пального, що часто призводить до високих викидів вуглекислого газу та інших забруднюючих речовин. У зв'язку з цим, пошук альтернативних видів пального, які можуть бути використані в цементних печах, стає надзвичайно актуальним.

Альтернативні види пального, такі як біомаса, відходи промисловості, вторинні сировини та інші екологічно чисті джерела енергії, не лише зменшують залежність від традиційних викопних палив, але й сприяють зниженню викидів парникових газів. Використання таких видів пального в цементних печах може суттєво знизити вартість виробництва, покращити екологічні показники та сприяти сталому розвитку галузі.

У цьому розділі буде розглянуто основні види альтернативного палива, які можуть бути ефективно використані в цементних печах, їх характеристики, переваги та недоліки, а також вплив на процеси горіння та якість кінцевого продукту. Аналіз цих аспектів дозволить зрозуміти, як впровадження альтернативних видів пального може змінити традиційні підходи до виробництва цементу та сприяти екологічній стійкості в будівельній індустрії.

SRF (Solid Recovered Fuel), або тверде відновлювальне паливо, є найбільш поширеним типом альтернативного палива у цементній галузі (рисунок. 1.1)



Рисунок 1.1 – SRF (Solid Recovered Fuel), або тверде відновлювальне паливо

SRF утворюється з вторинної сировини, яка не є небезпечною та має калорійну складову, наприклад: відсортовані тверді побутові відходи, тверді промислові, будівельні та комерційні відходи, відходи сільського та лісового господарств [7].

Дане паливо класифікується за ДСТУ EN 15359:2018. Часом ми можемо зустріти використання аббревіатури RDF (Refuse Derived Fuel) – це

поширене визначення для SRF низької якості, а саме низьких показників калорійності.

Виробництво SRF складається із трьох основних етапів: сортування, подрібнення, усереднення. Опціонально, для досягнення високої якості SRF чи його підготовки до транспортування, імплементується ще два етапи: сушка вторинної сировини та тюкування SRF.

Сортування потрібне для розділення відходів на чотири типи:

- цінна вторинна сировина для подальшої рециркуляції або повторного використання;
- органічна складова для подальшого компостування і виробництва добрива;
- цінна вторинна сировини, яка не підлягає рециркуляції чи повторному використанню, але має калорійну складову та може використовуватися в якості альтернативного палива (сировина для виробництва SRF);
- хвости сортування, які не мають цінності та видаляються на полігони побутових чи промислових відходів.

Подрібнення потрібно для досягнення розміру частинок SRF прийнятних для належного горіння у пічній системі виробництва клінкеру. Це найбільш енерговитратний процес, який у більшості випадків проходить у два етапи: первинне подрібнення до фракції від 100 мм до 250 мм та фінальне подрібнення до фракції від 25 мм до 70 мм.

Усереднення, або пропорційне змішування, дає змогу отримати SRF визначеної якості по фізико-хімічним характеристикам.

АТ «Подільський цемент» використовує SRF, яке виробляється нашими партнерами в Україні з локальної вторинної сировини та виробляє власне SRF/

Впровадження власного виробництва SRF є цілком поширеним бізнес напрямом цементних компаній світу. Компанія CRH не виключення –

майданчики з виробництва SRF функціонують у трьох з п'яти країн Східного Кластеру (Словаччина, Румунія та Сербія).

Підготовка альтернативних видів палива (біомаса та тверде відновлювальне паливо) до використання у обертовій печі № 7. Технологічна схема передбачає подрібнення відсортованих відходів, які отримані з процесу сортування побутових, промислових відходів та відходів сільського господарства. Також в процесі сортування відбувається відбір металевих включень з відсортованих відходів.

Альтернативні види палива містять відсортовані не подрібнені матеріали. Одною з основних вимог до альтернативного виду палива є розмір його частинок. При виробництві портландцементного клінкеру на обертовій печі № 7 передбачається використання палива з середнім розміром частинок від 50 мм до 80 мм. У ході експлуатації буде визначено найбільш оптимальний розмір частинок палива для забезпечення ефективного процесу горіння в декарбонізаторі пічної системи випалу клінкеру.

Технологічна операція подрібнення у виробництві альтернативних видів палива виконується спеціалізованими шредерами. Тип шредера залежить від фізико-механічних характеристик матеріалу, який буде подрібнюватися, потрібної фракції готового продукту, його продуктивності та умов експлуатації. При виробництві портландцементного клінкеру на обертовій печі № 7 передбачається використання мобільного шредера Untha XR3000 mobil-e, компанії Untha, Австрія або його конструктивних, технологічних аналогів (ДВ-4005) або інших аналогічних мобільних шредерів.

Зазначений шредер представляє собою мобільне обладнання на гусеничному ході. Функціонування шредера може забезпечуватися виключно за рахунок електричного живлення, яке забезпечується існуючою мережею електропостачання підприємства. Обладнання складається безпосередньо з самого механізму подрібнення, двох стрічкових конвеєрів,

металосепаратору та гусеничного шасі. Вигляд та геометричні розміри шредера зображені на рисунку 1.2.

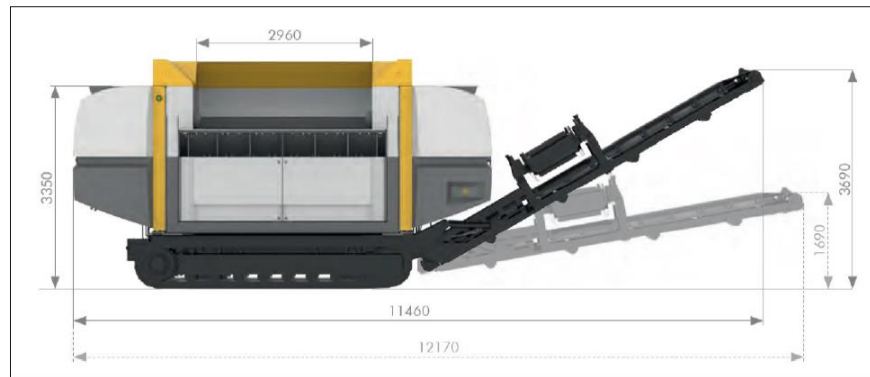


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд подрібнювача (шредера)

Продуктивність подрібнювача (шредера) залежить від типу матеріалу та кінцевого розміру частинок альтернативного виду палива. Для початку впровадження технології використання альтернативних видів палива передбачається розмір фракції у діапазоні від 50 мм до 80 мм. Виходячи з цієї вимоги, продуктивність змінюється від 6 тонн до 7 тонн на годину для джгутів з паперового виробництва, що є надзвичайно складним матеріалом для подрібнення, та до 35 тонн на годину для матеріалів отриманих від відсортованих побутових та промислових відходів. З вимогою зменшення розміру частинок альтернативного виду палива продуктивність подрібнювача буде зменшуватися. У випадку пакованих альтернативних видів палива звільнення матеріалів від пакувального матеріалу (тюки, палети, біг-бег) забезпечується подрібнювачем.

У процесі подрібнення можливе утворення відходів, які не будуть використовуватися в якості альтернативних видів палива. Перший тип відходу – це негабаритні інертні включення, що можуть бути у вторинних енергетичних матеріалах (код відходів згідно з Національним переліком відходів, затвердженого Постановою КМУ від 20.10.2023 року № 1102, 19 12 09 Гірські породи (наприклад, пісок, камінь) орієнтовно до 100 тонн на рік– прикладом таких відходів є куски бетону, бутовий камінь; та код відходу 19 12 05 Скло орієнтовно до 100 тонн на рік).

Біомаса є трендовим альтернативним паливом для більш екологічного виробництва тепла у муніципальному та промисловому секторах. Під біомасою розуміють вторинні сировинні матеріали які мають органічне походження: сільськогосподарські та лісові відходи, іловий осад, м'ясокісткова мука тварин, а також спеціально вирощувані для цих цілей енергетичні рослини (рисунок 1.3).

На АТ «Подільський цемент» використовується біомаси сільськогосподарського походження, а саме відходів очистки зернових культур. Даний тип відходів генерується в ході переробки пшениці, ячменя, ріпаку, соняшнику, кукурудзи тощо та класифікується як такі, що мають у своєму складі зерна не більше 2 %. Такі відходи очистки зернових культур складаються з лузги, полови, подрібнених качанів кукурудзи і обгортки, пилу та інших подібних відходів.



Рисунок 1.3 – Біомаса (відходи тканин рослинного походження)

Повторна переробка цих відходів є недоцільною через малий вміст зерна, тому використання цієї біомаси в якості альтернативного палива є

цілком виправданою технологією і повністю відповідає ієрархії управління відходами.

Окремо зазначимо роль біомаси у зменшенні техногенного навантаження на зміну клімату у світі. Одним із важливих напрямів розвитку цементної промисловості є зниження вуглецевого сліду у ході виробництва цементу. Використання біомаси в якості альтернативного палива – важливий інструмент зниження викидів діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) у навколишнє середовище. Справа в тому, що біомаса вважається вуглецевонеutralним паливом через своє природне походження: емітований при згорянні діоксид вуглецю вважається нейтральним, оскільки рослина під час свого росту поглинала його у ході біологічного процесу фотосинтезу. Також, біомаса є відновним ресурсом на відміну від викопного палива.

Також в цементній промисловості можна використовувати, як альтернативне паливо такі типи відходів:

- нафтошлам – нафтошлами утворюються у ході видобутку нафти при бурінні, її переробці на нафтопереробних заводах та у вигляді донного осаду у резервуарах транспортування та зберіганні нафти / нафтопродуктів;

- безпечні промислові відходи – до цієї категорії належать відходи упаковки, некондиційна продукція, скоп від переробки макулатури;

- муловий осад – кожне місто має систему водопостачання, водовідведення та очищення каналізаційних стоків. Саме під час очищення стічних вод на аераційних станціях утворюється муловий осад, який видаляється на спеціальні мулові майданчики. Під час зберігання на муловому майданчику даний вид відходів осушується природнім шляхом або за допомогою дренажу. Використання мулових осадів як альтернативного виду палива набуває все більшої популярності у світовій практиці серед цементної промисловості. Також, варто зазначити, що такий вид альтернативного палива є 100 % біомасою [12].

Згідно із ст. 16 Закону України «Про управління відходами» № 2320-IX від 20.06.2022 року обробляти відходи самостійно, за наявності дозволу на

здійснення операцій з оброблення відходів, або передавати їх для оброблення суб'єктам господарювання у сфері управління відходами, які мають «ДОЗВІЛ на здійснення операцій з оброблення відходів». У дозволі на здійснення операцій з оброблення відходів АТ «Подільський цемент», зазначені наступні типи відходів які може обробляти підприємство наведено в таблиці 1.1.

АТ «Подільський цемент» зберігає та обробляє відходи, що не є небезпечні, з дотриманням ієрархії управління відходами – відновлення відходів (у тому числі виробництва енергії) як вторинні енергетичні ресурси.

Таблиця 1.1 – Типи відходів згідно НПВ які може обробляти АТ «Подільський цемент»

Код НПВ	Назва НПВ
1	2
19 12 10	Горючі відходи (паливо з відходів)
02 01 04	Відходи пластмаси (крім упаковки)
02 01 03	Відходи тканин рослинного походження
02 01 07	Відходи лісового господарства
02 01 99	Інші відходи цієї підгрупи
02 03 04	Сировина та продукти, що не придатні для споживання або переробки
02 03 99	Інші відходи цієї підгрупи
02 04 99	Інші відходи цієї підгрупи
03 01 01	Відходи кори та корка
03 01 05	Тирса, стружка, обрізки, деревина, ДСП і шпон інші, ніж зазначені за кодом 03 01 04
03 01 99	Інші відходи цієї підгрупи
03 03 01	Відходи кори та деревини
03 03 05	Осад від процесів знебарвлення під час переробки паперу
03 03 07	Механічно відокремлені залишки від переробки відходів паперу та картону
03 03 08	Відходи від сортування паперу та картону, призначених для рециклінгу
03 03 10	Волокнисті залишки і шлами, що містять волокна, наповнювачі та покриття (фарби) від механічного

	сортування
03 03 11	Шлами від очищення стічних вод на підприємстві інші, ніж зазначені за кодом 03 03 10
03 03 99	Інші відходи цієї підгрупи
04 01 09	Відходи від апретування виробів та кінцевого оброблення шкір
04 01 99	Інші відходи цієї підгрупи
04 02 09	Відходи композитних матеріалів (імпрегнований текстиль, еластомер, пластомер)
04 02 21	Відходи необроблених текстильних волокон
04 02 22	Відходи оброблених текстильних волокон
04 02 99	Інші відходи цієї підгрупи
07 02 13	Відходи пластмас
15 01 01	Паперова та картонна упаковка
15 01 02	Пластмасова упаковка

Продовження таблиці 1.1

1	2
15 01 03	Дерев'яна упаковка
15 01 05	Комбінована (композитна) упаковка
15 01 06	Змішана упаковка
15 01 09	Текстильна упаковка
15 02 03	Абсорбенти, фільтрувальні матеріали(включаючи оливні фільтри інакше не зазначені), обтиральні матеріали та захисний одяг інші, ніж зазначені за кодом 15 02 02
16 01 03	Відпрацьовані шини
16 01 19	Пластмаси
16 12 06	Деревина
16 12 08	Пластмаси
16 12 41	Папір і картон
16 12 42	Текстиль
17 02 01	Деревина
17 02 03	Пластмаси
19 02 03	Заздалегідь перемішані відходи, які складаються лише з відходів, не віднесених до небезпечних
19 02 10	Горючі відходи інші, ніж зазначені за кодами 19 02 08 та 19 02 09
19 02 08	Рідкі горючі відходи, що містять небезпечні речовини
19 02 09	Тверді горючі відходи, що містять небезпечні речовини
19 02 99	Інші відходи цієї підгрупи
19 05 03	Компост, що не відповідає технічним вимогам (умовам)

19 06 06	Залишки від анаеробного оброблення тваринних та рослинних відходів
19 08 05	лами від оброблення міських стічних вод
19 08 14	Шлами від іншого оброблення промислових стічних вод інші, ніж зазначені за кодом 19 08 13
19 08 12	Шлами від біологічного оброблення промислових стічних вод інші, ніж зазначені за кодом 19 08 11
19 08 99	Інші відходи цієї підгрупи
19 09 02	Шлами від очищення (освітлення) води
19 09 99	Інші відходи цієї підгрупи
19 12 01	Папір і картон
19 12 04	Пластмаси та гума
19 12 07	Деревина інша, ніж зазначена за кодом 19 12 06

Кінець таблиці 1.1

1	2
19 12 10	Горючі відходи (паливо з відходів)
19 12 08	Текстиль
19 12 12	Відходи (включаючи суміші матеріалів) від механічного оброблення відходів інші, ніж зазначені за кодом 19 12 11
20 01 10	Одяг
20 01 11	Текстиль
20 01 38	Деревина інша, ніж зазначена за кодом 20 01 37
20 01 39	Пластмаса
20 01 99	Інші відходи цієї підгрупи
19 08 14	Шлами від іншого оброблення промислових стічних вод інші, ніж зазначені за кодом 19 08 13
01 03 09	Червоний шлам від виробництва глинозему інший, ніж відходи, зазначені за кодом 01 03 10
01 04 08	Відходи гравію та подрібнених гірських порід інші, ніж зазначені за кодом 01 04 07
10 02 10	Прокатна окалина
10 01 01	Донна зола, шлак і котловий пил (крім котлового пилу, зазначеного за кодом 10 01 04)
10 02 01	Відходи від перероблення шлаку
10 13 11	Відходи композиційних матеріалів на цементній основі інші, ніж зазначені за кодами 10 13 09 та 10 13 10

16 11 06	Відходи футеровки та вогнетривів від неметалургійних процесів ніж зазначені за кодом 16 11 05
10 02 02	Шлак неперероблений

«Подільський цемент» зберігає та обробляє відходи, що не є небезпечні, з дотриманням ієрархії управління відходами – відновлення відходів (у тому числі виробництва енергії) як вторинні енергетичні ресурси. Технологічний процес випалу портландцементного клінкеру забезпечує значно екобезпечніші умови для використання вторинних енергетичних ресурсів у порівнянні з традиційним спалюванням відходів (сміттєспалюванням), а саме:

- температура термічних процесів в декарбонізаторі обертової печі становить більше 900 °С, що забезпечує повний розклад органічних сполук до неорганічних, також технологічні процеси виробництва портландцементного клінкеру відзначаються високою стабільністю;

- тривалість перебування газів горіння становить більше 5,5 секунд, що відповідає вимогам ст. 39 Закону України «Про управління відходами» №2320-IX від 20.06.2022 року, вимогам Правил експлуатації об'єктів поводження з відходами, затверджених наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 196 від 04.05.2012;

- висока пряма контактність газів горіння та сировинних матеріалів при випалі портландцементного клінкеру, що забезпечує перехід деяких речовин у напівпродукт– портландцементний клінкер, високий рівень стабільності та контрольованості процесу згоряння при випалу портландцементного клінкеру;

- відсутність залишків від спалювання відходів (відсутність відходів золи та інших відходів) внаслідок термічного використання палива та відходів, як вторинних енергетичних ресурсів. Уся зола переходить у

напівпродукт виробництва цементу – портландцементний клінкер у якості алюмосилікатного сировинного компоненту.

– забезпечує інші технічні вимоги до експлуатації установок із спалювання відходів та установок із сумісного спалювання відходів затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 1 березня 2024 року № 229.

