

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 : Проект відділення помелу цементу з установкою трубних кульових млинів розміром 3,2×15 м за мокрим способом виробництва.

За освітньою програмою бакалавр

Зі спеціальності: 161 хімічні технології та інженерія

Виконав : студент 4 курсу групи 4-ТС-53

(підпис)(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Максим ЗАМОРЕНИЙ

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)

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 Master's Bachelor's Thesis
Bachelor

On the topic: Design of a cement grinding plant equipped with
3.2×15 m tubular ball mills using the wet process.
in the specialty: 161 chemical technology and engineering

Done by the student of the group: group 4-TS-53 Maksym ZAMORENYI
(name, surname)

Scientific Supervisor: Assistant, PhD, Yuliia KALISHENKO
(position, name, surname)

Normative controller:

(position, name, surname)

Supervisors Consultants

(chapter title heading)

(position, name, surname)

(chapter title heading)

(position, name, surname)

(chapter title heading)

(position, name, surname)

(chapter title heading)

(position, name, surname)

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 Заморений Максим Олександрович

(Прізвище, Ім'я, По-батькові)

1.Тема роботи:: Проект відділення помелу цементу з установкою трубних
кульових млинів розміром 3,2×15 м за мокрим способом виробництва.

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

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

Затверджені наказом від _____ «___» _____ 202_р. № _____

2.Строк подання студентом роботи:01.06.2026 р.

3.Вхідні дані до роботи: спосіб виробництва – сухий, відсоток випуску кожного з
видів цементів – марка ПЦ ІІ/А-ІІІ - 400 (55%), ПЦ ІІ/А-В-400 (45%)

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

Вступ. 1.Загальна частина. 2 Технологічна частина. 3. Спеціальна частина. 4.
Охорона праці. Висновки. Список використаної літератури. Додатки.

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

1. Технологічна схема - 1 аркуш.

2. Трубний млин Ø 3,2×15 м – 1 аркуш.

6. Консультанти розділів роботи :

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв (підпис студента, дата)
Вступ	доктор філософії (PhD), Калішенко Юлія Русланівна		
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	11.05.2026 р.	
2.	Загальна частина	20.05.2026 р.	
3.	Технологічна частина	20.05.2026 р.	
4.	Спеціальна частина	29.05.2026 р.	
5.	Охорона праці	30.05.2026 р.	
6.	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	05.06.2026 р.	
	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри		
	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної системи		

Студент _____ Максим ЗАМОРЕНИЙ
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

[illegible]

					4ТС53.026.161.001 ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проект відділення помелу цементу з установкою трубних кульових млинів розміром 3,2×15 м за мокрим способом виробництва.	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Заморений М.О							
Перевір.	Калішенко Ю.Р.							
Н. Контр.	Калішенко Ю.Р.							
Затверд.	Зайчук О.В.				ННІ УДУНТ УДХТУ, каф ХТКС та БМ, гр. 4-ТС-53			

РЕФЕРАТ

Записка пояснювальна: с., рис., табл., джерел.

У роботі проведено комплексне проєктування відділення помелу цементного заводу, що базується на впровадженні високоефективних трубних кульових млинів Ø3,2×15 м.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан виробництва в'язучих матеріалів, обґрунтовано вибір технологічної схеми та визначено оптимальні параметри функціонування помольного обладнання.

Другий розділ присвячено виконанню детальних технологічних розрахунків, зокрема матеріального балансу цеху, визначенню продуктивності млинів та підбору допоміжного обладнання для забезпечення стабільного випуску цементу заданої якості.

У третьому розділі розроблені технічні рішення щодо автоматизації процесів дозування та помолу, які дозволяють оптимізувати питомі енерговитрати та підвищити стабільність хімічного складу готової продукції. Четвертий розділ охоплює питання охорони праці та промислової безпеки, включаючи впровадження сучасних аспіраційних систем для мінімізації негативного впливу на довкілля та забезпечення нормативних санітарно—гігієнічних умов на виробничих ділянках.

У результаті проєктування відділення помелу на базі кульових млинів Ø3,2×15 м розраховано матеріальний баланс, обґрунтовано впровадження систем автоматизації та аспірації, а також підтверджено високу економічну ефективність і екологічну безпеку рішень, що забезпечують стабільний випуск якісної продукції за знижених енерговитрат.

ЦЕМЕНТНИЙ ЗАВОД,ТУРБІНИЙ КУЛЬОВИЙ МЛИН,
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ПОМЕЛ, НЕДОГАРКИ

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	
1.1 Характеристика сировинних матеріалів.....	
1.2 Асортимент продукції. Вимоги стандарту.....	
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	
2.1 Опис технологічної схеми.....	
2.2 Розрахунок сировинної суміші.....	
2.3 Розрахунок питомих норм витрат сировинних матеріалів.....	
2.4 Розрахунок потужності заводу і матеріального балансу.....	
2.5 Вибір і розрахунок основного технологічного устаткування....	
2.6 Технологічний контроль виробництва.....	
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	
3.1 Опис сировинного відділення заводу.....	
3.2 Опис трубного кульового млина $\varnothing 3,2 \times 15$ м.....	
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	
4.1 Небезпечні та шкідливі фактори на виробництві.....	
4.2 Техніка безпеки у виробничому відділенні.....	
ВИСНОВКИ	
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	

ВСТУП

Цементна промисловість є фундаментом сучасної будівельної індустрії, виступаючи базовою ланкою у забезпеченні життєдіяльності та розвитку національної економіки. Якість портландцементу, що визначається його міцнісними характеристиками, термінами тужавіння та довговічністю, безпосередньо залежить від ефективності технологічних процесів підготовки та помелу сировинних компонентів. Враховуючи, що процес подрібнення є найбільш енергоємною стадією виробничого циклу, на яку припадає до 40–60% загальних витрат електроенергії підприємства, питання оптимізації роботи помольних агрегатів набуває особливої ваги.[1,2] Удосконалення технології помелу дозволяє не лише знизити собівартість готової продукції, а й забезпечити стабільно високу дисперсність цементу, що є ключовим фактором прискорення реакцій гідратації та набору ранньої міцності будівельних композитів.[3,4]

У контексті вибору технологічного обладнання трубні кульові млини продовжують утримувати статус найбільш надійних та економічно обґрунтованих рішень. Їхня висока експлуатаційна надійність, простота конструктивного виконання, ремонтпридатність та здатність працювати в умовах постійних динамічних навантажень роблять їх незамінними для безперервних виробничих циклів.[5] Ці агрегати дозволяють здійснювати тонкий помел матеріалів із різними фізико–механічними властивостями, забезпечуючи високу якість гомогенізації кінцевого продукту, що є критично важливим для виробництва високомарочних цементів.

Застосування мокрого способу виробництва при проєктуванні відділення помелу є особливо виправданим у випадках використання складної сировинної бази, що характеризується значною неоднорідністю хімічного складу. Саме мокрий спосіб забезпечує можливість глибокої гомогенізації сировинних компонентів у водному середовищі, що дозволяє

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

отримувати шлам із високою точністю дотримання заданого хімічного модуля. Технологічні переваги цього методу включають зниження рівня запиленості виробничих приміщень, що позитивно впливає на екологічні показники підприємства та спрощує організацію систем аспірації. Транспортування сировини у вигляді шламу за допомогою насосних систем є логістично ефективнішим та менш енерговитратним у порівнянні з використанням механічного транспорту для переміщення пилоподібних матеріалів. [6]

Метою даного дипломного проєкту є теоретичне обґрунтування та технічне проєктування відділення помелу цементу із застосуванням трубних кульових млинів розміром $3,2 \times 15$ м за мокрим способом виробництва, що має на меті забезпечення заданої продуктивності лінії, досягнення необхідних фізико-механічних характеристик готового продукту та оптимізацію енергетичних витрат на стадії подрібнення сировинних компонентів. Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення низки взаємопов'язаних завдань: по-перше, вибір та обґрунтування оптимальної технологічної схеми помелу з урахуванням вимог до дисперсності та вологості шламу; по-друге, виконання детальних розрахунків матеріального балансу, включаючи визначення витрат сировинних компонентів, коригувальних добавок та води для гарантування стабільного хімічного складу кінцевого продукту; по-третє, підбір та технічний розрахунок основного обладнання, зокрема визначення раціональних режимних параметрів роботи млинів, таких як частота обертання, ступінь завантаження помольними тілами та потужність приводу, разом із вибором допоміжних систем транспортування; по-четверте, глибокий аналіз фізико-хімічних закономірностей процесу подрібнення у водному середовищі та впливу гранулометричного складу шихти на ефективність гомогенізації; та, нарешті, розробка комплексу заходів з охорони праці та промислової безпеки, спрямованих на мінімізацію

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

виробничих ризиків та забезпечення нормативних умов експлуатації обладнання. У межах даної роботи об'єктом дослідження визначено технологічний процес помелу цементної сировини за мокрим способом, тоді як предметом дослідження виступають безпосередньо робочі процеси та закономірності функціонування трубного кульового млина розміром $3,2 \times 15$ м, а також залежність ключових техніко–економічних показників виробництва від обраних режимних параметрів агрегату.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика сировинних матеріалів для виробництва цементу

Сучасний цемент являє собою складну багатокомпонентну в'язучу систему, експлуатаційні характеристики якої формуються завдяки чітко підібраній взаємодії базової сировини – цементного клінкеру, регулятора тужавлення (гіпсу) та різноманітних активних мінеральних добавок. Кожен із цих компонентів має унікальний хімічний склад та фізичні властивості, що цілеспрямовано модифікують кінцевий продукт.

Основою будь-якого цементу є портландцементний клінкер–напівфабрикат, який забезпечує головні в'язучі властивості.[7] Він утворюється шляхом випалу до спікання (за температури близько 1450 °С) тонкоподрібненої суміші вапняку та глини. Фізично він виходить із обертової печі у вигляді щільних, високоабразивних гранул темно-сірого або зеленувато-чорного кольору з густиною близько 3,15 г/см³. Хімічний склад клінкеру базується на чотирьох основних оксидах: кальцію (СаО, 60–67%), кремнію (SiO₂, 17–25%), алюмінію (Al₂O₃, 3–8%) та заліза (Fe₂O₃, 0,5–6%). У процесі синтезу вони утворюють головні клінкерні мінерали, кожен з яких по-різному впливає на властивості цементу.[8,9] Найважливішим є аліт (трьохкальцієвий силікат), який становить 50–70% маси клінкеру і забезпечує швидке твердіння та високу ранню міцність бетону. Беліт (двокальцієвий силікат, 15–30%) гідратується значно повільніше, відповідаючи за безперервний приріст міцності на пізніх стадіях експлуатації. Трьохкальцієвий алюмінат (5–10%) сприяє швидкому початковому схоплюванню, але водночас він є більш схильним до сульфатної корозії мінералом, тоді як чотирьохкальцієвий алюмоферит (5–15%) відіграє роль плавню при випалі та визначає характерний колір цементу.

Для того щоб запобігти миттєвому схоплюванню цементної суміші, яке провокує трьохкальцієвий алюмінат при контакті з водою, під час помелу

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

клінкеру до нього обов'язково додають гіпс (двоводний сульфат кальцію, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Зазвичай його частка становить 3–5% від загальної маси. Фізично це відносно м'який мінерал кристалічної будови з густиною близько 2,3 г/см³. Хімічна роль гіпсу полягає у зв'язуванні алюмінатів з утворенням на поверхні цементних зерен захисної кристалічної плівки гідросульфоалюмінату кальцію (етрингіту).[10] Ця плівка тимчасово блокує доступ води до клінкерних мінералів, дозволяючи подовжити терміни тужавлення до нормативних меж, що робить можливим транспортування та укладання бетонної суміші.

З метою зниження собівартості, покращення екологічності та надання цементу спеціальних експлуатаційних властивостей, до його складу вводять мінеральні добавки. Однією з найпоширеніших є доменний гранульований шлак – побічний продукт металургійного виробництва.[11] Завдяки різкому охолодженню розплаву водою, шлак набуває склоподібної (аморфної) пористої структури. Його хімічний склад близький до клінкеру (містить оксиди кальцію, кремнію та алюмінію), що надає йому гідравлічної активності. Введення шлаку дещо сповільнює процес твердіння, але суттєво знижує екзотермію (виділення тепла під час гідратації), що робить такий цемент незамінним для масивного бетонування, де внутрішній перегрів може викликати тріщини. Крім того, шлак значно підвищує стійкість цементного каменю до агресивних сульфатних вод.

Іншим важливим класом добавок є пуцолани – матеріали природного (вулканічні туфи, трепел) або штучного походження, які відрізняються високим вмістом активного аморфного кремнезему.[12] Фізично це легкі, високопористі матеріали, які після помелу мають дуже велику питому поверхню. Сама по собі пуцолана у воді не твердіє, але її активний кремнезем вступає в хімічну реакцію з вільним гідроксидом кальцію ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), який виділяється під час гідратації клінкерного аліту. В результаті цієї взаємодії утворюються додаткові нерозчинні гідросилікати кальцію, які

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

ущільнюють пори цементного каменю. Це кардинально підвищує водонепроникність бетону та його опірність до вилуговування прісними (м'якими) водами.

