

Міністерство освіти і науки України

Український державний університет науки і технологій

Факультет харчових та хімічних технологій

(назва факультету)

Кафедра хімічної технології кераміки, скла та біомедичних матеріалів

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

До кваліфікаційної роботи

Бакалавр

На тему : Проєкт цементного заводу з виробництва портландцементу (сухий спосіб). Спеціальна частина – цех випалу клінкеру.

За освітньою програмою бакалавр

Зі спеціальності: 161 хімічні технології та інженерія

Виконав : студент 4 курсу групи 4-ТС-53

Керівник:

(підпис)

асист.,(PhD) Юлія КАЛІШЕНКО

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:

(підпис)

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

(назва розділу)

(підпис)

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ Ілля ЩЕРБАКОВ /
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Дніпро - 2026

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technology
Faculty of Food and Chemical Technologies

(faculty name)

Department of Chemical Technology of Ceramics, Glass and Biomedical Materials

(full name of the department)

Explanatory note

To Bachelor`s Thesis

Bachelor

On the topic: Cement plant project for the production of Portland cement (dry
process). Special part – clinker firing workshop.
according to educational curriculum
in the specialty: 161 chemical technology and engineering

Done by the student of the group: group 4-TS-53

Ilya SHCHERBAKOV
(name, surname)

Scientific Supervisor:

Assistant, PhD Yuliia KALISHENKO
(position, name,

surname)

Normative controller:

(position, name,

surname)

Supervisors Consultants

(chapter title heading)
surname)

(position, name,

(chapter title heading)

(position, name, surname)

(chapter title heading)

(position, name, surname)

(chapter title heading)
surname)

(position, name,

Міністерство освіти та науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: харчових та хімічних технологій

Кафедра: хімічної технології кераміки, скла та біомедичних матеріалів

Рівень вищої освіти: бакалавр

Освітня програма: хімічні технології та інженерія

Спеціальність: 161 хімічні технології та інженерія

(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

Олександр ЗАЙЧУК

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата _____

ЗАВДАННЯ

На кваліфікаційну роботу _____ бакалавр

(ступінь вищої освіти)

Студенту Щербаков Ілля Вікторович

(Прізвище, Ім'я, По-батькові)

1.Тема роботи: : Проект цементного заводу з виробництва портландцементу (сухий спосіб). Спеціальна частина – цех випалу клінкеру.

Керівник роботи : Калішенко Юлія Русланівна, доктор філософії (PhD)

(Прізвище, Ім'я, По-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом від « 2 » 3 2026р. № _____

2.Строк подання студентом роботи: 15.06.2026 р.

3.Вхідні дані до роботи: спосіб виробництва сухий, відсоток випуску кожного з видів цементів марка ПЦ II/A-III 300 (55%), ШПЦ III/Б 300 (25%), ПЦ II/A-B 500 (20%).

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

Вступ. 1.Загальна частина.2Технологічна частина. 3. Спеціальна частина. 4. Охорона праці. Висновки. Література. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Технологічна схема - 1 аркуш.

2. Обертова піч Ø4,5 × 80 м 1 аркуш

6. Консультанти розділів роботи :

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв (підпис студента, дата)
Вступ	К.Т.Н., доцент, доцент каф. ХТКС та БМ Калішенко Ю. Р.		
Загальна частина			
Технологічна частина			
Спеціальна частина			
Охорона праці			
Оформлення розрахунково-пояснювальної записки			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Вступ	29.05.2026 р.	виконано
2.	Загальна частина	1.06.2026 р.	виконано
3.	Технологічна частина	4.05.2026 р.	виконано
4.	Спеціальна частина	8.05.2026 р.	виконано
5.	Охорона праці	10.05.2026 р.	виконано
6.	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	12.05.2026 р.	виконано
	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	14.05.2026 р.	
	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної системи		

Студент _____ Ілля Щербаков
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи _____ Юлія Калішенко
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

[illegible]

					4ТС53.026.161.001 ДП				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проект цементного заводу з виробництва портландцементу (сухий спосіб). Спеціальна частина – цех випалу клінкеру.	Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.		Щербаков І. В.					5	60	
Перевір.		Калішенко Ю.Р.				ННІ УДУНТ УДХТУ, каф ХТКС та БМ, гр. 4-ТС-53			
Н. Контр.		Калішенко Ю.Р.							
Затверд.		Зайчук О.В.							

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: с. – 60, рис. – 3, табл. – 12, джерел – 13, додатків – 1. У дипломному проєкті розроблено технічну документацію для проєктування цеху випалу клінкеру цементного заводу, що працює за сухим способом виробництва. Основну увагу приділено підвищенню енергоефективності технологічного процесу шляхом використання сучасної системи циклонних теплообмінників, запічного декарбонізатора та залучення техногенних відходів у сировинну суміш.

У загальній частині наведено вибір і обґрунтування місця будівництва заводу, асортимент продукції та вимоги нормативних документів до портландцементу. Розглянуто фізико-хімічні властивості основних сировинних матеріалів і техногенних компонентів.

Технологічна частина містить обґрунтування вибору сухого способу виробництва цементу, опис технологічної схеми підготовки сировини та випалу клінкеру, а також аналіз фізико-хімічних процесів, що відбуваються під час термічної обробки матеріалу. Проведено розрахунки матеріального та теплового балансів пічного агрегату продуктивністю 125 т/год.

У спеціальній частині виконано підбір і розрахунок основного технологічного обладнання відповідно до заданої продуктивності підприємства. Розглянуто конструкцію та принцип роботи обертової печі $\varnothing 4,5 \times 80$ м, запічного декарбонізатора та чотириступеневої системи циклонних теплообмінників. Обґрунтовано застосування декарбонізатора, який забезпечує попередню кальцинацію сировинної суміші до 90 % перед її надходженням у піч.

Розглянуто заходи з охорони праці та навколишнього середовища, виконано аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ, СУХИЙ СПОСІБ, ВИПАЛ КЛІНКЕРУ,
ОБЕРТОВА ПІЧ $\varnothing 4,5 \times 80$ М, ДЕКАРБОНІЗАТОР, ОХОРОНА ПРАЦІ.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

	ст.
ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Вибір і обґрунтування місця будівництва заводу.....	9
1.2 Характеристика району і джерела сировини.....	11
1.3 Асортимент продукції. Вимоги стандарту.....	13
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	17
2.1 Опис технологічної схеми.....	17
2.2 Розрахунок сировинної суміші.....	22
2.3 Розрахунок питомих норм витрат сировинних матеріалів.....	23
2.4 Розрахунок потужності заводу і матеріального балансу.....	27
2.5 Вибір і розрахунок основного технологічного устаткування..	34
2.6 Технологічний контроль виробництва та гарантії виробника...	45
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	46
3.1 Опис відділення випалу цементу.....	46
3.2 Опис пічного агрегата з циклоном теплообмінником і декарбонізатором Ø4,5×80 м.....	48
3.3 Заходи щодо охорони праці та довкілля.....	51
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	54
ДОДАТКИ Додаток А Розрахунок сировинної суміші.....	55

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Цементна промисловість є однією з ключових галузей будівельної індустрії, що забезпечує сталий розвиток інфраструктури та капітального будівництва. Сучасний етап розвитку виробництва в'язучих матеріалів вимагає впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих та екологічно безпечних технологій. Найбільш перспективним у цьому напрямку є сухий спосіб виробництва портландцементу, який дозволяє суттєво знизити питомі витрати палива на випал клінкеру порівняно з мокрим та комбінованим способами [1].

Актуальність даного диплому проекту полягає в модернізації та оптимізації роботи цеху випалу клінкеру – основного і найбільш енергоємного вузла цементного заводу. Ефективність процесу декарбонізації та спікання сировинної суміші безпосередньо впливає на міцність характеристики готового портландцементу, його мінералогічний склад та собівартість [2-12].

Тому доцільним є розробка технологічних рішень для відділення випалу клінкеру на базі обертової печі $\varnothing 4,5 \times 80$ м, обладнаної сучасним запічним декарбонізатором та циклонними теплообмінниками. У проекті вирішуються завдання раціонального використання техногенних відходів (доменного шлаку та колошникового пилу) як коригуючих добавок, що дозволяє оптимізувати модульні характеристики сировинної шихти ($KH = 0,91$; $n = 2,2$; $p = 1,6$), знизити температуру спікання та зменшити екологічне навантаження на довкілля [12].

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Вибір і обґрунтування місця будівництва заводу

Районом для будівництва цементного заводу обрано західну частину України, оскільки саме в цьому регіоні зосереджені унікальні за масштабами та високою якістю поклади сировини для цементної промисловості. З-поміж інших регіонів було вибрано Хмельницьку область, яка характеризується містким і динамічним будівельним ринком та дефіциту високомаркових цементів, що виготовляються за енергоефективним сухим способом [1]. Крім того, область має вигідне географічне розташування, що відкриває значні логістичні переваги для експорту готової продукції до країн Центральної та Східної Європи.

Безпосереднім майданчиком для спорудження підприємства обрано селище міського типу Чемеривці Хмельницької області. Демографічний потенціал населеного пункту (чисельність населення станом на 2026 рік становить близько 4100 мешканців) дозволяє повною мірою забезпечити виробництво робочою силою для виконання загальних, експлуатаційних та обслуговуючих робіт [13].

Враховуючи високу технологічну складність сухого способу виробництва цементу, наявного місцевого ресурсу недостатньо для формування інженерно-технічного штату в повному обсязі. Тому кваліфікований інженерно-технічний та керівний персонал планується залучати з найближчого великого промислового центру – міста Кам'янець-Подільський, розташованого на відстані близько 45 км. Для забезпечення належних умов праці та мотивації фахівців передбачено організацію щоденного безкоштовного корпоративного транспорту, а також розгортання службового житлового безкоштовного корпоративного транспорту, а також розгортання службового житлового фонду безпосередньо в смт Чемеривці для змінного й чергового висококваліфікованого персоналу [13].

Екологічні обмеження. Промисловий майданчик заводу проектується з суворим дотриманням вимог ДСП 173-96 [9]. Поблизу селища протікає річка Жванчик, а також розташовані землі Національного природного парку

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

«Подільські Товтри». З метою виключення негативного антропогенного впливу на заповідний фонд, територію підприємства буде розташовано на безпечній відстані, повністю за межами охоронних зон національного парку [1].

Транспортна логістика. Для зовнішніх зв'язків заводу, підвезення палива, коригуючих добавок та відвантаження готової продукції передбачено використання залізничної станції Закупне Південно-Західної залізниці, яка розташована на лінії Ярмолинці – Копичинці (між станціями Лісовод та Гусятин) на відстані близько 15 км від промислового майданчика. Станція Закупне є лінійною вантажно-пасажирською станцією, що повністю задовольняє транспортні потреби підприємства. Зв'язок з обласним центром (м.Хмельницький) здійснюється за допомогою автомобільної траси (відстань близько 83 км) та залізничного сполучення (91 км) [13].

Водні ресурси. Хмельницька область має розвинену гідрографічну сітку: її територією протікають 120 річок завдовжки понад 10 км кожна. Основними водними артеріями регіону є:

- річка Дністер (довжина в межах області – 60 км, головні притоки: Збруч, Смотрич, Ушиця);
- річка Південний Буг (довжина в межах області – 120 км, головні притоки: Бужок, Вовк, Іква);
- річкаи басейну Дніпра (Горинь, Случ, Хомора).

Безпосередньо через селище Чемеривці протікає річка Жванчик, а неподалік від його західної околиці бере початок річка Муха, що повністю забезпечує технічні та господарсько-питні потреби проектувального заводу [13].

Кліматичні умови. Клімат району будівництва – помірна континентальний. Характеризується м'якою зимою (середня температура січня становить від -3 °С до -5,5 °С) та теплим, достатньо вологим літом (середня температура липня – від +18 °С до +19 °С). Напрямки та інтенсивність руху переважаючих повітряних мас в Хмельницькій області (роза вітрів) враховані при взаємному розташуванні виробничих цехів та житлової забудови і наведені на рисунку 1.1 [13].

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

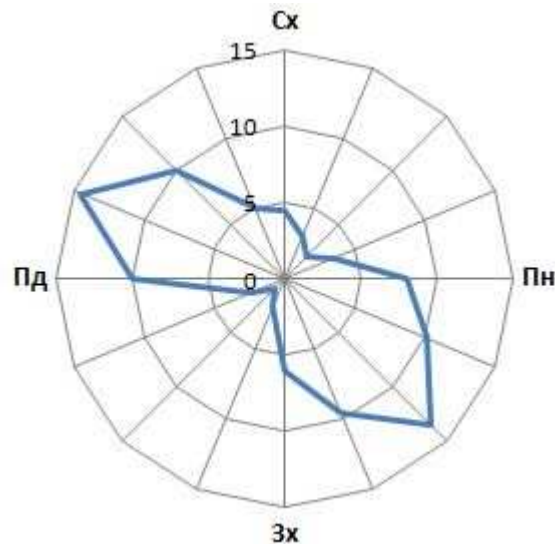


Рисунок 1.1 – Троянда вітрів переважаючих в Хмельницькій області.