Альтернативні види пального (АП) стали важливим аспектом у процесах виробництва цементу, оскільки їх використання дозволяє зменшити матеріальні витрати, знизити залежність від традиційних викопних палив та мінімізувати екологічний вплив. Одним із найбільш поширених форм АП є відновлювальне паливо (Refuse Derived Fuel, RDF або Solid Recovered Fuel, SRF), яке виготовляється шляхом сортування, подрібнення, сушіння та гранулювання різних видів відходів з високою теплотворною здатністю. Основними джерелами таких відходів є:

- відсортовані побутові відходи (муніципальні тверді відходи);
- зношені автомобільні шини;
- промислові відходи (пластики, текстиль, папір, шлами);
- біомаса (деревна тріска, лушпиння).

### 1.3 Оцінка екологічних і економічних ефектів заміщення традиційних енергоносіїв

Сучасна екологічна ситуація в Україні має кризовий характер через ігнорування принципів раціонального природокористування та значне виснаження природно-ресурсного потенціалу. Основними проблемами промислових процесів з екологічної точки зору є: низький рівень технологічної забезпеченості, понаднормове забруднення середовища, велика кількість використовуваних ресурсів при невисокій ефективності їх використання, екологічна несвідомість суспільства. Одним із чинників є бажання суб'єктів господарювання отримувати більший прибуток шляхом

використання застарілих технологій та обладнання. Зважаючи на таку велику кількість проблем, виникає потреба в розробленні заходів щодо екологізації промисловості як найбільшого забруднювача навколишнього природного середовища. Екологізація економіки та перехід до сталого розвитку забезпечує збалансоване вирішення соціально-економічних завдань, в тому числі й збереження сприятливого стану зовнішнього середовища і природно-ресурсного потенціалу в цілях задоволення життєвих потреб сучасного і майбутніх поколінь.

Виробництво цементу є високотемпературним процесом, спрямованим на термохімічне перетворення мінеральної сировини.

У цементних печах найкраще використовувати як альтернативні види палива такі відходи: відпрацьовані шини; пластмаси; просочену тирсу; деревину, папір, картон і відходи пакування; осади стічних вод і паперових волокон; сільськогосподарські та органічні відходи; нафтові сланці; вугільні шлами; залишки дистиляції; відпрацьовані мастила і шлами нафтопереробки; відпрацьовані органічні розчинники.

Обертова цементна піч є, на сьогодні, однією з найкращих установок для безпечного спалювання та утилізації відходів, в якій можна мінералізувати навіть найбільш стійкі до розпаду органічні сполуки.

Використання альтернативних видів палива в цементній промисловості є особливо корисним, оскільки:

- в цементній печі відбувається виділення енергії, що міститься в альтернативному виді палива, яка повністю використовується для виробництва клінкеру;

- заощаджується природне паливо та зменшується кількість відходів, які вивозяться на полігони та сміттєзвалища;

- в глобальному масштабі, зменшується емісія парникових газів в атмосферу (відходи, невикористані у цементній промисловості, були б спалені в іншому місці, або вивезені на полігони твердих побутових відходів,

що призвело б до порушення екологічного балансу та іншого впливу на довкілля) (рисунок 1.4);

– спалювання альтернативних видів палива в цементних печах є процесом безвідходним; зола, що утворюється за рахунок спалювання альтернативних видів палива, входить у склад портландцементного клінкеру, цемент досліджується на всі санітарно-епідеміологічні показники з метою безпечного використання.

Використання альтернативних видів палива на основі горючих вторинних енергоресурсів у цементній промисловості дає позитивний економічний ефект (вартість 1 ГДж енергії альтернативних видів палива з урахуванням транспортних витрат від 4 разів до 5 разів менша від вартості природного палива) та суттєво не впливає на екологічний баланс у цементному виробництві.

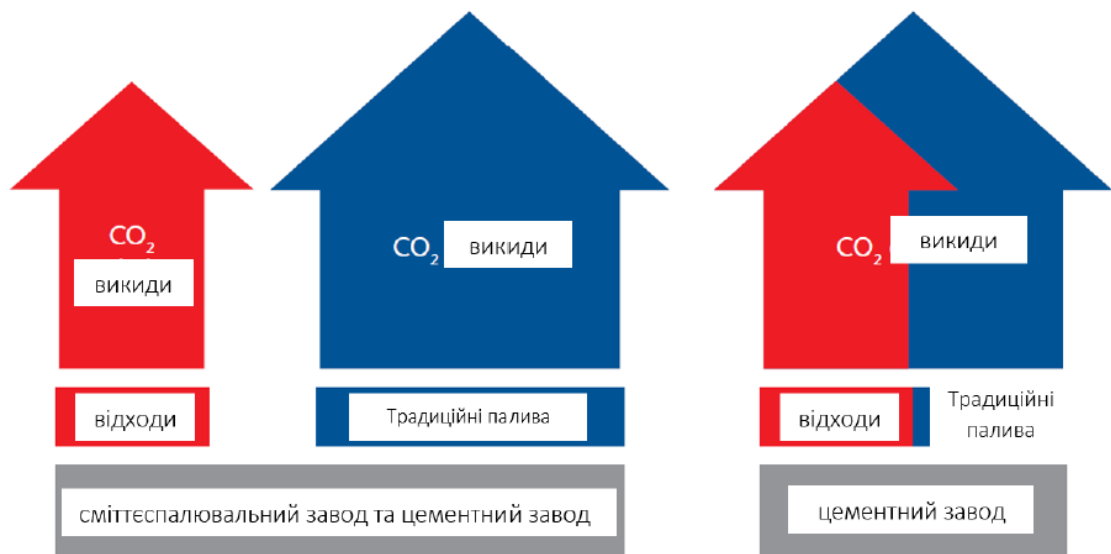


Рисунок 1.4 – Екологічний баланс спалювання відходів на сміттєспалювальному заводі і їх використання як альтернативних видів палива в цементних печах

Co-processing (спільна обробка) – це технологія цементної промисловості, в якій альтернативні види палива використовують замість традиційних викопних. Але це більше, ніж технологія – це сучасний тренд

розвитку цементної галузі впродовж останніх тридцяти років. До того ж, використання альтернативних видів палива офіційно визнано сучасною інноваційною технологією, що знайшло підтвердження у низці документів, у тому числі у збірнику найкращих доступних технологій для виробництва цементу, вапна та переробки магнезиту (Best available techniques Reference document – Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide). Потреба у впровадженні технології co-processing загострюється із кожним роком [26]. І чинниками є не лише зростання конкуренції на ринку збуту будівельних матеріалів, а й ініціативи стійкого розвитку, що мають на меті покращення екологічного становища нашої планети, соціального стану найбільш уразливих верств населення, і низка інших ініціатив. Завдяки технології co-processing, яка передбачає використання альтернативних видів палива, вироблених із відходів, цементна промисловість та суспільство отримують такі переваги:

- утилізація відходів з калорійною складовою, що призводить до зменшення кількості полігонів твердих побутових та промислових відходів, що, у свою чергу, мінімізує забруднення навколишнього середовища та дає можливість доцільніше використовувати землі, кількість яких обмежена;

- зменшення викидів метану у повітря. Важливо, що через неконтрольоване біологічне розкладання відходів полігони твердих побутових відходів є джерелом викидів парникових газів, а саме метану;

- ресурсоефективність – кількість викопних ресурсів обмежена. Використання альтернативних видів палива дозволяє зменшувати кількість споживання викопних палив, видобуток та підготовка яких має негативний вплив на навколишнє середовище, та сировинних матеріалів за рахунок енергетичної складової відходів, і, відповідно, використання золи від спалювання замість сировинних матеріалів.

- зменшення викидів парникових газів у повітря. Альтернативні види палива можуть повністю (відходи деревообробки, сільського господарства) або частково (відпрацьовані шини або тверді перероблені побутові відходи)

складатися з біомаси. Внаслідок того, що біомаса – це енергетичний ресурс, що швидко відновлюється, викиди парникових газів (зокрема, вуглекислого газу CO<sub>2</sub>) вважаються нейтральними. Інакше кажучи, використання альтернативних видів палива з біомаси немає негативних наслідків з погляду зміни клімату;

- оптимізація витрат за собівартість виробництва кінцевого продукту – цементу;

- створення додаткових можливостей для бізнесу та додаткових робочих місць. Використання альтернативних видів палива дає серйозний імпульс для розвитку малого та середнього бізнесу. Це і створення ліній сортування сміття, і виробництв з приготування альтернативних видів палива, і розвиток логістичної галузі;

- найбільш важливим із соціально-економічних факторів є можливість наповнення місцевого та державного бюджетів за рахунок податкових зобов'язань та покращення загальної соціально-економічної ситуації в регіоні за рахунок зайнятості місцевого населення. З урахуванням реформи децентралізації податки стали промовистим аргументом для сприяння розвитку бізнесу на місцях [32, 47].

Сумісна переробка (копроцесинг) забезпечує низку важливих переваг та результатів, що сприяють сталому розвитку та економічній ефективності (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Результати сумісної переробки

Основні результати включають:

- зниження викидів CO<sub>2</sub> при виробництві цементу (цей процес допомагає зменшити обсяги викидів вуглекислого газу, пов'язані з промисловими процесами);
- зменшення залежності від викопних палив (використання альтернативних джерел енергії, що застосовуються при сумісній переробці, знижує потребу у традиційних викопних видах палива, таких як нафта, газ та вугілля);
- зменшення кількості видалених на полігони відходів (сумісна переробка дозволяє перенаправити значні обсяги відходів від захоронення на полігонах, сприяючи їх утилізації та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище);
- зниження витрат платників податків на сучасні відповідні об'єкти для поводження з відходами (ефективне використання існуючих потужностей для сумісної переробки допомагає оптимізувати витрати на створення нової інфраструктури для управління відходами, що зменшує фінансове навантаження на платників податків).

Ці результати підкреслюють ресурсоефективність та економічні вигоди впровадження технологій сумісної переробки.

Цементна промисловість є однією з найбільш енергоємних галузей, що споживає значні обсяги палива для випалювання клінкеру при температурах

від 1400 °С до 1500 °С. Заміщення традиційних викопних палив (вугілля, природний газ, мазут) на альтернативні паливні ресурси стає критично важливим напрямком підвищення ресурсоефективності.

Альтернативні палива зазвичай мають нижчу вартість порівняно з традиційними, що знижує виробничі витрати на від 15 % до 40 % залежно від типу палива та регіональних цін. Зменшується залежність від імпортованих енергоносіїв.

Екологічними перевагами є скорочення викидів CO<sub>2</sub> від 10 % до 30 % при використанні біогенних палив, оскільки вуглець у біомасі вважається частиною природного циклу. Зменшення обсягів відходів на полігонах та їх утилізація з енергетичною користю. Сучасні обертові печі можуть використовувати від 80 % до 95 % альтернативного палива без втрати якості клінкеру. Високі температури в печі забезпечують повне спалювання відходів з мінімальними викидами.

Україна має високий потенціал для використання вторинних енергетичних ресурсів. Важливо зазначити, що з очікуваним збільшенням темпів зростання економіки держави, кількість утворених відходів також буде стрімко зростати – це абсолютно взаємопов'язані між собою речі. При порівнянні рівнів розвитку сектору управління відходами, з огляду на рівень утилізації відходів шляхом переробки та спалювання задля отримання енергії, ми пересвідчуємося, що, на жаль, Україна видаляє відходи набагато більше і утилізує відходів набагато менше, ніж в середньому по світу. Також, для порівняння наведено статистику розвинутих країн, щоби пересвідчитися у доцільності розвитку напряму переробки та термічної обробки відходів (рисунок 1.6)

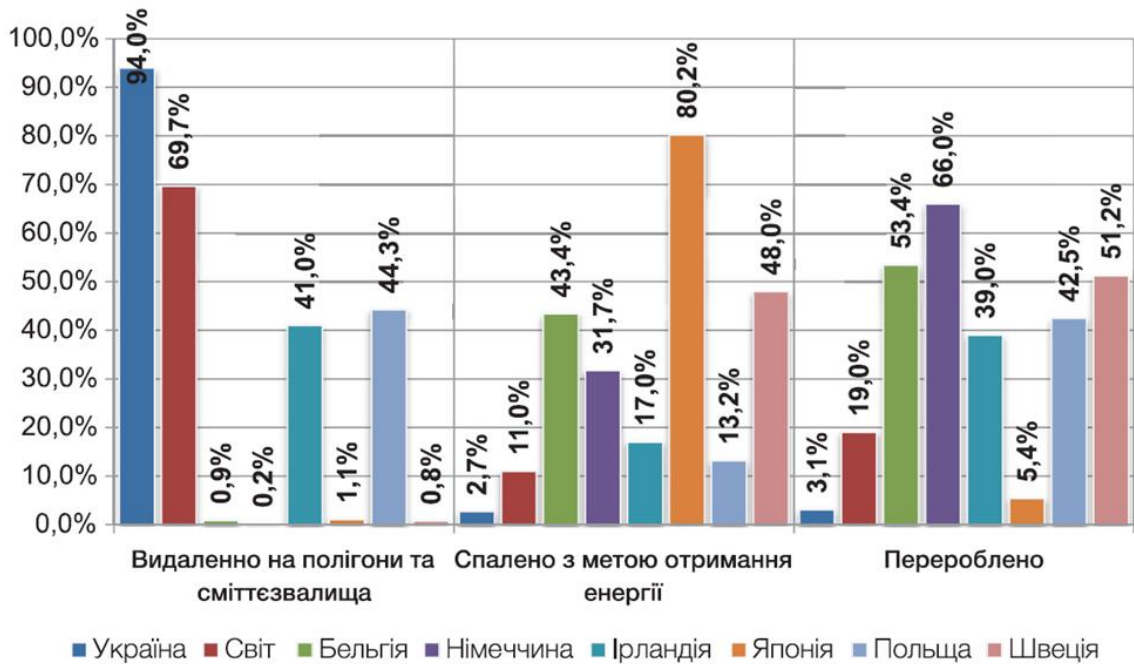


Рисунок 1.6 – Статистика розвинутих країн, у доцільності розвитку напрямку переробки та термічної обробки відходів

Оцінка екологічних і економічних ефектів заміщення традиційних енергоносіїв в Україні вказує на критичну необхідність переходу до більш стійких і ресурсоефективних технологій, таких як копроцесинг у цементній промисловості. Сучасна екологічна ситуація в країні, зокрема, характеризується значним виснаженням природних ресурсів і високим рівнем забруднення, що вимагає термінових заходів для екологізації промислових процесів. Впровадження альтернативних видів пального, виготовлених з відходів, не лише знижує викиди парникових газів, але й сприяє утилізації відходів, зменшуючи їх кількість на полігонах. Це, в свою чергу, позитивно впливає на екологічну ситуацію та забезпечує економічні вигоди, такі як зниження витрат на виробництво цементу та створення нових робочих місць [35].

Часткова заміна традиційного палива на альтернативне паливо на АТ «Подільський цемент», призведе позитивний вплив на клімат, у тому

числі характер і масштаби викидів парникових газів, та чутливість діяльності до зміни клімату:

- покращення ресурсоефективності шляхом заміни викопних палив, обсяги яких обмежені та видобуток і підготовка яких має негативний вплив на довкілля, на альтернативні види палива, та використанням золи від спалювання альтернативних видів палив у якості сировинного компоненту;

- збільшення обсягу та рівня перероблення відходів та, відповідно, зменшення обсягу відходів, які видаляються на сміттєзвалища, полігони твердих побутових відходів, що є регламентованою метою Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року (Розпорядження КМУ від 8 листопада 2017р. № 820-р «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року») (далі – Стратегії). Використання вторинних енергетичних ресурсів у якості альтернативних видів палива позитивно вплине на виконання цільових показників реалізації Стратегії.

- скорочення викидів парникових газів шляхом використання біомаси в якості альтернативного виду палива – альтернативні види палива частково чи повністю можуть складатися з біомаси, яка рахується нейтральною до викидів парникових газів.

- скорочення викидів парникових газів (метану) зі сміттєзвалищ, полігонів твердих побутових відходів, внаслідок зменшення кількості відходів, які видаляються, через їх використання як альтернативного виду палива – внесок у виконання Україною зобов'язань за Кіотським протоколом до Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату та Паризької кліматичної угоди. Кількість викиду метану на 1 тонну побутових відходів становить орієнтовно 80 кг. Якщо припустити, що кількість у 270 тис. тонн альтернативних видів палива була б видалена на полігон, то це спричинило б викид приблизно 21600 тонн метану в атмосферу. Враховуючи, що метан рахується У 25 разів більш шкідливим ніж вуглекислий газ з огляду на вплив

на глобальне потепління, ця кількість метану відповідає 540000 тонн вуглекислого газу;

– поштовх для розширення існуючих та створення нових можливостей для бізнесу у сфері управління з безпечними відходами, що призведе до створення додаткових робочих місць;

– найбільш важливим із соціально-економічних факторів є можливість наповнення місцевого і державного бюджетів за рахунок податкових зобов'язань і поліпшення загальної соціально-економічної ситуації в регіоні за рахунок зайнятості місцевого населення [40, 45].

Вплив на сталий розвиток. Зменшення кількості захоронених відходів на полігонах – 273 тис. тонн на рік. Зменшення кількості використання викопних видів палива – 159 тис. тонн на рік. Зниження кількості викидів парникових газів – 94,3 тис. тонн на рік.