Особливу роль серед мінеральних добавок мають піритні недопалки – цінна мінеральна добавка, що утворюється як побічний продукт виробництва сірчаної кислоти під час випалу піритних концентратів. За своїм хімічним складом вони містять значну кількість оксидів заліза, а також домішки кремнезему, глинозему та інших мінеральних компонентів. Завдяки високому вмісту залізовмісних сполук піритні недопалки використовуються як коригувальна добавка у виробництві цементу, забезпечуючи необхідний вміст оксиду заліза в сировинній суміші.[13] Їх застосування сприяє стабілізації хімічного складу шихти, покращенню процесів клінкероутворення та більш раціональному використанню природної сировини. Використання піритних недопалків у технологічному процесі дозволяє утилізувати промислові відходи, зменшуючи екологічне навантаження на навколишнє середовище та підвищуючи ресурсоефективність цементного виробництва.[14,15]

1.2 Асортимент продукції. Вимоги стандартів

Асортимент цементної продукції, що випускається на сучасному підприємстві, та вимоги до її якості суворо регламентуються національними стандартами, гармонізованими з європейською нормативною базою. Основним документом, що визначає класифікацію, склад, технічні умови та критерії відповідності загальнобудівельних цементів в Україні, є ДСТУ Б EN 197–1 (Цемент. Частина 1). Склад, технічні умови та критерії відповідності загальнобудівельних цементів. Відповідно до цього стандарту[16], продукція підприємства класифікується за речовинним складом, класами міцності та

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

швидкістю твердіння, що дозволяє задовольняти різноманітні потреби будівельної галузі.[17]

Основу асортименту підприємства становлять портландцементи двох головних типів із мінеральними добавками: портландцемент марок ПЦ II/A–III–400 та ПЦ II/A–B–400, що входять до широкої групи портландцементів з мінеральними добавками типу ПЦ II (СЕМ II). Цей вид продукції передбачає часткове заміщення клінкеру активними мінеральними добавками (доменним шлаком, пуцоланою, золою–виношення або вапняком). Стандарт поділяє цей тип цементу на дві підгрупи залежно від масової частки добавок: підтип «А» містить від 6% до 20% мінеральних компонентів, а підтип «В» – від 21% до 35%. Виробництво цементів ПЦ II дозволяє підприємству не лише знизити енергоємність та собівартість продукції, але й надати в'язучому специфічних властивостей: підвищити сульфатостійкість, знизити екзотермію або покращити легкоукладальність бетонних сумішей.

Ключовим показником якості, що визначає несучу здатність майбутніх будівельних конструкцій, є клас міцності. ДСТУ Б EN 197–1 відмовився від застарілого поняття «марка» і класифікує цементи за гарантованою мінімальною межею міцності на стиск зразків–балочок у віці 28 діб. Стандартом встановлено три основні класи міцності: 32,5; 42,5 та 52,5 (цифри означають міцність у мегапаскалях, МПа).[16] Крім того, кожен клас поділяється на підкласи за темпом наростання ранньої міцності (у віці 2 діб): нормальнотверднучий (позначається літерою N) та швидкотверднучий (позначається літерою R). Наприклад, маркування «ПЦ II/A–III 42,5 R» означає портландцемент із додаванням від 6% до 20% шлаку, класом міцності 42,5 МПа та високою ранньою міцністю.[18]

Крім міцнісних характеристик, ДСТУ Б EN 197–1 висуває суворі вимоги до фізико–механічних та хімічних показників якості продукції. Для забезпечення безпечного укладання бетонної суміші нормується час тужавлення: початок тужавлення для цементів класу 32,5 має наставати не

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

раніше ніж через 75 хвилин, а для класів 42,5 та 52,5 – не раніше ніж через 45 хвилин. Критично важливим параметром є рівномірність зміни об'єму (розширення цементного тіста), яка не повинна перевищувати 10 мм за методом ЛеШательє,[19] що гарантує відсутність руйнівних внутрішніх напружень у бетоні під час його експлуатації.

Хімічні показники якості покликані забезпечити довговічність як самого бетону, так і сталеві арматури в ньому. Стандарт жорстко обмежує вміст сульфатів (SO_4) на рівні не більше 3,5–4,0% (залежно від класу міцності), оскільки їх надлишок може призвести до внутрішньої сульфатної корозії (утворення вторинного еtringіту). Особлива увага приділяється вмісту хлорид-іонів (Cl^-), який не повинен перевищувати 0,10% маси, оскільки хлориди є головним каталізатором корозії сталеві арматури в залізобетоні.[20] Дотримання підприємством усіх цих нормативних вимог забезпечує стабільний випуск надійної, безпечної та конкурентоспроможної продукції.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис технологічної схеми

Технологічний процес виробництва портландцементу за мокрим способом являє собою складний, безперервний і взаємопов'язаний ланцюг фізико–хімічних та механічних перетворень сировинних матеріалів у готовий продукт. Весь шлях сировини починається безпосередньо в кар'єрі, де здійснюється видобуток основних компонентів – карбонатного (вапняк, крейда) та алюмосилікатного (глина, суглинки). Видобута гірська порода за допомогою екскаваторів завантажується у високотоннажні самоскиди або на залізничні платформи і транспортується до приймальних бункерів дробильного відділення цементного заводу. Оскільки мокрий спосіб передбачає переробку матеріалів у вигляді водної суспензії, первинна підготовка сировини відіграє вирішальну роль у подальшій ефективності всього виробництва.

На стадії дроблення твердий вапняк або крейда проходять зазвичай два етапи подрібнення у щоккових, роторних або молоткових дробарках, де великі брили розміром до 1000 мм послідовно зменшуються до фракції 25–35 мм, яка є оптимальною для завантаження в млини.[27] Паралельно з цим м'яка та волога глина, що надходить з кар'єру, направляється у спеціальні глинобовтанки (гідрофолатори), де під дією потужних водяних струменів та механічного перемішування відбувається її розпуск у воді з утворенням однорідного глиняного шламу з вологістю близько 50–60%. Після цього подрібнений вапняк та рідкий глиняний шлам за допомогою системи стрічкових конвеєрів та трубопроводів подаються до витратних бункерів сировинного відділення. Тут за допомогою автоматичних вагових дозаторів безперервно формується суворо визначена за хімічним складом шихта, яка спрямовується безпосередньо у помольний агрегат.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

Центральною ланкою сировинної підготовки є сировинний трубний двокамерний млин розміром $\varnothing 3,2 \times 15$ метрів. У цей млин одночасно з дозованими твердими компонентами та глиняним шламом безперервно подається технологічна вода. У першій камері млина, завантаженій великими сталевими кулями, відбувається інтенсивне ударне руйнування матеріалу. Проходячи через міжкамерну перегородку у другу камеру, завантажену дрібними кулями, матеріал піддається стираючим навантаженням. У результаті спільного мокрого помелу та інтенсивного диспергування у водному середовищі утворюється сировинний шлам – тонка водна суспензія з вологістю 36–42%, яка характеризується певною тонкістю перемелу (залишок на ситі 0,08 мм не повинен перевищувати 10–12%).[28,29]

З млина готовий сировинний шлам перекачується пневматичними або відцентровими насосами у відділення коригування суміші, яке складається з комплексу вертикальних або горизонтальних залізобетонних шламбасейнів.[30] У цих резервуарах шлам безперервно перемішується за допомогою стисненого повітря або механічних кранів–мішалок для запобігання розшаруванню та осадженню твердих частинок. Лабораторія заводу експрес–методами аналізує хімічний склад (титр, вміст оксидів) отриманої маси. Оскільки природний склад сировини в кар'єрі постійно коливається, у басейнах здійснюється точне коригування: шлами з різних басейнів змішуються між собою у заданих пропорціях для досягнення ідеального розрахункового коефіцієнта насичення та силікатного модуля. Готовий, повністю відкоригований та гомогенізований сировинний шлам подається у живильники обертової печі.

Стадія випалювання є найбільш енергоємною та хімічно важливою частиною процесу, під час якої шлам перетворюється на цементний клінкер. Потрапляючи в похилу обертову піч з боку її верхнього кінця, шлам повільно рухається назустріч потоку розпечених газів, що утворюються від спалювання палива (вугільного пилу, газу або мазуту) з протилежного боку

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

печі. Рухаючись піччю, матеріал послідовно проходить кілька температурних зон. Спочатку у зоні сушіння (до 200 °С) повністю випаровується вільна вода, і шлам перетворюється на сухі грудки. Далі, у зоні підігріву (200–700 °С) вигорають органічні домішки та видаляється хімічно зв'язана вода з глинистих мінералів. У зоні декарбонізації (700–1100 °С) відбувається бурхливий термічний розклад карбонату кальцію на оксид кальцію (СаО) та вуглекислий газ (СО₂). Слідом за цим у зоні екзотермічних реакцій (1100–1300 °С) починається твердофазове утворення мінералів клінкеру. Нарешті, у зоні спікання при максимальній температурі 1400–1450 °С матеріал частково плавиться (до 20–30%), і вільний оксид кальцію повністю зв'язується з кремнеземом, утворюючи головний мінерал цементу – аліт (трикальційсилікат).[31, 32]

На виході з обертової печі розпечений до білого каління клінкер у вигляді темно–сірих гранул потрапляє у колосниковий холодильник. [33] Тут він піддається різкому гартуванню потоком холодного повітря, що нагнітається вентиляторами. Швидке охолодження до температури 60–80 °С є критично важливим, оскільки воно фіксує кристалічну структуру аліту, не дозволяючи йому розпадатися, і робить клінкер більш крихким, що значно полегшує його подальший розмел. Повітря, яке нагрілося від гарячого клінкеру в холодильнику, повертається назад у піч як вторинне повітря для спалювання палива, що суттєво підвищує тепловий ККД установки. Охолоджений клінкер за допомогою пластинчастих конвеєрів транспортується на проміжний склад або безпосередньо у витратні бункери відділення помолу цементу.

Остаточне перетворення клінкеру на готовий продукт відбувається у цементних млинах. Оскільки чистий подрібнений клінкер при взаємодії з водою схоплюється майже миттєво, для регулювання термінів тужавіння до нього обов'язково додають гіпсовий камінь у кількості 3–5% від маси. Залежно від запланованої марки цементу, до суміші також можуть

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

додаватися активні мінеральні добавки (доменний шлак, зола–винесення, пуцолани) для надання матеріалу спеціальних властивостей (сульфатостійкості, гідрофобності тощо). Спільний тонкий помол клінкеру, гіпсу та добавок здійснюється у багатокамерних млинах, часто обладнаних сепараторами для повернення недомелених частинок на повторне коло (замкнений цикл помолу).[34] Тонкість перемелу готового цементу контролюється за питомою поверхнею, яка має становити не менше 3000–3500 см²/г.[35]

Завершується технологічний потік транспортуванням готового портландцементу за допомогою камерних пневмонасосів або аерожолобів по трубопроводах у силоси готової продукції. Силоси являють собою масивні залізобетонні вертикальні резервуари, обладнані системами аерації для запобігання злежуванню цементу. У силосах цемент остаточно охолоджується, проходить додаткову гомогенізацію та витримується протягом кількох діб для стабілізації властивостей. З силосів готова продукція відвантажується споживачам або навалом у спеціалізований транспорт (автоцементовози, залізничні вагони–хопри), або направляється у пакувальне відділення, де фасується у багат шарові паперові чи полімерні мішки вагою 25 та 50 кг, після чого відправляється на склад готової продукції.