Сировинна база. Потенціал регіону в мінеральній сировині включає 391 родовище, де зосереджено 26 видів різноманітних корисних копалин. У державному балансі запасів врховано 7 родовищ вапняків, які є базовою сировиною для будівельної індустрії. Окремо слід відзначити високу ефективність промислового використання сапонітових глин, а також наявність 9 родовищ первинних каолінів. Цементна промисловості регіону має надійну сировинну базу і спирається переважно на два великих родовища: Кривинське та Гуменецьке [13].

Враховуючи комплексний аналіз сировинних, логістичних, демографічних та екологічних факторів, будівництво цементного заводу сухого способу виробництва в смт Чемеривці є повністю доцільним та економічно обґрунтованим [1,13].

1.2 Характеристика району і джерела сировини

Для забезпечення технологічного процесу виробництва портландцементу за сухим способом передбачено використання таких сировинних компонентів та коригуючих добавок: вапняк, глина, доменний гранульований шлак та колошниковий пил [12]. Усі основні компоненти сировинної суміші зосереджені в межах регіону або на економічно доцільній відстані, що дозволяє організувати

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективну логістику автомобільною інфраструктурою безпосередньо на майданчик підприємства. Головним джерелом карбонатного компонента (вапняку) обрано Закупнянське родовище (сmt Закупне, Кам'янець-Подольський район, Хмельницька область). Близьке розташування кар'єру відносно проектувального заводу забезпечує мінімальне транспортне плече та безперебійне постачання гірської породи для потреб виробництва [13].

Доменний гранульований шлак постачається залізничним транспортом із залученням логістичного партнера ТОВ «Схід-Постач-Сервіс» (м. Бровари, Київська область). Безпосереднім виробником цієї сировини є ПАТ «Запоріжсталь» (м. Запоріжжя), що гарантує стабільність хімічного складу та високу гідравлічну активність добавки. Колошниковий пил, який використовується як ефективна залізовмісна коригуюча добавка для оптимізації модульних характеристик сировинних суміші, постачається залізничним транспортом безпосередньо з металургійних підприємств України (зокрема, ПАТ «Запоріжсталь») [12]. Транспортування здійснюється у спеціалізованих закритих вагонах-цементовозах (хоперах) або мінерал возах для запобігання пиленню та втратам матеріалу в дорозі [10].

Для регулювання строків тужавіння цементу на стадії помелу клінкеру передбачено використання гіпсового каменю. Джерелом постачання цього компонента обрано Кудриницьке родовище (Кам'янець-Подільський регіон), яке має вигідне географічне розташування відносно промислового майданчика заводу [13]. Доставка сировини на підприємство планується автомобільним транспортом, що забезпечує гнучкість та регулярність постачання [11].

Вапняки поширені практично по всій території Хмельницької області. Особливо важливо промислове значення мають виходи силурійських вапняків у долинах річок Дністер, Збруч, Жванчик, Смотрич, Тернава та Студениця. Розробка цих покладів здійснюється відкритим (кар'єрним) способом поблизу міста Кам'янець-Подільський, а також сіл Велика Слобідка, Устя та інших населених пунктів. Відклади неогенових вапняків Товтрової грядки наразі активно розробляються кар'єрами поблизу сmt Закупне і Смотрич, а також сіл Івахнівці, Нігин, Вербка, Привороття та Гуменці [12]. Забезпечення

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підприємства енергетичними та тепловими ресурсами, а також водою для господарсько-питних потреб передбачено за рахунок підключення до місцевих селищних інженерних комунікацій смт Чемеривці. Відведення стічних вод планується здійснювати через централізовану каналізаційну мережу, яка проходить у безпосередній близькості до меж проектувального майданчика заводу [13].

1.3 Асортимент продукції. Вимоги стандарту

Проектом заводу передбачається здійснювати випуск таких видів загальнобудівельних цементів, що відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-46:2010:

- портландцемент із шлаком ПЦ ІІ/А-ІІІ-300;
- шлакопортландцемент ШПЦ ІІІ/Б-300;
- портландцемент із вапняком ПЦ ІІ/А-В-500.

Портландцемент є продуктом тонкого помелу клінкеру, який отримують випалом до спікання (часткового плавлення) гомогенізованої сировинної суміші. Цей процес забезпечує переважання в клінкері високоосновних силікатів кальцію (аліту та беліту, які складають 70-80% від загальної маси). Для регулювання строків тужавіння цементу та оптимізації його будівельно-технічних властивостей, під час сумісного помелу клінкеру та мінеральних добавок обов'язково вводиться гіпсовий камінь у кількості 1,5-3,5% (у перерахунку на SO₃) [11].

Шлакопортландцемент – порошкоподібна гідравлічна в'язуча речовина, яка здатна при змішуванні з водою твердіти як на повітрі, так і у воді з утворенням міцного та водостійкого цементного каменю [2,11].

Доменні гранульовані шлаки, які використовуються як активна мінеральна добавка при виробництві портландцементу зі шлаком ПЦ ІІ/А-ІІІ-300 та шлакопортландцементу ШПЦ ІІІ/Б-300, повинні відповідати вимогам чинного стандарту ДСТУ Б В.2.7-302:2014 «Шлак доменний гранульований для цементів, бетонів і будівельних розчинів. Технічні умови» [2,11].

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оцінка гідравлічної активності доменних гранульованих шлаків і придатності їх як активної мінеральної добавки до цементу здійснюється за коефіцієнтом якості (K_y).

Для шлаків із вмістом оксиду магнію (MgO) до 10% коефіцієнт якості розраховують за формулою:

$$K_y = \frac{CaO + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2 + TiO_2} \quad (1.1)$$

Для шлаків із вмістом оксиду магнію (MgO) понад 10% розрахунок виконують за формулою:

$$K_y = \frac{CaO + Al_2O_3}{SiO_2 + MnO} \quad (1.2)$$

Залежно від отриманого значення коефіцієнта якості та хімічного складу, доменні гранульовані шлаки поділяють на три сорти згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-302:2014 (таблиця 1.3).

Таблиця 1.1 – Технічні вимоги до доменних гранульованих шлаків

Показник	Норма для сортів		
	I	II	III
Коефіцієнт якості, не нижче	1,65	1,45	1,2
Вміст, % не більше			
Mg	15	15	15
TiO ₂	4	4	4
Mn	2	3	4
Вміст Al ₂ O ₃ , не менше, %.	8	7,5	не нормується

Доменний гранульований шлак, який використовується як активна мінеральна добавка під час помелу шлакопортландцементу ШПЦ III/Б-300, за своєю гідравлічною активністю відповідає II сорту за коефіцієнтом якості.

Шлакопортландцемент ШПЦ III/Б-300 відносять до цементів типу III за речовинним складом згідно з ДСТУ Б В.2.7-46:2010 [2].

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переваги шлакопортландцементу ШПЦ Ш/Б-300:

- тривале збереження пластичності цементного тіста та розчинних сумішей;
- висока корозійна стійкість у м'яких (річкових) водах;
- висока стійкість до дії мінералізованих сульфатних вод;
- низьке тепловиділення під час гідратація (що виключає термічне розтріскування масивних конструкцій);
- низька ймовірність солеутворення (висолів) на поверхні бетону;
- повільне зниження активності в'язучого під час тривалого зберігання;
- істотне збільшення міцності бетону та розчину впродовж тривалого часу (у період від 3 до 6 місяців зростає на 20-25% порівняно зі звичайними портландцементами) [11];
- більш світлий колір порівняно з бездобавочним портландцементом;
- підвищена жаростійкість отриманих бетонів.

Недоліки шлакопортландцементу ШПЦ Ш/Б-300:

- підвищене водовідділення під час укладання бетонної суміші;
- повільні строки тужавіння та уповільнений набір початкової міцності за понижених (нижче 10 С) температур навколишнього середовища;
- знижена морозостійкість на початкових етапах твердіння (до повного завершення процесів гідратації шлаку) [11].

Портландцемент - гідралічна в'язуча речовина, яку одержують сумісним помелом портландцементного клінкеру, гіпсового каменю та спеціальних мінеральних добавок. Портландцемент із вапняком ПЦ II/A-B-500 є високоефективним в'язучим матеріалом, який широко застосовується в промисловому та цивільному будівництві. Завдяки підвищеній міцності та оптимізованій структурі, цей цемент є раціональним вибором для виготовлення високоміцних бетонів, зведення відповідальних залізобетонних конструкцій (монолітних фундаментів, колон, опор, паль), а також для виробництва збірних залізобетонних виробів і будівельних розчинів [12].

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимоги до шлакопортландцементу ШПЦ Ш/Б-300, портландцементу зі шлаком ПЦ Ш/А-Ш-300 та портландцементу з вапняком ПЦ Ш/А-В-500 згідно з ДСТУ Б В.2.7-46:2010:

1. Міцність на стиск: – для цементів марок ПЦ Ш/А-Ш-300 та ШПЦ Ш/Б-300 міцність у терміні 28 діб повинна становити не менше 30 МПа, а у 7-добовому терміні - не менше 15 МПа; – для цементу марки ПЦ Ш/А-В-500 міцність у терміні 28 діб повинна становити не менше 50 МПа, а у 2-добовому терміні (для швидкотвердіючих) або 7-добовому (для нормальнотвердіючих) – відповідно до вимог стандарту для високих марок.

2. Масова частка SO_3 : повинна становити не більше 4,0 % для всіх запроєктованих видів цементу.

3. Строки тужавіння: початок тужавіння для цементів марок 300 та 500 повинен наставати не раніше ніж через 60 хвилин, а кінець тужавіння – не пізніше ніж через 10 годин від моменту початку замішування (затворіння) водню.

4. Вміст оксиду магнію в клінкері: портландцементний клінкер для виробництва добавочних цементів повинен містити не більше 5,0 % оксиду магнію (MgO). Допускається використання клінкеру із вмістом MgO до 6,0 % за умови забезпечення рівномірності зміни об'єму цементу під час випробування в автоклаві.

5. Тонина помелу: дисперсність шлакопортландцементу повинна бути такою, щоб під час просіювання крізь сито з сіткою № 008 (розмір чарунок 80 мкм) проходило не менше 85 % маси проби.

6. Вміст хлорид-іонів (Cl^-): не повинен перевищувати 0,10 % за масою. У разі перевищення цього показника, це обов'язково зазначається на пакованні та в товаросупровідній документації.

7. Втрати маси при прожарюванні: для шлакопортландцементу ШПЦ Ш/Б-300 цей показник не повинен перевищувати 5,0 % за масою.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Рухливість цементно-піщаного розчину: склад розчину 1:3 з пластифікувальними добавками за водоцементного відношення $V/C = 0,39$ повинен забезпечувати розплив стандартного конуса не менше ніж 135 мм.

9. Вміст лужних оксидів: сумарний вміст оксидів лужних металів у перерахунку на натрієвий еквівалент ($Na_2O_{\text{екв}} = Na_2O + 0,658 * K_2O$) у цементах, призначених для масивних бетонних конструкцій, встановлюється за погодження із споживачем.

10. Нерозчинний залишок: для цементів типу III (шлакопортландцементів) вміст нерозчинного залишку не повинен перевищувати 5,0 % за масою.

Хімічний та мінералогічний склад портландцементного клінкеру, що використовується для помелу цементів, повинен суворо відповідати вимогам технологічного регламенту підприємства [12].

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис технологічної схеми

Портландцемент є штучною гідравлічною в'язучою речовиною, виробництво якої належить до високотехнологічних та енергомістких галузей промисловості будівельних матеріалів. Кінцевий продукт є базовим компонентом для виготовлення сучасних бетонів, будівельних розчинів та залізобетонних конструкцій різного призначення. З огляду на високу матеріаломісткість галузі, цементні підприємства, як правило, проектують за принципом наближення до родовищ основних сировинних матеріалів (карбонатного та глинистого компонентів), що дозволяє мінімізувати логістичні витрати на транспортування сировини [1].

У виробництві портландцементного клінкеру як глинистий компонент сировинної шихти використовують переважно легкоплавкі глини, аргіліти або глинисті сланці, а як основний компонент – карбонатні породи (вапняк, крейду). Сировинні матеріали дозують у визначеному співвідношенні (зазвичай 75-80 % карбонатного та 20-25 % глинистого компонента) і піддають сумісному

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подрібненню та сушінню для отримання однорідного сировинного борошна. При проектуванні виробництва за сухим способом підготовлене сировинне борошно подається у верхню частину закритої запічної системи, яка складається з багатоступінчастих циклонних теплообмінників та реактора-декарбонізатора. Тут сировина підвішується в потоці гарячих відхідних газів, миттєво нагрівається, і ступінь її декарбонізації на вході в печ досягає 85-90 %. Остаточне випалювання до спікання здійснюється у коротких обертових печах (довжиною переважно 60-95 м і діаметром 4-5 м), які встановлені під нахилом 3,5-4,0 % і повільно обертаються навколо своєї осі. Матеріал рухається назустріч високотемпературному факелу палива (природного газу, пиловугільного палива або альтернативних джерел енергії), де в зоні спікання за температури близько 1450 °С завершується утворення клінкерних мінералів [10].