Заміна викопних палив альтернативними видами палив є одним з основних способів зменшення викидів парникових газів в процесі виробництва кlinkеру в країнах Європейського Союзу. Зниження викидів парникових газів досягається за рахунок вмісту біомаси у альтернативних видах палива. Згідно з методиками розрахунку викидів парникових газів кількість парникових газів від спалювання біомаси дорівнює нулю в країнах Європейського Союзу та Україні.

Розрахунок зменшення викидів парникових газів від споживання 273 тисячі тонн твердого відновлювального палива на рік.

Коефіцієнт викидів для викопного палива для розрахунку приймається 94,5 т CO<sub>2</sub> /ТДж (інші види бітумінозного вугілля (енергетичне вугілля) згідно «Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990-2021 рр.», який використовується для здійснення моніторингу парникових газів за 2023 рік.

Внаслідок вмісту біомаси коефіцієнт викидів для твердого відновлювального палива є нижчим, приймаємо 67,5 тонн CO<sub>2</sub>/ТДж.

Значне виділення інертних газів, теплоти, вологи та ін. при експлуатації об'єкта планованої діяльності не відбуватиметься, тому змін мікроклімату не передбачається. Значного систематичного впливу кліматичних умов, несприятливих для розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі в даному регіоні не зафіксовано. Виникнення мікрокліматичних умов, що сприяють розповсюдженню шкідливих видів фауни і флори, в районі розміщення підприємства не передбачається. Особливості кліматичних умов не сприяють зростанню інтенсивності впливів планованої діяльності на навколишнє середовище. Необхідність передбачення заходів з запобігання негативним впливам планованої діяльності на клімат і мікроклімат відсутня.

Копроцесинг дозволяє зменшити залежність від викопних палив, оптимізувати витрати на управління відходами та покращити соціально-економічну ситуацію в регіонах. В Україні існує великий потенціал для розвитку вторинних енергетичних ресурсів, проте необхідно активізувати зусилля щодо підвищення рівня утилізації відходів, щоб відповідати світовим стандартам.

Таким чином, реалізація технологій копроцесингу є важливим кроком до сталого розвитку, що забезпечить баланс між економічними потребами та екологічними вимогами, сприяючи збереженню природного середовища для майбутніх поколінь.

#### 1.4 Європейські практики у сфері «зеленої» цементної промисловості

Європейська цементна промисловість постійно використовує відходи як ресурс, завдяки процесу, що називається «сумісною переробкою». Сумісна переробка – це поєднання одночасного енергетичного відновлення та переробки зольного компоненту відходів у тепловому процесі, що призводить до заміщення викопного палива та природних мінеральних ресурсів, таких як вапняк, глина, вугілля та нафтопродукти.

Цементний сектор у Європі вже заміщає в середньому 48 % свого викопного палива альтернативним і хоче ще збільшити цей показник. Дослідження показали, що немає технічних бар'єрів для підвищення цього показника до 60 % у Європі до 2030 року. Сумісна переробка вже має цілком реальний вплив на стійкий розвиток цементної промисловості в Європі.

Сумісна переробка вже дуже позитивно впливає на стійкий розвиток цементної промисловості в Європі – уникнення викидів 21 мільйон тонн CO<sub>2</sub> щороку. Використання альтернативних видів палива, включно з відходами біомаси, дозволяє заощадити близько 7,8 мільйона тонн вугілля, близько 5 % сировини, необхідної для виробництва цементного клінкеру в Європі, складалося з переробленого вторинних ресурсів та золи з альтернативних видів палива. Потенціал сумісної переробки може бути посилений за допомогою законодавчих та регулятивних заходів, що визначають цю форму переробки вторинних ресурсів та її внесок у досягнення амбіційних цілей Європи, щодо переробки відходів. Відпрацьовані шини, деревина, пластмаси, що не підлягають вторинній переробці, хімікати та інші види відходів утилізуються в цементних печах на заводах по всій Європі. Середній рівень заміщення 48 %, в ЄС сумісна переробка є більш ефективним рішенням щодо поводження з відходами, ніж видалення на звалища та спалення, і визначає цементну промисловість безвідхідним споживачем відходів і основою циркулярної економіки.

Європейський зелений курс (European Green Deal), прийнятий у грудні 2019 року, встановлює амбітну мету досягнення кліматичної нейтральності ЄС до 2050 року. Цементна промисловість, що відповідає за близько 7 % глобальних викидів CO<sub>2</sub>, визначена як один із пріоритетних секторів для декарбонізації.

Ключові цілі для промисловості:

- скорочення викидів парникових газів на 55 % до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року;
- досягнення нульових нетто-викидів до 2050 року;

- перехід до циркулярної економіки з мінімізацією відходів;
- підвищення енергоефективності на 32,5 % до 2030 року.

Система торгівлі викидами Європейського Союзу є ключовим інструментом стимулювання декарбонізації цементної промисловості. З 2005 року цементні заводи зобов'язані придбати квоти на викиди CO<sub>2</sub>, що створює економічний стимул для їх скорочення.

План дій ЄС для циркулярної економіки 2020 року встановлює принципи для будівельного сектору та виробництва будівельних матеріалів. Для цементної промисловості це означає максимальне використання вторинних матеріалів, заміщення клінкеру альтернативними в'язучими, збільшення частки відходів як палива та сировини.

«HeidelbergCement» (Німеччина) є світовим лідером у впровадженні технологій декарбонізації. Компанія розробила стратегію досягнення нульових викидів до 2050 року через декілька технологічних напрямків [46].

Проєкт «LEILAC» (Low Emissions Intensity Lime and Cement (вапно та цемент з низькою інтенсивністю викидів)) – інноваційна технологія прямого відділення CO<sub>2</sub> від процесу кальцинування вапняку. Перший промисловий демонстраційний завод запущений у Бельгії у 2019 році. Технологія дозволяє уловлювати до 95 % процесних викидів CO<sub>2</sub> без використання амінів. Очікуване зниження вартості уловлювання від 30 євро до 40 євро за тону CO<sub>2</sub> [49].

Більшість ініціатив щодо уловлювання вуглецю базуються на процесах і методах, розроблених для енергетичного та хімічного секторів. Протягом 60 років розчинники, такі як аміни, використовувалися для видалення CO<sub>2</sub> з газів (особливо на нафтопереробних заводах і заводах з переробки природного газу), і нещодавно було проведено багато робіт для їх застосування в цементному секторі за дедалі нижчою вартістю. Сорбенти (включаючи кальцієві петлі), мембрани та інші системи розділення газів активно розробляються для зменшення обсягів та/або енергії, необхідних для відділення CO<sub>2</sub> від димових газів. Інші підходи, такі як кисневе паливо,

спрямовані на концентрацію  $\text{CO}_2$  у димовому газі до дуже високого рівня для покращення рекуперації  $\text{CO}_2$ .

Зовсім інший підхід було винайдено та запатентовано компанією «Calix». Технологія «LEILAC» (низькоемісійне виробництво вапна та цементу) від «Calix» зосереджена на відділенні  $\text{CO}_2$ , що надходить із сирого вапняку, на який припадає приблизно  $2/3$  загальних викидів  $\text{CO}_2$  у цементній та вапняній промисловості, з мінімальними витратами енергії та капіталу [48].

Він базується на нагріванні вапняку за допомогою спеціальної сталеві трубки – при цьому тепло знаходиться на зовнішній стороні трубки, а вапняк або сире цементне борошно – всередині (рисунок 1.7).

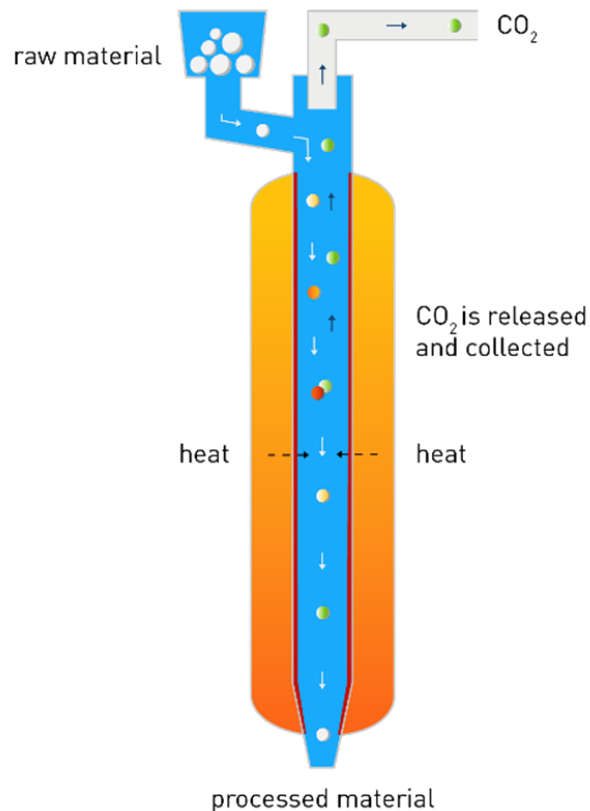


Рисунок 1.7 – Одна з конфігурацій технології прямого розділення «Calix»

Ця унікальна система дозволяє вловлювати чистий  $\text{CO}_2$  під час його виділення з вапняку, оскільки відхідні гази печі зберігаються окремо.

Обробка цементної суміші непрямим нагріванням «LEILAS» або прямим нагріванням (звичайна цементна або вапняна піч) може бути виконана в принципі з однаковою питомою енергією. Ця практика не передбачає жодних додаткових процесів чи хімікатів, а просто передбачає нову конструкцію «попереднього кальцинатора» (або нову піч, у випадку вапняного заводу).

Технологія «LEILAS» спрямована на використання будь-якого типу палива або джерела тепла. Це дозволяє досягти дуже ефективної цементної або вапняної печі з нульовими викидами при використанні палива, багатого на біомасу, зеленої електроенергії або водню.

Середній показник заміщення традиційних палив досягає 73 % у німецьких заводах компанії. Використовуються відпрацьовані шини, промислові відходи, RDF, біомаса. Інвестиції в системи попередньої підготовки та подачі альтернативних палив [44].

«Holcim» країна Швейцарія, реалізує комплексну стратегію декарбонізації через інновації в продуктах та процесах. Низьковуглецеві цементи (EcoPact).

Серія цементів зі зниженими викидами CO<sub>2</sub> від 30 % до 90 % порівняно зі звичайним портландцементом. Досягається через заміщення клінкеру додатковими цементуючими матеріалами (шлаки, зола-виносу, пуцолани, кальциновані глини). Вже реалізовано понад 6 мільйонів тонн низьковуглецевого бетону у проєктах по всій Європі.

«Cemex» країни Іспанія/Мексика, програма «Future in Action» – цільовий показник скорочення викидів на 35 % до 2030 року. Інвестиції понад 140 мільйонів євро в обладнання для захоплення вуглецю. Розробка серії вертикально інтегрованих рішень для циркулярної економіки [44].

Проєкт «Synhelion» країна Іспанія – пілотна установка використання концентрованої сонячної енергії для виробництва клінкеру. Заміщення викопного палива сонячним теплом високої температури (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Проект «Synhelion»

Потенціал скорочення викидів від спалювання палива на 100 %. «Семех» та «Synhelion» об'єдналися у 2019 році для зменшення викидів CO<sub>2</sub> у процесі виробництва цементу. У 2022 році вони досягли першого в історії успішного виробництва сонячного клінкеру за допомогою пілотного процесу в невеликих партіях. У 2023 році компанії масштабували технологію до промислово життєздатного рівня, що дозволило безперервне виробництво клінкеру – найбільш енергоємного етапу у виробництві цементу – використовуючи лише сонячне тепло. «Семех» та «Synhelion» зараз вживають подальших кроків для масштабування технології [43].

«Vicat» країна Франція технологія (Prompt Natural Cement) – виробництво натурального швидкотвердіючого цементу при температурах від 1000 °C до 1200 °C (замість 1450 °C). Скорочення споживання енергії від 20 % до 25 %. Унікальні технічні характеристики для спеціальних застосувань. Натуральний цемент «Prompt» – це швидкотвердіюча, дуже повітропроникна в'язка речовина, що видобувається та обробляється з одного джерела сирого вапняку у Французьких Альпах. На відміну від портландцементу, «Prompt» є повністю натуральним, незмішаним, та не містить добавок, що робить його ідеальним для консерваційних робіт, швидкотвердіючих застосувань та чутливих до вологи середовищ.

Відомий своєю ранньою міцністю, чудовою адгезією та довговічністю в агресивних або вологих умовах, цемент «Prompt Natural» широко використовується для ремонту історичної кладки, у місцях впливу води та для вапняно-сумісних розчинів. Його можна використовувати окремо або змішувати з вапном для регулювання часу тужавіння та гнучкості.

Швеція проєкт «CemZero», амбітна мета досягнення нульових викидів до 2030 року (на 20 років раніше за ЄС). Інвестиції «Cementa» (HeidelbergCement) у розмірі 200 мільйонів євро. Комбінація технологій: біопаливо, електрифікація процесів, уловлювання вуглецю. Державна підтримка через програму «Industriklivet». Вплив на клімат кількох промислових сегментів має бути різко зменшений, якщо Швеція хоче досягти своєї мети нульових викидів. Енергоємні промислові галузі, що використовують сировину на основі карбонату, можуть завдяки успішному впровадженню програми «CemZero» допомогти досягти значних рівнів скорочення викидів. Цей проєкт об'єднує, оцінює з акцентом на кінцеві продукти та підвищує результати завершених та поточних проєктів.

Проєкт «CemZero» спрямований на оцінку електрифікації виробничих процесів, наприклад, шляхом використання плазмових генераторів або елементів електричного опору для нагрівання. Таким чином зменшується викид вуглекислого газу від споживання палива та отримують чисті потоки димових газів з процесів, які придатні для уловлювання та зберігання вуглецю (CCS). У цементній та бетонній промисловості скорочення викидів вуглекислого газу досягається кількома способами, що означає зменшення кількості вуглекислого газу, що підлягає утилізації [43].

Франція Національна низьковуглецева стратегія (SNBC, Stratégie Nationale Bas-Carbone). Обов'язок зниження викидів промисловості на 35 % до 2030 року та 81 % до 2050 року. Створення Фонду декарбонізації промисловості з бюджетом 5,6 мільярдів євро. Підтримка пілотних проєктів та масштабування успішних технологій. Національна стратегія з низьким рівнем викидів вуглецю (SNBC) є дорожньою картою Франції щодо боротьби

зі зміною клімату. Вона містить рекомендації щодо реалізації у всіх секторах діяльності переходу до низьковуглецевої, циркулярної та сталої економіки. Вона визначає траєкторію скорочення викидів парникових газів до 2050 року та встановлює короткострокові та середньострокові цілі: вуглецеві бюджети. Вона має дві амбіції: досягти вуглецевої нейтральності до 2050 року та зменшити вуглецевий слід французького споживання. Державні органи, що приймають рішення, як на національному, так і на територіальному рівнях, повинні враховувати це.

«SNBC», вперше прийнята у 2015 році, була переглянута з 2018 року по 2019 років з метою досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року (амбіції зросли порівняно з першою «SNBC», яка була спрямована на фактор 4, тобто скорочення викидів парникових газів на 75 % до 2050 року порівняно з 1990 роком). Цей переглянутий проект «SNBC» був предметом громадських консультацій з 20 січня по 19 лютого 2020 року. Нова версія «SNBC» та вуглецевих бюджетів на періоди з 2019 року по 2023 рік, з 2024 рік по 2028 рік, та з 2029 рік по 2033 рік була прийнята указом від 21 квітня 2020 року. Стаття L. 222-1 в кодексі про навколишнє середовище передбачає, що держава, місцеві органи влади та їхні відповідні державні установи враховують низьковуглецеву стратегію у своїх документах планування та програмування, які мають значний вплив на викиди парникових газів.

Європейський зелений курс та інші регуляторні ініціативи стимулюють декарбонізацію цементного сектора, що відповідає за 7 % глобальних викидів CO<sub>2</sub>. Ключові цілі включають скорочення викидів парникових газів на 55 % до 2030 року та досягнення нульових нетто-викидів до 2050 року. Компанії, такі як «HeidelbergCement», «Holcim», «Семех» та інші, реалізують різноманітні технології, включаючи уловлювання вуглецю, використання біопального, електрифікацію процесів та розробку нових видів цементу з низьким вмістом вуглецю. Ці ініціативи не лише зменшують викиди, але й сприяють переходу до циркулярної економіки, що є важливим кроком у

боротьбі зі змінами клімату. Загалом, європейська цементна промисловість демонструє значний прогрес у напрямку сталого розвитку, проте для досягнення амбітних цілей необхідні подальші інвестиції, інновації та підтримка з боку держави [30].

## 2 ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ АТ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ЦЕМЕНТ»

### 2.1 Загальна характеристика підприємства

АТ «Подільський цемент» є одним із найбільших виробників цементу не лише в Україні, а й у Європі. Підприємство розташоване у Хмельницькій області в селі Гуменці, поблизу міста Кам'янця-Подільського. Забезпечує вигідне географічне положення для постачання продукції як на внутрішніх, так і на зовнішніх ринках (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Ситуаційний план-схема місцезнаходження планованої діяльності

Організаційно-правова форма та структура власності. Підприємство функціонує в формі приватного акціонерного товариства. Контрольний пакет дій належить міжнародній компанії CRH – одному зі світових лідерів у виробництві будівельних матеріалів. Така структура власності забезпечує

доступ до сучасних технологій, інвестиційних ресурсів та міжнародного досвіду управління.