Принципову схему технології виробництва цементу мокрим способом наведено на рис. 2.1.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

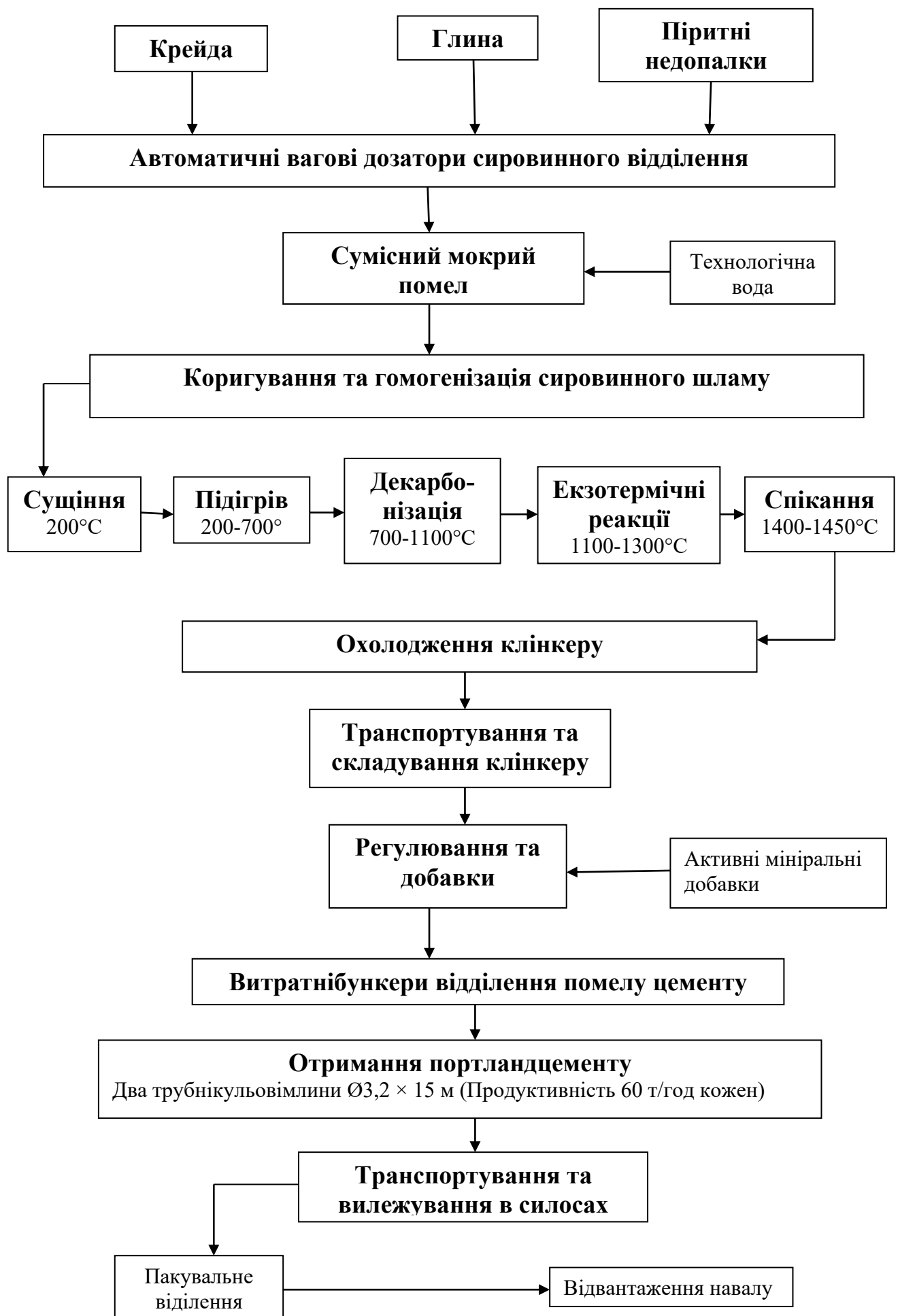


Рисунок 2.1 – Технологічна схема отримання цементу по мокрому способу

2.2 Розрахунок сировинної суміші

Розрахунок складу сировинної суміші здійснюється на основі заданих параметрів клінкеру: коефіцієнта насичення $KH = 0,91$ та силікатного модуля ($n = 2,4$). В якості сировинних компонентів використовуються крейда, глина та піритні недопалки із хімічним складом, наведеним у завданні.

Враховуючи фізико-хімічні особливості заданої глини (її власний силікатний модуль є гранично близьким до теоретичного), оптимізований речовий склад сухої сировинної суміші для досягнення заданого $KH = 0,91$ становить:

- Крейда: 73,7%
- Глина: 24,8%
- Піритні недопалки: 1,5%

Втрати при прожарюванні ВПП для даної суміші становлять:

$$\text{ВПП} = (73,7 \times 0,4246) + (24,8 \times 0,2002) + (1,5 \times 0,0400) = 31,293 + 4,965 + 0,060 = 36,32\%$$

Таблиця 2.1 – Розрахунок хімічного складу сировинної суміші і клінкеру

Матеріал	Хімічний склад матеріалів, мас. %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	ВПП	Інші	Сума
Крейда	0,74	0,37	0,22	40,18	0,38	0,02	31,30	0,50	73,70
Вапняк	12,40	3,64	1,57	1,29	0,47	0,06	4,97	0,40	24,80
Недопалки	0,11	0,06	1,14	0,04	0,01	0,07	0,06	0,01	1,50
С/суміш	13,25	4,06	2,93	41,51	0,86	0,26	36,32	0,81	100,00
Клінкер	20,80	6,38	4,59	65,19	1,35	0,42	—	1,27	100,00

2.3 Розрахунок питомих норм витрат сировинних матеріалів.

Теоретичні питомі витрати сухої сировини на 1 т клінкеру.

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

де, ВПП – витрати при прожарюванні сировинної суміші, %

$$A_c^o = \frac{100 \cdot 1000}{100 - 36,32} = 1570,35 \text{ кг/т кл.}$$

Теоретичні питомі витрати сухих компонентів сировинної суміші:

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

де, N_i – вміст окремих компонентів в сировинній суміші, %.

– крейду:

$$A_B^o = 1570,35 \cdot \frac{73,7}{100} = 1157,35 \text{ кг/т кл.};$$

– глини:

$$A_r^o = 1570,35 \cdot \frac{24,8}{100} = 389,45 \text{ кг/т кл.};$$

– огарків:

$$A_{ог}^o = 1570,35 \cdot \frac{1,5}{100} = 23,56 \text{ кг/т кл.}$$

Теоретичні питомі витрати компонентів сировинної суміші, мас.% в стані природної вологості:

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

де, W_i – природна вологість компонентів сировинної суміші, мас. %.

– крейди:

$$B_B^w = \frac{A_B^o \cdot 100}{100 - W_B} = \frac{1157,35 \cdot 100}{100 - 21,06} = 1466,11 \text{ кг/т кл.};$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

– глини:

$$B_{\Gamma}^w = \frac{A_{\Gamma}^o \cdot 100}{100 - W_{\Gamma}} = \frac{389,45 \cdot 100}{100 - 15,22} = 459,37 \text{ кг/т кл};$$

– огарків:

$$B_{ог}^w = \frac{A_{ог}^o \cdot 100}{100 - W_{ог}} = \frac{23,56 \cdot 100}{100 - 5,47} = 24,92 \text{ кг/т кл}$$

Теоретичні питомі витрати сировинної суміші в стані природної вологості:

$$B_{cc}^w = B_{\Gamma}^w + B_{ог}^w + B_{кп}^w, \text{ кг/т кл}, \quad (2.4)$$

$$B_{cc}^w = 1466,11 + 459,37 + 24,95 = 1950,40 \text{ кг/т кл}$$

Теоретичний вихід клінкеру із 1 т сухої сировинної суміші:

$$K_T = \frac{1000}{A_c^o}, \text{ т/т (с/с)}, \quad (2.5)$$

$$K_T = \frac{1000}{1570,35} = 0,64 \text{ т/т}$$

Дійсні витрати сухої сировинної суміші з урахуванням виробничих витрат:

$$A_c^{\text{д}} = A_c^o \cdot \frac{100}{100 - П_c} \text{ кг/т кл}, \quad (2.6)$$

де, $П_c$ – виробничі витрати сировинної суміші при випалі, %.

Приймаємо $П_c=1,0$ мас. %.

$$A_c^{\text{д}} = 1570,35 \cdot \frac{100}{100 - 1,0} = 1586,21 \text{ кг/т кл}$$

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

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

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

– вапняку:

$$A_B^Д = 1586,21 \cdot \frac{73,7}{100} = 1169,04 \text{ кг/т кл};$$

– глини:

$$A_{Г}^Д = 1586,21 \cdot \frac{24,8}{100} = 39,38 \text{ кг/т кл};$$

– огарків:

$$A_{ог}^Д = 1586,21 \cdot \frac{1,5}{100} = 23,79 \text{ кг/т кл}$$

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

$$B_c^Ф = B_c^w \cdot \frac{100}{100 - \Pi_c} \text{ кг/т кл}; \quad (2.8)$$

$$B_c^Ф = 1601,49 \cdot \frac{100}{100 - 1,0} = 1617,67 \text{ кг/т кл}$$

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

$$B_i^Ф = B_i^w \cdot \frac{100}{100 - \Pi_c} \text{ кг/т кл}; \quad (2.9)$$

– крейди:

$$B_B^Ф = 1169,04 \cdot \frac{100}{100 - 21,06} = 1480,92 \text{ кг/т кл};$$

– глини:

$$B_{Г}^Ф = 39,38 \cdot \frac{100}{100 - 15,22} = 309,50 \text{ кг/т кл};$$

– недопалків:

$$B_{кп}^Ф = 23,79 \cdot \frac{100}{100 - 5,47} = 25,17 \text{ кг/т кл}$$

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

$$K_Ф = \frac{1000}{A_c^Д} \text{ т/т (с/с)}, \quad (2.10)$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

$$K_{\phi} = \frac{1000}{1586,21} = 0,63 \text{ т/т}$$

Природна вологість сировинної суміші:

$$W_c = \frac{B_c^{\phi} - B_c^{\Delta}}{B_c^{\phi}} \cdot 100\% ; \quad (2.11)$$

$$W_c = \frac{1617,67 - 1545,55}{1617,67} \cdot 100\% = 4,46\%$$

Кількість води в сировинній суміші при природній вологості:

$$G_w^o = A_c^{\Delta} \cdot \frac{W_c}{100 - W_c}, \frac{\text{кг}}{\text{т}} \text{ кл}; \quad (2.12)$$

$$G_w^o = 1586,21 \cdot \frac{19,38}{100 - 19,38} = 381,30 \text{ кг/т кл.},$$

Кількість води в шламі:

$$G_w^{\text{ш}} = A_c^{\Delta} \cdot \frac{W_{\text{ш}}}{100 - W_{\text{ш}}}, \text{ кг/т кл}, \quad (2.13)$$

де, $W_{\text{ш}}$ – вологість сировинного шламу нормальної плинності, %.

Приймаємо $W_{\text{ш}} = 35,5\%$.

$$G_w^{\text{ш}} = 1586,21 \cdot \frac{35,5}{100 - 35,5} = 873,04 \text{ кг/т кл}$$

Витрата води для готування шламу на 1 т клінкера:

$$W_{\text{кл}} = G_w^{\text{ш}} - G_w^o, \text{ кг/т кл}, \quad (2.14)$$

$$W_{\text{кл}} = 873,04 - 381,3 = 491,74 \text{ кг/т кл}$$

Витрата шламу на 1 т клінкера:

$$A_{\text{ш}} = A_c^{\Delta} \cdot \frac{100}{100 - W_{\text{ш}}}, \frac{\text{кг}}{\text{т}} \text{ кл}, \quad (2.15)$$

$$A_{\text{ш}} = 1586,21 \cdot \frac{100}{100 - 35,5} = 2459,24 \frac{\text{кг}}{\text{т}} \text{ кл.}$$

або

$$V_{\text{ш}} = \frac{A_{\text{ш}}}{\rho_{\text{ш}}}, \text{ м}^3/\text{т кл}, \quad (2.16)$$

де, $\rho_{\text{ш}}$ – об'ємна маса шламу, кг/м^3 .

При $W_{\text{ш}} = 35,5\%$, $\rho_{\text{ш}} = 1660 \text{ кг/м}^3$

$$V_{\text{ш}} = \frac{2459,24}{1660} = 1,48 \text{ м}^3/\text{т кл.},$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

Вихід клінкера з 1м³ шламу

$$K_{\text{ш}}^{\text{в}} = \frac{1}{V_{\text{ш}}}, \frac{\text{т}}{\text{м}^3} \text{шламу}, \quad (2.17)$$

$$K_{\text{ш}}^{\text{в}} = \frac{1}{1,48} = 0,68 \text{ т/м}^3 \text{шламу}.$$

2.4 Розрахунок потужності заводу і матеріального балансу

Проектом передбачається здійснити випуск цементу, асортимент і об'єм випуску якого за видами та марками наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – 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 ІІ/А–ІІІ–400	55	282488,60	70	25	0	5
ПЦ ІІ/А–В–400	45	231127,04	85	0	10	5

Річний випуск клінкеру з установкою однієї печі діаметром 4,5 м та довжиною 170 м продуктивністю 50 т/год становить:

$$Q_{\text{кл}}^{\text{рік}} = 8760 \cdot q_{\text{год}} \cdot K_{\text{в}} \text{ т/рік}, \quad (2.18)$$

де, 8760 – час роботи печі за рік, години;

$q_{\text{год}}$ – продуктивність печі за годину, 50 т/год;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання печі, приймаємо $K_{\text{в}}=0,90$.

$$Q_{\text{кл}}^{\text{рік}} = 8760 \cdot 50 \cdot 0,90 = 394200 \text{ т/рік}.$$

Середній вміст клінкеру в цементі:

$$M_{\text{сер}}^{\text{кл}} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot k_i, \quad (2.19)$$

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

k_i – доля випуску i -ого виду цементу в загальному об'ємі випуску.

$$M_{\text{сер}}^{\text{кл}} = 70 \cdot 0,55 + 85 \cdot 0,55 = 76,75\% .$$

Продуктивність заводу по цементу за рік становить:

$$Q_{\text{ц}}^{\text{рік}} = \frac{Q_{\text{кл}}^{\text{рік}} \cdot 100}{M_{\text{сер}}^{\text{кл}}}, \text{ т/рік}; \quad (2.20)$$

$$Q_{\text{ц}}^{\text{рік}} = \frac{394200 \cdot 100}{76,75} = 513615,64 \text{ т/рік}.$$

в тому числі за видами і марками:

–ПЦ II/A–III –400:

$$Q_{\text{ц(марка1)}}^{\text{рік}} = 513615,64 \cdot 0,55 = 282488,60 \text{ т/рік}$$

–ПЦ II/A–B–400:

$$Q_{\text{ц(марка2)}}^{\text{рік}} = 513615,64 \cdot 0,45 = 231127,04 \text{ т/рік}$$

Теоретичні річні потреби в компонентах цементної шихти цеху помелу цементу:

$$P_i^{\circ} = \sum_{i=1}^n \text{Ц}_i \cdot \frac{B_i}{100}, \text{ т/рік} , \quad (2.21)$$

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

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

– клінкеру:

$$K^{\circ} = 394200 \frac{100}{100} = 394200 \text{ т/рік};$$

– ДГШ:

$$\text{Ш}^{\circ} = 282488,6 \cdot 0,25 \frac{100}{100} = 70\,622,15 \text{ т/рік};$$

– вапняку для цементу:

$$B^{\circ} = 231127,04 \cdot 0,10 + \frac{100}{100} = 23\,112,704 \text{ т/рік}.$$

– гіпсового каменю:

$$\Gamma^{\circ} = 513615,64 \cdot 0,05 \frac{100}{100} = 25\,680,782 \text{ т/рік}.$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

Загальний теоретичний річний випуск цементу:

$$394200+70622,15+23112,70,+25680,78=513\,615,63\text{т/рік}$$

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

$$P_i^n = P_i^o \cdot \frac{100}{100 - \Pi_i}, \text{ т/рік,} \quad (2.22)$$

де, Π_i – виробничі втрати компонентів цементної шихти, приймаємо $\Pi_i=5,2$.