Вивантаження клінкеру з печі та його охолодження – завершальний етап термічної обробка. Отриманий спечений продукт у вигляді гранул (клінкер) після охолодження в холодильниках направляється на помел, де він змішується з гіпсом та активними мінеральними добавками, утворюючи готовий цемент [11]. Технологічний процес виробництва цементу за сухим способом складається з таких основних етапів:

1. Видобуток сировинних матеріалів та їх транспортування на завод.
2. Дроблення та гомогенізація основних компонентів сировини.
3. Помел та сушіння сировини з отриманням однорідного сировинного борошна.
4. Попереднє нагрівання та декарбонізація сировинного борошна в системі циклонних теплообмінників та реакторі-декарбонізаторі.
5. Випалювання клінкеру у обертовій печі до стадії спікання.
6. Охолодження клінкеру та його подальше подрібнення (помел) разом із гіпсом та мінеральними добавками до отримання готового цементу.

Залежно від технології підготовки сировинної шихти до випалу розрізняють наступні способи виробництва клінкеру:

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- мокрий спосіб (сировину подрібнюють у водному середовищі, випал здійснюється у вигляді шламу);
- сухий спосіб (сировину подрібнюють і сушать, випал здійснюється у вигляді сировинного борошна – найбільш енергоефективний метод, що застосовується у даному проекті);
- напівсухий спосіб (сировинну суміш зволожують до 10-14 % і гранулюють);
- комбінований спосіб (поєднання елементів мокрого та сухого способів).

При мокрому способі виробництва помел, змішування та коригування сировинних компонентів здійснюються у водному середовищі з отриманням шламу (суспензії з вологістю 30-45 %). При сухому способі ці операції проводяться з сухими матеріалами, що забезпечує отримання сировинного борошна. Напівсухий спосіб передбачає гранулювання підготовленого сировинного борошна. Напівсухий спосіб передбачає гранулювання підготовленого сировинного борошна з додаванням невеликої кількості води (10-14 %) для надання гранулами необхідної механічної міцності перед подачею у піч [11].

Кожен із цих методів має свої техніко-економічні особливості. Мокрий спосіб, попри відносну простоту досягнення високої однорідності шихти, є енергоємним: питомі витрати теплової енергії на випалювання при цьому методі на 30-40 % вищі, ніж при сухому. Це зумовлено необхідністю випаровування значної кількості вологи в печі, що вимагає збільшення її лінійних розмірів та об'єму, оскільки значна частина печі фактично виконує функцію випарника.

Сучасні тенденції в цементній промисловості орієнтовані на впровадження сухого способу, який забезпечує мінімальні витрати енергоресурсів на одиницю готової продукції завдяки високоефективним системам теплообміну [1].

Вибір способу виробництва цементного клінкеру є визначальним фактором, який формує техніко-економічні показники підприємства, його

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергоємність та собівартість готової продукції. При проектуванні даного технологічного процесу були детально проаналізовані фізико-хімічні властивості сировинної бази Хмельницької області, зокрема її природна вологість та однорідність хімічного складу. Враховуючи, що основні сировинні компоненти мають низьку природну вологість, найефективнішим та економічно виправданим рішенням є сухий спосіб виробництва [1]. Використання мокрого або комбінованого способів у даному випадку є недоцільним, оскільки випаровування надлишкової вологи вимагало б значного збільшення витрат палива та суттєвого подовження лінійних розмірів обертової печі. Сухий спосіб дозволяє мінімізувати питомі витрати тепла на випалювання клінкеру завдяки використанню тепла відхідний газів для сушіння та декарбонізації сировини [11].

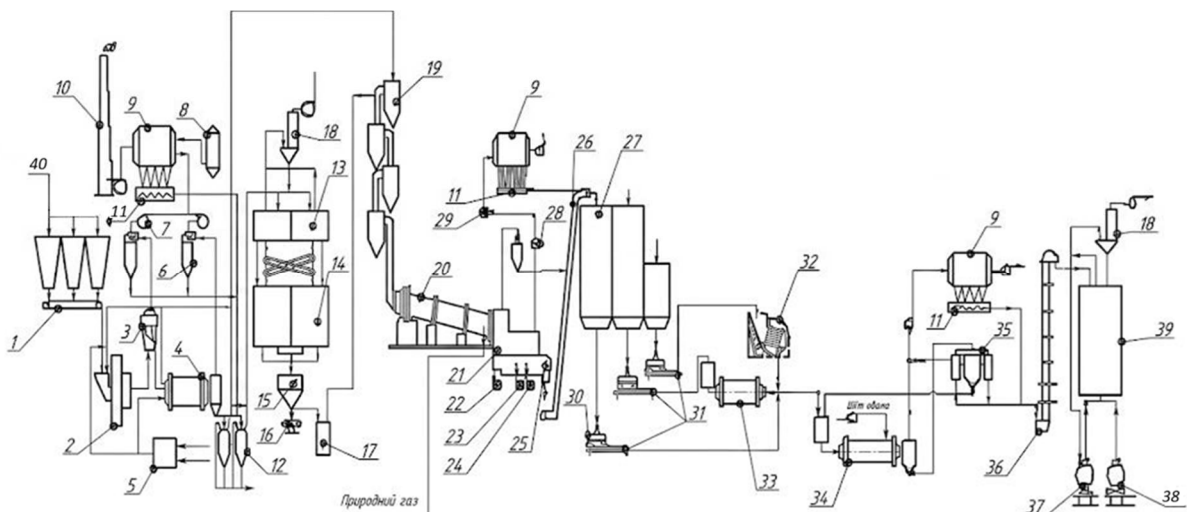


Рисунок 2.1 - Технологічна схема отримання цементу по сухому способу
 1-транспортуючий пристрій; 2- млин попереднього подрібнення «Аерофол»; 3- сепаратор; 4- трубний млин; 5- пічка; 6- циклон; 7- млинний вентилятор; 8- кондиціонер; 9- електрофільтр; 10- димова труба; 11- механізм забирання порошку; 12- пневмонасоси; 13- коректуючі силоси; 14- витратні силоси; 15- витратний бункер постійного рівня; 16- дозатор за масою; 17- пневмопіднімач; 18-рукавний фільтр; 19- циклонні теплообмінники; 20- обертова піч; 21- колосниковий холодильник; 22- вентилятор гострого продуву; 23- вентилятор подвійного прососу; 24- вентилятор загального продуву; 25- дробарка клінкеру;

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26- конвеєр клінкеру; 27-силоси; 28- регулюючий шибєр; 29- вентилятор; 30- дозатор за масою; 31- конвеєр; 32- дробарка; 33-барабанна сушарка; 34-трубний млин; 35- сепаратор; 36- елеватор; 37-вагон-цементовоз; 38- автоцементовоз; 39- цемсилос; 40-бункери для сировини

Технологічний процес виробництва цементу на проектуємому підприємстві включає такі основні стадії:

1. Підготовка та помел сировини. Після первинного дроблення вапняк, ДГШ та конверторний шлак направляється відділення помелу. Для досягнення необхідної тонкості помелу та високої однорідності використовується система, що складається з млина попереднього подрібнення типу "Аерофол" (поз. 2) та трубного сировинного млина (поз. 4). Цей процес суміщений із сушінням матеріалу гарячими газами від допоміжної топки (поз. 5) та відхідними газами печі, що дозволяє отримати сухе сировинне борошно з вологістю близько 1 %.

2. Гомогенізація та усереднення. Отримане сировинне борошно для забезпечення стабільного хімічного складу проходить стадію усереднення та коригування в змішувальних силосах (поз. 13, 14). Це дозволяє повністю нівелювати коливання складу сировини та забезпечити точне дотримання заданого титру (вмісту CaCO_3) перед подачею матеріалу на випалювання.

3. Випалювання клінкеру. Підготовлена суха шихта за допомогою пневмопідйомника (поз. 17) подається в запічну систему багатоступінчатих циклонних теплообмінників (поз. 19). Тут матеріали у зваженому стані за лічені секунди нагріваються потоком гарячих газів, і ступінь їх декарбонізації на вході в піч досягає 85 - 90 %. Остаточне випалювання до спікання здійснюється в короткій обертовій печі (поз. 20) за температури близько 1450°C. Отриманий клінкер різко охолоджується в колосниковому холодильнику (поз. 21) для фіксації його мінералогічного складу.

4. Помел цементу. Охолоджений клінкер зі складу (поз. 27) надходить на стадію остаточного подрібнення в цементний млин (поз. 34), який працює в замкнутому циклі з сепаратором (поз. 35). На цьому етапі, залежно від налаштування вагових дозаторів (поз. 30), здійснюється точне дозування

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гіпсового каменю, гранульованого доменного шлаку або вапняку. Це забезпечує гнучке виробництво запроектованого асортименту продукції: ШПЦ Ш/Б-300, ПЦ П/А-Ш-300 або ПЦ П/А-В-500.

5. Зберігання та відвантаження. Готовий цемент транспортується в силоси (поз. 39), звідки він відвантажується споживачам навалом (у залізничні вагони-цементовози чи автоцементовози) або в тарі (паперові мішки по 50 кг).

2.2 Розрахунок сировинної суміші.

2.2.1 Розрахунок сировинної суміші

Розрахунок сировинної суміші виконано відповідно до хімічного складу вихідних сировинних компонентів і заданих характеристик клінкеру коефіцієнт насичення($KH=0,91$), силікатний модуль ($n=2,2$) та алюмінатний модуль ($p=1,6$) із застосуванням програми, розробленої на кафедрі ХТВМ.(Додаток А)

Хімічний склад компонентів та сировинної суміші і їхня природна вологість а також речовинний склад приведені в таблицях 2.1, 2.2, 2.3.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад і природна вологість матеріалів, мас %.

Матеріал	Вологість	S_{H_2O}	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	ВПП	Σ
Вапняк	5,50	2,11	0,96	0,68	54,35	1,46	0,03	39,27	98,86
Шлак	4,51	35,96	4,77	0,30	46,91	7,54	0	1,35	99,53
Глина	19,32	27,60	46,82	15,36	4,68	0,66	0	4,88	100
Колошніковий пил	11,03	15,63	2,35	25,04	36,3	10,55	0,73	9,40	100

Таблиця 2.2– Хімічний склад сировинної суміші і клінкеру, мас. %

Матеріал	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	ВПП	Ін	Σ
Вапняк	1,15	0,53	0,37	29,74	0,80	0,02	21,49	1,14	54,72
Шлак	12,38	1,64	0,10	16,15	2,60	0,00	0,46	0,47	34,44
Глина	1,23	2,09	0,69	0,21	0,03	0,00	0,22	0,00	4,47
Колошніковий пил	1,00	0,15	1,59	2,31	0,67	0,05	0,60	0,00	6,37
С/суміш	15,77	4,41	2,76	48,42	4,10	0,06	22,77	1,72	100,00
Клінкер	20,42	5,71	3,57	62,69	5,30	0,08	0,00	2,22	100,00

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 2.3 – Речовий склад сировинної суміші

Матеріал	ВПП	Вміст компонентів, мас. %			
		вапняк	шлак	Глина	Колошниковий пил
Сировинна суміш	22,77	54,72	34,44	4,47	6,37

2.3 Розрахунок питомих норм витрат сировинних матеріалів

2.3.1 Теоретичні питомі витрати сухої сировини на 1 т клінкеру

$$A_c^0 = \frac{100 \cdot 1000}{100 - \text{ВПП}}, \text{ кг/т кл. }, \quad (2.1)$$

де ВПП – витрати при прожарюванні сировинної суміші, % (табл. 2.2).

$$A_c^0 = \frac{100 \cdot 1000}{100 - 22,77} = 1294,83 \text{ кг/т кл.}$$

2.3.2 Теоретичні питомі витрати сухих компонентів сировинної суміші:

$$A_i^0 = A_c^0 \cdot \frac{N_i}{100}, \text{ кг/т кл.}; \quad (2.2)$$

де N_i – вміст окремих компонентів в сировинній суміші, % (табл. 2.3).