Основним видом діяльності підприємства є виробництво цементу різних марок відповідно до національних та європейських стандартів. Продуктова лінія містить портландцемент загального призначення, спеціальний цемент (сульфатостійкий, швидкотверднучий, білий), а також цемент для використання в різних кліматичних умовах. Підприємство також займається видобутком та переробкою вапнякової сировини на власних кар'єрах, що забезпечує стабільність виробничого процесу та контроль якості сировинної бази. Додатковими напрямками діяльності є виробництво супутніх будівельних матеріалів та надання логістичних послуг [31].

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

На початку 70-х років ввели в експлуатацію другу, третю та четверту технологічні лінії. Якщо спочатку сировину з кар'єрів на завод постачали автотранспортом, то пізніше вапняк почали подавати конвеєрним транспортером, а глину – шламопроводом. Завдяки цьому ефективність підприємства значно зросла. Із запуском технологічних ліній № 5 і № 6 від 1974 року по 1975 року річна потужність заводу збільшилася до 3,7 мільйонів тонн цементу. У 1988 році, завод встановив рекорд, виробив 3 786 000 тонн цементу за рік.

У 1988 році, завод встановив рекорд - виробив 3 786 000 тонн цементу за рік.

У травні 1999 році, група CRH викупила контрольний пакет акцій Подільського цементу. На заводі розпочався процес із його модернізації.

Для забезпечення контролю якості на всіх етапах виробництва цементу, лабораторії заводу були оснащені усім необхідним сучасним обладнанням.

У 2011 році на Кам'янець-Подільському цементному заводі була введена в експлуатацію одна з найбільших в Європі обертових печей, що

працює за сухим способом. Її проєктна потужність складає 7,5 тисяч тонн клінкеру на добу. Вартість інвестицій склала понад 300 мільйонів євро. До того, ж цементний завод став першим в Україні, що приєднався до Кіотського протоколу в рамках проєкту спільного впровадження ООН.

Для збільшення потужностей пакування готової продукції, у 2013 році на Кам'янець-Подільському цементному заводі було запущено третю автоматизовану пакувальну лінію, потужністю 3 500 мішків на годину.

Для виробництва цементу на заводі використовують такі основні сировинні матеріали: вапняк та глинистий мергель, які видобуваються на власних кар'єрах, відповідно Гуменецького, Вербецького і Колубаївського родовищ, а також глина та суглинки, які видобуваються на кар'єрах постачальників, відповідно Смотричського та Абрикосівського родовищ. Корируючими добавками є залізна руда, глиноземний кек – для регулювання глиноземного модуля сировинної суміші.

АТ «Подільський цемент» є виробником портландцементного клінкеру та цементів загально-будівельного призначення. Завод оснащений однією з найефективніших і найсучасніших в Європі технологічних ліній із виробництва клінкеру сухим способом. Товариством були побудовані споруди та встановлене технологічне обладнання для реалізації проєкту «Часткова заміна традиційних видів палива (природних видів палива) на альтернативні види палива при виробництві портландцементного клінкеру на обертовій печі № 7», з використанням у якості альтернативних видів палива оброблених відходів, які не відносяться до небезпечних відходів відповідно до Закону України 2320-ІХ «Про управління відходами» від 20.06.2022 року, а саме: відходи, що походять від сільського господарства, лісового господарства, комунального господарства (наприклад, осад стічних вод) та технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, які використовуються у якості альтернативних видів палива – біомаса, та оброблені відходи, що не є небезпечними, що утворилися в результаті сортування промислових та побутових відходів, які використовуються у

якості альтернативних видів палива – тверде відновлювальне паливо. Матеріали (фракції), з яких виготовляється тверде відновлювальне паливо (SRF – solid recovered fuel): пластмаса та полімери, папір та картон, текстильні матеріали, хутро, гума, дерево, матеріали органічного походження, відходи гумові (наприклад, відпрацьовані автомобільні шини) і утворенню яких не вдалося запобігти під час операційної діяльності на виробничих майданчиках інших підприємствах СЕМАРК (АТ «Подільський цемент» виробничий майданчик у с. Гуменці Кам'янець-Подільського району Хмельницької області, АТ «Подільський цемент» виробничий майданчик у м. Вишневе Київської області, ПрАТ «Миколаївцемент» у м. Миколаїв Львівської області, ТОВ «Цемент» у місті Одеса, тощо), що входять до складу Групи CRH) та які, з метою дотримання ієрархії управління відходами та здійснення відновлення власних відходів, обробляються Товариством. Можуть використовуватися в якості компоненту для покращення якості власного SRF матеріали (відходи) імпортного походження (наприклад, за кодами 19 12 04 Пластмаса та гума, 19 12 10 Горючі відходи (паливо з відходів), 19 12 12 Відходи (включаючи суміші матеріалів) від механічного оброблення відходів інші, ніж зазначені за кодом 19 12 11, або інші).

Згідно зі схемою фізико-географічного районування, земельна ділянка АТ «Подільський цемент» розташовується в межах Західноподільської височинної області Східноєвропейської рівнини. Грунтовий покрив представлений переважно чорноземами глибокими малогумусними вилугованими. Відповідно до ландшафтного районування, район належить до лісостепових ландшафтів. Переважають товтрові пасмово-горбисті закарстовані височини, складені рифовими вапняками, з опідзоленими ґрунтами, з грабовими дібровами. Згідно з геоморфологічним районуванням об'єкт розташовано у межах Подільської структурно-денудаційної височини на неогенових і крейдових відкладах. У гідрографічному відношенні досліджувана територія відноситься до басейну річки Дністер [27].

Сьогодні АТ «Подільський цемент» – один з найбільших і найсучасніших виробників цементу не лише в нашій країні, але й у 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.

## 2.2 Технологічна схема виробництва цементу

Цемент – це будівельний матеріал, який виробляється шляхом помелу клінкеру та гіпсу. В залежності від типу цементу, можливе додавання тих чи інших добавок у процес помелу: зола-виносу (побічний продукт від виробництва електроенергії на теплоелектростанціях), доменний гранульований шлак (побічний продукт у металургійному виробництві), вапняк, пуцоланові матеріали. Завдання клінкеру – надавати міцність бетону, матеріалу, який отримується при змішуванні цементу, заповнювачів та води. Завдання гіпсу – регулювати строки тужавлення бетону, тобто початок та кінець процесу твердіння.

Клінкер є основним та, одночасно, найдорожчим компонентом цементу. Технологічний процес виробництва клінкеру є найбільш складним та енергоємним у всьому ланцюзі виробництва. Клінкер отримується шляхом температурної обробки в обертовій печі з циклонними теплообмінниками та декарбонізатором гомогенізованих сировинних матеріалів (сировинної муки): вапняку, глини, залізовмісної добавки, шлаку та інші. Саме піч вважається серцем виробничого процесу.

Для оптимізації процесу – енерговитрати на виробництво клінкеру є найдорожчою частиною у вартості кінцевого продукту – цементу. Приблизно від 30 % до 40 % собівартості цементу складають витрати на паливо, яке

використовується для отримання потрібної температури при випалі клінкеру.

Для виробництва цементу на заводі використовують такі основні сировинні матеріали: вапняк та глинистий мергель, які видобуваються на власних кар'єрах, відповідно Гуменецького, Вербецького і Колубаївського родовищ, а також глина та суглинки, які видобуваються на кар'єрах постачальників, відповідно Смотричського та Абрикосівського родовищ. Корируючими добавками є залізна руда, глиноземний кек – для регулювання глиноземного модуля сировинної суміші.

Для дозування сировини використовуються буферні бункери, розташовані в окремому приміщенні. Суміш вапняку і мергелю, стрічковим конвеєром із складу зберігання поступає в бункер об'ємом 200 тонн, обладнаний системою зважування на тензодатчиках і ваговим дозатором. Кореуючі добавки (залізовмісні та алюмініовмісні) зберігаються в бункерах об'ємом по 150 тонн кожний, які також оснащені тензодатчиками і ваговими дозаторами. Алюмініовмісні та залізовмісні матеріали до місця споживання доставляються вантажівками, розвантажуються в живильник, з подальшим транспортуванням до бункерів буферного зберігання [20].

Наступний важливий етап – підготовка паливних ресурсів. Підприємство використовує різноманітні види палива, що відображає сучасні тенденції екологізації виробництва. Доставляється та зберігається вугілля, нафтовий кокс, вугільний шлам та альтернативне паливо. Вугілля проходить додаткове подрібнення у вертикальному млині MPS 3550 ВК. Окремо відбувається підготовка альтернативних видів палива, зокрема біомаси та твердого відновлювального палива, які готуються до використання в обертовій печі № 7. Для контрольованого спалювання здійснюється точне дозування альтернативного палива.

Критичним етапом є підготовка та гомогенізація сировинної суміші. Вона здійснюється за допомогою вальцевого млина OMR 57/29-4 (рисунок 2.2), а також інших систем, що забезпечують тонкий помел та

однорідність сировинного борошна перед його подачею на випалювання.

Принцип:

– сировина надходить на склад, де за допомогою спеціального обладнання складається шарами;

– шари зрізаються утворюючи однорідний потік матеріалу на помел.

Від чого залежить ефективність пре-гомогенізації:

– чим швидше стекер укладає шари матеріалу, тим менше коливань хімічного складу;

– чим більше шарів, тим більше однорідність.



Рисунок 2.2 – Гомогенізація сировинної суміші. Вальцевий млина OMR 57/29-4

Основний технологічний процес – випалювання клінкеру – відбувається в обертівій печі № 7. Цьому передуює етап декарбонізації сировини, що здійснюється у кальцинаторі з двома пальниками, де також передбачений лоток для використання альтернативного палива.

Спочатку сировинна мука випалюється при температурі від 850 °C до 950 °C (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Схема декарбонізації

Цей процес називається «декарбонізація», мета якого розділити карбонат кальцію ( $\text{CaCO}_3$ ), який міститься в головному сировинному компоненті, вапняку, на вапно та діоксид вуглецю. Для цього приблизно 60 % палива подається на, так званий, пальник декарбонізатора [21, 22].

Квінтесенцією ж виробництва клінкеру є другий етап випалу, метою якого є зміна фізичного стану сировинної муки у розплав з температурою в  $1450\text{ }^\circ\text{C}$  цей процес називається «спікання». Така висока температура потрібна для зв'язування оксидів, з яких складається той чи інший сировинний компонент, щоб у кінцевому рахунку отримати такий довгоочікуваний продукт – клінкер (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Схема випікання клінкера

Процеси спікання та декарбонізація на АТ «Подільський цемент» наведено на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Спікання та декарбонізація на АТ «Подільський цемент»

Саме для вищезазначених процесів декарбонізації та спікання, цементна промисловість застосовує сучасну технологію заміни викопного палива на альтернативне.

Завершальний етап виробництва цементу полягає в подрібненні охолодженого клінкеру. Для цього використовуються цементні млини МЦ 3,2x15 (ЦМ№№5-8) або вертикальний цементний млин ОК-39-4 (№ 13). Подрібнений цемент транспортується у силоси за допомогою пневмотранспорту або стрічкового конвеєра для подальшого зберігання.

Кінцева стадія – відвантаження готової продукції споживачам. Цемент може відвантажуватися навалом на автомобільний та залізничний транспорт, або фасуватися у мішки по 25 кг на двох фасувальних лініях. Таким чином, представлена технологічна схема охоплює повний цикл сучасного цементного виробництва, що включає використання як традиційних, так і альтернативних видів сировини та палива.

Технологічний процес виробництва цементу має довгий і цікавий ланцюг. Узагальнюючи, ми виділяємо три основних етапи: видобуток сировинних матеріалів у кар'єрі, виробництво портландцементного клінкеру та помел цементу (рисунок 2.6).

## Технологія виробництва клінкеру сухим способом



Рисунок 2.6 – Технологія виробництва клінкеру сухим способом

### 2.3 Джерела та показники викидів забруднюючих речовин

Джерела викидів забруднюючих речовин класифікуються для систематизації даних, розробки стратегій моніторингу та управління якістю атмосферного повітря. Оцінка впливу джерел забруднення на навколишнє середовище базується на кількісних та якісних показниках, що дозволяє об'єктивно визначити рівень забруднення та розробити ефективні заходи щодо його зменшення. Класифікація джерел викидів проводиться за різними критеріями: за способом надходження забруднюючих речовин в атмосферу (організовані та неорганізовані джерела), за технологічним призначенням (основне виробництво, допоміжні процеси, транспорт), за потужністю викидів та за видами забруднюючих речовин. Така детальна класифікація необхідна для проведення інвентаризації викидів, планування природоохоронних заходів та здійснення ефективного контролю за станом атмосферного повітря.

Валовий викид (маса викиду) – загальна маса конкретної забруднюючої речовини (або суми речовин), що надійшла в атмосферу від джерела (або сукупності джерел) за певний період часу (наприклад, тонн/рік або кг/добу). Це основний показник для державної статистичної звітності, який дозволяє проводити порівняльний аналіз між різними підприємствами та галузями промисловості.

Гранично допустимий викид (ГДВ) – встановлений норматив гранично допустимої маси викиду речовини в одиницю часу, який гарантує, що приземні концентрації не перевищать гранично допустимі концентрації (ГДК) для населених місць або інших нормативних зон. ГДВ встановлюються індивідуально для кожного підприємства на основі розрахунків розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері з урахуванням місцевих метеорологічних умов, рельєфу місцевості, наявності фонового забруднення та розташування житлової забудови [18].

Коефіцієнт емісії – відношення маси забруднюючої речовини, що викидається, до одиниці виробленої продукції або використаної сировини/палива (наприклад, кг пилу на тонну цементу, або кг SO<sub>2</sub> на тонну спаленого вугілля). Коефіцієнти емісії використовуються для оперативної оцінки обсягів викидів, планування природоохоронних заходів та порівняння екологічної ефективності різних технологій і виробництв.

Джерелами забруднення АТ «Подільський цемент» атмосфери є організовані і неорганізовані джерела викидів, пов'язаних з виробництвом клінкеру: від процесів, пов'язаних з прекальцинацією та випалом сировини, охолодженням, зберіганням і транспортуванням клінкеру будуть утворюватися речовини у вигляді твердих суспендованих частинок, для очистки яких будуть застосовані рукавні фільтри, а також продукти згорання органічного палива (оксиди азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю) [20].

Валові викиди забруднюючих речовин, що матимуть місце на підприємстві наведено у таблиці таблиця 2.1. – валові викиди забруднюючих речовин

Таблиця 2.1 – Валові викиди забруднюючих речовин

№ з/п	Назва забруднюючої речовини	Викид, г/с	Викид, т/р
1	2	3	4
1	Азоту діоксид	199,0198	2590,522
2	Вуглецю оксид	507,5564	7222,065892
3	Аміак	0,00027	0,005314
4	Сажа	0,015334	0,009572
5	Сірки діоксид	176,1466	4436,955
6	Метан	0,017542	0,143836
7	Сірководень	0,000186	0,000592721
8	Водень хлористий		57,201
9	Вуглеводні насичені C12-C19	1,41590413	82,623102
10	Фтористий водень	0,00175	8,08804
11	Фториди добре розчинні	0,00666	0,0368
12	Фториди погано розчинні	0,00376	0,01964
13	Кислота оцтова	0,00000556	0,000005
14	Метилмеркаптан	0,000000060976	0,0000011197
15	Етилмеркаптан	0,000000029168	0,00000053705
16	Бенз(а)пірен	0,00001256	0,00001931
17	Миш'як, неорганічні сполуки (у перерахунку на миш'як)		0,03189
18	Фурани та діоксии		0,00000005722
19	Хром шестивалентний	0,00514	0,00525
20	Хрому тривалентні сполуки (у перерахунку на Cr <sup>3+</sup> )		0,07
21	Оксиди нікелю		0,02022

22	Кобальт металічний		4,039
23	Заліза оксид	0,0798	0,2114
24	Мангану діоксид	0,001504	4,04888
24	Кадмію оксид (у перерахунку на кадмій)	0,002289	0,002289

Кінець таблиці 2.1

1	2	3	4
26	Міді оксид		0,02256
27	Руть металічна		0,1955
28	Свинець і його неорганічні сполуки (у перерахунку на свинець)		0,06967
29	Талію карбонат (у перерахунку на талій)		0,4044
30	Сурма (стибій)		4,039
31	Ванадію п'ятиоксид		4,039
32	Пил недиференційований за складом	23,02356	948,234496
	Разом	907,2943	15393,9992

Для очищення газоповітряних сумішей від пилу застосовані рукавні фільтри сучасної конструкції, що забезпечують ефективність очищення не менше 99,5 %. Крім твердих частинок, при виробництві цементу утворюються також продукти згорання органічного палива, зокрема оксиди азоту, діоксид сірки та оксид вуглецю. Рівень утворення цих речовин залежить від виду палива, що використовується, температурного режиму процесу випалу клінкеру та ефективності роботи систем керування горінням.

Вплив викидів забруднюючих речовин планованої діяльності на стан забруднення атмосферного повітря здійснюється за даними результатів розрахунку розсіювання забруднюючих речовин в контрольних точках на межі санітарно-захисної зони (СЗЗ) підприємства. Координати контрольних точок знято з генплану АТ «Подільський цемент». Контрольні точки розміщені по периметру санітарно-захисної зони з урахуванням напрямків переважаючих вітрів, розташування найближчої житлової забудови та інших об'єктів з нормованими показниками якості атмосферного повітря. Загальна кількість контрольних точок становить не менше 20, що забезпечує достатню детальність оцінки впливу викидів на атмосферне повітря.