– клінкеру:

$$K^o = 394200 \cdot \frac{100}{100 - 5,2} = 415822,78 \text{ т/рік;}$$

– ДГШ:

$$\Pi^o = 282488,6 \cdot 0,25 \cdot \frac{100}{100 - 5,2} = 74495,94 \text{ т/рік;}$$

– вапняку для цементу:

$$B^o = 231127,04 \cdot 0,10 + \frac{100}{100 - 5,2} = 24389,43 \text{ т/рік.}$$

– гіпсового каменю:

$$\Gamma^o = 513615,64 \cdot 0,05 \cdot \frac{100}{100 - 5,2} = 27089,43 \text{ т/рік.}$$

Загальний річний випуск цементу з втратами:

$$415822,78 + 74495,94 + 24380,49 + 27089,43 = 541788,64 \text{ т/рік}$$

Річний випуск цементу з урахуванням виробничих втрат:

$$\Pi^B = \Pi^o \cdot \frac{100}{100 - \Pi_{\Pi}} \text{ т/рік,} \quad (2.23)$$

$$\Pi^B = 541788,64 \cdot \frac{100}{100 - 5,2} = 104190,12 \text{ т/рік}$$

Річна потреба в сировинних матеріалах

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

Суша сировинна суміш:

$$P_c^o = K^B \cdot A_c^D, \text{ т/рік}, \quad (2.24)$$

$$P_c^o = K^B \cdot A_c^D = 394200 \cdot 1,54555 = 609\,255,81 \text{ т/рік}$$

Сухі сировинні компоненти:

$$P_i^o = K^B \cdot A_i^D, \text{ т/рік} \quad (2.25)$$

– крейда:

$$P_B^O = 634047,05 \cdot 0,78 = 494556,7 \text{ т/рік};$$

– глина:

$$P_\Gamma^O = 634047,05 \cdot 0,20 = 126809,41 \text{ т/рік};$$

– огарки:

$$P_{or}^O = 634047,05 \cdot 0,02 = 12680,94 \text{ т/рік}.$$

Сировинна суміш з природною вологістю:

$$P_c^w = K^B \cdot B_c^w \text{ т/рік} \quad (2.25)$$

$$P_c = 394200 \cdot 1,60844 = 634047,05 \text{ т/рік}.$$

Компонентів сировинної суміші в стані природної вологості:

$$P_{or}^w = \frac{P \cdot 100}{100 - W} \text{ т/рік} \quad (2.26)$$

– крейди:

$$P = \frac{494556,7 \cdot 100}{100 - 21,06} = 626496,96 \text{ т/рік}$$

– глини:

$$P_B^w = \frac{126809,41 \cdot 100}{100 - 15,22} = 149574,68 \text{ т/рік};$$

– огарки:

$$P_\Gamma^w = \frac{12680,94 \cdot 100}{100 - 5,47} = 13414,73 \text{ т/рік};$$

Вода:

$$P_B = K^B \cdot W_{кл}, \text{ т/рік} \quad (2.27)$$
$$P_B = 394200 \cdot 0,49174 = 193843,91 \text{ т/рік}$$

Шлам:

$$P_{ш} = K^B \cdot V_{ш}, \text{ м}^3/\text{рік} \quad (2.28)$$

$$P_{ш} = K^B \cdot V_{ш} = 394200 \cdot 1,48147 = 583995,47 \text{ м}^3/\text{рік}$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

або

$$\Pi_{\text{ш}} = K^{\text{В}} \cdot A_{\text{ш}}, \text{ т/рік} \quad (2.29)$$

$$\Pi_{\text{ш}} = K^{\text{В}} \cdot A_{\text{ш}} = 394200 \cdot 2,45924 = 969432,41 \text{ т/рік}$$

Розрахунок добової витрати матеріалів:

– цементу:

$$Q_{\text{цем}}^{\text{доб}} = \frac{\Pi^{\text{П}}}{365 \cdot K_{\text{В}}^{\text{цем}}}, \text{ т/добу}, \quad (2.30)$$

де, $K_{\text{В}}^{\text{цем}}$ – коефіцієнт використання цементних млинів; Приймаємо – 0,85.

$$Q_{\text{цем}}^{\text{доб}} = \frac{541788,65}{365 \cdot 0,85} = 1746,29 \text{ т/добу};$$

– клінкеру:

$$Q_{\text{кл}}^{\text{доб}} = \frac{K^{\text{В}}}{365 \cdot K_{\text{В}}^{\text{цем}}} \text{ т/добу}, \quad (2.31)$$

$$Q_{\text{кл}}^{\text{доб}} = \frac{394200}{365 \cdot 0,85} = 1270,59 \text{ т/добу};$$

– ДГШ:

$$Q_{\text{ДГШ}}^{\text{доб}} = \frac{\Pi^{\text{В}}}{365 \cdot K_{\text{В}}^{\text{цем}}} \text{ т/добу}, \quad (2.32)$$

$$Q_{\text{ДГШ}}^{\text{доб}} = \frac{74495,94}{365 \cdot 0,85} = 240,12 \text{ т/добу}$$

– гіпсового каменю:

$$Q_{\text{ГК}}^{\text{доб}} = \frac{\Gamma^{\circ}}{365 \cdot K_{\text{В}}^{\text{цем}}} \text{ т/добу}, \quad (2.33)$$

$$Q_{\text{ГК}}^{\text{доб}} = \frac{27089,43}{365 \cdot 0,85} = 87,31 \text{ т/добу}$$

– вапняк:

$$Q_{\text{с}}^{\text{доб}} = \frac{B_{\text{с}}^{\circ}}{365 \cdot K_{\text{В}}}, \text{ т/добу}, \quad (2.34)$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

$$Q_c^{\text{доб}} = \frac{24389,43}{365 \cdot 0,85} = 78,6 \text{ т/добу}$$

– сухої сировинної суміші:

$$Q_c^{\text{доб}} = \frac{P_c^o}{365 \cdot K_B^{\text{см}}}, \text{ т/добу}, \quad (2.35)$$

де, $K_B^{\text{см}}$ – коефіцієнт використання сировинних млинів, приймаємо – 0,85

$$Q_c^{\text{доб}} = \frac{634047,05}{365 \cdot 0,85} = 2043,66 \text{ т/добу};$$

– сухого вапняку:

$$Q_B^{\text{доб}} = \frac{P_B^o}{365 \cdot K_B^{\text{см}}} \text{ т/добу}, \quad (2.35)$$

$$Q_B^{\text{доб}} = \frac{494556,70}{365 \cdot 0,85} = 1594,06 \text{ т/добу};$$

– сухої глини:

$$Q_\Gamma^{\text{доб}} = \frac{P_\Gamma^o}{365 \cdot K_B^{\text{см}}} \text{ т/добу}, \quad (2.36)$$

$$Q_\Gamma^{\text{доб}} = \frac{126809,41}{365 \cdot 0,85} = 408,73 \text{ т/добу};$$

– сухих огарків:

$$Q_{\text{ог}}^{\text{доб}} = \frac{P_{\text{КП}}^o}{365 \cdot K_B^{\text{см}}} \text{ т/добу}, \quad (2.37)$$

$$Q_{\text{ог}}^{\text{доб}} = \frac{12680,94}{365 \cdot 0,85} = 40,87 \text{ т/добу}$$

– сировинної суміші з природною вологістю:

$$Q_{\text{ВС}}^{\text{доб}} = \frac{P_C^w}{365 \cdot K_B^{\text{см}}} \text{ т/добу}, \quad (2.38)$$

$$Q_{\text{ВС}}^{\text{доб}} = \frac{626496,96 + 149574,68 + 13414,73}{365 \cdot 0,85} = 2544,68 \text{ т/добу};$$

– вологого вапняку:

$$Q_{\text{ВВ}}^{\text{доб}} = \frac{P_B^w}{365 \cdot K_B^{\text{см}}} \text{ т/добу}, \quad (2.39)$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

$$Q_{\text{ВВ}}^{\text{доб}} = \frac{626496,96}{365 \cdot 0,85} = 2019,33 \text{ т/добу};$$

– вологої глини:

$$Q_{\text{ВГ}}^{\text{доб}} = \frac{P_{\Gamma}^{\text{W}}}{365 \cdot K_{\text{В}}^{\text{см}}} \text{ т/добу}, \quad (2.40)$$

$$Q_{\text{ВГ}}^{\text{доб}} = \frac{149574,68}{365 \cdot 0,85} = 482,11 \text{ т/добу};$$

– вологих огарків:

$$Q_{\text{ог}}^{\text{доб}} = \frac{P_{\text{КП}}^{\text{W}}}{365 \cdot K_{\text{В}}^{\text{см}}} \text{ т/добу}, \quad (2.41)$$

$$Q_{\text{ог}}^{\text{доб}} = \frac{13414,73}{365 \cdot 0,85} = 43,24 \text{ т/добу}$$

Вода:

$$Q_{\text{шл}}^{\text{доб}} = \frac{P_{\text{В}}}{365 \cdot K_{\text{В}}^{\text{см}}} \text{ т/добу}, \quad (2.42)$$

$$Q_{\text{шл}}^{\text{доб}} = \frac{193843,91}{365 \cdot 0,85} = 624,80 \text{ т/доб}$$

Шлам

$$Q_{\text{шл}}^{\text{доб}} = \frac{P_{\text{ш}}}{365 \cdot K_{\text{В}}^{\text{см}}} \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (2.43)$$

$$Q_{\text{шл}}^{\text{доб}} = \frac{583995,47}{365 \cdot 0,85} = 1882,34 \text{ м}^3/\text{доб}$$

або

$$Q_{\text{шл}}^{\text{доб}} = \frac{P_{\text{ш}}}{365 \cdot K_{\text{В}}^{\text{см}}} \text{ т/добу}, \quad (2.44)$$

$$Q_{\text{шл}}^{\text{доб}} = \frac{969432,41}{365 \cdot 0,85} = 3124,68 \text{ т/добу}$$

Розрахунок годинних витрат матеріалів:

– цементу:

$$Q_{\text{цем}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{цем}}^{\text{доб}}}{24} \text{ т/год}, \quad (2.45)$$

$$Q_{\text{цем}}^{\text{год}} = \frac{1746,29}{24} = 72,76 \text{ т/год}$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

– клінкеру:

$$Q_{\text{КЛ}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{КЛ}}^{\text{доб}}}{24} \text{ т/год,} \quad (2.46)$$

$$Q_{\text{КЛ}}^{\text{год}} = \frac{1270,59}{24} = 52,94 \text{ т/год}$$

– ДГШ:

$$Q_{\text{ДГШ}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{ДГШ}}^{\text{доб}}}{24} \text{ т/год,} \quad (2.47)$$

$$Q_{\text{ДГШ}}^{\text{год}} = \frac{240,12}{24} = 10,01 \text{ т/год}$$

– гіпсового каменю:

$$Q_{\text{ГК}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{ГК}}^{\text{доб}}}{24} \text{ т/год,} \quad (2.48)$$

$$Q_{\text{ГК}}^{\text{год}} = \frac{87,31}{24} = 3,64 \text{ т/год;}$$

– сухої сировинної суміші:

$$Q_{\text{СС}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{СС}}^{\text{доб}}}{24} \text{ т/год,} \quad (2.49)$$

$$Q_{\text{СС}}^{\text{год}} = \frac{2043,66}{24} = 85,15 \text{ т/год;}$$

– сухого вапняку:

$$Q_{\text{В}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{В}}^{\text{доб}}}{24} \text{ т/год,} \quad (2.50)$$

$$Q_{\text{В}}^{\text{год}} = \frac{1594,06}{24} = 66,42 \text{ т/год;}$$

– сухої глини:

$$Q_{\text{Г}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{Г}}^{\text{доб}}}{24} \text{ т/год,} \quad (2.51)$$

$$Q_{\text{Г}}^{\text{год}} = \frac{408,73}{24} = 17,03 \text{ т/год;}$$

– сухих огарків:

$$Q_{\text{КП}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{КП}}^{\text{доб}}}{24} \text{ т/год,} \quad (2.52)$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

$$Q_{\text{КП}}^{\text{год}} = \frac{40,87}{24} = 1,70 \text{ т/год};$$

– сировинної суміші з природною вологістю:

$$Q_{\text{СВ}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{СВ}}^{\text{доб}}}{24} \text{ т/год}, \quad (2.53)$$

$$Q_{\text{СВ}}^{\text{год}} = \frac{2544,68}{24} = 106,03 \text{ т/год};$$

– вологого вапняку:

$$Q_{\text{ВВ}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{ВВ}}^{\text{доб}}}{24} \text{ т/год}, \quad (2.54)$$

$$Q_{\text{ВВ}}^{\text{год}} = \frac{2019,33}{24} = 84,14 \text{ т/год};$$

– вологої глини:

$$Q_{\text{ВГ}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{ВГ}}^{\text{доб}}}{24} \text{ т/год}, \quad (2.55)$$

$$Q_{\text{ВГ}}^{\text{год}} = \frac{482,11}{24} = 20,09 \text{ т/год};$$

– вологих огарків:

$$Q_{\text{огар}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{огар}}^{\text{доб}}}{24} \text{ т/год}, \quad (2.56)$$

$$Q_{\text{огар}}^{\text{год}} = \frac{43,24}{24} = 1,80 \text{ т/год}.$$

Вода:

$$Q_{\text{В}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{нга}}^{\text{доб}}}{24} \text{ т/год}, \quad (2.57)$$

$$Q_{\text{В}}^{\text{год}} = \frac{624,80}{24} = 26,03 \text{ т/год},$$

Шлам

$$Q_{\text{шл}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{шл}}^{\text{доб}}}{24} \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.58)$$

$$Q_{\text{шл}}^{\text{год}} = \frac{1882,34}{24} = 78,43 \text{ м}^3/\text{год},$$