– вапняку

$$A_B^0 = 1294,83 \cdot \frac{54,72}{100} = 708,53 \text{ кг/т кл.};$$

–шлак

$$A_{\text{Ш}}^0 = 1294,83 \cdot \frac{34,44}{100} = 445,94 \text{ кг/т кл.};$$

– глина

$$A_{\Gamma}^0 = 1294,83 \cdot \frac{4,47}{100} = 57,88 \text{ кг/т кл.};$$

–Колошниковий пил

$$A_{\text{КП}}^0 = 1294,83 \cdot \frac{6,37}{100} = 82,48 \text{ кг/т кл.};$$

2.3.3 Теоретичні питомі витрати компонентів сировинної суміші в стані природної вологості:

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_i^w = \frac{A_i^0 \cdot 100}{100 - W_i}, \text{ кг/т кл.}, \quad (2.3)$$

де W_i – природна вологість компонентів сировинної суміші, мас.% (табл. 1.1)

– вапняку

$$B_B^w = \frac{A_B^0 \cdot 100}{100 - W_B} = \frac{708,53 \cdot 100}{100 - 5,50} = 749,77 \text{ кг/т кл.};$$

–шлак

$$B_{\text{Ш}}^w = \frac{A_{\text{Ш}}^0 \cdot 100}{100 - W_{\text{Ш}}} = \frac{445,94 \cdot 100}{100 - 4,51} = 467,00 \text{ кг/т кл.};$$

– глина

$$B_{\Gamma}^w = \frac{A_{\Gamma}^0 \cdot 100}{100 - W_{\Gamma}} = \frac{57,88 \cdot 100}{100 - 19,32} = 71,74 \text{ кг/т кл.};$$

– колошниковий пил

$$B_{\text{КП}}^w = \frac{A_{\text{КП}}^0 \cdot 100}{100 - W_{\text{КП}}} = \frac{82,48 \cdot 100}{100 - 11,03} = 94,95 \text{ кг/т кл.}$$

2.3.4 Теоретична питома витрата сировинної суміші в стані природної вологості:

$$B_{\text{СС}}^w = B_B^w + B_{\text{Ш}}^w + B_{\Gamma}^w + B_{\text{КП}}^w = 749,77 + 467,00 + 71,74 + 94,95 \\ = 1383,46 \text{ кг/т кл.}$$

2.3.5 Теоретичний вихід клінкера з 1 кг сухої сировинної суміші:

$$K_{\text{Т}} = \frac{1000}{A_{\text{С}}^0} \text{ т/т (с/с)} \quad (2.5)$$

$$K_{\text{Т}} = \frac{1000}{1294,83} = 0,772 \text{ т/т (с/с)}$$

2.3.6 Дійсна витрата сухої сировинної суміші з урахуванням виробничих витрат:

$$A_{\text{С}}^{\text{Д}} = A_{\text{С}}^0 \cdot \frac{100}{100 - \Pi_{\text{С}}}, \text{ кг/т}, \quad (2.6)$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де P_c — виробничі витрати сировинної суміші при випалі з виносом, %, приймаємо $P_c = 1,0\%$.

$$A_c^d = 1294,83 \cdot \frac{100}{100 - 1,0} = 1307,91 \text{ кг/т}$$

2.3.7 Дійсні витрати окремих сухих компонентів сировинної суміші з урахуванням виробничих витрат:

$$A_i^d = A_c^d \cdot \frac{N_i}{100}, \text{ кг/т кл.}; \quad (2.7)$$

– вапняку

$$A_B^d = 1307,91 \cdot \frac{54,72}{100} = 715,69 \text{ кг/т кл.};$$

–шлак

$$A_{ш}^d = 1307,91 \cdot \frac{34,44}{100} = 450,44 \text{ кг/т кл.};$$

– глина

$$A_G^d = 1307,91 \cdot \frac{4,47}{100} = 58,46 \text{ кг/т кл.};$$

– колошниковий пил

$$A_{кп}^d = 1307,91 \cdot \frac{6,37}{100} = 83,31 \text{ кг/т кл.}$$

2.3.8 Фактична норма витрат сировинної суміші з урахуванням виробничих витрат і природної вологості компонентів:

$$B_c^f = B_c^w \cdot \frac{100}{100 - P_c}, \text{ кг/т кл.} \quad (2.8)$$

$$B_c^f = 1383,46 \cdot \frac{100}{100 - 1,0} = 1397,43 \text{ кг/т кл.}$$

2.3.9 Фактична норма витрат сировинних компонентів з урахуванням виробничих витрат і природної вологості:

$$B_i^f = B_i^w \cdot \frac{100}{100 - P_c}, \quad (2.9)$$

– вапняку

$$B_B^f = 749,77 \cdot \frac{100}{100 - 1,0} = 757,34 \text{ кг/т кл.};$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

–шлак

$$B_{\text{ш}}^{\phi} = 467,00 \cdot \frac{100}{100 - 1,0} = 471,72 \text{ кг/т кл.};$$

– глина

$$B_{\text{г}}^{\phi} = 71,74 \cdot \frac{100}{100 - 1,0} = 72,46 \text{ кг/т кл.};$$

– колошниковий пил

$$B_{\text{кп}}^{\phi} = 94,95 \cdot \frac{100}{100 - 1,0} = 95,91 \text{ кг/т кл.}$$

2.3.10 Виробнича норма виходу клінкера із 1 т сировинної суміші по сухій речовині з урахуванням втрат:

$$K_{\phi} = \frac{1000}{A_c^{\text{д}}} = \frac{1000}{1307,91} = 0,765 \text{ т/т с/с}$$

2.3.11 Природна вологість сировинної суміші:

$$W_c = \frac{B_c^{\phi} - A_c^{\text{д}}}{B_c^{\phi}} \cdot 100\%, \quad (2.10)$$

$$W_c = \frac{1397,43 - 1307,91}{1397,43} \cdot 100 = 6,41\%$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Розрахунок потужності заводу і матеріального балансу

Проектом передбачається здійснити випуск цементу, асортимент і об'єм випуску якого за видами та марками представлено в табл. 2.1 [9].

Таблиця 2.4 – Асортимент продукції, що передбачається випускати

Вид, марка цементу	Частка виду цементу, %	Об'єм виробництва за рік, т	Склад цементу, мас. %			
			клінкер	ДГШ	вапняк	гіпсове каміння
ПЦ II/A-III – 300	55	753366,44	81	14	-	5
ШПЦ III/Б – 300	25	342439,29	24	71	-	5
ПЦ II/A-B – 500	20	273951,43	87	-	8	5

Річний випуск клінкеру з установкою однієї печі діаметром 4,5 м та довжиною 80 м з циклонними теплообмінниками та декарбонізатором продуктивністю 125 т/год становить:

$$Q_{\text{кл}}^{\text{рік}} = 8760 \cdot q_{\text{год}} \cdot K_{\text{в}}, \text{ т/рік}, \quad (2.11)$$

де 8760 – час роботи печі за рік, години;

$q_{\text{год}}$ – продуктивність печі за годину, т/год; $q_{\text{год}} = 125 \text{ т/год}$;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання печі; приймаємо $K_{\text{в}} = 0,85$ [1].

$$Q_{\text{кл}}^{\text{рік}} = 8760 \cdot 125 \cdot 0,85 = 930750 \text{ т/рік}$$

Середній вміст клінкеру в цементі:

$$M_{\text{сер}}^{\text{кл}} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot k_i, \quad (2.12)$$

де a_i – вміст клінкеру в i -ому виді цементу, мас.%;

k_i – доля випуску i -ого виду цементу в загальному об'єму випуску (табл. 2.1)

$$M_{\text{сер}}^{\text{кл}} = 89 \cdot 0,6 + 55 \cdot 0,4 = 75,4\%$$

$$M_{\text{сер}}^{\text{кл}} = 81 \cdot 0,55 + 24 \cdot 0,25 + 87 \cdot 0,20 = 67,95\%$$

Продуктивність заводу по цементу за рік становить:

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{\text{ц}}^{\text{рік}} = \frac{Q_{\text{кл}}^{\text{рік}} \cdot 100}{M_{\text{сер}}^{\text{кл}}}, \text{ т/рік} \quad (2.13)$$

$$Q_{\text{ц}}^{\text{рік}} = \frac{930750 \cdot 100}{67,95} = 1369757,17, \text{ т/рік}$$

в тому числі за видами і марками:

- ПЦ II/A-III – 300 – 753366,44;
- ШПЦ III/Б – 300 – 342439,29;
- ПЦ II/A-B – 500 – 273951,43.

2.4.1 Теоретичні річні потреби в компонентах цементної шихти цеху помелу цементу

$$P_i^0 = \sum_{i=1}^n \Pi_i \cdot \frac{B_i}{100}, \text{ т/рік}, \quad (2.14)$$

де Π_i – річний випуск і-ого виду цементу, т/рік;

B_i – вміст і-ого компоненту цементної шихти в даному виді цементу, %.

– клінкеру

$$K^0 = \frac{753366,44 \cdot 81}{100} + \frac{342439,29 \cdot 24}{100} + \frac{273951,43 \cdot 87}{100} = 930749,62 \text{ т/рік}$$

– доменного гранульованого шлаку

$$\text{Ш}^0 = \frac{753366,44 \cdot 14}{100} + \frac{342439,29 \cdot 71}{100} + \frac{273951,43 \cdot 0}{100} = 348603,20 \text{ т/рік}$$

– вапняку

$$B^0 = \frac{753366,44 \cdot 0}{100} + \frac{342439,29 \cdot 0}{100} + \frac{273951,43 \cdot 8}{100} = 21916,08 \text{ т/рік}$$

– гіпсового каменю

$$\Gamma^0 = \frac{753366,44 \cdot 5}{100} + \frac{342439,29 \cdot 5}{100} + \frac{273951,43 \cdot 5}{100} = 68487,84 \text{ т/рік}$$

2.4.2 Річна потреба цеху помелу цементу в компонентах цементної шихти з урахуванням втрат:

$$P_i^n = P_i^0 \cdot \frac{100}{100 - \Pi_i}, \text{ т/рік}, \quad (2.15)$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Π_i – виробничі втрати компонентів цементної шихти; приймаємо $\Pi_i = 5,7 \%$
[5]

– клінкеру

$$K^B = K^0 \cdot \frac{100}{100 - \Pi_{\text{ц}}} = 930749,62 \cdot \frac{100}{100 - 5,7} = 987009,14 \text{ т/рік};$$

– доменного гранульованого шлаку

$$\text{Ш}^B = \text{Ш}^0 \cdot \frac{100}{100 - \Pi_{\text{ц}}} = 348603,20 \cdot \frac{100}{100 - 5,7} = 369674,65 \text{ т/рік};$$

– вапняку

$$B^B = B^0 \cdot \frac{100}{100 - \Pi_{\text{ц}}} = 21916,08 \cdot \frac{100}{100 - 5,7} = 23240,81 \text{ т/рік}.$$

2.4.3 Річний випуск цементу з урахуванням виробничих втрат:

$$\text{Ц}^B = \text{Ц}^0 \cdot \frac{100}{100 - \Pi_{\text{ц}}} = 1369757,17 \cdot \frac{100}{100 - 5,7} = 1452552,67 \text{ т/рік}$$

2.4.4 Річна потреба в сировинних матеріалах

Суха сировинна суміш:

$$P_c^0 = K^B \cdot A_c^D = 987009,14 \cdot 1,30791 = 1290919,12 \text{ т/рік}$$

Сухі сировинні компоненти:

$$P_i^0 = K^B \cdot A_i^D, \text{ т/рік} \quad (2.16)$$

– вапняк

$$P_B^0 = 987009,14 \cdot 0,71569 = 706392,57 \text{ т/рік};$$

–шлак

$$P_{\text{ш}}^0 = 987009,14 \cdot 0,45044 = 444588,40 \text{ т/рік};$$

– глина

$$P_{\text{г}}^0 = 987009,14 \cdot 0,07246 = 71518,68 \text{ т/рік};$$

– колошниковий пил

$$P_{\text{кп}}^0 = 987009,14 \cdot 0,09591 = 94664,05 \text{ т/рік};$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сировинна суміш з природною вологістю:

$$P_c^w = K^B \cdot B_c^w = 987009,14 \cdot 1,38346 = 1365487,66 \text{ т/рік};$$

Компонентів сировинної суміші в стані природної вологості

$$P_i^w = K^B \cdot B_i^w, \text{ т/рік} \quad (2.17)$$

– вапняк

$$P_B^w = 987009,14 \cdot 0,74977 = 740029,84 \text{ т/рік};$$

–шлак

$$P_{ш}^w = 987009,14 \cdot 0,467 = 460933,27 \text{ т/рік};$$

– глина

$$P_r^w = 987009,14 \cdot 0,07174 = 70808,04 \text{ т/рік};$$

– колошниковий пил

$$P_{кп}^w = 987009,14 \cdot 0,09495 = 93716,52 \text{ т/рік};$$

Розрахунок добової витрати матеріалів:

– цементу

$$Q_{\text{це́м}}^{\text{доб}} = \frac{\Pi^{\text{п}}}{365 \cdot K_{\text{в}}^{\text{це́м}}}, \text{ т/добу}, \quad (2.18)$$

де $K_{\text{в}}^{\text{це́м}}$ – коефіцієнт використання цементних млинів; $K_{\text{в}}^{\text{це́м}}=0,85$ [1].

$$Q_{\text{це́м}}^{\text{доб}} = \frac{1452552,67}{365 \cdot 0,85} = 4681,88 \text{ т/добу};$$

– клінкеру

$$Q_{\text{кл}}^{\text{доб}} = \frac{K^B}{365 \cdot K_{\text{в}}^{\text{це́м}}} = \frac{987009,14}{365 \cdot 0,85} = 3181,33 \text{ т/добу};$$

– доменного гранульованого шлаку

$$Q_{\text{дгш}}^{\text{доб}} = \frac{\Pi^B}{365 \cdot K_{\text{в}}^{\text{це́м}}} = \frac{369674,65}{365 \cdot 0,85} = 1191,54 \text{ т/добу};$$

– вологого доменного гранульованого шлаку

$$Q_{\text{в дгш}}^{\text{доб}} = \frac{Q_{\text{дгш}}^{\text{доб}} \cdot 100}{100 - W_{\text{ш}}} = \frac{1191,54 \cdot 100}{100 - 4,51} = 1\,247,82 \text{ т/добу};$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– гіпсового каменю

$$Q_{\text{ГК}}^{\text{доб}} = \frac{P^0}{365 \cdot K_{\text{це}}^{\text{см}}} = \frac{68487,84}{365 \cdot 0,85} = 220,75 \text{ т/добу};$$

– сухої сировинної суміші

$$Q_{\text{с}}^{\text{доб}} = \frac{P_{\text{с}}^0}{365 \cdot K_{\text{в}}^{\text{см}}}, \text{ т/добу}, \quad (2.9)$$