Розташування джерел викидів шкідливих речовин наведено на генплані, зображеному на рисунку 2.7. Використання єдиної системи координат забезпечує точність розрахунків та можливість подальшого

аналізу результатів за допомогою геоінформаційних систем. Програма розрахунку дозволяє визначити значення максимальних приземних концентрацій з перевіркою небезпечних швидкостей вітру з кроком  $10^\circ$ , тобто при найгірших умовах розсіювання забруднюючих речовин. При цьому аналізуються всі можливі напрямки вітру (36 румбів) та різні категорії стійкості атмосфери за класифікацією Пасквілла-Гіффорда.

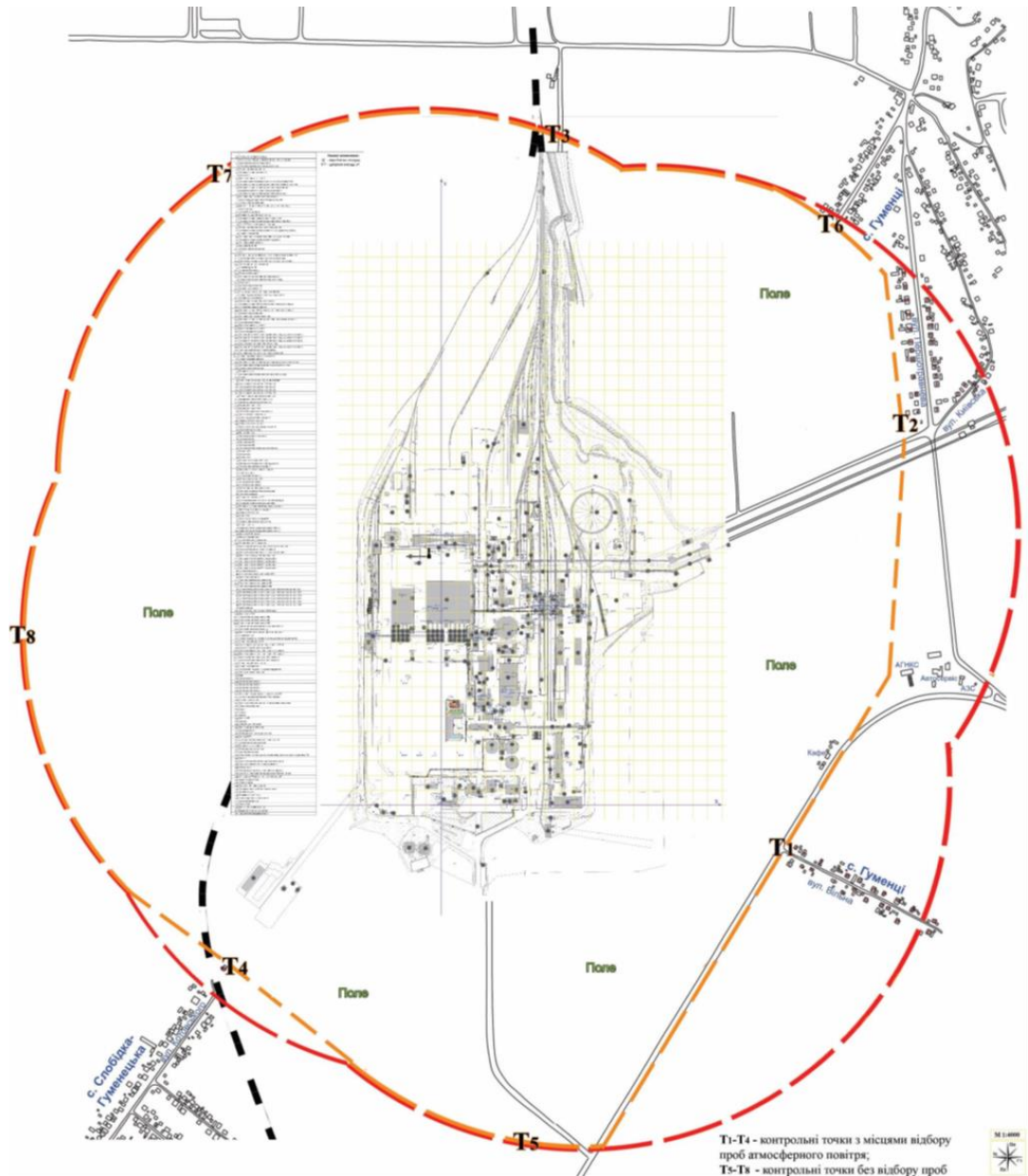


Рисунок 2.7 – Схема генплану з джерелами викидів та СЗЗ

За даними регіональної доповіді «Стан навколишнього природного середовища Хмельницької області». АТ «Подільський цемент» відноситься до основних забруднювачів атмосферного повітря. Обсяг валових викидів цього підприємства у 2024 році становив 6921,515 тонн, тоді як у 2023 році цей показник був 6527,874 тонни. В результаті обсяги викидів збільшилися на 393,641 тонни. Причиною такого збільшення зазначено зростання виробничих потужностей підприємства (таблиця 2.2.)

Таблиця 2.2 – Основні забруднювачі атмосферного повітря в Хмельницькій області

№ п/п	Підприємство - забруднювач	Відомча приналежність	Валовий викид, т 2024 р.	Валовий викид, т 2023 р.	Зменшення/- збільшення/+	Причина зменшення/збільшення
1.	Публічне акціонерне підприємство «Подільський цемент» ТОВ	Концерн «Укрцемент»	6921,515	6527,874	393,641	збільшення потужностей підприємства

Значення концентрацій шкідливих речовин у розрахункових точках приземного шару повітря виводиться на карти полів концентрацій та у розрахункові таблиці. Картографічне представлення результатів розрахунку дозволяє наочно оцінити зони впливу викидів підприємства та визначити необхідність впровадження додаткових природоохоронних заходів. Для забезпечення проведення розрахунку розсіювання змодельовано найбільш несприятливі умови при застосуванні альтернативного палива та традиційного палива разом по максимальній потужності. Такий підхід гарантує, що результати розрахунку відповідають максимально можливому рівню забруднення атмосфери при експлуатації виробничих потужностей на повну проектну потужність. А саме, при визначенні кінцевої потужності викиду до розрахунку бралися максимальні потужності викиду забруднюючих речовин при одночасній роботі всіх технологічних агрегатів в режимі максимального навантаження. Це відповідає принципу

консервативності оцінки впливу на довкілля та дозволяє врахувати можливі відхилення від нормальних режимів експлуатації обладнання.

При експлуатації реконструйованої лінії альтернативного палива (джерела викидів системи забезпечення процесу альтернативним паливом) з урахуванням спалювання традиційних видів палива та альтернативних видів палива на обертовій печі № 7 будуть викидатися (без урахування декарбонізації):

- забруднюючих речовин близько 35412,49 т/рік,
- а також речовин, що володіють парниковим ефектом:
- метан близько 21,33 т/рік ;
  - азоту оксид близько 47,379 т/рік;
  - вуглецю діоксид близько 1502477,685 т/рік.

Розрахунок розсіювання проводився для джерел викидів планованої діяльності.

Розрахунок концентрацій шкідливих речовин, які містяться у викидах підприємства, виконується відповідно до ОНД-86 на ЕОМ за програмою ЕОЛ+, погодженою Мінприроди (України, лист 3141/10/2-10 від 27.03.2007).

Програма складена з урахуванням здійснення багатоваріантного розрахунку концентрацій шкідливих речовин у розрахункових точках на місцевості при різних напрямках вітру з урахуванням максимально можливих разових викидів забруднюючих речовин для найбільш небезпечних швидкостей вітру [12,13].

Розрахунок розсіювання проводився виключно для джерел викидів планованої діяльності, що дозволяє оцінити саме внесок нових або модернізованих виробничих потужностей у забруднення атмосферного повітря. При цьому враховувалося фонове забруднення від інших джерел підприємства та сторонніх об'єктів. Розрахунок концентрацій шкідливих речовин, які містяться у викидах підприємства, виконується відповідно до ОНД-86 (Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств) на ЕОМ за

програмою ЕОЛ+ версії 5.3.8, погодженою Міністерством екології та природних ресурсів України (лист № 3141/10/2-10 від 27.03.2007).

Програма ЕОЛ+ складена з урахуванням здійснення багатоваріантного розрахунку концентрацій шкідливих речовин у розрахункових точках на місцевості при різних напрямках вітру з урахуванням максимально можливих разових викидів забруднюючих речовин для найбільш небезпечних швидкостей вітру. Програма враховує такі фактори впливу на розсіювання: висоту та діаметр джерела викиду, температуру та швидкість виходу газоповітряної суміші, рельєф місцевості, метеорологічні характеристики регіону.

Розрахункова модель враховує наступні основні параметри:

- коефіцієнт стратифікації атмосфери ( $A = 200$  для регіону розташування підприємства);
- коефіцієнт рельєфу місцевості ( $\eta = 1,0$  для рівнинної місцевості);
- середньорічна роза вітрів за даними багаторічних спостережень найближчої метеостанції;
- температурний режим газоповітряної суміші на виході з джерела викиду;
- параметри очисного обладнання та його ефективність.

Для кожного джерела викидів визначаються небезпечні швидкості вітру, при яких досягаються максимальні приземні концентрації забруднюючих речовин. Розрахунок проводиться для всіх речовин, які викидаються підприємством, з урахуванням ефекту сумачії для речовин з однонаправленою дією.

Схема генплану АТ «Подільський цемент» з джерелами викидів та межами санітарно-захисної зони. Значення концентрацій шкідливих речовин у розрахункових точках приземного шару повітря виводиться як на карти полів концентрацій (ізолінії однакових концентрацій), так і у розрахункові таблиці з числовими значеннями для кожної точки спостереження. Карти

полів концентрацій будуються окремо для кожної забруднюючої речовини та для груп речовин з ефектом сумачії ( див. рисунок 2.7).

За результатами розрахунку розсіювання забруднюючих речовин встановлено, що максимальні приземні концентрації всіх речовин, які викидаються підприємством, не перевищують гранично допустимих концентрацій (ГДК) на межі санітарно-захисної зони та в житловій забудові. Внесок планованої діяльності в забруднення атмосфери є допустимим і відповідає вимогам санітарно-гігієнічних нормативів, встановлених чинним законодавством України. Найбільший внесок у забруднення атмосферного повітря вносять викиди оксиду вуглецю, оксидів азоту та діоксиду сірки, що є типовим для підприємств цементної галузі з високотемпературними технологічними процесами. Однак завдяки значній висоті джерел викидів та ефективній роботі систем газоочищення, приземні концентрації цих речовин знаходяться на прийнятному рівні.

Внесок планованої діяльності в забруднення атмосфери допустимий і відповідає вимогам санітарно-гігієнічних нормативів. Впровадження сучасних систем газоочищення (рукавні фільтри з ефективністю очищення понад 99 %), оптимізація режимів горіння палива та використання систем автоматичного контролю викидів забезпечують дотримання встановлених нормативів якості атмосферного повітря.

Розміщення об'єкту планованої діяльності по показниках забруднення атмосферного повітря є допустимим з точки зору санітарно-гігієнічних вимог та природоохоронного законодавства. Підприємство має достатню санітарно-захисну зону, що забезпечує безпечні умови проживання населення в прилеглих територіях [37].

Проведений розрахунок розсіювання викидів забруднюючих речовин від АТ «Подільський цемент» при експлуатації реконструйованої лінії з використанням альтернативного палива показав, що планована діяльність не призведе до погіршення стану атмосферного повітря в регіоні та не створить загрози для здоров'я населення. Усі проектні рішення щодо охорони

атмосферного повітря відповідають вимогам чинного природоохоронного законодавства України та міжнародним стандартам у галузі охорони довкілля. Впровадження найкращих доступних технологій (НДТ) у сфері газоочищення та використання альтернативних видів палива сприятиме зменшенню питомих викидів забруднюючих речовин на одиницю продукції та загальному поліпшенню екологічних показників роботи підприємства.

#### 2.4 Система природоохоронних заходів і моніторингу на підприємстві

Система природоохоронних заходів на підприємстві є комплексом взаємопов'язаних дій, спрямованих на дотримання вимог екологічного законодавства, мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище та раціональне використання природних ресурсів. Організаційно-правове забезпечення цієї діяльності ґрунтується на Законах України «Про охорону навколишнього природного середовища» та інших профільних нормативних актах. Воно включає призначення відповідальних осіб (еколога або відділу охорони природи), розробку внутрішніх інструкцій, отримання необхідних дозвільних документів (на викиди, водокористування, поводження з відходами), а також може включати впровадження міжнародних стандартів, таких як ISO 14001.

Основні напрями зниження екологічного навантаження охоплюють всі компоненти довкілля. Для охорони атмосферного повітря застосовуються заходи з модернізації газоочисного обладнання, оптимізації технологічних процесів та переходу на використання менш токсичної сировини. Заходи з охорони водних ресурсів включають будівництво та реконструкцію очисних споруд, впровадження систем зворотного водопостачання та контроль за якістю стічних вод. У сфері поводження з відходами ключовими діями є впровадження сортування, зменшення обсягів утворення відходів та їх передача ліцензованим підприємствам для утилізації чи захоронення [36].

Невід'ємною частиною управління є система екологічного моніторингу та виробничого контролю. Виробничий екологічний контроль (ВЕК) передбачає систематичне спостереження за дотриманням встановлених нормативів (ГДВ, ГДС) шляхом регулярного відбору проб та лабораторних аналізів викидів, скидів та відходів. Моніторинг впливу полягає у спостереженні за фактичним станом атмосферного повітря, ґрунтів та води у контрольних точках навколо підприємства. Результати моніторингу документуються, аналізуються та використовуються для коригування природоохоронних заходів та планування подальших інвестицій, забезпечуючи об'єктивну оцінку екологічної результативності діяльності підприємства.

З метою одержання фактичних даних впливу планованої діяльності на навколишнє середовище передбачається ведення екологічного моніторингу (спостережень) відповідно до вимог чинного законодавства.

Екологічний моніторинг містить у собі моніторинг атмосферного повітря, ґрунтів, водних об'єктів, об'єктів тваринного й рослинного світу.

Спостереження, оцінка і прогнозування стану навколишнього природного середовища при здійсненні планованої діяльності проводиться відповідними службами або спеціалізованими організаціями.

Здійснення виробничого контролю за викидами забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами буде проводитися відповідно до чинного дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами.

Завданням виробничого контролю є:

- здійснення контролю за дотриманням затверджених нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин;
- здійснення безперервного моніторингу викидів;
- здійснення періодичного моніторингу викидів;

– заходи щодо здійснення контролю за дотриманням встановлених технологічних нормативів викидів забруднюючих речовин у відхідних (димових) газах;

– здійснення контролю за дотриманням гігієнічних нормативів фактичних концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі (ГДК) та рівнів шкідливих факторів, шуму (ГДР), на зовнішній межі затвердженої фактичної санітарно-захисної зони, зверненої до житлової забудови.

Система природоохоронних заходів і моніторингу на підприємстві відіграє ключову роль у забезпеченні екологічної безпеки та виконанні вимог законодавства в сфері охорони навколишнього середовища. Комплексність цієї системи, що включає організаційно-правове забезпечення, впровадження відповідальних осіб та розробку внутрішніх інструкцій, забезпечує ефективне управління екологічними ризиками.

Основні напрями природоохоронних заходів охоплюють всі елементи довкілля, такі як атмосферне повітря, водні ресурси та відходи, що дозволяє знизити негативний вплив підприємства на навколишнє середовище. Виробничий екологічний контроль, який передбачає регулярне спостереження за дотриманням встановлених нормативів та моніторинг навколишнього середовища, забезпечує об'єктивний аналіз екологічної результативності діяльності підприємства [33].

Екологічний моніторинг, що включає спостереження за якістю повітря, води та ґрунтів, дозволяє виявляти негативні тенденції і вчасно вжити заходів для їх усунення. Забезпечення відповідності до міжнародних стандартів, таких як ISO 14001, підвищує рівень екологічної відповідальності підприємства на міжнародній арені.

Встановлені вимоги до моніторингу забруднюючих викидів та контролю якості дозволяють не лише дотримуватись гранично допустимих норм, а й розвивати систематичний підхід до управління екологічними ризиками, що підвищує конкурентоспроможність підприємства і сприяє

сталому розвитку. Реалізація всієї системи природоохоронних заходів є безумовною необхідністю для досягнення екологічних цілей та відповідності сучасним вимогам суспільства і законодавства.

## 2.5 Енергетичний баланс виробництва і споживання палива

Енергетичний баланс підприємства є важливим інструментом аналізу ефективності використання енергетичних ресурсів та визначення шляхів їх оптимізації. Для цементного виробництва, яке належить до енергоємних галузей промисловості, питання раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів мають особливе значення. АТ «Подільський цемент» є великим промисловим підприємством з повним циклом виробництва цементу – від видобутку та підготовки сировини до випалу клінкеру та розмелювання готової продукції. Виробничий процес характеризується високою енергоємністю, оскільки випал клінкеру потребує температури понад 1450 °С, а процеси подрібнення сировини та цементу вимагають значних витрат електричної енергії.

Загальна структура енергоспоживання АТ «Подільський цемент» характеризується переважанням витрат теплової енергії на технологічні процеси випалу клінкеру (близько від 65 % до 70 % від загального енергоспоживання) та електричної енергії на привід технологічного обладнання (30 %). Решта енергоресурсів (від 5 % до 10 %) розподіляється між допоміжними процесами: опаленням виробничих та адміністративних приміщень, системами вентиляції та кондиціонування, освітленням, транспортними потребами.