або

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

$$Q_{\text{шл}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{шл}}^{\text{доб}}}{24} \text{ т/год,} \quad (2.59)$$

$$Q_{\text{шл}}^{\text{год}} = \frac{3124,68}{24} = 130,20 \text{ т/год,}$$

Дійсні витрати матеріалів та випуск продукції наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4– Матеріальний баланс підприємства

Матеріал	Одиниця вимірювання	Витрати матеріалів, т		
		За рік	За добу	За годину
Крейда	т	626496,96	2019,33	84,14
Глина	т	149574,68	482,11	20,09
Піритні недопалки	т	13414,73	43,24	1,80
Сировинна суміш	т	789486,37	2544,68	106,03
Вода	т	193843,91	624,80	26,03
Шлам	м ³	583995,47	1882,34	78,43
	т	969432,41	3124,68	130,20
Клінкер	т	394200,00	1270,59	52,94
ДГШ	т	74495,94	240,12	10,01
Вапняк (у цемент)	т	24380,49	78,58	3,27
Гіпсове каміння	т	27089,43	87,31	3,64
Цемент	т	541788,65	1746,29	72,76

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.

В таблиці 2.5 вказані витрати сировинних матеріалів за годину.

Таблиця 2.5– Витрати матеріалу за годину

Матеріали	Одиниці вимірювання	Витрати матеріалу за годину
1	2	3
Крейда	т	84,14
Глина	т	20,09
Піритні недопалки	т	1,80
Сировинна суміш	т	106,03
Вода	т	26,03
Шлам	м ³	78,43
	т	130,20
Клінер	т	52,94
ДГШ	т	10,01
Вапняк	т	3,27
Гіпсове каміння	т	3,64
Цемент	т	72,76

Для розробки вапняку проектом передбачено використання екскаваторів ЕКГ–4,6 продуктивністю 280 т/год

$$n = \frac{Q_{\text{год}}^{\text{В}}}{q_{\text{год}}^{\text{екс}}} \quad (2.61)$$

$$n = \frac{84,14}{280} = 0,30$$

Для розробки кар'єру вапняку приймаємо один екскаватор ЕКГ–4,6.

Для розробки глини проектом передбачено використання екскаватору Е–2503 продуктивністю 200 т/год

$$n = \frac{Q_{\text{год}}^{\text{Г}}}{q_{\text{год}}^{\text{екс}}} \quad (2.62)$$

$$n = \frac{20,09}{200} = 0,10$$

Для розробки глини приймаємо один екскаватор Е–2503. Для подрібнення вапняку проектом передбачено двох стадійне подрібнення.

На першій стадії – щокова дробарка СМД–188 ЩД продуктивністю 310 т/год. Технічна характеристика щокової дробарки СМД–188 наведена у таблиці 2.6.

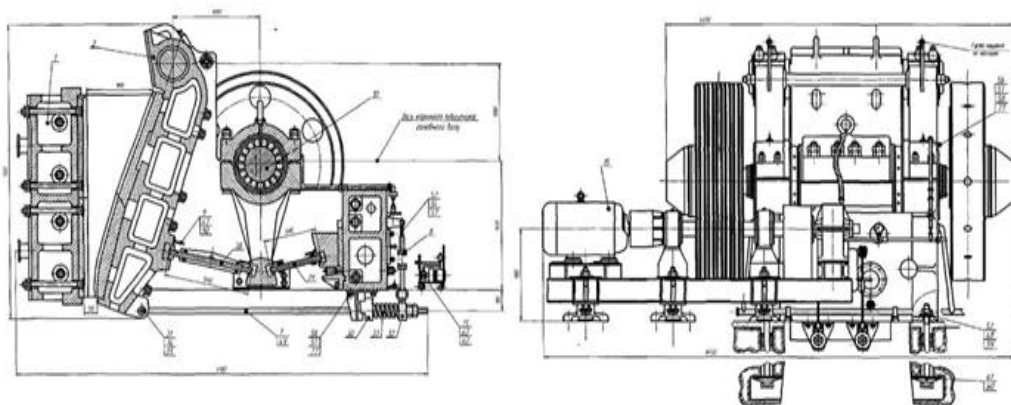
Таблиця 2.6 – Технічна характеристика щокової дробарки СМД–118[10]

№ п/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Величина показника
1	Продуктивність	м³/год	310
2	Розмір прийомного отвору	мм	1200х1500
3	Розмір матеріалу, що завантажується	мм	До 1000
4	Розмір вихідного матеріалу	мм	До 150
5	Встановлена потужність	кВт	160

$$n = \frac{Q_{\text{год}}^{\text{В}}}{q_{\text{год}}^{\text{ЩД}} \cdot \gamma_{\text{В}}} \quad (2.63)$$

$$n = \frac{84,14}{310 \cdot 2,5} = 0,11$$

Приймаємо для встановлення одну щокову дробарку СМД–118, яка зображена на рисунку 2.2.



1 – корпус; 2 – рухлива щока; 3 – вісь; 4 – маховик; 5 – ексцентриковий вал; 6 – шатун; 7 – розпірні плити; 8 – спеціальний упор; 9 – прокладка; 10 – пружина; 11 – приплив; 12 – тяга; 13 – сухарі; 14 – броньові плити

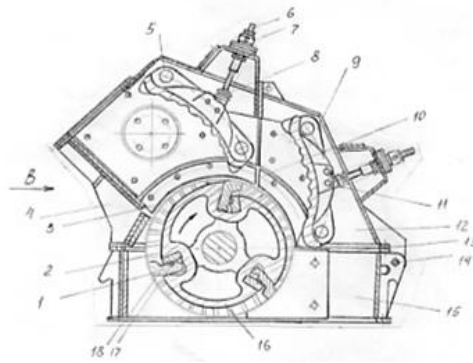
Рисунок 2.2 – Щокова дробарка СМД–118

На другій стадії проектом передбачено встановлення молоткової дробарки СМД–97А продуктивністю 670 т/год.

$$n = \frac{Q_{\text{год}}^{\Gamma}}{q_{\text{год}}^{\text{СМД}}} \quad (2.64)$$

$$n = \frac{84,14}{670} = 0,13$$

Приймаємо для встановлення одну молоткову дробарку СМД–97.



1 – станина; 2 – колосникові поворотні грати; 3 – відбійний брус; 4 – відбійна плита; 5 – кришка станини; 6 – молоток; 7 – ротор; 8 – висувні колосникові грати; 9 – направляюча висувних грат; 10 – візок

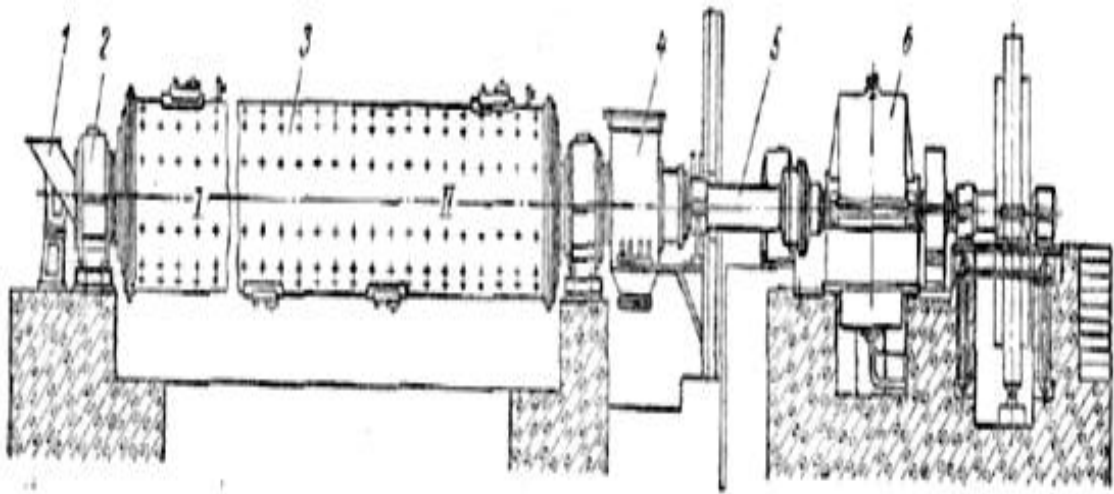
Рисунок 2.3 – Молоткова однороторна дробарка СМД–97А

Технічна характеристика молоткової дробарки СМД–97А наведена у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Технічна характеристика молоткової дробарки СМД–97А [10]

№ п/п	Найменування показників	Одиниці вимірювання	Величина показника
1	2	3	4
1	Продуктивність	т/год	670
2	Розміри ротора: – діаметр – довжина	мм	2000 2000
3	Розмір матеріалу, що завантажується	мм	600
4	Розмір вихідного матеріалу	мм	15
5	Установлена потужність	кВт	800

Для помелу сировинного шламу проектом пропонується установка млинів Ø3,2x15 м (рисунок 2.4). Технічна характеристика трубного млина наведена у таблиці 2.8.



1 – завантажувальна частина; 2 – підшипник; 3 – середня частина;
4 – розвантажувальна частина; 5 – проміжне з'єднання; 6 – привід;
I, II – камери

Рисунок 2.4 – Трубний кульовий млин Ø3,2x15 м

Таблиця 2.8 – Технічна характеристика трубного млина [10]

№ п/п	Найменування показника	Одиниці виміру	Величина показника
1	2	3	4
1	Діаметр	м	3,2
2	Довжина	м	15
3	Кількість камер		2
4	Частота обертання	об/хв	17
5	Продуктивність	т/год	125–190
6	Споживана потужність	кВт	2000
7	Маса млина без привода й тіл, що мелють	т	328
8	Приводний механізм		центральний
9	Вид розвантаження		центральний

Необхідна кількість млинів грубого помелу

$$n = \frac{Q_{\text{год}}^{\text{вп}} + Q_{\text{год}}^{\text{гл}}}{q_{\text{год}}^{\text{м}}}, \quad (2.66)$$

де $q_{\text{год}}^{\text{м}}$ – годинна продуктивність млина грубого здрібнювання, т/год.

$$n = \frac{84,14 + 20,09}{125} = 0,83$$

Приймаємо до установки один млин грубого здрібнювання Ø3,2x15 м

Необхідна кількість млинів для готування готового шламу

$$n = \frac{Q_{\text{год}}^{\text{вп}} + Q_{\text{год}}^{\text{гл}} + Q_{\text{год}}^{\text{огар}}}{q_{\text{год}}^{\text{см}}}, \quad (2.67)$$

де $q_{\text{год}}^{\text{см}}$ – годинна продуктивність млина готового шламу, т/ч

$$n = \frac{84,14 + 20,09 + 1,80}{190} = 0,56$$

Приймаємо до установки один млин тонкого здрібнювання Ø3,2x15 м

Таблиця 2.9 – Технічна характеристика обертової печі [10]

№ п/п	Найменування показника	Одиниці виміру	Величина показника
1	2	3	4
1	Відношення довжини із середньому діаметру (у світлі)		37,8
2	Внутрішня поверхня по футеровці	м ²	2400
3	Ухил печі	%	4
4	Частота обертання	об/хв.	0,5–1,2
5	Число опор	шт.	8
6	Тип вбудованих теплообмінних пристроїв		ланцюгова завіса (комбінована)
7	Довжина зони навішення ланцюгів	м	48–50
8	Тип холодильника		Колосниковий перештовхуючий
9	Потужність електродвигуна	кВт	320x2
10	Маса печі без футеровки	т	1380

Продовження таб. 2.9

1	2	3	4
11	Питома витрата тепла на випал при вологості шламу 36%	МДж/кг клінкера	6,2–6,6
12	Продуктивність при вологості шламу 35,5%	т/добу	1680

Проектом передбачається здійснювати випал клінкера в обертових печах Ø4.5×170 м продуктивністю 50 т/годину

Необхідна кількість печей складе

$$n = \frac{K^п}{8760 \cdot q_{\text{год}}^п \cdot K_B^п}, \quad (2.68)$$

де $q_{\text{год}}^п$ – годинна продуктивність обертової печі, т/год

$$n = \frac{394200}{8760 \cdot 50 \cdot 0,90} = 1,00$$

Приймаємо до установки одну піч Ø4,5×170 м.