де $K_{\text{в}}^{\text{см}}$ – коефіцієнт використання сировинних млинів, $K_{\text{в}}^{\text{см}}=0,85$ [1].

$$Q_{\text{сс}}^{\text{доб}} = \frac{1290919,12}{365 \cdot 0,85} = 4160,90 \text{ т/добу};$$

– сухого вапняку

$$Q_{\text{в}}^{\text{доб}} = \frac{P_{\text{в}}^0}{365 \cdot K_{\text{в}}^{\text{см}}} = \frac{706392,57}{365 \cdot 0,85} = 2276,85 \text{ т/добу};$$

– сухого шлаку

$$Q_{\text{ш}}^{\text{доб}} = \frac{P_{\text{ш}}^0}{365 \cdot K_{\text{в}}^{\text{см}}} = \frac{444588,40}{365 \cdot 0,85} = 1433,00 \text{ т/добу};$$

– сухої глини

$$Q_{\text{г}}^{\text{доб}} = \frac{P_{\text{г}}^0}{365 \cdot K_{\text{в}}^{\text{см}}} = \frac{71518,68}{365 \cdot 0,85} = 230,52 \text{ т/добу};$$

– сухого колошникового пилу:

$$Q_{\text{кп}}^{\text{доб}} = \frac{P_{\text{кп}}^0}{365 \cdot K_{\text{в}}^{\text{см}}} = \frac{94664,05}{365 \cdot 0,85} = 305,12 \text{ т/добу};$$

– сировинної суміші з природною вологістю

$$Q_{\text{св}}^{\text{доб}} = \frac{P_{\text{с}}^w}{365 \cdot K_{\text{в}}^{\text{см}}} = \frac{1365487,66}{365 \cdot 0,85} = 4\,401,25 \text{ т/добу};$$

– вологого вапняку:

$$Q_{\text{вв}}^{\text{доб}} = \frac{P_{\text{в}}^w}{365 \cdot K_{\text{в}}^{\text{см}}} = \frac{740029,84}{365 \cdot 0,85} = 2\,385,27 \text{ т/добу};$$

– вологого шлаку:

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{в ш}^{доб} = \frac{P_{ш}^w}{365 \cdot K_B^{см}} = \frac{460933,27}{365 \cdot 0,85} = 1\,485,68 \text{ т/добу};$$

– вологої глини:

$$Q_{в г}^{доб} = \frac{P_{г}^w}{365 \cdot K_B^{см}} = \frac{70808,04}{365 \cdot 0,85} = 228,23 \text{ т/добу};$$

– вологого колошникового пилу:

$$Q_{в кп}^{доб} = \frac{P_{кп}^w}{365 \cdot K_B^{см}} = \frac{93716,52}{365 \cdot 0,85} = 302,07 \text{ т/добу};$$

Розрахунок годинних витрат матеріалів

– цементу

$$Q_{цем}^{год} = \frac{Q_{цем}^{доб}}{24} = \frac{4681,88}{24} = 195,08 \text{ т/год};$$

– клінкеру

$$Q_{кл}^{год} = \frac{Q_{кл}^{доб}}{24} = \frac{3181,33}{24} = 132,55 \text{ т/год};$$

– доменного гранульованого шлаку

$$Q_{дгш}^{год} = \frac{Q_{дгш}^{доб}}{24} = \frac{1191,54}{24} = 49,65 \text{ т/год};$$

– вологого доменного гранульованого шлаку

$$Q_{в дгш}^{год} = \frac{Q_{дгш}^{год} \cdot 100}{100 - W_{ш}} = \frac{49,65 \cdot 100}{100 - 4,51} = 51,99 \text{ т/год};$$

– гіпсового каменю

$$Q_{гк}^{год} = \frac{Q_{гк}^{доб}}{24} = \frac{220,75}{24} = 9,20 \text{ т/год};$$

– сухої сировинної суміші

$$Q_{сс}^{год} = \frac{Q_{сс}^{доб}}{24} = \frac{4160,90}{24} = 173,37 \text{ т/год};$$

– сухого вапняку

$$Q_{в}^{год} = \frac{Q_{в}^{доб}}{24} = \frac{2276,85}{24} = 94,87 \text{ т/год};$$

– сухого шлаку

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{\text{ш}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{ш}}^{\text{доб}}}{24} = \frac{1485,68}{24} = 61,90 \text{ т/год};$$

– сухої глини

$$Q_{\text{г}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{г}}^{\text{доб}}}{24} = \frac{228,23}{24} = 9,51 \text{ т/год};$$

– сухого колошникового пилу:

$$Q_{\text{кп}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{кп}}^{\text{доб}}}{24} = \frac{305,12}{24} = 12,71 \text{ т/год};$$

– сировинної суміші з природною вологістю

$$Q_{\text{св}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{св}}^{\text{доб}}}{24} = \frac{4401,25}{24} = 183,38 \text{ т/год};$$

– вологого вапняку

$$Q_{\text{вв}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{вв}}^{\text{доб}}}{24} = \frac{2385,27}{24} = 99,39 \text{ т/год};$$

– вологого доменного гранульованого шлаку

$$Q_{\text{в дгш}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{в дгш}}^{\text{доб}}}{24} = \frac{1247,82}{24} = 51,99 \text{ т/год};$$

– вологої глини

$$Q_{\text{вг}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{вг}}^{\text{доб}}}{24} = \frac{228,23}{24} = 9,51 \text{ т/год};$$

– вологого колошникового пилу:

$$Q_{\text{в кп}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{в кп}}^{\text{доб}}}{24} = \frac{302,07}{24} = 12,59 \text{ т/год};$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дійсні витрати матеріалів та випуск продукції наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.5 – Матеріальний баланс підприємства

Матеріал	Витрати матеріалів, т		
	за рік	за добу	за годину
Вапняк	740029,84	2385,27	99,39
Доменний гранульований шлак (компонент)	460933,27	1485,68	51,99
глина	70808,04	228,23	9,51
колошникового пилу	93716,52	302,07	12,59
Сировинна суміш	1342856,10	4401,25	183,38
Клінкер	987009,14	3181,33	132,55
Доменний гранульований шлак (мінеральна добавка)	369674,65	1247,82	51,99
Гіпсове каміння	68487,84	220,75	9,20
Цемент	1452552,67	4681,88	195,08

2.5 Вибір і розрахунок основного технологічного устаткування

На підприємстві, що проектується, вибір устаткування проводимо по переділам, виходячи із розрахованої годинної потреби цехів у сировині і паспортної продуктивності устаткування.

2.5.1 Перша стадія подрібнення вапняку

На першій стадії-щоговадробарка СМД-110А ЩД продуктивністю 140 т/год. Технічна характеристика щогової дробарки СМД-110А наведена у таблиці 2.6.

Необхідна кількість дробарок типу СМД-110А становить:

$$n = \frac{Q_{\text{в}}^{\text{год}}}{q_{\text{дроб}}^{\text{год}}} \quad (2.10)$$

де $q_{\text{дроб}}^{\text{год}}$ – годинна продуктивність дробарки СМД-110А, т/год.

$$n = \frac{99,39}{140} = 0,710$$

Приймаємо для встановлення одну дробарку типу СМД-110А.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6 – Технічна характеристика дробарки СМД-110А.

Найменування показника	Значення показника
Розмір завантажувального отвору, мм	600×900
Діапазон регулювання вихідної щоки, мм	75 130
Найбільший розмір шматків, що завантажуються, мм	500
Продуктивність, т/год	140
Потужність електродвигуна, кВт	75
Тип живильника дробарки	Пластинчастий В=900 мм

2.5.2 Подрібнення вапняку

Для подрібнення вапняку проектом передбачається використання молоткової дробарки типу СМД-75 продуктивністю 187 т/год. Технічна характеристика дробарки наведена в табл. 2.7.

Необхідна кількість дробарок типу СМД-75 становить:

$$n = \frac{Q_{\text{в}}^{\text{год}}}{q_{\text{дроб}}^{\text{год}}}, \quad (2.11)$$

де $q_{\text{дроб}}^{\text{год}}$ – годинна продуктивність дробарки СМД-75, т/год.

$$n = \frac{99,39}{187} = 0,531$$

Приймаємо для встановлення одну дробарку типу СМД-75.

Таблиця 2.7 – Технічна характеристика дробарки СМД-75.

Найменування показника	Значення показника
Розмір ротору, мм	1000×1000
Розмір завантажувального отвору, мм	1000×500
Найбільший розмір шматків, що завантажуються, мм	300
Ширина щілини ґрат, мм	20–80

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Частота обертання ротора, хв ⁻¹	450
Продуктивність, т/год	187
Потужність електродвигуна, кВт	125
Тип живильника дробарки	Пластинчастий В=1200 мм

2.5.3 Сушіння шлаку

Для сушіння шлаку проектом передбачається використання сушарних барабанів 2,2×20,0 м продуктивністю 22 т/год. Технічна характеристика сушарного барабану наведена в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Технічна характеристика сушарного барабану

Найменування показника	Показник
Уклон, %	5
Частота обертання, хв ⁻¹	5
Внутрішні теплообмінні пристрої	коміркові
Вологість, мас. %	
початкова	20
кінцева	2
Продуктивність, т/год	22
Питома витрата палива, кг/год	27,7
Потужність приводу, кВт	36

Кількість барабанів для сушіння шлаку

$$n = \frac{Q_{\text{дгш}}^{\text{год}} + Q_{\text{ш}}^{\text{год}}}{q_{\text{сб}}^{\text{год}}} \quad (2.12)$$

де $q_{\text{сб}}^{\text{год}}$ – годинна продуктивність сушарного барабану, т/год.

$$n = \frac{51,99 + 51,99}{22} = 4,73$$

Приймаємо для встановлення п'ять сушарних барабанів 2,2×20,0 м.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5.4 Помел сировини

Для помелу сировини проектом передбачається встановлення млина одночасного сушіння і помелу Ø4,2×10,0 м, який робить у замкненому циклі з повітрянопроходним сепаратором, продуктивністю 130 т/год. Технічна характеристика млина наведена в табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Технічна характеристика млина Ø4,2×10,0 м

Найменування показника	Показник
Продуктивність, т/год	130
Частота обертання, хв ⁻¹	15,62
Тонкість помелу, %	
R ₀₀₈	15
R ₀₂	4
Довжина камери, м	10
Завантаження мелючих тіл: маса, т	118
Потужність головного двигуна, кВт.	2000
Продуктивність електрофільтра, м/ч.	350000
Сепаратор	Повітрянопрохідний
Механізм транспортуєчий крупку	Аерожолоб

Для помелу глини

Кількість млинів для помелу глини:

$$n = \frac{Q_{\Gamma}^{\text{год}}}{q_{\Gamma}^{\text{год}}} \quad (2.13)$$

де $q_{\Gamma}^{\text{год}}$ — годинна продуктивність млина, т/год

$$n = \frac{9,51}{130} = 0,07$$

Приймаємо для встановлення 1 млин Ø4,2×10,0 м.

Для помелу сировини

Кількість млинів для помелу сировини:

$$n = \frac{Q_{\text{сс}}^{\text{год}}}{q_{\text{м}}^{\text{год}}}, \quad (2.14)$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $q_m^{\text{год}}$ — годинна продуктивність млина, т/год

$$n = \frac{173,37}{130} = 1,33$$

Приймаємо для встановлення два млина $\varnothing 4,2 \times 10,0$ м.

2.5.5 Випал клінкеру

Проектом передбачається встановлення однієї печі $\varnothing 4,5 \times 80$ м з циклонними теплообмінниками та декарбонізаторами, продуктивністю 125 т/год. Технічна характеристика печі наведена в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Технічна характеристика обертів печі $\varnothing 4,5 \times 80$ м

Найменування показника	Значення показника
Тип пічного агрегату	СМЦ-26
Продуктивність, т/год	125
Потужність електродвигуна, кВт	400
Питома витрата теплоти на випал 1 кг клінкера, кДж/кг	3460
Уклон корпусу печі, %	4
Частота обертання печі від головного приводу, хв ⁻¹	0,34...3,4
Маса пічного агрегату (без футерівки), т	2400
Запічні теплообмінники:	
кількість гілок, шт.	2
кількість ступіней, шт.	4
Продуктивність димососу електрофільтру, м ³ /с	116,7
Холодильник клінкеру:	
тип	колосниковий СМ-33
температура клінкера після охолодження, К	370
Частка палива, що спалюється у декарбонізаторі, %	60
Ступінь декарбонізації, %	80–90
Температура, К:	
матеріалу після теплообмінників	1083–1093
газів після печі	1223–1273

2.5.6 Помел цементу

Проектом передбачається здійснювати помел цементу у млинах $\varnothing 3,2 \times 15$ м, що працюють у замкненому циклі, продуктивністю 60 т/год. Технічна характеристика млина наведена в табл. 2.11.

Необхідна кількість млинів складе:

$$n = \frac{Q_{\text{цем}}^{\text{год}}}{q_m^{\text{год}}}, \quad (2.15)$$

де $q_m^{\text{год}}$ – годинна продуктивність цементного млина, т/год.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n = \frac{195,08}{60} = 3,25$$

Для встановлення приймаємо чотири млини Ø3,2×15 м.