Питомі витрати теплової енергії на виробництво тонни клінкеру складають приблизно від 3200 МДж/т до 3600 МДж/т (750 ккал/кг), що відповідає сучасним світовим показникам для цементних заводів з сухим

способом виробництва. Питоме електроспоживання становить приблизно від 95 кВт/год. до 110 кВт/год. на тонну цементу, включаючи всі стадії технологічного процесу від видобутку сировини до відвантаження готової продукції.

Структура енергоспоживання за технологічним поділом, розподіляється наступним чином (рисунок 2.8).

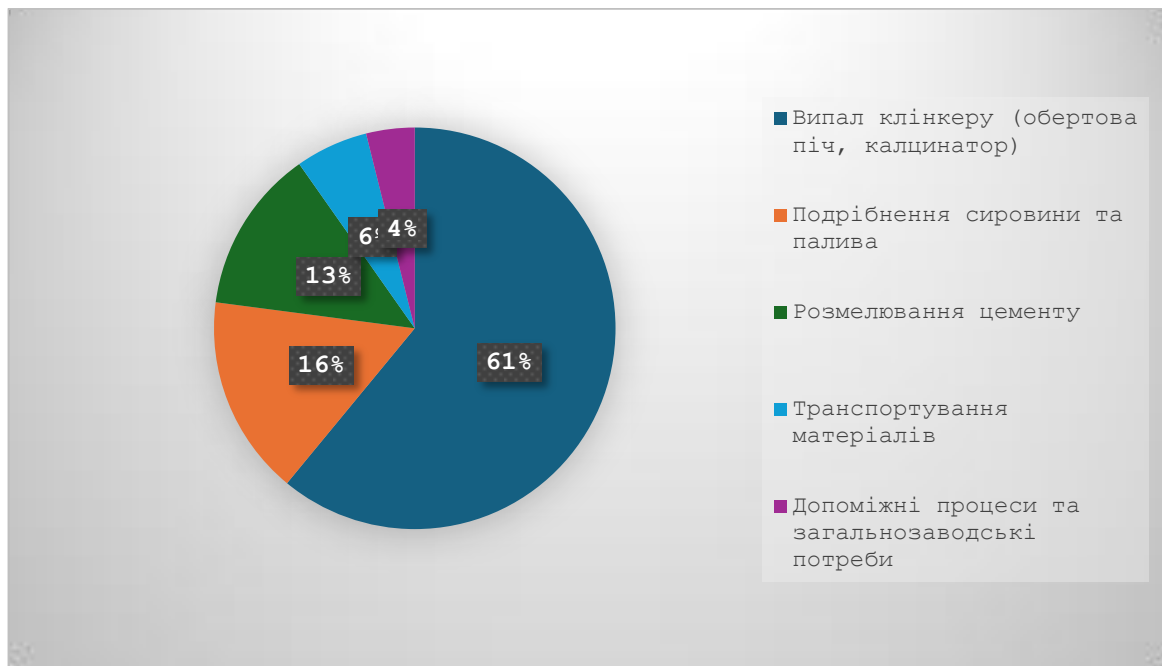


Рисунок 2.8 – Структура енергоспоживання за технологічним поділом

На цементному заводі АТ «Подільський цемент» функціонують дві основні системи водопостачання, що забезпечують різні виробничі та побутові потреби підприємства:

- господарсько-побутове водопостачання;
- виробниче (технологічне) водопостачання.

Технологічний процес випалу клінкеру передбачає гнучкість використання різних палив у межах річної кількості. Наведені кількості відображають максимально можливі кількості палив по відношенню до кам'яного вугілля, альтернативних видів палива. Реальні обсяги використання палива наведено в таблиці 2.3.

Енергетичний баланс підприємства є важливим інструментом для аналізу його ефективності та витрат енергоресурсів. Випал клінкеру займає найбільшу частку в загальному споживанні енергії, що свідчить про високу енергоємність цього процесу. Водночас значні ресурси використовуються для подрібнення сировини, розмелювання цементу та транспортування матеріалів, а також для допоміжних процесів.

Таблиця 2.3 – Витрата матеріалів і сировинних матеріалів при номінальній потужності печі (2400 тис. тонн клінкеру на рік)

Найменування сировини і допоміжних ресурсів	Найменування продукції із сировини, що використовується	Одиниця виміру	Оціночні дані за рік
Природний газ	Розпалювання обертової печі	тис. м <sup>3</sup>	1000-2500
	Генерування теплоносія для цементного млина	тис. м <sup>3</sup>	
	Генерування теплоносія для сировинного млина	тис. м <sup>3</sup>	
	Виробництво теплоносія для опалення	тис. м <sup>3</sup>	
	Розморожування вантажів у тепляку	тис. м <sup>3</sup>	
Кам'яне вугілля марок Т, ЖР, Г, ДГ та антрацит	Випалювання клінкеру	тис. т	140-340
Вугільний шлам		тис. т	0-190
марок Т, ЖР, Г, ДГ та антрацит		тис. т	140-340
Тверде відновлювальне паливо SRF та біомаса		тис. т	0 - 273
Нафтовий кокс		тис. т	0 - 152
Глина, суглинки		тис.т	450
Вапняк		тис.т	2900-3400
Корегуючі добавки	тис.т	150 - 350	
Відсів вапняку	тис.т	0 - 500	
Мергель	тис.т	450	
Зола	тис.т	0 - 150	
Доменний шлак	тис.т	0 - 1000	
Клінкер	тис.т	1400	
Доменний гранульований шлак	Виробництво цементу	тис.т	300
Вапняк		тис.т	200
Гіпсовий камінь*		тис.т	100
Електроди АНО-3	Зварювання металів	т	3,2
Електроди АНО-4		т	4
Електроди УОНИ-13/45 (Ø3, 4,5)		т	8
Електроди Т-620, 590		т	1,6
Дизпаливо	Зберігання та розподіл дизпалива	т	200
	Генерування електричної енергії	т	1,316

2.6 Досвід використання альтернативного палива на АТ «Подільський цемент»

АТ «Подільський цемент» активно впроваджує стратегію переходу на альтернативні види палива (АП) у своєму виробничому циклі, що є ключовим кроком до зменшення залежності від традиційних викопних ресурсів та зниження вуглецевого сліду підприємства. Історія використання АП на підприємстві демонструє значну динаміку та інноваційний підхід до управління відходами. Динаміка споживання альтернативного палива Аналіз споживання альтернативного палива за період з 2021 року по 2025 року демонструє коливання обсягів, що відображає як зміни в доступності сировини, так і розвиток внутрішніх виробничих потужностей (рисунок 2.9).

АТ «Подільський цемент» активно впроваджує стратегію переходу на альтернативні види палива (АП) у своєму виробничому циклі, що є ключовим кроком до зменшення залежності від традиційних викопних ресурсів та зниження вуглецевого сліду підприємства. Історія використання АП на підприємстві демонструє значну динаміку та інноваційний підхід до управління відходами.



Рисунок 2.9 – Статистика використання альтернативного палива на АТ «Подільський цемент»

Початковий високий обсяг у 2021 році змінився різким падінням у 2022 році, що може бути пов'язано з логістичними або економічними

викликами. Однак, починаючи з 2023 року, споживання АП демонструє стабільне зростання.

До 2024 року основним джерелом АП для АТ «Подільський цемент» було закуплене тверде відновлюване паливо (SRF - Solid Recovered Fuel) та біомаса. Ці матеріали дозволяли замінювати частину кам'яного вугілля у процесі випалу клінкеру, знижуючи залежність від імпортованого викопного палива та зменшуючи операційні витрати. SRF виробляється з неперероблених комунальних відходів та комерційних і промислових відходів шляхом сортування, подрібнення та сушіння, що дозволяє отримати високоенергетичне паливо з відносно стабільними характеристиками. Біомаса, яка включає деревні відходи, сільськогосподарські залишки та інші органічні матеріали, є відновлюваним джерелом енергії з нейтральним вуглецевим балансом, оскільки CO<sub>2</sub>, що виділяється при її спалюванні, був раніше поглинутий рослинами з атмосфери [28].

Знаковим етапом у розвитку системи енергозабезпечення підприємства став 2024 рік, коли АТ «Подільський цемент» започаткувало власне виробництво SRF. Це стратегічне рішення мало кілька важливих наслідків для операційної ефективності та сталості підприємства. По-перше, власне виробництво забезпечило більш стабільні та прогнозовані поставки палива, знизивши ризики, пов'язані з залежністю від зовнішніх постачальників, особливо в умовах воєнного стану. По-друге, переробка різних видів відходів, які закуповуються або приймаються для подальшого відновлення (утилізації), дозволила оптимізувати витрати на паливно-енергетичні ресурси та створити додатковий потік доходів від надання послуг з управління відходами. По-третє, перетворення відходів на енергоресурс сприяє вирішенню проблеми утилізації відходів у регіоні, що відповідає принципам циркулярної економіки та підвищує соціальну відповідальність підприємства перед місцевою громадою.

Впровадження власного виробництва SRF також дозволило АТ «Подільський цемент» краще контролювати якість палива, адаптуючи його

характеристики до специфічних вимог виробничого процесу. Це включає контроль теплотворної здатності, вологості, вмісту хлору та важких металів, що є критичними параметрами для забезпечення ефективного спалювання та дотримання екологічних норм.

Незважаючи на очевидні переваги, перехід на альтернативні види палива супроводжується певними викликами. Одним із ключових є необхідність забезпечення стабільної якості та доступності сировини для виробництва SRF. Це вимагає встановлення надійних партнерських відносин з постачальниками відходів, розвитку логістичної інфраструктури та впровадження систем контролю якості.

Досвід АТ «Подільський цемент» демонструє успішний приклад інтеграції альтернативних палив у традиційну цементну промисловість. Запуск власного виробництва SRF у 2024 році став ключовим фактором для підвищення стійкості виробництва та ефективного управління ресурсами в умовах енергетичної та економічної нестабільності. Подальший розвиток цього напрямку дозволить підприємству посилити свої позиції на ринку, одночасно зменшуючи негативний вплив на навколишнє середовище та сприяючи переходу до більш сталої моделі промислового розвитку.

Стратегія впровадження альтернативних палив на АТ «Подільський цемент» є взірцем для інших підприємств цементної галузі України та демонструє, що економічна ефективність і екологічна відповідальність можуть успішно поєднуватися навіть у складних умовах сьогодення. Успіх цієї ініціативи підкреслює важливість стратегічного планування, інвестицій у технології та побудови партнерських відносин з усіма зацікавленими сторонами для досягнення цілей сталого розвитку.

### **3 ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕМЕНТНОГО ВИРОБНИЦТВА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА**

Цементна промисловість є одним із найбільших промислових споживачів енергії та джерел викидів парникових газів у світі. За оцінками експертів, виробництво цементу відповідає приблизно за 8 % глобальних викидів CO<sub>2</sub>, що робить декарбонізацію цього сектору критично важливою для досягнення міжнародних кліматичних цілей. Виробництво однієї тонни клінкеру – основного компонента цементу – потребує теплової енергії в обсязі близько 3,3 ГДж, що традиційно забезпечується спалюванням викопного палива, переважно вугілля та нафтового коксу.

Приблизно 60 % викидів CO<sub>2</sub> у цементному виробництві виникає внаслідок процесу кальцинування, тоді як решта 40 % пов'язані зі споживанням енергії під час виробництва. Процес кальцинування – хімічне розкладання карбонату кальцію (вапняку) при високих температурах – є неминучим джерелом викидів CO<sub>2</sub>, оскільки вуглекислий газ вивільняється безпосередньо з хімічної структури сировини. Водночас, енергетичні викиди можна значно скоротити шляхом заміщення традиційних викопних палив альтернативними джерелами енергії.

У контексті посилення екологічних вимог, зростання цін на традиційні енергоносії та глобальної необхідності переходу до циркулярної економіки, використання альтернативних видів палива (АП) у цементній промисловості набуває особливої актуальності. Альтернативні палива включають широкий спектр матеріалів: від біомаси та твердого відновлюваного палива (SRF) до відпрацьованих шин, промислових відходів та муніципальних відходів, які пройшли відповідну підготовку.

Альтернативні палива, що використовуються в цементній промисловості, можна класифікувати за походженням, фізико-хімічними

властивостями та ступенем підготовки. Використання альтернативних палив у виробництві цементу є екологічно вигідним з двох причин: збереження невідновлюваних ресурсів та зменшення потреби в утилізації відходів. Біомаса та біогенні відходи, до цієї категорії належать деревні відходи, тирса, сільськогосподарські залишки, м'ясо-кісткове борошно та осад стічних вод. Біомаса вважається вуглецево-нейтральною, оскільки CO<sub>2</sub>, що виділяється при її спалюванні, був раніше поглинутий рослинами з атмосфери в процесі фотосинтезу.

Тверде відновлюване паливо (SRF/RDF). Тверде відновлюване паливо виробляється з різних видів відходів, таких як комунальні, промислові або комерційні відходи. SRF складається переважно з горючих компонентів відходів, включаючи непридатний для переробки пластик, папір, картон та інші матеріали. Виробництво SRF передбачає кілька технологічних етапів. Спочатку змішані відходи проходять первинне сортування для вилучення неприйнятних фракцій та матеріалів, що підлягають переробці. Потім відбувається подрібнення до необхідного розміру частинок, сушіння для зниження вологості (зазвичай до рівня нижче 20 %) та, за необхідності, гранулювання для отримання високоенергетичного паливного продукту. Тверде відновлюване паливо з неперероблених відходів, отриманих із роздільного збирання та механічної обробки, може замінити нафтовий кокс на цементних заводах, сприяючи досягненню вуглецевої нейтральності. Дослідження життєвого циклу показують, що виробництво та використання SRF може забезпечити суттєві екологічні переваги.

Відпрацьовані шини. У 1950 роках роках вперше були використані як паливо з відходів у цементній промисловості. Шини мають високу теплотворну здатність (близько 32 МДж/кг) та містять елементи, необхідні для виробництва клінкеру, зокрема залізо та цинк, що дозволяє їх золі інтегруватися в продукт. Промислові відходи – до цієї категорії належать відпрацьовані розчинники, мастила, фарби, пластикові відходи виробництва

та інші горючі промислові відходи, що не можуть бути перероблені іншими способами.

Ключовими параметрами, що визначають придатність матеріалу для використання як альтернативного палива в цементній промисловості, є теплотворна здатність, вологість, зольність, вміст хлору та важких металів.

Теплотворна здатність визначає енергетичний потенціал палива і є критичним параметром для розрахунку коефіцієнта заміщення традиційного палива. Для ефективного використання в цементних печах теплотворна здатність SRF зазвичай повинна перевищувати 15 МДж/кг. Біомаса має нижчу теплотворну здатність (від 10 МДж/кг до 18 МДж/кг) порівняно з вугіллям (від 25 МДж/кг до 30 МДж/кг), але компенсує це екологічними перевагами.

Вологість значно впливає на ефективність спалювання та загальну енергетичну ефективність процесу. Більшість альтернативних палив мають більший розмір частинок, вищу летючість і вміст вологи, а також нижчу теплотворну здатність порівняно з традиційними викопними паливами. Високий вміст вологи зменшує ефективну теплотворну здатність та може викликати проблеми з подачею палива. Вміст хлору є одним із найбільш обмежувальних факторів. Основним обмежувальним фактором для використання RDF/SRF у цементних печах є загальний вміст хлору (Cl), при цьому середній вміст Cl у комерційно виробленому SRF становить 0,76 % на суху основу.

Надмірний вміст хлору може призводити до утворення відкладень у системі попереднього нагрівання, корозії обладнання та погіршення якості клінкеру. Зольність визначає кількість неорганічних залишків після спалювання. У більшості печей зола палива включається в клінкер, змінюючи тим самим компонентний склад продукту. Тому важливо, щоб хімічний склад золи був сумісним з вимогами до клінкеру та не вносив небажаних елементів.

Технологічні аспекти використання альтернативних палив. Впровадження альтернативних палив у цементне виробництво вимагає адаптації систем подачі та спалювання. Перехід від традиційних палив до альтернативних представляє низку викликів, які необхідно вирішити для успішного застосування. Поганий розподіл тепла, нестабільна робота прекальцинатора, блокування в циклонах підігрівача, накопичення у висхідних каналах печі, підвищені викиди  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  та  $\text{CO}$ , а також запиленість печей є деякими з основних проблем. Сучасні цементні заводи використовують кілька точок подачі альтернативних палив. Основна піч (обертова піч) традиційно працює на пиловугільному паливі або природному газі через основний пальник. Додаткові точки подачі включають прекальцинатор (де відбувається до 60 % кальцинування сировини), середню частину печі та систему попереднього нагрівання [25].

Для дрібнодисперсних альтернативних палив (таких як тирса або гранульоване SRF) можуть використовуватися існуючі системи подачі пиловугільного палива з мінімальними модифікаціями. Грубі та великогабаритні матеріали (цілі шини, великі шматки деревини) потребують спеціалізованих систем подачі з механізмами попередньої підготовки. Вплив на процес виробництва клінкеру Використання альтернативних палив може впливати на хімію процесу випалу клінкеру та якість кінцевого продукту.