Для сушіння доменного гранульованого шлаку проектом пропонується установка прямооточного сушильного барабана Ø2,8х20м. Технічна характеристика сушильного барабана наведена у таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Технічна характеристика сушильного барабана [10]

№ п/п	Найменування показника	Одиниці виміру	Величина показника
1	Діаметр	м	2,8
2	Довжина	м	20
3	Продуктивність по сухому матеріалу	т/год	30
4	Кількість опор	шт	2
5	Привод		вінцева пара
6	Теплообмінні пристрої		коміркова насадка

Необхідна кількість сушильних барабанів

$$n = \frac{Q_{\text{год}}^{\text{дгш}}}{q_{\text{год}}^{\text{сб}}}, \quad (2.69)$$

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

$$n = \frac{10,01}{30} = 0,33$$

Приймаємо до установки один сушильний барабан

Проектом передбачено помел цементу у млинах Ø3,2x15 м, продуктивністю 60 т/год, технічна характеристика наведена в таблиці 2.11.

$$n = \frac{Q_{\text{год}}^{\text{ц}}}{q_{\text{год}}^{\text{мл}}} \quad (2.70)$$

$$n = \frac{72,76}{60} = 1,21$$

Приймаємо для встановлення два млина Ø3,2x15 м [11].

Таблиця 2.11 – Технічна характеристика цементного млина Ø3,2x15 м

Найменування	Значення показника
Розмір млина, м:	
діаметр	3,2
довжина	15
Частота обертання, об/хв	16,94
Продуктивність, т/год	60,0
Завантаженість мелючими тілами, т	126
Питома витрата електричної енергії, кВт	34,6
Вага млина, т	223,1
Тип перегородки	сегментні пруткові
Живильник	тарільчатий діаметром 1600 мм
Циклони:	
діаметр, мм	800

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

Кількість силосів для зберігання цементу становить:

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

$$n = \frac{Q_{\text{цем}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{нц}}}{V} \quad (2.71)$$

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

$C_{\text{нц}} = 9$ діб;

V – місткість силосу, т.

$$n = \frac{1746,29 \cdot 9}{6000} = 2,62$$

Приймаємо чотири силоси діаметром 15 м та висотою 27 м.

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

$$V_{\text{кл}} = \frac{Q_{\text{кл}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{нкл}}}{\rho_{\text{нкл}}} \quad (2.72)$$

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

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

$C_{\text{нкл}} = 4$ доби;

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

$$V_{\text{кл}} = \frac{1270,59 \cdot 4}{1,4} = 3630,26 \text{ м}^3$$

Площа складу для зберігання клінкеру становить:

$$F_{\text{кл}} = \frac{V_{\text{кл}} \cdot K_1}{K_2 \cdot H_{\text{м}}} \quad (2.73)$$

де K_2 – коефіцієнт використання теоретичного об'єму

штабеля; $K_2 = 0,85$;

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

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

H_m –максимальна висота штабеля при використанні грейфера,

м.

$$H_m = H_{гр} - 1,$$

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

$$H_m = 20 - 1 = 19 \text{ м}$$

$$F = \frac{3630,26 \cdot 1,2}{0,85 \cdot 19} = 269,68 \text{ м}^2$$

Вибір басейнів для шламу. Для збереження глиняного шламу вибираємо горизонтальний шламбасейн об'ємом 8000 м³. Кількість глиняного шламу на рік для забезпечення проектної продуктивності по цементу при вологості глиняного шламу 35,5% складе

$$Q_{г\text{л.шл}}^{\text{год}} = P_2^W + \frac{P_2^W \cdot (W_{г\text{л.шл.}} - W_{г.})}{100}, \text{ т/рік}, \quad (2.72)$$

де P_2^W – річна витрата глини в стані природної вологості, т/рік;

$W_{г\text{л.шл.}}$ – вологість глиняного шламу, %;

$W_{г.}$ – природна вологість глини, %

$$Q_{г\text{л.шл}}^{\text{год}} = 149574,68 + \frac{149574,68 \cdot (35,5 - 15,22)}{100} = 179908,425104$$

або

$$V_{г\text{л.шл}}^{\text{год}} = \frac{179\,908,425104}{1,6} = 112\,442,76569 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

Тоді кількість горизонтальних шламбасейнів для збереження глиняного шламу складе

$$n = \frac{V_{г\text{л.шл}}^{\text{год}} \cdot C_n}{365 \cdot K_3 \cdot V_{ш\text{л.б}}}, \quad (2.73)$$

де C_n – кількість доби нормативного запасу глиняного шламу ($C_n = 2$);

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

K_3 — коефіцієнт заповнення шламбасейна.

$$n = \frac{112\,442,76569 \cdot 2}{365 \cdot 0,85 \cdot 8000} = 0,095.$$

Приймаємо для збереження глиняного шламу один горизонтальний шламбасейн об'ємом 8000 м³.

Для збереження готового шламу вибираємо горизонтальний шламбасейн об'ємом 20000 м³. Кількість горизонтальних шламбасейнів:

$$n = \frac{K^П \cdot V_{\text{шл}} \cdot C_{\text{н}}}{365 \cdot K_3 \cdot V_{\text{шл.б}}}, \quad (2.74)$$

де $K^П$ — продуктивність заводу по клінкері, т/рік;

$V_{\text{шл.}}$ — питома витрата шламу на 1 т клінкеру, м³/т;

$C_{\text{н}}$ — нормативний запас шламу, діб;

$V_{\text{шл.б}}$ — об'єм шламбасейну, м³

$$n = \frac{583995 \cdot 3}{365 \cdot 0,85 \cdot 20000} = 0,28$$

Приймаємо один горизонтальний шламбасейн ємкістю 20000 м³.

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

$$V_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{вв}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{нв}}}{\rho_{\text{н}}} \quad (2.74)$$

де $Q_{\text{вв}}^{\text{доб}}$ —добова витрата вапняку, т/доб;

$C_{\text{нв}}$ —кількість діб нормативного запасу вапняку; приймаємо

$C_{\text{нв}} = 3$ доби

$\rho_{\text{нв}}$ —насипна маса вапняку т/м³; приймаємо $\rho_{\text{нв}} = 1,3$ т/м³.

$$V_{\text{в}} = \frac{78,58 \cdot 3}{1,3} = 181,34 \text{ м}^3$$

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

Площа складу для зберігання вапняку становить:

$$F_B = \frac{V_B \cdot K_1}{K_2 \cdot H_M} \quad (2.75)$$

$$F_B = \frac{4660,00 \cdot 1,2}{0,85 \cdot 10} = 657,88 \text{ м}^2$$

Зберігання глини

$$V_B = \frac{Q_{\text{доб}}^{\text{ВГ}} \cdot C_{\text{НГ}}}{\rho_H} \quad (2.76)$$

$$V_G = \frac{482,11 \cdot 15}{1,5} = 4821,10 \text{ м}^2$$

Зберігання крейди

$$V_B = \frac{Q^{\text{доб}} \cdot C}{\rho_H} \quad (2.77)$$

$$V_G = \frac{2019,33 \cdot 3}{1,3} = 4821,10 \text{ м}^2$$

Площа зберігання

$$F_G = \frac{V_G \cdot K_1}{K_2 \cdot H_M} \quad (2.78)$$

$$F = \frac{V_G \cdot K_1}{K_2 \cdot H_M} = \frac{4821,10 \cdot 1,2}{0,85 \cdot 10} = 680,63 \text{ м}^2$$

Вибір силосного складу для огарків. Необхідна ємність силосного складу для збереження огарків.

$$V_O = \frac{K^{\text{П}} \cdot B_3^{\Phi} \cdot C_H}{365 \cdot K_H^{\text{СМ}} \cdot \gamma_{\text{ог}}}, \text{м}^3, \quad (2.78)$$

де $K^{\text{П}}$ – річний випуск клінкеру, т/рік;

B_3^{Φ} – фактична витрата огарків на 1 т клінкеру, т/т кл;

C_H – нормативний запас огарків, діб;

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

$K_{\text{и}}^{\text{см}}$ – коефіцієнт використання сировинних млинів;

$\gamma_{\text{ог}}$ – об'ємна маса огарків, т/м³

$$V_{\text{о}} = \frac{394200 \cdot 0,03403 \cdot 15}{365 \cdot 0,85 \cdot 2,0} = 324,29$$

Приймаємо один силос ємністю 500 м³ і встановлюємо силос на сировинний млин грубого помелу.

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

$$V_{\text{ш}} = \frac{\left(Q_{\text{вш}}^{\text{доб}}\right) \cdot C_{\text{нш}}}{\rho_{\text{нш}}} \quad (2.79)$$

де $Q_{\text{вш}}^{\text{доб}}$ – добова витрата шлаку в складі, т/добу;

$C_{\text{нш}}$ – кількість діб нормативного запасу шлаку; приймаємо

$$C_{\text{нш}} = 10 \text{ діб.}$$

$\rho_{\text{нш}}$ – насипна маса шлаку т/м³; приймаємо $\rho_{\text{нш}} = 1,0 \text{ т/м}^3$.

$$V_{\text{ш}} = \frac{240,12 \cdot 10}{1,0} = 2401,2 \text{ м}^3$$

Площа складу для зберігання шлаку становить:

$$F_{\text{дгш}} = \frac{V_{\text{дгш}} \cdot K_1}{K_2 \cdot H_{\text{дгш}}} \quad (2.80)$$

$$F_{\text{ш}} = \frac{2401,2 \cdot 1,2}{0,85 \cdot 10} = 338,99 \text{ м}^2$$

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

$$V_{\text{гк}} = \frac{Q_{\text{гк}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{нгк}}}{\rho_{\text{нгк}}} \quad (2.81)$$

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

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

$C_{\text{НГК}}$ – 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.

$$V_{\text{ГК}} = \frac{87,31 \cdot 30}{1,35} = 1940,22 \text{ м}^3$$

Площа складу для зберігання гіпсового каменю

$$F_{\text{ГК}} = \frac{V_{\text{ГК}} \cdot K_1}{K_2 \cdot H_{\text{ГК}}} \quad (2.82)$$

$$F_{\text{ГК}} = \frac{1940,22 \cdot 1,2}{0,85 \cdot 10} = 273,91 \text{ м}^2$$

2.6 Технологічний контроль виробництва

Технологічний (виробничий) контроль на цементному заводі за мокрим способом виробництва є комплексною системою заходів, що здійснюється на всіх етапах – від прийомки сировини до відвантаження готового цементу, гарантуючи стабільність процесу та високу якість продукції.

На початковому етапі проводиться ретельний контроль вхідної сировини, палива та добавок. Для карбонатного та алюмосилікатного компонентів (вапняку і глини) визначають вологість, хімічний склад, зокрема вміст оксидів кальцію, кремнію, алюмінію та шкідливих лугів, а також здатність глини до розпускання у воді.[36] Одночасно перевіряється технологічне паливо на теплоту згоряння, зольність і вологість, а для коригуючих добавок і гіпсового каменю контролюється чистота та гранулометричний склад.

Наступним критично важливим етапом є контроль приготування сировинного шламу у помольному відділенні та шламбасейнах. Лабораторія постійно (кожні 1–2 години) відстежує вологість шламу, яка має

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

підтримуватися в межах 36–42% для забезпечення оптимальної текучості без перевитрат палива на подальше сушіння. Тонкість помелу перевіряється залишком на ситі 80 мкм, що не повинен перевищувати 10–12%, оскільки грубший помел погіршує спікання клінкеру. [37]

Для досягнення ідеального хімічного складу у шламбасейнах регулярно відбирають проби на титр, на основі яких розраховують силікатний і глиноземний модулі та коефіцієнт насичення, що дозволяє точно відкоригувати суміш перед подачею в піч. Під час випалювання клінкеру в обертовій печі технологічний контроль здійснюється за допомогою автоматизованих систем і оперативного персоналу. Безперервно вимірюється тепловий режим: температура в зоні спікання підтримується на рівні 1400–1450 °С, а також контролюється температура відхідних газів та вторинного повітря. Газоаналізатори фіксують склад відхідних газів для запобігання хімічному недопалу палива. Одночасно проводиться експрес–контроль якості самого клінкеру шляхом визначення його літрової маси (норма 1200–1300 г/л) та вмісту вільного оксиду кальцію, який не повинен перевищувати 1,5%, щоб уникнути нерівномірності зміни об'єму майбутнього цементу. [38,39,40]

На фінальній стадії помелу цементу здійснюється суворий ваговий контроль дозування клінкеру, гіпсу (зазвичай 3–5%) та мінеральних добавок. Тонкість помелу готового цементу оцінюється за його питомою поверхнею, яка для стандартного портландцементу має становити 2800–3200 см²/г. Заводська лабораторія проводить комплексні фізико–механічні випробування відібраних проб: перевіряє терміни тужавіння (початок не раніше 45 хвилин, кінець не пізніше 10 годин), рівномірність зміни об'єму при кип'ятінні, а також визначає марку цементу шляхом випробування зразків–балочків на згин та стиск через 2, 7 і 28 діб. [41,42]

Додатково проводиться хімічний аналіз на вміст SO₃ для запобігання хибному тужавінню. Невіддільною частиною виробничого циклу є екологічний контроль, який включає моніторинг ефективності роботи

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

фільтрів на всіх джерелах пилоутворення та аналіз газових викидів (оксидів азоту та сірки) з обертової печі в атмосферу. Усі отримані результати технологічного контролю безперервно фіксуються в оперативних базах даних підприємства, а на кожну партію якісного готового цементу, що відповідає стандартам, лабораторія видає паспорт якості[43]

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Опис сировинного відділення заводу

Сировинне відділення цеху помелу цементу є надзвичайно важливою ланкою технологічного ланцюга, оскільки від його ефективності залежить безперервність роботи помольних агрегатів та стабільність якості готового продукту. Основне призначення цього відділення полягає у прийманні, зберіганні нормативних запасів, усередненні та високоточному дозуванні базових компонентів цементної шихти: портландцементного клінкеру, гіпсового каменю (регулятора термінів тужавіння) та активних мінеральних добавок.