Таблиця 2.11 – Технічна характеристика цементного млина Ø3,2×15 м

Найменування показника	Значення показника
Розмір млина, м: діаметр	3,2
довжина	15
Частота обертання, об/хв	16,94
Продуктивність, т/год	60,0
Мелюче завантаження, т	140
Питома витрата електроенергії, кВт·год/т	34,6
Вага млина, т.	223,1
Тип перегородки	сегментні пруткові
Живильник	тарілчастий
Циклони, діаметр, мм	800

2.5.7 Складування цементу

Для складування та зберігання цементу проектом передбачається установка силосного складу. Для зберігання цементу приймаємо силоси діаметром 15 м та висотою 27 м, які вміщують 6000 т.

Кількість силосів для зберігання цементу становить:

$$n = \frac{Q_{\text{цсм}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{нц}}}{V}, \quad (2.16)$$

де $C_{\text{нц}}$ – кількість діб нормативного запасу цементу; приймаємо $C_{\text{нц}} = 9$ діб;

V – місткість силосу, т.

$$n = \frac{4681,88 \cdot 9}{6000} = 7,02$$

Приймаємо вісім силосів діаметром 15 м та висотою 27 м.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5.8 Складування сировинних матеріалів

Зберігання клінкеру

Для зберігання клінкеру вибираємо горизонтальний склад відкритого типу. Об'єм складу дорівнює:

$$V_{\text{кл}} = \frac{Q_{\text{кл}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{нкл}}}{\rho_{\text{нкл}}}, \quad (2.17)$$

де $Q_{\text{кл}}^{\text{доб}}$ – добова витрата клінкеру, т/доб;

$C_{\text{нкл}}$ – кількість діб нормативного запасу клінкеру; приймаємо $C_{\text{нкл}} = 4$ доби;

$\rho_{\text{нкл}}$ – насипна маса клінкеру, т/м³.

$$V_{\text{кл}} = \frac{3181,33 \cdot 4}{1,5} = 8483,55 \text{ м}^3$$

Площа складу для зберігання клінкеру становить:

$$F_{\text{кл}} = \frac{V_{\text{кл}} \cdot K_1}{K_2 \cdot H_{\text{м}}}, \quad (2.18)$$

де K_2 – коефіцієнт використання теоретичного об'єму штабеля; $K_2 = 0,85$;

K_1 – коефіцієнт враховуючий розриви та проїзди на складі; $K_1 = 1,2$;

$H_{\text{м}}$ – максимальна висота штабеля при використанні грейфера, м.

$$H_{\text{м}} = H_{\text{гр}} - 1,$$

де $H_{\text{гр}}$ – максимальна висота підйому грейфера; $H_{\text{гр}} = 20$ м.

$$H_{\text{м}} = 20 - 1 = 19 \text{ м},$$

$$F = \frac{8483,55 \cdot 1,2}{0,85 \cdot 19} = 630,36 \text{ м}^2$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зберігання вапняку

Для зберігання вапняку вибираємо горизонтальний склад відкритого типу.
Об'єм складу дорівнює:

$$V_B = \frac{Q_{BB}^{доб} \cdot C_{HB}}{\rho_{HB}}, \quad (2.19)$$

де $Q_{BB}^{доб}$ – добова витрата вапняку, т/доб;

C_{HB} – кількість діб нормативного запасу вапняку; приймаємо $C_{HB}=3$ доби;

ρ_{HB} – насипна маса вапняку т/м³; приймаємо $\rho_{HB} = 1,3$ т/м³.

$$V_B = \frac{2385,27 \cdot 3}{1,3} = 5504,47 \text{ м}^3$$

Площа складу для зберігання вапняку становить:

$$F_B = \frac{V_B \cdot K_1}{K_2 \cdot H_M}, \quad (2.20)$$

$$F_B = \frac{5504,47 \cdot 1,2}{0,85 \cdot 19} = 409,00 \text{ м}^2$$

Зберігання шлаку

Для зберігання шлаку вибираємо горизонтальний склад відкритого типу.
Об'єм складу дорівнює:

$$V_{ш} = \frac{(Q_{ВДГШ}^{доб} + Q_{ВШ}^{доб}) \cdot C_{нш}}{\rho_{нш}}, \quad (2.21)$$

де $Q_{ВДГШ}^{доб}$, $Q_{ВШ}^{доб}$ – добова витрата вологого шлаку в складі цементної шихти та сировинної суміші, відповідно, т/добу;

$C_{нш}$ – кількість діб нормативного запасу шлаку; приймаємо $C_{нш}=10$ діб ;

$\rho_{нш}$ – насипна маса шлаку т/м³; приймаємо $\rho_{нш} = 1,0$ т/м³.

$$V_{ш} = \frac{(1247,82 + 1485,68) \cdot 10}{1,0} = 27335 \text{ м}^3$$

Площа складу для зберігання шлаку становить:

$$F_{ш} = \frac{27335 \cdot 1,2}{0,85 \cdot 19} = 2031,08 \text{ м}^2$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зберігання гліни

Для зберігання гліни вибираємо горизонтальний склад відкритого типу. Об'єм складу дорівнює:

$$V_{\text{ск}} = \frac{Q_{\text{вск}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{нск}}}{\rho_{\text{нск}}}, \quad (2.22)$$

де $Q_{\text{вск}}^{\text{доб}}$ – добова витрата ставролітового концентрату, т/доб;

$C_{\text{нск}}$ – кількість діб нормативного запасу гліни; приймаємо $C_{\text{нск}} = 7$ діб;

$\rho_{\text{нск}}$ – насипна маса гліни т/м³; приймаємо $\rho_{\text{нск}} = 1,4$ т/м³.

$$V_{\text{г}} = \frac{228,23 \cdot 7}{1,4} = 1141,15 \text{ м}^3$$

Площа складу для зберігання ставролітового концентрату:

$$F_{\text{г}} = \frac{1141,15 \cdot 1,2}{0,85 \cdot 19} = 84,79 \text{ м}^2$$

Зберігання колошникового пилу

Для зберігання колошникового пилу вибираємо горизонтальний склад відкритого типу. Об'єм складу дорівнює:

$$V_{\text{кп}} = \frac{Q_{\text{вкп}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{нкп}}}{\rho_{\text{нкп}}}, \quad (2.23)$$

де $Q_{\text{вкп}}^{\text{доб}}$ – добова витрата колошникового пилу, т/добу;

$C_{\text{нкп}}$ – кількість діб нормативного запасу колошникового пилу; приймаємо

$C_{\text{нкп}} = 30$ діб;

$\rho_{\text{нкп}}$ – насипна маса колошникового пилу т/м³; приймаємо $\rho_{\text{нкп}} = 1,6$ т/м³.

$$V_{\text{кп}} = \frac{302,07 \cdot 30}{1,6} = 5663,81 \text{ м}^3$$

Площа складу для зберігання колошникового пилу:

$$F_{\text{кп}} = \frac{5663,81 \cdot 1,2}{0,85 \cdot 19} = 420,84 \text{ м}^2$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зберігання гіпсового каменю

Для зберігання гіпсового каменю вибираємо горизонтальний склад відкритого типу. Об'єм складу дорівнює:

$$V_{\text{ГК}} = \frac{Q_{\text{ГК}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{НГК}}}{\rho_{\text{НГК}}}, \quad (2.24)$$

де $Q_{\text{ГК}}^{\text{доб}}$ – добова витрата гіпсового каменю, т/добу;

$C_{\text{НГК}}$ – кількість діб нормативного запасу гіпсового каменю; приймаємо $C_{\text{НГК}} = 30$ діб;

$\rho_{\text{НГК}}$ – насипна маса гіпсового каменю, т/м³; приймаємо $\rho_{\text{НГК}} = 1,35$ т/м³.

$$V_{\text{ГК}} = \frac{220,75 \cdot 30}{1,35} = 4905,56 \text{ м}^3$$

Площа складу для зберігання гіпсового каменю:

$$F_{\text{ГК}} = \frac{4905,56 \cdot 1,2}{0,85 \cdot 19} = 364,50 \text{ м}^2$$

Зберігання сировинного борошна

Для складування та збереження сировинного борошна проектом передбачається встановлення змішувальних силосів.

При використанні принципу порційного коректування проектом передбачається встановлення силосів двох типів – гомогенізаційних (корекційних) та запасних.

Кількість корекційних силосів визначається за формулою:

$$n_{\text{КС}} = \frac{Q_{\text{СС}}^{\text{год}} \cdot \tau_0}{\rho_{\text{НСС}} \cdot 0,8 \cdot V_{\text{КС}}} + 0,8, \quad (2.24)$$

де $Q_{\text{СС}}^{\text{год}}$ – сумарна продуктивність сировинних млинів, т/год;

τ_0 – час, необхідний для перемішування сировинного борошна, відбору проб, коректування та перекачки у запасний силос; приймаємо $\tau_0 = 0,0056$ годин;

$\rho_{\text{НСС}}$ – насипна маса сировинного борошна, т/м³; приймаємо $\rho_{\text{НСС}} = 1,435$ т/м³;

$V_{\text{КС}}$ – корисна ємність силосу, м³.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{\text{КС}} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot K_{\text{В}}}{4} \cdot H, \quad (2.25)$$

де D – діаметр силосу, м;

$K_{\text{В}}$ – коефіцієнт використання силосу; приймаємо $K_{\text{В}}=0,85$;

H – висота силосу, м.

Обираємо корегуючий силос діаметром 6 м та висотою 11 м.

$$V_{\text{КС}} = \frac{3,14 \cdot 6^2 \cdot 0,85}{4} \cdot 11 = 264,23 \text{ м}^3$$

$$n_{\text{КС}} = \frac{173,37 \cdot 0,0056}{1,435 \cdot 0,8 \cdot 264,23} + 0,8 = 0,803$$

Для встановлення приймаємо один корегуючий силос діаметром 6 м та висотою 11 м.

Кількість запасних силосів визначається за формулою:

$$n_{\text{ЗС}} = \frac{\left(Q_{\text{СС}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{Н}} - n \cdot 0,8 \cdot V_{\text{КС}} \cdot \rho_{\text{НСС}} \right)}{V_{\text{ЗС}} \cdot \rho_{\text{НСС}}}, \quad (2.26)$$

де $V_{\text{ЗС}}$ – корисна ємність запасного силосу, м^3 .

$$V_{\text{ЗС}} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot K_{\text{В}}}{4} \cdot H. \quad (2.27)$$

Обираємо запасний силос діаметром 15 м та висотою 35 м.

$$V_{\text{ЗС}} = \frac{3,14 \cdot 15^2 \cdot 0,85}{4} \cdot 35 = 5254,59 \text{ м}^3$$

$$n_{\text{ЗС}} = \frac{(4160,90 \cdot 4 - 1 \cdot 0,8 \cdot 264,23 \cdot 1,435)}{5254,59 \cdot 1,435} = 2,16$$

До встановлення приймаємо три запасних силоси діаметром 15 м та висотою 35 м.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6 Технологічний контроль виробництва та гарантії виробника

Організація системи технологічного контролю у проектованому відділенні випалу клінкеру обертової печі Ø4,5 × 80 м забезпечує отримання напівфабрикату стабільно високої якості за мінімальних питомих витрат палива. Контроль параметрів розділено на безперервний автоматизований (на базі АСУ ТП) та лабораторний (аналітичний).

2.6.1 Автоматизований оперативний контроль процесу обпалювання Для підтримки стабільного термічного і термохімічного режиму в пічному агрегаті сухого способу виробництва реалізовано автоматичний моніторинг наступних параметрів із виведенням даних на пульт оператора:

- Термічні параметри: Безперервне вимірювання температури в зоні спікання матеріалу (оптичні пірометри, оптимум 1400-1450 °С), контроль температури відхідних газів за ступенями запічних циклонних теплообмінників та у реакторі-декарбонізаторі (850-900 °С).
- Аеродинамічний режим: Моніторинг розрідження в газоходах циклонної башти для виключення критичних підсосів повітря та контроль тиску дуття під колосниковими решітками охолоджувача клінкеру.
- Екологічний склад газів: Автоматичний експрес-аналіз вмісту O₂, CO та NO_x на виході з пічного агрегату для коригування подачі палива в пальник та декарбонізатор.

2.6.2 Лабораторний технологічний контроль Заводська лабораторія здійснює системний контроль відповідності характеристик сировини, добавок та готового в'язучого чинній нормативній базі:

- Вхідний контроль та шихтування: Перевірка хімічного складу вихідних матеріалів (вапняку, глину) та коригуючих компонентів проекту (доменного шлаку і колошникового пилу) з розрахунком КН (0,91), силікатного (2,2) та алюмінатного (1,6) модулів. Хімічний аналіз виконується відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-202:2009.
- Параметри сировинного борошна: Оцінка тонкості помелу та вологості суміші перед подачею в циклонну систему.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Контроль якості клінкеру: Визначення рівномірності спікання за вмістом вільного оксиду кальцію (СаО_{вільн} (1,0%) та за сипкою агою матеріалу.
- Приймально-здавальні випробування цементу: Проводять для кожної промислової партії за ДСТУ Б В.2.7-185, 187, 189:2009 (оцінюються тонкість помелу, терміни тужавлення, рівномірність зміни об'єму та міцність зразків-балочок у 2- та 28-добовому віці).