Ключовими параметрами контролю є температурний профіль печі, окисно-відновна атмосфера, час перебування матеріалу в зоні спікання та хімічний склад сировинної суміші з урахуванням внесених компонентів від золи альтернативних палив. Процес виробництва клінкеру в печах створює сприятливі умови для використання альтернативних палив. До них належать: високі температури, тривалий час перебування, окисна атмосфера, лужне середовище, утримання золи в клінкері та висока теплова інерція.

Цементна промисловість, як і інші промислові сектори, суворо регулюється національним та міжнародним законодавством, а також

внутрішніми регуляторними процедурами щодо охорони довкілля, здоров'я та безпеки, а також якості продукції.

Головною екологічною перевагою використання альтернативних палив є суттєве скорочення викидів CO<sub>2</sub>. Використання відходів як альтернативного палива в цементних печах сприяє зниженню загальних викидів CO<sub>2</sub> шляхом заміни викопного палива та пов'язаних з ним викидів CO<sub>2</sub> матеріалами з відходів, які інакше довелося б спалювати або відправляти на полігони з відповідними викидами парникових газів. Механізм скорочення викидів включає кілька компонентів. По-перше, пряме заміщення викопного палива зменшує обсяг спалюваного вугілля або нафтового коксу. По-друге, біогенна фракція альтернативних палив (деревина, папір, харчові відходи) вважається вуглецево-нейтральною відповідно до методології обліку парникових газів. По-третє, уникнення викидів метану від захоронення органічних відходів на полігонах створює додатковий кліматичний ефект. У Європі цементна промисловість вже отримує понад 40 % своїх енергетичних потреб з таких матеріалів. Деякі найбільш передові підприємства досягли коефіцієнта теплового заміщення близько від 80 % до 100 %, працюючи майже повністю на альтернативних паливах. Інтеграція в циркулярну економіку Використання альтернативних палив у цементній промисловості є прикладом ефективної реалізації принципів циркулярної економіки.

Зменшення імпорту енергоресурсів – Україна зацікавлена у зменшенні залежності від імпортованого палива. Використання внутрішніх ресурсів, таких як місцева біомаса або відходи, сприяє розвитку внутрішнього ринку енергії та підвищує енергетичну незалежність країни.

Підвищення конкурентоспроможності – економічна вигода від використання дешевшого альтернативного палива забезпечує конкурентні переваги для цементних заводів на внутрішньому та експортному ринках.

Відповідність міжнародним вимогам – європейська політика, зокрема план REPowerEU, спрямована на швидке зниження залежності від викопного

палива. Впровадження цих стандартів в Україні допомагає інтегруватися в європейський ринок та його вимоги, що є важливим аспектом «зеленої» реконструкції країни. REPowerEU – це комплексний план Європейського Союзу, представлений Європейською комісією у травні 2022 року у відповідь на енергетичну кризу та збої на ринку, спричинені вторгненням Росії в Україну. Основна мета плану – швидко знизити залежність Європи від російського викопного палива та прискорити перехід до чистої, «зеленої» енергетики.

Скорочення викидів CO<sub>2</sub> – цементна промисловість є одним із великих джерел викидів CO<sub>2</sub>. Заміщення вугілля біогенним паливом, яке вважається вуглецево-нейтральним, безпосередньо впливає на виконання зобов'язань зі скорочення викидів парникових газів.

Ефективна утилізація відходів – спалювання відходів у цементних печах вирішує проблему їх накопичення на звалищах, запобігаючи забрудненню ґрунтів, води та повітря, яке виникає при їхньому розкладанні або неконтрольованому спалюванні [5].

Екологічна ефективність цементного виробництва підвищується завдяки трьом ключовим стратегіям:

- максимізація заміщення палива, стратегічне збільшення коефіцієнта заміщення традиційного палива на альтернативне (АП), що прямо сприяє декарбонізації (за рахунок біогенної фракції) та ресурсоефективності;

- жорсткий контроль якості АП, необхідне впровадження високої технологічної дисципліни та суворого входного контролю фізико-хімічних параметрів АП. Критично важливо контролювати: теплотворну здатність (для стабільності процесу), вологість та зольність (для стабільності клінкеру та процесу), вміст сірки, хлору та важких металів (для запобігання корозії обладнання та мінімізації шкідливих викидів);

- формування циркулярної економіки, залучення підприємств-утворювачів відходів для їх реалізації на енергетичну утилізацію. Це

забезпечує запобігання захороненню відходів на полігонах, перетворюючи їх на вторинний енергоресурс.

Таким чином, перехід на альтернативне паливо – це не просто екологічна ініціатива, а стратегічно важливий крок для забезпечення сталого розвитку, енергетичної стійкості та економічної ефективності цементного виробництва.

Застосування альтернативних видів пального, таких як біомаса, тверде відновлюване паливо (SRF), відпрацьовані шини та промислові відходи, дозволяє зменшити споживання викопного пального, знижуючи викиди парникових газів та зберігаючи невідновлювані ресурси. Цей підхід не тільки забезпечує переваги для навколишнього середовища, але й відповідає принципам циркулярної економіки, створюючи ефективні механізми утилізації відходів і розвитку внутрішнього ринку енергії.

Адаптація цементних заводів до використання альтернативного палива вимагає технологічних змін, але вигоди від зменшення вартості енергії, диверсифікації джерел енергії та зниження залежності від імпортованих ресурсів виправдовують ці зусилля. Зокрема, зменшення викидів CO<sub>2</sub> та інших забруднюючих речовин покращує не лише екологічну ситуацію, але й конкурентоспроможність підприємств на внутрішньому та міжнародному ринках.

Таким чином, впровадження альтернативних палив в цементну промисловість є не лише екологічною ініціативою, а й стратегічним рішенням для стійкого розвитку, енергетичної незалежності та економічної вигоди. Це зусилля є важливими для інтеграції України в європейські енергетичні структури та відповідності сучасним вимогам з охорони навколишнього середовища.

## ВИСНОВКИ

За результатами аналізу сучасного стану використання альтернативного палива у цементному виробництві встановлено, що цементна промисловість є одним з найбільших джерел промислових викидів CO<sub>2</sub> (від 7 % до 8 % світових викидів) та споживає значні обсяги енергоресурсів. Використання альтернативного палива є одним із найдієвіших способів зменшення негативного впливу на довкілля та підвищення економічної ефективності виробництва.

Виробництво цементу, незважаючи на його важливість для будівельної індустрії, має значний негативний вплив на довкілля, включаючи викиди пилу, парникових газів (CO<sub>2</sub>), оксидів сірки та азоту, що погіршують якість повітря і сприяють глобальному потеплінню. Видобуток сировини призводить до порушення земельного покриву та знищення біорізноманіття, а енергоємність процесу підвищує залежність від енергетичних ресурсів які є невідновлюва. Скиди стічних вод можуть забруднювати водні ресурси, а накопичення твердих відходів вимагає належного управління. Крім того, робота технологічного обладнання супроводжується шумом і вібрацією, що створює дискомфорт для працівників і мешканців прилеглих територій. Таким чином, для зменшення екологічного впливу цементного виробництва необхідно впроваджувати більш екологічні технології та практики.

Альтернативні види пального (АП) стали важливим аспектом у процесах виробництва цементу, оскільки їх використання дозволяє зменшити матеріальні витрати, знизити залежність від традиційних викопних палив та мінімізувати екологічний вплив. Одним із найбільш поширених форм АП є відновлювальне паливо (Refuse Derived Fuel, RDF або Solid Recovered Fuel, SRF), яке виготовляється шляхом сортування, подрібнення, сушіння та гранулювання різних видів відходів з високою теплотворною здатністю. Основними джерелами таких відходів є:

- відсортовані побутові відходи (муніципальні тверді відходи);
- зношені автомобільні шини;
- промислові відходи (пластики, текстиль, папір, шлами);
- біомаса (деревна тріска, лушпиння).

Також в цементній промисловості можна використовувати, як альтернативне паливо такі типи відходів:

- нафтошлам – нафтошлами утворюються у ході видобутку нафти при бурінні, її переробці на нафтопереробних заводах та у вигляді донного осаду у резервуарах транспортування та зберіганні нафти / нафтопродуктів;

- безпечні промислові відходи – до цієї категорії належать відходи упаковки, некондиційна продукція, скоп від переробки макулатури;

- муловий осад – кожне місто має систему водопостачання, водовідведення та очищення каналізаційних стоків. Саме під час очищення стічних вод на аераційних станціях утворюється муловий осад, який видаляється на спеціальні мулові майданчики. Під час зберігання на муловому майданчику даний вид відходів осушується природнім шляхом або за допомогою дренажу. Використання мулових осадів як альтернативного виду палива набуває все більшої популярності у світовій практиці серед цементної промисловості. Також, варто зазначити, що такий вид альтернативного палива є 100 % біомасою.

Оцінка екологічних та економічних ефектів заміщення традиційних енергоносіїв показала що, часткова заміна традиційного палива на альтернативне призводить до зменшення викидів парникових газів на 94,3 тис. тонн CO<sub>2</sub> на рік завдяки вмісту біомаси в альтернативному паливі. Використання 273 тис. тонн SRF на рік дозволяє заощадити близько 159 тис. тонн викопного палива (кам'яного вугілля) та зменшити кількість відходів, що підлягають захороненню на полігонах, на 273 тис. тонн щорічно.

Економічний ефект полягає в зниженні вартості паливно-енергетичних ресурсів приблизно у 5 разів порівняно з традиційним паливом, що значно покращує конкурентоспроможність підприємства. Екологічні переваги

включають запобігання викидам метану з полігонів ТПВ (еквівалент 540 тис. тонн CO<sub>2</sub>), мінімізацію утворення діоксинів та фуранів завдяки високотемпературному спалюванню, відсутність утворення золи як відходу через її включення до складу клінкеру.

Європейський досвід впровадження «зеленої» цементної промисловості демонструє, як провідні європейські виробники (HeidelbergCement, Holcim, Cemex, Vicat) досягли показників заміщення викопного палива на рівні від 48 % до 73 % та активно впроваджують інноваційні технології декарбонізації. Технологія LEILAC дозволяє уловлювати до 95 % процесних викидів CO<sub>2</sub> без використання амінів з очікуваною вартістю уловлювання від 30 євро до 40 євро за тону. Розробка низьковуглецевих цементів (ECOPact від Holcim) зі зниженими викидами CO<sub>2</sub> від 30 % до 90 % через заміщення клінкеру додатковими цементуючими матеріалами. Проект Synhelion (Іспанія) демонструє можливість використання концентрованої сонячної енергії для виробництва клінкеру з потенціалом скорочення викидів від спалювання палива на 100 %. Державна підтримка через програми Industriklivet (Швеція), фонд декарбонізації промисловості (Франція, 5,6 млрд євро) та систему торгівлі викидами ЄС створюють економічні стимули для впровадження екологічних технологій.

На основі екологічної характеристики виробничої діяльності АТ «Подільський цемент» визначено, що підприємство є одним з найбільших виробників цементу в Україні та Європі з проектною потужністю 2400 тис. тонн клінкеру на рік. Основними джерелами негативного впливу на довкілля є викиди пилу недиференційованого за складом (948,23 т/рік), оксидів азоту (2590,52 т/рік), діоксиду сірки (4436,96 т/рік) та оксиду вуглецю (7222,07 т/рік). Валовий викид забруднюючих речовин підприємства у 2024 році становив 6921,515 тонн, що на 393,641 тонни більше порівняно з 2023 роком через зростання виробничих потужностей. Технологічний процес виробництва цементу сухим способом на обертовій печі № 7 з декарбонізатором забезпечує високу енергоефективність із питомими

витратами теплової енергії від 3200 МДж/т до 3600 МДж/т клінкеру. Проведений розрахунок розсіювання викидів показав, що максимальні приземні концентрації всіх забруднюючих речовин не перевищують гранично допустимих концентрацій на межі санітарно-захисної зони та в житловій забудові. Підприємство має розвинену систему природоохоронних заходів, включаючи рукавні фільтри з ефективністю очищення понад 99,5 %, систему безперервного моніторингу викидів та виробничий екологічний контроль.

Технологічний процес виробництва цементу на АТ «Подільський цемент» має довгий і цікавий ланцюг. Узагальнюючи, ми виділяємо три основних етапи: видобуток сировинних матеріалів у кар'єрі, виробництво портландцементного клінкеру та помел цементу.

Аналіз досвіду використання альтернативного палива на АТ «Подільський цемент» засвідчив, що динаміка споживання альтернативного палива за період від 2021 року по 2025 року демонструє позитивну тенденцію зростання після початкового спаду у 2022 році, спричиненого логістичними та економічними викликами воєнного часу. Знаковим етапом став 2024 рік, коли підприємство запустило власне виробництво SRF, що забезпечило стабільність поставок, зниження операційних витрат та можливість контролю якості палива відповідно до специфічних вимог виробничого процесу. Власне виробництво SRF дозволяє переробляти різні види відходів згідно з Національним переліком відходів (понад 60 кодів), включаючи відходи паперу, пластмас, текстилю, деревини, що сприяє вирішенню проблеми утилізації відходів у регіоні.

Екологічна ефективність цементного виробництва підвищується завдяки трьом ключовим стратегіям:

- максимізація заміщення палива, стратегічне збільшення коефіцієнта заміщення традиційного палива на альтернативне (АП), що прямо сприяє декарбонізації (за рахунок біогенної фракції) та ресурсоефективності;

– жорсткий контроль якості АП, необхідне впровадження високої технологічної дисципліни та суворого входного контролю фізико-хімічних параметрів АП. Критично важливо контролювати: теплотворну здатність (для стабільності процесу), вологість та зольність (для стабільності клінкеру та процесу), вміст сірки, хлору та важких металів (для запобігання корозії обладнання та мінімізації шкідливих викидів);

– формування циркулярної економіки, залучення підприємств-утворювачів відходів для їх реалізації на енергетичну утилізацію. Це забезпечує запобігання захороненню відходів на полігонах, перетворюючи їх на вторинний енергоресурс.

Використання альтернативного палива у цементному виробництві є ефективним інструментом екологізації галузі, що забезпечує одночасне вирішення екологічних та економічних завдань. Досвід АТ «Подільський цемент» демонструє успішну інтеграцію альтернативних палив у виробничий процес з дотриманням усіх екологічних нормативів та отриманням відчутних економічних вигод. Перехід до широкого використання альтернативних енергоресурсів відповідає цілям сталого розвитку ООН, принципам циркулярної економіки та вимогам Європейського зеленого курсу. Подальший розвиток цього напрямку вимагає системної підтримки з боку держави, включаючи стимулювання інвестицій у переробку відходів, гармонізацію законодавства з європейськими нормами та створення ринкових механізмів заохочення використання вторинних енергоресурсів.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Довідник з ресурсоефективного та чистого виробництва : цементна промисловість. – Київ : Центр ресурсоефективного та чистого виробництва, 2020. – 40 с.
2. Про відходи : Закон України від 05.03.1998 № 187/98-ВР // Відомості Верховної Ради України. – 1998. – № 36. – Ст. 230. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 13.11.2025).
3. Концепція національної екологічної політики України на період до 2020 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.10.2007 № 880-2007-р. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/880-2007-%D1%80> (дата звернення: 01.12.2025).
4. ДСТУ EN 15358:2015. Тверді відновлювані види палива. Система управління якістю (EN 15358:2011, IDT). – Київ : Мінекономрозвитку України, 2016. – 24 с.
5. Адаменко О. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії : монографія / О. Адаменко, В. Височанський, В. Лютко, М. Михайлів. – Івано-Франківськ : ІМЕ, 2001. – 432 с.
6. Андрущак О. В. Сутність та необхідність екологічної модернізації промислових підприємств / О. В. Андрущак, Л. І. Кашуба // Економічний аналіз. – 2017. – Т. 27, № 2. – С. 200–205.
7. Варламова С. І. Екологізація промисловості в Україні: проблеми та перспективи / С. І. Варламова, І. С. Варламова // Ефективна економіка. – 2016. – № 1. – С. 2–5.
8. Енергетичне використання горючих відходів як спосіб зниження негативного впливу на довкілля [Електронний ресурс] / Львівський національний аграрний університет. – 2012. – URL:

<http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/16649/1/38-Khrunyk201-207.pdf> (дата звернення: 18.10.2025).

9. Звітність «Санітарна очистка» за 2018 рік [Електронний ресурс] / Мінрегіон. – 2019. – URL: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/03/TPV-4-2018.pdf> (дата звернення: 17.11.2025).

10. Ініціативи «Миколаївцементу»: очищення чи нове забруднення [Електронний ресурс]. – URL: <http://svb.ua/news/initsiativi-mikolaivtsementu-ochishchennya-chi-novezabrudnennya> (дата звернення: 22.11.2025).

11. Кузнєцова І. О. Управління відходами як ресурсний потенціал для енергетики України / І. О. Кузнєцова, В. Ю. Зайченко // Екологічна безпека та природокористування. – 2015. – № 20. – С. 108–115.

12. Мазурак А. В. Дослідження викидів цементних виробництв у разі співспалювання природного і альтернативного палива / А. В. Мазурак, О. Т. Мазурак // Науковий вісник НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.11. – С. 222–226.

13. Матвєєв Ю. Б. Перспективи енергетичної утилізації твердих побутових відходів в Україні / Ю. Б. Матвєєв, Г. Г. Гелетуха // Аналітична записка БАУ. – 2019. – № 22. – С. 19–23.

14. Матвійчук Н. М. Екологічне оподаткування як інструмент фінансування природоохоронних заходів держави / Н. М. Матвійчук // Глобальні та національні проблеми економіки. – 2017. – Вип. 15. – С. 445–450.