Приймання та зберігання матеріалів Організація складського господарства спроектована з урахуванням забезпечення безперебійної роботи підприємства та створення достатніх нормативних запасів сировини. Охолоджений клінкер після обертової печі транспортується за допомогою пластинчастих конвеєрів на проміжний склад або безпосередньо у витратні бункери відділення помолу. Для довгострокового зберігання клінкеру проєктом передбачено горизонтальний склад відкритого типу. Об'єм цього складу становить $3630,26 \text{ м}^3$, а його розрахункова площа дорівнює $269,68 \text{ м}^2$. Така місткість дозволяє зберігати нормативний запас клінкеру, розрахований на 4 доби безперервної роботи. [44]

Зберігання гіпсового каменю, який додається у кількості 3–5% для регулювання термінів тужавіння цементу, також здійснюється на горизонтальному складі відкритого типу. Площа цього складу становить $273,91 \text{ м}^2$, що забезпечує утримання запасу сировини на 30 діб.

Для виробництва цементів із мінеральними добавками (зокрема доменним гранульованим шлаком) передбачено окремий горизонтальний склад відкритого типу. Його площа становить $338,99 \text{ м}^2$, що вміщує

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

нормативний запас шлаку на 10 діб. Специфічні коригувальні добавки, такі як піритні недопалки, зберігаються в закритому силосі ємністю 500 м³.

Витратні бункери, дозування та транспортування Для забезпечення стабільного живлення млинів матеріали зі складів подаються у витратні бункери відділення помолу. Процес транспортування сировини зі складів до бункерів здійснюється за допомогою розвиненої системи стрічкових конвеєрів та ковшових елеваторів (норій). [45]

Перед подачею в помольний агрегат здійснюється суворий ваговий контроль дозування клінкеру, гіпсу та мінеральних добавок. Під кожним витратним бункером змонтовані автоматичні вагові дозатори безперервної дії, які формують суворо визначену за складом шихту. Віддозовані матеріали збираються на загальний стрічковий конвеєр і направляються у завантажувальну горловину млина. Для безпосереднього живлення млина проєктом обрано тарілчастий живильник діаметром 1600 мм. [46,47]

Аспіраційні системи Вузли перевантаження сухого клінкеру, шлаку та інших добавок є джерелами інтенсивного пилоутворення. Екологічний контроль та дотримання санітарних норм забезпечуються шляхом моніторингу ефективності роботи фільтрів на всіх джерелах пилоутворення. Відділення обладнується потужними аспіраційними установками з рукавними фільтрами або прохідними циклонами.[48] Вловлений пил за допомогою шнеків або пневмотранспорту повертається у технологічний процес, що мінімізує втрати сировини та покращує екологічні показники підприємства.

3.2 Опис трубного кульового млина Ø3,2×15 м

Для здійснення тонкого помелу цементу в проєкті обґрунтовано встановлення двох трубних кульових млинів діаметром 3,2 метра та довжиною 15 метрів. У контексті вибору технологічного обладнання трубні

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

кульові млини продовжують утримувати статус найбільш надійних та економічно обґрунтованих рішень. Їхня висока експлуатаційна надійність, простота конструктивного виконання, ремонтпридатність та здатність працювати в умовах постійних динамічних навантажень роблять їх незамінними для безперервних виробничих циклів.

Конструкція та основні вузли агрегату Млин Ø3,2×15 м має класичну двокамерну конструкцію. Він складається із завантажувальної частини, сталевого циліндричного барабана, розвантажувальної частини, масивних підшипникових опор та приводу. Агрегат має центральний приводний механізм та центральний вид розвантаження. Загальна вага млина без мелючих тіл становить 223,1 тонни. [49]

Барабан млина розділений на дві камери за допомогою міжкамерної перегородки. У даній моделі застосовується сегментна пруткова перегородка, яка дозволяє матеріалу вільно переміщуватися вздовж осі млина, але утримує мелючі тіла у відповідних зонах.

Принцип роботи та рух матеріалу Підготовлена шихта (клинкер, гіпс, добавки) безперервно подається у першу камеру млина. При обертанні барабана з робочою частотою 16,94 об/хв мелючі тіла піднімаються на певну висоту під дією відцентрових сил та сил тертя, після чого падають вниз. [50,51]

Перша камера завантажується сталевими кулями великого діаметра. У цій зоні відбувається інтенсивне ударне руйнування матеріалу. Здрібнена фракція проходить крізь міжкамерну перегородку і потрапляє у другу камеру. Ця камера завантажується дрібнішими кулями або цильпесом, де матеріал піддається переважно стираючим навантаженням. Загальна завантаженість млина мелючими тілами становить 126 тонн. Ці агрегати дозволяють здійснювати тонкий помел матеріалів із різними фізико-механічними властивостями, забезпечуючи високу якість гомогенізації кінцевого продукту.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

Робота в замкненому циклі з сепаратором Спільний тонкий помол клінкеру, гіпсу та мінеральних добавок у багатокамерних млинах часто здійснюється за схемою замкненого циклу, для чого млини обладнуються сепараторами. Суміш після проходження млина направляється у повітряний сепаратор, де відбувається розділення фракцій. Недомелені частинки (крупка) повертаються на повторне подрібнення, що запобігає переподрібненню матеріалу і підвищує продуктивність агрегату. [52]

Готовий продукт вловлюється в системі циклонів; для даного млина передбачені циклони діаметром 800 мм. [53, 54] Така схема дозволяє суворо контролювати дисперсність: питома поверхня готового портландцементу має становити не менше 3000–3500 см²/г.

Основні технічні характеристики млина Ø3,2×15 м:

Діаметр: 3,2 м.

Довжина: 15 м.

Кількість камер: 2.

Частота обертання: 16,94 об/хв.

Продуктивність: 60,0 т/год.

Завантаженість мелючими тілами: 126 т.

Питома витрата електричної енергії: 34,6 кВт.

Вага млина (без привода й мелючих тіл): 223,1 т.

Після системи сепарації та аспірації готовий цемент за допомогою пневмокамерних насосів або аерозолобів транспортується по трубопроводах у силоси готової продукції для зберігання та стабілізації властивостей.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Небезпечні та шкідливі фактори на виробництві

Виробництво цементу мокрим способом є складним технологічним процесом, що включає енергоємні стадії дроблення сировини, приготування та подрібнення шламу в трубних кульових млинах $3,2 \times 15$ м, високотемпературний випал клінкеру в оберткових печах та фінальний помел готового цементу. Умови праці персоналу на таких об'єктах характеризуються наявністю комплексу небезпечних та шкідливих виробничих факторів, класифікація яких базується на вимогах ДСТУ 2293–99 та ГОСТ 12.0.003–74.[55,56] До фізичних факторів першочергового значення належить підвищений рівень акустичного навантаження та вібрації, що генеруються роботою кульових млинів, масивних вентиляторів, димососів та дробарок.[57] Інтенсивний шум та вібрація негативно впливають на центральну нервову та серцево–судинну системи працівників, провокуючи професійну приглухуватість, швидку втомлюваність та зниження пильності, що опосередковано збільшує ризик травматизму. Не менш критичним фактором є присутність у робочій зоні рухомих машин, відкритих передавальних механізмів, вінцевих шестерень оберткових печей та транспортуючих пристроїв (конвеєрів, елеваторів), де небезпека механічного травмування – порізів, защемлень або ампутацій – зберігається при будь–якому порушенні правил безпеки. Виробниче середовище також ускладнюється наявністю небезпеки ураження електричним струмом, оскільки експлуатація електроустановок великої потужності (головні приводи млинів понад 2000 кВт) вимагає суворого контролю стану ізоляції та заземлення.[24]

Окрему групу фізичних факторів становить небезпека падіння під час обслуговування висотних споруд – силосів, шламбасейнів, циклонів та

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

естакад. Специфіка мокрого способу виробництва додає до цього ризику фактор слизьких поверхонь через розлив шламу, що у поєднанні з недостатнім або нерівномірним освітленням робочих майданчиків створює підвищену загрозу падіння на одному рівні або з висоти.[26] Хімічний аспект виробництва зумовлений використанням сировини (вапняк, глиниста сировина, шлак) та готової продукції (клінкер, цемент), які у вигляді дрібнодисперсного пилу (4–й клас небезпеки, ГДК 6 мг/м³) чинять системну подразнюючу дію на органи дихання, шкіру та слизові оболонки, викликаючи професійні захворювання, такі як цементоз та пневмоконіоз. Крім того, робота обертових печей супроводжується виділенням продуктів згоряння палива, зокрема оксиду вуглецю (СО, ГДК 20 мг/м³), який при порушенні герметичності печі або систем аспірації може накопичуватися в робочій зоні, спричиняючи гострі інтоксикації. Нарешті, психофізіологічні фактори, такі як значні фізичні навантаження при ремонтних роботах та висока емоційна напруженість операторів центральних пультів керування, зумовлена необхідністю постійного моніторингу параметрів печі та млинів, призводять до психоемоційного виснаження. Взаємодія всіх перелічених факторів формує складне виробниче середовище, що вимагає впровадження суворої системи технічних та організаційних заходів безпеки для нівелювання ризиків для життя та здоров'я персоналу.[58]

4.2 Техніка безпеки у виробничому відділенні

Відділення помелу цементного заводу належить до виробничих об'єктів з підвищеною небезпекою, оскільки в процесі експлуатації технологічного обладнання на працівників можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Організація безпечних умов праці здійснюється відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю України, НПАОП та державних санітарних норм і правил.[59]

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами у відділенні помелу цементу є підвищена запиленість повітря робочої зони, підвищені рівні шуму та вібрації, наявність рухомих частин машин і механізмів, електричний струм, можливість падіння працівників під час виконання робіт на висоті, а також небезпека травмування під час ремонту й технічного обслуговування обладнання.

Одним із найбільш характерних шкідливих факторів є цементний пил, який утворюється під час помелу клінкеру та транспортування готового цементу. Цементний пил містить дрібнодисперсні частинки, які тривалий час перебувають у завислому стані в повітрі та можуть проникати в органи дихання людини. Тривалий вплив пилу викликає подразнення слизових оболонок очей і дихальних шляхів, сприяє розвитку професійних захворювань органів дихання та знижує працездатність персоналу. Для забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища концентрація пилу в робочій зоні не повинна перевищувати встановлених гранично допустимих концентрацій відповідно до вимог ДСН та ДСТУ.

Для зниження запиленості виробничих приміщень передбачається комплекс заходів, який включає герметизацію обладнання, використання високоефективних систем аспірації, установлення рукавних або електрофільтрів, регулярне прибирання виробничих приміщень із застосуванням промислових пилососів та контроль стану пиловловлювальних установок. Забороняється видалення пилу шляхом обдування обладнання стисненим повітрям, оскільки це сприяє вторинному запиленню робочої зони.[60]

У процесі роботи трубного кульового млина Ø3,2×15 м, вентиляторів, сепараторів, елеваторів та іншого транспортного обладнання виникають підвищені рівні шуму і вібрації. Джерелами шуму є удари мелючих тіл у млині, робота електродвигунів, редукторів, вентиляторів та механізмів транспортування матеріалу. Тривала дія шуму негативно впливає на

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

центральну нервову систему, викликає швидку втому та може призвести до погіршення слуху. Для зменшення шумового навантаження застосовуються шумоізолюючі кожухи, звукоізолюючі конструкції, віброізолюючі опори обладнання та раціональне планування виробничих приміщень. Працівники повинні користуватися протишумними навушниками або вкладишами відповідно до вимог охорони праці.[23]

Суттєву небезпеку становлять рухомі частини технологічного обладнання. До них належать барабан кульового млина, приводні механізми, муфти, зубчасті передачі, стрічкові конвеєри, ковшові елеватори та інші транспортні пристрої. Контакт працівника з рухомими елементами може спричинити тяжкі травми. Усі відкриті рухомі частини обладнання повинні бути обладнані захисними огороженнями, що виключають випадковий доступ персоналу до небезпечних зон. Забороняється виконувати очищення, змащування або ремонт механізмів під час їх роботи.