2.6.3 Гарантії виробника Підприємства гарантує відповідність фізико-механічних та будівельно-технічних властивостей портландцементу всім вимогам державних стандартів з моменту відвантаження за умов дотримання правил логістики та зберігання:

- для цементу, затареного в мішки – не менше 60 діб;
- для цементу, що транспортується насипом – не менше 45 діб.

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Опис відділення випалу цементу

Відділення випалу цементного заводу є ключовим підрозділом підприємства для термохімічної обробки підготовленої суміші та отримання основного напівфабрикату – портландцементного клінкеру. Цей етап є найбільш відповідальним технологічним переділом у загальній схемі виробництва, оскільки саме в процесі випалювання формується мінералогічний склад клінкеру, що безпосередньо визначає якісні та міцнісні характеристики майбутнього цементу [12].

На відміну от іншого технологічного обладнання заводу, яке може працювати з періодичними зупинками, печний агрегат сухого способу експлуатується в безперервному цілодобовому режимі з максимально можливою продуктивністю та високим коефіцієнтом технічного використання (КТВ). Стабільність роботи відділення випалу забезпечує техніко-економічну

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективність усього підприємства та мінімізацію питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів [10].

Основними технологічними параметрами, що підлягають безперервному контролю та автоматичному регулюванню в процесі випалювання клінкеру, є:

- температурні режими: температури матеріалу на виході з декарбонізатора та на виході з печі, температура відхідних газів, температура клінкеру на виході з холодильника;
- аеродинамічні параметри: величина розрідження (або тиску) у відповідальних зонах запічної системи, у системі циклонних теплообмінників та у тракці холодильника;
- режими газоочищення: перепад тиску на рукавних фільтрах та електрофільтрах, контроль викидів пилу та газоподібних сполук у димових газах.

Основним технологічним агрегатом у виробництві клінкеру за сухим способом є обертова піч, яка працює в єдиному комплексі з багатоступінчастими циклонними теплообмінниками та реактором-декарбонізатором. На відміну від застарілих типів печей, ця система забезпечує високу інтенсивність теплообміну між газовим потоком та сировинним борошном у підвішеному стані. Це дозволяє досягти ступеня декарбонізації сировини до 85-90 % ще до надходження матеріалу у піч, що суттєво скорочує питомі витрати палива та підвищує стабільність роботи всього відділення випалу [10].

Сухий спосіб виробництва, що реалізований у даному проекті, має суттєво вищі техніко-економічні показники порівняно з класичним мокрим методом. Головною перевагою проектуємого печного агрегату є кардинальне зниження питомих витрат теплової енергії на випалювання сировинної шихти [1].

В основу роботи печі $\varnothing 4,5 \times 80$ м із запічною системою циклонних теплообмінників покладено принцип високоінтенсивного конвективного теплообміну між газовим потоком та дисперсним сировинним борошном у підвішеному (зваженому) стані. Тонкий помел сировинних компонентів забезпечує колосальне збільшення питомої поверхні матеріалу. Максимальне використання цієї поверхні для прямого контакту з гарячими відхідними газами

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє інтенсифікувати теплообмінні процеси та здійснити швидке прогрівання матеріалу до температур початку декарбонізації ще до його надходження безпосередньо в обертову піч [10].

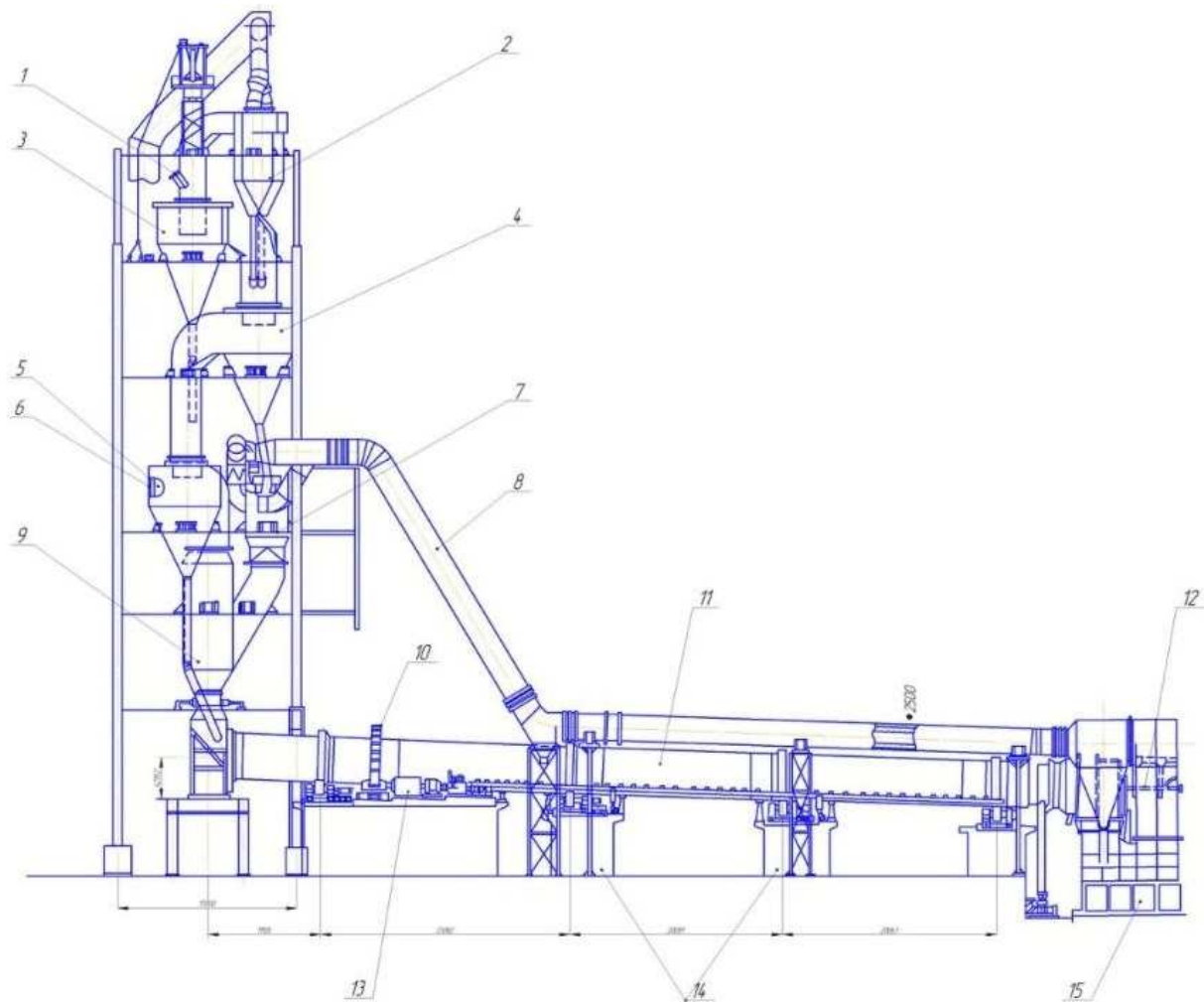
При випалюванні сухих сировинних сумішей геометричні розміри обертових печей є значно меншими порівняно з агрегатами мокрого способу аналогічної продуктивності. Це обумовлено тим, що початкові процеси термічної підготовки матеріалу (сушіння, нагрівання та значна частина кальцинації) повністю винесені за межі барабана печі – у спеціальні запічні теплообмінні пристрої з інтенсивним конвективним теплообміном. Таке технологічне рішення забезпечує максимально ефективне використання теплового потенціалу відхідних газів [10].

Висока паливна економічність, компактність обладнання та зниження капітальних витрат на спорудження забезпечили таким пічним комплексам домінуюче становище в сучасній цементній промисловості. Завдяки високому ступеню декарбонізації сировинного борошна, яке надходить у піч безпосередньо з декарбонізатора, суттєво знижується теплове навантаження на зварювальну зону та зону спікання печі. Зазначені особливості в поєднанні з гнучкістю та простотою автоматичного регулювання дозволяють ефективно управляти температурними режимами та забезпечувати стабільну і надійну експлуатацію проєктованого пічного агрегату розміром $\varnothing 4,5 \times 80$ м [10].

3.2 Опис конструкції та роботи пічного агрегату $\varnothing 4,5 \times 80$ м

Запроектований пічний агрегат працює за прогресивним сухим способом виробництва і являє собою комплекс, що складається з багатоступінчастої запічної циклонної системи з декарбонізатором та безпосередньо обертової печі $\varnothing 4,5 \times 80$ м з допоміжним механічними вузлами (рис. 3.1).

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1-Патрубок для подачі сировинного; 2-Циклони IV ступеню; 3-Циклони III ступеню; 4-Циклони II ступеню; 5-Циклони I ступеню; 6-Футерівка; 7-Декарбонізатор; 8-Повітропровід з охолоджувача; 9-Пилосаджувальна камера; 10-Підвенцова шестерня; 11-Обертова піч $\varnothing 4,5 \times 80$; 12-Пальник; 13-Головний електродвигун; 14-Бетонні опори; 15-Охолоджувач клінкеру (ну или вот спецификация).

3.2.1 Конструкція та механічне обладнання обертової печі

Основний реакційний об'єм утворює сталевий зварний барабан печі (поз. 11) довжиною 80 м та внутрішнім діаметром 4,5 м. Корпус печі встановлений під ухилом 4 % до горизонтальної осі та спирається на чотири залізобетонні опори (поз. 14) за допомогою сталевих бандажів, які жорстко або плаваюче закріплені на корпусі печі, та опорних роликів. Опорні вузли сприймають колосальні статичні та динамічні навантаження від маси печі, вогнетривкої футерівки та матеріалу, що обробляється [10].

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для захисту металевого кожуха від впливу високих температур (до 1500 – 1600 °С у зоні спікання) хімічної агресії клінкерного розплаву передбачена внутрішня вогнетривка футерівка (поз. 6). У зоні спікання товщина футерівки становить 200 - 230 мм і виконується з периклазошпінелідної цегли, яка здатна утримувати стійку захисну обмазку (гарнісаж) [10].

Обертання печі навколо своєї осі з регульованою частотою 3,5 - 4 об/хв забезпечується головним приводом, до складу якого входить головний електродвигун (поз. 13), редуктор та підвінцова шестерня (поз. 10). Підвінцова шестерня закріплена на корпусі печі за допомогою тангенціальних пружинних пластин, що компенсують температурні деформації та биття барабана під час роботи [10].

3.2.2 Технологічний процес у пічному агрегаті

Робота агрегату здійснюється в безперервному протитоковому режимі. Тонкодисперсне сировинне борошно через патрубок подачі (поз. 1) надходить у двогілкову систему циклонних теплообмінників IV, III, II та I ступенів (поз. 2,3,4,5). Тут у зваженому стані за лічені секунди матеріал нагрівається відхідними газами до температури 700 - 750 °С [12].

Далі сировина потрапляє у реактор-декарбонізатор (поз. 7), куди через повітропровід третинного повітря (поз. 8) подається гаряче повітря з охолоджувача, а також спалюється до 60 % всього технологічного палива. У декарбонізаторі при температурі 850-900 °С відбувається інтенсивний ендотермічний процес розкладу карбонату кальцію ($\text{CaCO}_3 \Rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$). Ступінь кальцинації матеріалу перед входом у піч становить 85 - 90 %. Пил, що виноситься газами, вловлюється пилосаджувальною камерою (поз. 9) і повертається в процес [10].

Частково декарбонізований матеріал надходить у «холодний» кінець. Усередині печі завершуються процеси декарбонізації, відбуваються реакції твердофазового синтезу мінералів клінкеру, а в зоні спікання при температурі матеріалу 1450 °С утворюється клінкерний розплав, де завершується формування аліту (C_3S) [12].

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Готовий розжарений клінкер з температурою близько 1300 °С вивантажується з печі через вихідну головку, де встановлений багатоканальний пальник (поз. 12), та надходить в охолоджувач клінкеру (поз. 15). У колосниковому холодильнику клінкер різко охолоджується повітрям до температури $t = t_{\text{зовн}} + 65$ °С, що забезпечує фіксацію необхідної кристалічної структури напівфабрикату та високу якість майбутнього цементу [10].

3.3 Заходи щодо охорони праці та довкілля

Технологічний процес виробництва клінкеру сухим способом у пічному агрегаті Ø4,5 × 80 м регламентується чинними законодавчими та нормативно-правовими актами України з питань охорони праці, промислової безпеки та охорони навколишнього природного середовища [13].

3.3.1 Охорона навколишнього середовища

Основним екологічним аспектом при експлуатації печі обертової є викиди в атмосферу пилоповітряної суміші та димових газів. Для дотримання чинних державних санітарних норм згідно з наказ від 27.06.2006 № 309 Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел [13].

- Контроль викидів пилу: Відповідно до нормативних вимог, концентрація пилу на межі санітарно-захисної зони (СЗЗ) підприємства не повинна перевищувати 0,15 мг/м³ (згідно з ДСП 173-96 Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів) [13].