15. Методологія розрахунку викидів CO<sub>2</sub> для установок виробництва цементу : матеріали проекту USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні». – 2015. – 25 с.

16. Національний кадастр антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990–2013 роки : матеріали / Міністерство екології та природних ресурсів України. – Київ, 2013. – 625 с.

17. Огляд реалізації основних положень Кіотського протоколу до Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату та зобов'язання країн-членів ОЕСР і Євросоюзу щодо виконання рекомендацій Паризької Конференції [Електронний ресурс] / Міненерговугілля України. – 2017. – URL: [https://ua.energy/wpcontent/uploads/2017/05/3.-Osn\\_polozh\\_SOR21.pdf](https://ua.energy/wpcontent/uploads/2017/05/3.-Osn_polozh_SOR21.pdf) (дата звернення: 01.12.2025).

18. Пащенко О. О. Екологічні аспекти використання альтернативних видів палива у цементній промисловості / О. О. Пащенко, П. В. Кривенко та ін. // Цемент України. – 2012. – № 3. – С. 15–20.

19. Поляч Р. В. Екологічні аспекти використання альтернативного палива в цементному виробництві / Р. В. Поляч, Л. М. Ковалів, Р. С. Осередчук // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених та студентів. – 2017. – С. 149–151.

20. Саницький М. А. Інноваційний досвід використання альтернативних видів палива у цементній промисловості України / М. А. Саницький, Т. Є. Марків, С. Я. Хруник // Принципи EUREKA та інших європейських програм як чинники інноваційного розвитку України : наук.-практ. семінар. – Київ : Т. А. Кінько, 2009. – С. 39–47.

21. Саницький М. А. Використання альтернативних палив у цементній промисловості / М. А. Саницький, С. Я. Хруник, Т. Є. Марків, О. Т. Мазурак // Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. – Львів : ЛьВЦНТЕІ, 2007. – С. 152–156.

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

23. Снітинський В. В. Інженерна екологія : навч. посібник / В. В. Снітинський, О. Т. Мазурак, М. А. Саницький, А. В. Мазурак. – Львів, 2010. – 375 с.

24. Хруник С. Співспалювання горючих відходів у цементних печах / С. Хруник // Геодезія, архітектура та будівництво : матеріали III Міжнар. конф. молодих вчених ГАС-2010. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2010. – С. 94–95.
25. Хруник С. Я. Оцінка впливу на довкілля спільного спалювання вугілля альтернативного палива в цементній промисловості / С. Я. Хруник, М. А. Саницький, О. Т. Мазурак // «Поводження з відходами. Цивілізаційні виклики» : Міжнар. конф. – Львів : ЛТПП, 2012. – С. 30–35.
26. Хруник С. Підвищення екологічної безпеки при використанні альтернативного палива в цементному виробництві : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 / С. Хруник ; Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2014. – 179 с.
27. Цементні заводи України [Електронний ресурс]. – URL: <http://www.ukrcement.com.ua/pidpriemstva.html> (дата звернення: 05.11.2025).
28. Шевченко С. М. Екологізація цементного виробництва шляхом використання альтернативного палива на прикладі АТ «Подільський цемент» / С. М. Шевченко, Л. В. Стаднік // матеріали Збірка матеріалів Всеукраїнської конференції з проблем вищої освіти (м. Харків, 29 жовтня 2025 р.). Харків, 2025. – С. 81–84.
29. Cementis. Co-processing waste in the cement industry: A solution to natural resource preservation and total emission reduction [Electronic resource]. – URL: <https://www.cementis.com/co-processing> (date of access: 13.12.2025).
30. Cemex. Sustainability at Cemex: Climate Change Strategy [Electronic resource]. – 2021. – URL: <https://www.cemex.com> (date of access: 25.09.2025).
31. CRH. Circular Economy [Electronic resource]. – URL: <https://www.crhcement.com/circulareconomy/> (date of access: 18.11.2025).
32. Dioxin and Furan Toolkit : materials / UNEP Chemicals. – Geneva, 2001. – P. 84–87.

33. European Cement Association. Cement's contribution to a sustainable Europe [Electronic resource]. – 2021. – URL: <https://cembureau.eu> (date of access: 18.11.2025).
34. European Commission. The European Green Deal [Electronic resource]. – 2020. – URL: <https://ec.europa.eu> (date of access: 07.10.2025).
35. European Commission, Directorate-General for Environment. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the production of Cement, Lime and Magnesium Oxide (BREF). – Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2013. – 666 p.
36. GCCA (Global Cement and Concrete Association). Guidelines on calculating emissions from cement production. – London : GCCA, 2019. – 45 p.
37. HeidelbergCement. Sustainable Cement Production [Electronic resource]. – 2023. – URL: <https://www.heidelbergcement.com> (date of access: 25.09.2025).
38. Holcim Group. Towards a Net Zero Future [Electronic resource]. – 2023. – URL: <https://www.holcim.com> (date of access: 06.11.2025).
39. International Energy Agency (IEA). Tracking CO2 Emissions [Electronic resource]. – 2022. – URL: <https://www.iea.org> (date of access: 19.10.2025).
40. Managing Refuse Derived and Solid Recovered Fuels [Electronic resource]. – Luxembourg : EIB, 2023. – URL: [https://www.eib.org/attachments/lucalli/20230376\\_managing\\_refuse\\_derived\\_and\\_solid\\_recovered\\_fuels\\_en.pdf](https://www.eib.org/attachments/lucalli/20230376_managing_refuse_derived_and_solid_recovered_fuels_en.pdf) (date of access: 15.11.2025).
41. Municipal waste, Generation and Treatment. OECD.stat [Electronic resource]. – 2019. – URL: <https://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?datasetcode=MUNW&lang=en> (date of access: 16.09.2025).
42. Population Pyramids of the World from 1950 to 2100 [Electronic resource]. – URL: <https://www.populationpyramid.net> (date of access: 24.11.2025).

43. Realizing new markets, lessons learned in the cement industry [Electronic resource] / ERFO. – 2016. – URL: [https://www.erfo.info/images/PDF/HeidelbergCement%20ERFO%](https://www.erfo.info/images/PDF/HeidelbergCement%20ERFO%20) (date of access: 02.11.2025).
44. Solid recovered fuels – Specifications and classes: EN 15359:2011 (E) : [approved by CEN 2011]. – Brussels : CEN, 2011. – 45 p.
45. Technical guidelines on co-processing of hazardous wastes in cement kilns [Electronic resource]. – Geneva : UNEP, 2011. – 50 p. – URL: <http://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d> (date of access: 18.11.2025).
46. The Climate Change Mitigation Potential of the Waste Sector [Electronic resource]. – Dessau-Roßlau, 2015. – URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/text\\_e\\_](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/text_e_) (date of access: 13.12.2025).
47. The Use of RDF as a Kiln Fuel : materials / NTIS. – Washington D.C., 1980. – 139 p.
48. United Nations Environment Programme (UNEP). Global Status Report on Cement and Concrete [Electronic resource]. – 2022. – URL: <https://www.unep.org> (date of access: 05.12.2025).
49. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Cement Sustainability Initiative: The Role of Cement in a Low-Carbon Future [Electronic resource]. – 2022. – URL: <https://wbcSDcement.org> (date of access: 08.11.2025).
50. Ziegler A. Circular Economy in the Cement Industry: A Review / A. Ziegler // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 299. – P. 126839. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126839.

**ДОДАТОК А**  
(довідковий)  
**РЕЗУЛЬТАТИ АПРОБАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Міністерство освіти і науки України  
(Україна)

Одеський державний екологічний університет  
(Україна)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія  
Кондратюка»  
(Україна)

Національний університет «Львівська політехніка»  
(Україна)

Національний транспортний університет  
(Україна)

Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
(Україна)

## **ЗБІРКА МАТЕРІАЛІВ**

Всеукраїнська конференція  
з проблем вищої освіти

**«ЕКОЛОГІЧНО ОРІЄНТОВАНА  
ВИЩА ОСВІТА.  
МЕТОДОЛОГІЯ ТА ПРАКТИКА – 2025»**

29 жовтня 2025 року  
(Посвідчення УкрІНТЕІ № 797 від 09 грудня 2024 року)

Харків, ХНАДУ, 2025

## **ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЦЕМЕНТНОГО ВИРОБНИЦТВА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА НА ПРИКЛАДІ АТ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ЦЕМЕНТ»**

*Шевченко С. М., к. с.-г. н., доц.,  
Хмельницький національний університет,  
м. Хмельницький, Україна,  
[sheva911@ukr.net](mailto:sheva911@ukr.net)*

*Стаднік Л.В.  
магістрантка 2 року навчання ОПП «Екологія»  
Хмельницький національний університет,  
[lilka13042003@gmail.com](mailto:lilka13042003@gmail.com)*

Сучасна цементна промисловість є одним із найбільш енергоємних секторів економіки, що традиційно використовує значні обсяги викопного палива, переважно вугілля. Це, своєю чергою, призводить до значних викидів парникових газів (CO<sub>2</sub>) та інших забруднюючих речовин, а також до виснаження природних ресурсів. У контексті глобальних цілей сталого розвитку та європейського «Зеленого курсу» критично важливим є перехід підприємств на альтернативні види палива (АВП), вироблені з горючих відходів.

Альтернативне паливо (також відоме як паливо, отримане з відходів, Refuse-Derived Fuel, RDF, або Solid Recovered Fuel, SRF) – це висококалорійні фракції промислових, комунально-побутових та сільськогосподарських відходів (такі як зношені шини, пластик, папір, біомаса, текстиль, відходи деревообробки). Його використання в цементних печах є методом як енергетичної утилізації відходів, так і заміщення традиційного викопного палива.

Метою досліджень є аналіз екологічних особливостей та переваг впровадження технології використання альтернативного палива в цементній промисловості, а також висвітлення досвіду українського підприємства АТ «Подільський цемент» у цьому напрямку.

Використання АВП у цементних печах має низку вагомих екологічних переваг у порівнянні з традиційним спалюванням відходів на сміттєспалювальних заводах або їх захороненням на полігонах: зменшення викидів парникових газів (CO<sub>2</sub>). Часткове заміщення вугілля на АВП, особливо біомасу та фракції, що містять біогенний вуглець, веде до зниження викидів CO<sub>2</sub> від викопного палива. Відходи, які в іншому випадку розкладалися б на полігонах, виділяючи метан (CH<sub>4</sub>) – потужніший парниковий газ, – тут використовуються як енергоресурс.

Вирішення проблеми відходів – цементні заводи стають важливим елементом системи поводження з відходами, перетворюючи те, що раніше було джерелом забруднення, на енергію. Це суттєво зменшує навантаження на

*Всеукраїнська конференція з проблем вищої освіти «Екологічно орієнтована вища освіта.  
Методологія та практика – 2025»*

земельні ресурси. Цементна піч працює за надзвичайно високих температур (2000°C) та має тривалий час перебування газів, що забезпечує повне та ефективне термічне руйнування органічних речовин, включаючи потенційно небезпечні, що призводить до повного використання енергії та безвідходного процесу. Це мінімізує ризик утворення токсичних речовин, зокрема діоксинів та фуранів, порівняно з іншими процесами спалювання.

На відміну від сміттєспалювальних заводів, де зола та шлаки є вторинним відходом, у цементній промисловості мінеральна частина (зола) альтернативного палива повністю інтегрується у структуру клінкеру (основний компонент цементу), заміщуючи частину сировинних матеріалів. Таким чином, процес є практично безвідходним. Загалом, використання АВП сприяє збереженню невідновлюваних енергоресурсів та підвищує екологічний баланс виробництва.

У цементному виробництві застосовується так зване співспалювання (co-processing) АВП разом із традиційним паливом. Co-processing – це технологія цементної промисловості, в якій альтернативні види палива використовують замість традиційних викопних. Для захисту довкілля та забезпечення якості кінцевого продукту АВП готується відповідно до жорстких технологічних та екологічних вимог. Контролюється його калорійність, вологість, розмір фракцій, а також вміст важких металів, хлору та сірки.

АТ «Подільський цемент» (частина міжнародної групи CRH) є одним із лідерів у впровадженні технологій сталого розвитку в українській цементній промисловості. Підприємство активно працює над заміщенням традиційного палива на альтернативні види палива.

Обертова цементна піч є, на сьогодні, однією з найкращих установок для безпечного спалювання та утилізації відходів, в якій можна знешкоджувати навіть найбільш стійкі до розпаду органічні сполуки. Температура процесу спалювання сягає ~2000 °C, а тому, на відміну від сміттєспалювальних заводів, обертова цементна піч довкілля не забруднює ні викидами парникових чи токсичних газів, ні хлорвуглеводнів (у тому числі діоксинів).

У порівнянні зі звичайним паливом застосування альтернативного знижує виробничі витрати. Споживання теплової енергії зазвичай становить 30-40% від собівартості продукції. Тому вартість палива є значною частиною виробничих витрат при отриманні цементу. Альтернативне паливо може бути дешевшим за звичайне, але вартість буде змінюватися в залежності від типу відходів та місцевих умов. Однак відходи, які використовуються в якості палива, часто піддаються попередньому обробленню, гомогенізації до їхнього безпосереднього використання на цементних заводах, а це здорожчує їхню вартість. Також на збільшення вартості впливає додатковий контроль якості та аналіз складу відходів.

Використання альтернативного палива в цементній промисловості, як це демонструє приклад АТ «Подільський цемент», є економічно вигідним та екологічно доцільним рішенням. Ця технологія дозволяє одночасно зменшити вуглецевий слід виробництва цементу, зберегти природні ресурси (викопне

*Всеукраїнська конференція з проблем вищої освіти «Екологічно орієнтована вища освіта. Методологія та практика – 2025»*

паливо та сировину), ефективно утилізувати горючі відходи, знімаючи навантаження з полігонів. Для подальшого успішного впровадження АВП в Україні необхідно синхронізувати законодавство у сфері поводження з відходами та екологічних стандартів із нормами ЄС, також розвивати інфраструктуру сортування та переробки відходів для забезпечення цементних заводів якісним, стандартизованим альтернативним паливом.

Сумісне перероблення є більш ефективним рішенням щодо поводження з відходами, ніж видалення на звалища та спалювання, і визначає цементну промисловість безвідходним споживачем відходів та основою циркулярної економіки.

На рисунку 1 представлений графік, що ілюструє динаміку використання альтернативного палива на акціонерному товаристві «Подільський цемент» протягом 2022-2025 років. Дані представлені у тоннах (тонн). З рисунку 1 видно, що спостерігається стійка позитивна динаміка та значне зростання обсягів використання альтернативного палива за досліджуваний період:

- 2022 рік (Базовий період). Обсяг використання становив 9 684 тонн;
- 2023 рік. Зафіксовано суттєве зростання показника до 42 211 тонн. Це становить збільшення обсягів у 4,36 рази порівняно з попереднім роком;
- 2024 рік. Обсяг використання продовжив зростати, досягнувши 62 886 тонн. Зростання відносно 2023 року склало приблизно 48,9 %;
- 2025 рік. На 2025 рік представлено прогнозний показник (станом на вересень 2025 р.) в обсязі 70 000 тонн.

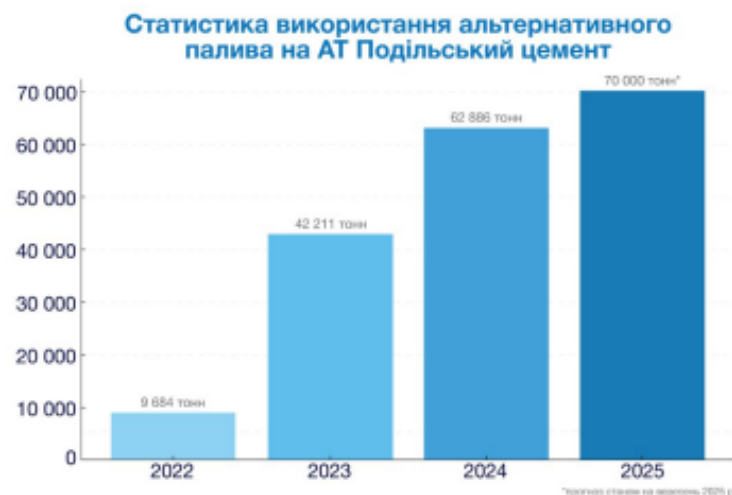


Рис. 1 – Використання альтернативного палива на АТ «Подільський цемент» з 2022 року по 2025 рік, тонн

Досвід АТ «Подільський цемент» показує шлях до циркулярної економіки в цементній галузі, де відходи стають цінним енергетичним ресурсом.

*Всеукраїнська конференція з проблем вищої освіти «Екологічно орієнтована вища освіта. Методологія та практика – 2025»*

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОРІЄНТАЦІЇ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ НА ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВИТИ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ПРОГРАМНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРИ ВИКЛАДАННІ ДИСЦИПЛІНИ «ЕКОЛОГІЯ» <i>Внукова Н.В., Ричак Н.Л.</i>	70
МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ УРБАНІЗОВАНИХ І ТЕХНОГЕННО ЗМІНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ <i>Сващенко А.А., Прокопенко Н. В.</i>	73
ЩОДО НЕОБХІДНОСТІ ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ СУДНОВОДІВ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ <i>Козловський О.В.</i>	76
ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЦЕМЕНТНОГО ВИРОБНИЦТВА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА НА ПРИКЛАДІ АТ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ЦЕМЕНТ» <i>Шевченко С. М., Стаднік Л.В.</i>	81