- Двоступенева система очищення: Для досягнення технологічного нормативу викидів (не більше 20-30 мг/м³ на зрізі труби) реалізовано схему: Перший ступінь (грубе очищення): Циклонні теплообмінники IV–I ступенів (поз. 2-5) та пилоосаджувальна камера (поз. 9), які забезпечують вловлювання до 90 - 95 % великих фракцій пилу. Другий ступінь (тонке очищення): Направлення газів у високоефективний електрофільтр типу ЕГА або рукавний фільтр, що відповідає вимогам найкращих доступних технологій (НДТМ для цементної промисловості) [1].

									4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

- Поводження з відходами: Вловлений пил повністю повертається в технологічний процес (рециркуляція), що виключає утворення твердих відходів у даному відділенні та відповідає Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX Про управління відходами [13].

3.3.2 Охорона праці та промислова безпеки

Умови праці у відділенні випалу цементу запроектовані згідно з вимогами Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII Про охорону праці та НПАОП 26.5-1.02-14 Правила охорони праці у цементній промисловості [13].

- Правила охорони праці у цементній промисловості. Параметри виробничого середовища: Показники мікроклімату в робочій зоні відповідають вимогам санітарних норм і правил. Зниження теплового випромінювання від корпусу печі (температура спалаху факела до 1600°C) забезпечується високоякісною футерівкою (поз. 6), яка знижує температуру зовнішнього сталевого кожуха печі до безпечних показників [10].

- Зниження шуму та вібрації: Основним джерелами шуму є головний електродвигун печі (поз. 13), редуктор та вентилятори охолоджувача клінкеру (поз. 15). Рівень звукового тиску на робочих місцях приведено до нормативних значень згідно з ДСТУ EN ISO 11690-1:2022 за рахунок встановлення обладнання на звукоізолюючі фундаменти (бетонні опори поз. 14) та використання кожухів підвінцової шестерні (поз. 10). При виконанні обходів персонал забезпечується ЗІЗ органів слуху (протишумові навушники за ДСТУ EN 352-1:2018) [13].

- Автоматизація та безпека процесів: Для виключення травматизму та перебування людей у небезпечних зонах реалізовано повну автоматизацію процесу на базі АСУ ТП з винесенням робочого місця оператора у Центральний пульт оператора (ЦПО). Контроль параметрів здійснюється дистанційно.

- Пожежна та вибухобезпека: Оскільки у пальнику (поз. 12) спалюється паливо, проектування систем виконано за ДСТУ EN ІЕС 60079-0:2019 (вибухонебезпечні газові середовища). Передбачено автоматичне блокування: у разі згасання факела або падіння тиску повітря система миттєво відсікає подачу палива у піч та декарбонізатор за допомогою автоматичних клапанів [10].

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок

У дипломному проекті на основі проведених технологічних розрахунків та аналізу сучасного стану силікатної промисловості розроблено проект цеху випалу клінкеру для заводу з виробництва портландцементу за сухим способом.

Технологічні розрахунки: Розраховано матеріальний баланс відділення випалу клінкеру обертової печі $\varnothing 4,5 \times 80$ м. Визначено оптимальний склад чотирьохкомпонентної сировинної суміші із залученням активних мінеральних та коригуючих компонентів – доменного шлаку та колошникового пилю. Це дозволило забезпечити задані розрахункові модулі клінкеру: коефіцієнт насичення $KH = 0,91$, силікатний модуль $n = 2,2$, алюмінатний модуль $p = 1,6$.

Обґрунтування обладнання: Для інтенсифікації процесу випалу та зниження витрат палива теплотехнічна схема доукомплектована декарбонізатором та чотириступеневою системою циклонних теплообмінників, що забезпечує високий ступінь попередньої декарбонізації матеріалу (до 90%) до його надходження в піч.

Автоматизація та контроль: Розроблено та описано комплексну систему автоматизованого технологічного контролю (АСУ ТП), що включає безперервний моніторинг температурних зон (в межах 1400-1450 °C), газового складу (O_2 , CO , NO_x) та аеродинамічних параметрів, що гарантує стабільність якості клінкеру та безпеку роботи персоналу.

Екологія та безпека: Передбачені ефективні заходи з охорони праці відповідно до Закону України "Про охорону праці" та впроваджено двоступеневу схему очищення відхідних газів (циклони + електрофільтр), що забезпечує уловлювання пилю та його повне повернення (рециркуляцію) у виробничий цикл. Запропоновані рішення доводять технічну доцільність, економічну ефективність та високу конкурентоспроможність проекту в сучасних умовах ринку будівельних матеріалів.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Література

1. Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію.– Європейська комісія Об'єднаний дослідницький центр, 2013.– 512 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Цементи загальнобудівельного призначення. технічні умови.
3. ДСТУ EN 196-1:2019 Методи випробування цементу. Частина 1. Визначення міцності.
4. . [Дворкін Л.Й.Будівельні розчини: Навчальний посібник / Дворкін Л.Й. - Київ.:Каравела, 2021.-222 с.](#)
5. Шевченко О.Ф., Салей А.А. Оптимізація роботи трубних кульових млинів. Дніпро: УДХТУ, 2009. – 158 с.
6. ДСТУ Б.В.2.7.-187:2009 Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск.
7. ДСТУ Б.В.2.7-128:2009 Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів
8. ДСТУ Б.В.2.7-46:2010 Цементи загальнобудівельного призначення. Видання офіційне. Київ, Мінрегіонбуд України 2011
9. А.О. Лідньов, Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. URL: <https://www.sop.com.ua/> (дата звернення:18 січня 2022)
10. [Лоскутов Ю. А. , Максимов В.М. , Веселовский В. В. Механическое оборудование предприятий по производству вяжущ](#)
- 11.[Дворкін Л.Й. Д24 Будівельні в'язучі матеріали. – Рівне: НУВГП, 2019.- 622 с.](#)
- 12.[І. В. Пилипенко, О. О. Сікорський «Хімічні технології неорганічних в'язучих речовин, кераміки, скла та полімерних і композиційних матеріалів» – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 134 с.](#)
- 13.[І.С. Суббота, Л.М. Спасьонова, Т.І Булка «Основи технології силікатних матеріалів. Загальні відомості виробництва кераміки, скла та ситалів» – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 103 с.](#)

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК

Додаток А

Розрахунок складу сировинної суміші для випалу портландцементного клінкеру виконується аналітичним методом на основі заданих характеристик проектного клінкеру: коефіцієнт насиченості (КН) = 0,91, силікатного модуля (n) = 2,2 та алюмінатному модулю (р) = 1,6.

Вихідними даними для розрахунку є хімічний склад чотирех компонентів сировинної суміші: вапняк, шлак, глина та колошниковий пил.

Вихідні дані: сировинні компоненти - вапняк, шлак, глина, колошниковий пил;

хімічний склад компонентів у табл. 2.1;

КН = 0,91;

n = 2,2;

р = 1,6.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад і природна вологість матеріалів, мас %.

Матеріал	Вологість	S _{CaO}	l ₂	F ₂	g	S _{SiO2}	ВПП	Σ
Вапняк	5,50	2,11	0,96	0,68	54,35	1,46	0,03	98,86
Шлак	4,51	35,96	4,77	0,30	46,91	7,54	0	99,53
Глина	19,32	27,60	46,82	15,36	4,68	0,66	0	100
Колошни ковий пил	11,03	15,63	2,35	25,04	36,3	10,55	0,73	100

Підставляючи значення хімічного складу сировинних компонентів, обчислюємо значення коефіцієнтів:

$$a_1 = 2,8 \cdot 0,91 \cdot 2,11 + 1,65 \cdot 0,96 + 0,35 \cdot 0,68 - 54,35 = -47,15;$$

$$b_1 = 2,8 \cdot 0,91 \cdot 35,96 + 1,65 \cdot 4,77 + 0,35 \cdot 0,30 - 46,91 = 52,69;$$

$$c_1 = 2,8 \cdot 0,91 \cdot 27,60 + 1,65 \cdot 46,82 + 0,35 \cdot 15,36 - 4,68 = 148,27;$$

$$d_1 = 36,3 - 2,8 \cdot 0,91 \cdot 15,63 + 1,65 \cdot 2,35 + 0,35 \cdot 25,04 = 9,24;$$

$$a_2 = 2,2 \cdot (0,96 + 0,68) - 2,11 = 1,50;$$

$$b_2 = 2,2 \cdot (4,77 + 0,30) - 35,96 = -24,81;$$

$$c_2 = 2,2 \cdot (46,82 + 15,36) - 27,60 = 109,20;$$

$$d_2 = 15,63 - 2,2 \cdot (2,35 + 25,04) = -44,63;$$

$$a_3 = 1,6 \cdot 0,68 - 0,96 = 0,13;$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$b_3 = 1,6 \cdot 0,30 - 4,77 = -4,29;$$

$$c_3 = 1,6 \cdot 15,36 - 46,82 = -22,24;$$

$$d_3 = 2,35 - 1,6 \cdot 25,04 = -37,71.$$

Систему рівнянь:

$$X = \frac{d_1(b_2c_3 - b_3c_2) - d_2(b_1c_3 - b_3c_1) + d_3(b_1c_2 - b_2c_1)}{a_1(b_2c_3 - b_3c_2) - a_2(b_1c_3 - b_3c_1) + a_3(b_1c_2 - b_2c_1)} = 8,59;$$

$$Y = \frac{a_1(d_2c_3 - d_3c_2) - a_2(d_1c_3 - d_3c_1) + a_3(d_1c_2 - d_2c_1)}{a_1(b_2c_3 - b_3c_2) - a_2(b_1c_3 - b_3c_1) + a_3(b_1c_2 - b_2c_1)} = 5,41;$$

$$Z = \frac{a_1(b_2d_3 - b_3d_2) - a_2(b_1d_3 - b_3d_1) + a_3(b_1d_2 - b_2d_1)}{a_1(b_2c_3 - b_3c_2) - a_2(b_1c_3 - b_3c_1) + a_3(b_1c_2 - b_2c_1)} = 0,70.$$

Підставляючи значення коефіцієнтів у формули для обчислення відсоткового вмісту компонентів у сировинній суміші, одержуємо:

$$X + Y + Z + 1 = 8,59 + 5,41 + 0,70 + 1 = 15,70 \text{ мас. частин.}$$

Склад сировинної суміші:

$$\text{Вапняк} \frac{X \cdot 100}{X + Y + Z + 1} = \frac{8,59 \cdot 100}{15,70} = 54,72$$

$$\text{Шлак} \frac{X \cdot 100}{X + Y + Z + 1} = \frac{8,59 \cdot 100}{15,70} = 34,44$$

$$\text{Глина} \frac{X \cdot 100}{X + Y + Z + 1} = \frac{8,59 \cdot 100}{15,70} = 4,47$$

$$\text{Колошниковий пил} \frac{X \cdot 100}{X + Y + Z + 1} = \frac{8,59 \cdot 100}{15,70} = 6,37$$

Таблиця 2.2– Хімічний склад сировинної суміші і клінкеру, мас. %

Матеріал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	ВПП	Ін	Σ
Вапняк	1,15	0,53	0,37	29,74	0,80	0,02	21,49	1,14	54,72
Шлак	12,38	1,64	0,10	16,15	2,60	0,00	0,46	0,47	34,44
Глина	1,23	2,09	0,69	0,21	0,03	0,00	0,22	0,00	4,47
Колошниковий пил	1,00	0,15	1,59	2,31	0,67	0,05	0,60	0,00	6,37
С/суміш	15,77	4,41	2,76	48,42	4,10	0,06	22,77	1,72	100,00
Клінкер	20,42	5,71	3,57	62,69	5,30	0,08	0,00	2,22	100,00

Перевіряємо правильність виконаного розрахунку:

$$KH = \frac{CaO - 1,65 \cdot Al_2O_3 - 0,35 \cdot Fe_2O_3}{2,8 \cdot SiO_2} = \frac{62,69 - 1,65 \cdot 5,71 - 0,35 \cdot 3,57}{2,8 \cdot 20,42} = 0,91$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$n = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} = \frac{20,42}{5,71 + 3,57} = 2,2$$

$$p = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} = \frac{5,71}{3,57} = 1,6$$

Розрахункові значення КН, n і p збігаються з заданими, отже, розрахунок виконаний вірно.

Мінералогічний склад клінкеру:

$$C_3S = 3,8 \cdot (3 \cdot KH - 2) \cdot S = 3,8 \cdot (3 \cdot 0,91 - 2) \cdot 20,42 = 56,64\%$$

$$C_2S = 8,6 \cdot (1 - KH) \cdot S = 8,6 \cdot (1 - 0,91) \cdot 20,42 = 15,80\%$$

$$C_3A = 2,65 \cdot (A - 0,64 \cdot F) \cdot S = 2,65 \cdot (5,71 - 0,64 \cdot 3,57) \cdot 20,42 = 9,08\%$$

$$C_4AF = 3,04 \cdot F = 3,04 \cdot 3,57 = 10,85\%$$

Кількість рідкої фази клінкеру:

$$L = 1,12 \cdot C_3A + 1,35 \cdot C_4AF + MgO + SO_3 + \text{Пр} ;$$

$$L = 1,12 \cdot 9,08 + 1,35 \cdot 10,85 + 5,30 + 0,08 + 2,22 = 32,43$$

Таблиця 2.3 – Речовий склад сировинної суміші

Матеріал	ВПП	Вміст компонентів, мас.%			
		вапняк	шлак	Глина	Колошниковий пил
Сировинна суміш	22,77	54,72	34,44	4,47	6,37