Особлива увага приділяється безпечному виконанню ремонтних робіт. Перед початком ремонту обладнання необхідно повністю зупинити технологічний процес, відключити електроживлення, перекрити подачу матеріалу та виконати блокування пускових пристроїв. На органах керування повинні бути встановлені попереджувальні плакати «Не вмикати! Працюють люди». Роботи всередині млина дозволяється виконувати лише після його повної зупинки, провітрювання та оформлення наряду–допуску. Усі ремонтні операції повинні здійснюватися під керівництвом відповідальної особи.

Електрообладнання відділення помелу працює під напругою, що створює небезпеку ураження електричним струмом. Для забезпечення електробезпеки всі металеві неструмопровідні частини обладнання підлягають захисному заземленню відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) та Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів.[61] Електрощити повинні бути замкненими, а доступ до них дозволяється лише електротехнічному персоналу, який має відповідну групу

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

допуску з електробезпеки. Періодично здійснюється перевірка опору ізоляції кабелів, справності заземлювальних пристроїв та захисної автоматики.

Для захисту працівників від впливу небезпечних і шкідливих факторів використовуються засоби індивідуального захисту. Персонал відділення помелу забезпечується спецодягом, спецвзуттям, захисними касками, окулярами, респіраторами та протишумними навушниками. Використання респіраторів є обов'язковим під час виконання робіт у місцях можливого виділення цементного пилу. Захисні окуляри застосовуються для запобігання потраплянню пилу в очі, а каски захищають працівників від травмування падаючими предметами.

Для підтримання нормативних параметрів повітряного середовища виробничі приміщення обладнуються системами загальнообмінної та місцевої вентиляції. Найбільш ефективним заходом боротьби із запиленістю є місцева аспірація джерел виділення пилу безпосередньо в місцях його утворення. Аспіраційні системи повинні працювати одночасно з технологічним обладнанням та проходити регулярний контроль технічного стану. Ефективність роботи вентиляції перевіряється шляхом проведення інструментальних вимірювань параметрів повітряного середовища.

Важливою складовою системи охорони праці є навчання персоналу безпечним методам роботи. Усі працівники проходять вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Допуск працівника до самостійної роботи здійснюється лише після проходження навчання, стажування та перевірки знань з охорони праці.

У разі виникнення аварійної ситуації працівник зобов'язаний негайно зупинити обладнання, повідомити керівника зміни та діяти відповідно до плану локалізації та ліквідації аварійних ситуацій. При виникненні пожежі необхідно повідомити пожежно-рятувальну службу, відключити

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

електроживлення аварійної ділянки та використати первинні засоби пожежогасіння.[25] У випадку травмування працівника необхідно надати домедичну допомогу потерпілому та організувати його доставлення до медичного закладу.

Попередження виробничого травматизму у відділенні помелу досягається шляхом удосконалення технологічних процесів, автоматизації виробництва, своєчасного технічного обслуговування обладнання, застосування колективних та індивідуальних засобів захисту, систематичного контролю стану охорони праці та підвищення рівня виробничої дисципліни персоналу. Виконання зазначених заходів забезпечує створення безпечних умов праці та зниження ризику виникнення нещасних випадків під час експлуатації відділення помелу цементного заводу.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті обґрунтовано технологічні та технічні рішення з проєктування відділення помелу цементного заводу із застосуванням трубних кульових млинів розміром $\varnothing 3,2 \times 15$ м. Виконані розрахунки підтверджують спроможність обраної технологічної схеми забезпечити задану продуктивність лінії та стабільну якість готової продукції згідно з вимогами ДСТУ Б EN 197–1. Досягнута мета проєктування базується на оптимізації процесів подрібнення та раціональному використанні енергетичних ресурсів, що є ключовим фактором ефективності цементного виробництва.

Технологічний процес помелу клінкеру реалізовано шляхом встановлення двох трубних кульових млинів розміром $\varnothing 3,2 \times 15$ м, які характеризуються продуктивністю 60 т/год кожен при споживаній потужності 2000 кВт. Вибір даного обладнання зумовлений високою експлуатаційною надійністю агрегатів, їхньою ремонтпридатністю та здатністю ефективно працювати в умовах безперервних динамічних навантажень. Конструктивні особливості млинів, зокрема наявність двох камер із відповідним завантаженням помольними тілами (загальною масою 126 т на кожний млин), дозволяють забезпечити необхідну тонкість помелу цементу, що відповідає питомій поверхні 3000–3500 $\text{см}^2/\text{г}$.

Розрахунок матеріального балансу цеху підтверджує раціональність підбору основного обладнання для забезпечення річного випуску цементу на рівні 541788,64 т/рік, враховуючи виробничі втрати. Для зберігання готової продукції проєктом передбачено силосну систему з чотирьох силосів місткістю 6000 т кожен, що гарантує нормативний запас на 9 діб роботи. Виконані технічні розрахунки супутнього обладнання, включаючи тарілчасті живильники діаметром 1600 мм та системи транспортування, забезпечують

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

узгоджену роботу всіх ланок технологічного потоку, мінімізуючи ризики зупинок та забезпечуючи стабільну подачу шихти у млини.

Запропонована схема помелу дозволяє інтегрувати активні мінеральні добавки, такі як доменний гранульований шлак, що знижує собівартість продукції та надає цементу покращених експлуатаційних характеристик, зокрема підвищеної сульфатостійкості та зниженої екзотермії. Застосування автоматичних вагових дозаторів безперервної дії забезпечує високу точність хімічного складу шихти, що критично важливо для виробництва високомарочних цементів. Питання охорони праці та промислової безпеки вирішені шляхом впровадження ефективних аспіраційних установок з рукавними фільтрами, що знижує запиленість робочих зон та забезпечує дотримання санітарно–екологічних нормативів.

Практичне значення проєкту полягає у створенні проєкту відділення помелу, яке характеризується високим рівнем автоматизації, надійності та економічної доцільності. Використані технічні рішення дозволяють забезпечити безперервність виробничого циклу, оптимізувати енерговитрати на тонну виробленої продукції та гарантувати високу якість цементу, що відповідає актуальним потребам будівельної індустрії України. Розроблена технологічна схема та підібраний комплект обладнання є технічно обґрунтованими та повністю готові до впровадження у промислову експлуатацію.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Токарчук В. В., Свідерський В. А. Хімічна технологія в'язучих речовин: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 340 с.
2. Taylor H. F. W. Cement Chemistry. 2nd ed. London: Thomas Telford, 1997. 459 p. (Класичне фундаментальне європейське видання).
3. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Будівельне матеріалознавство. Рівне: НУВГП, 2017. 744 с.
4. Hewlett P. C., Liska M. Lea's Chemistry of Cement and Concrete. 5th ed. Butterworth-Heinemann, 2019. 936 p.
5. Wills B. A., Finch J. Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. 8th ed. Butterworth-Heinemann, 2015. 512 p.
6. Benzer H., Lynch A. J. Crushing and Grinding Circuits: Their Simulation and Optimisation. Cement and Concrete Research. 2020. Vol. 130. Art. 105990.
7. Sanytsky M., Kropyvnytska T., Geviuk I. Multicomponent Eco-Efficient Composite Cements with High Early Strength. Chemistry & Chemical Technology. 2018. Vol. 12, No. 3. P. 385–390.
8. Odler I. Special Inorganic Cements. London: E & FN Spon, 2000. 395 p.
(Фундаментальне дослідження мінералогії клінкеру та спеціальних видів цементу).
9. Гоц В. І. Хімічна технологія в'язучих матеріалів. Київ: Основа, 2013. 396 с.
10. Scrivener K., Snellings R., Lothenbach B. A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials. CRC Press, 2016. 556 p. (Описує процес гідратації, утворення трингіту та вплив гіпсу).

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

11. John E., Matschei T., Glasser F. P. Effect of slag chemistry on the hydration of slag-blended cements. *Cement and Concrete Research*. 2018. Vol. 104. P. 87–99.
12. Snellings R., Mertens G., Elsen J. Supplementary cementitious materials. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2012. Vol. 74. No. 1. P. 211–278. (Детальний розбір пуцоланових добавок).
13. Соха В. Г., Кіра К. О. Використання техногенних відходів як коригувальних добавок у технології портландцементного клінкеру. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. Т. 31, № 4. С. 78–83.
14. Barcelo L., Kline J., Walenta G., Gartner E. Cement and carbon emissions. *Materials and Structures*. 2014. Vol. 47. P. 149–165. (Про утилізацію відходів, таких як піритні недопалки, для оптимізації шихти).
15. Шарапова О. В., Ковальчук О. Ю. Ресурсозберігаючі технології у виробництві цементу з використанням вторинних мінеральних ресурсів. *Екологічні науки*. 2023. № 2(47). С. 140–145.
16. ДСТУ Б EN 197–1:2015. Цемент. Частина 1. Склад, технічні умови та критерії відповідності загальнобудівельних цементів (EN 197-1:2011, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 31 с.
17. ДСТУ 4482:2005. Цемент та розчини. Терміни та визначення. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 18 с.
18. ДСТУ Б EN 196–1:2007. Методи випробування цементів. Частина 1. Визначення міцності (EN 196-1:2005, IDT). Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. 24 с.
19. ДСТУ Б EN 196–3:2007. Методи випробування цементів. Частина 3. Визначення термінів тужавіння та рівномірності зміни об'єму (EN 196-3:2005, IDT). Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. 16 с.
20. ДСТУ Б EN 197–2:2015. Цемент. Частина 2. Оцінювання відповідності (EN 197-2:2014, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 22 с.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

21. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT). Системи управління якістю. Вимоги. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 22 с.

22. ДСТУ ISO 14001:2015 (ISO 14001:2015, IDT). Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 24 с.

23. НПА ОП 0.00–1.71–13. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями. Затверджено Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 19.12.2013 № 966. Київ, 2014. 82 с.

24. НПА ОП 0.00–1.29–97. Правила захисту від статичної електрики. Затверджено Наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 22.04.1997 № 103. Київ, 1997. 45 с.

25. ДБН В.1.1.7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Основні вимоги. Київ: Мінрегіон України, 2017. 54 с.

26. ДБН В.2.5–28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. 86 с.

27. Rhodes M. Introduction to Particle Technology. 2nd ed. John Wiley & Sons, 2008. 462 р. (Основидроблення, подрібнення та класифікації дисперсних матеріалів).

28. Булгаков О. В., Воробйов О. М. Математичне моделювання кінетики мокрого помелу в трубних млинах великої потужності. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. 2020. Вип. 191. С. 64–72.

29. Austin L. G., Klimpel R. R., Luckie P. T. Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling. Society of Mining Engineers, 1984. 561 р. (Класична література з інженірингу кульових млинів).

30. Ткач В. В., Макаренко А. О. Гідродинаміка та гомогенізація суспензій у вертикальних шламбасейнах цементних виробництв. Наукові праці ОНАХТ. 2019. Т. 83, вип. 1. С. 115–121.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

31. Peray K. E. The Rotary Cement Kiln. 2nd ed. Chemical Publishing Co, 1998. 385 p. (Базове європейське керівництво з теплових процесів та знобів тової печі).
32. Bhatta J. I., Miller F. M., Kosmatka S. H. Innovations in Portland Cement Manufacturing. Portland Cement Association, 2011. 1350 p. (Сучасний світовий огляд технологій випалювання та охолодження клінкеру).
33. Schorcht F., Louca M., Elisabeth M. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. 506 p. (Офіційний європейський довідник найкращих доступних технологій).
34. Benzer H., Ergün L., Lynch A. J. Modelling cement grinding circuits. Powder Technology. 2001. Vol. 115, No. 3. P. 273–281.
35. Kurdowski W. Clinker Formation and Cement Grinding Technology. Cement and Concrete Research. 2016. Vol. 82. P. 12–19.
36. Alsop P. A. The Cement Plant Operations Handbook. 6th ed. Tradeship Publications Ltd, 2014. 254 p. (Найвідоміше практичне керівництво з операційного та лабораторного контролю на цементних заводах).
37. Сидоренко О. М. Методи оперативного контролю дисперсних характеристик сировинних шламів у виробництві в'язучих. Збірник наукових праць ЛНТУ. 2021. № 18. С. 92–99.
38. Moir G. K. Quality Control in Cement Manufacture. Advanced Concrete Technology: Constituent Materials. 2003. Vol. 1. P. 23–45.
39. Karanika A., Tsamatsoulis D. Optimization of raw meal preparation and clinker quality using advanced process control algorithms. Cement and Concrete Composites. 2019. Vol. 97. P. 112–121.
40. Chatterjee A. K. Cement Production Technology: Principles and Practice. CRC Press, 2018. 418 p. (Описує фізико-хімічний контроль клінкеру, визначення літрової маси та вільного CaO).

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

41. Sanytsky M., Marushchak U., Kirakevych O. Evaluation of Portland cement quality indicators based on European standards. *Materials Science & Engineering*. 2020. Vol. 24, No. 2. P. 75–81.
42. Skoog D. A., West D. M., Holler F. J., Crouch S. R. *Fundamentals of Analytical Chemistry*. 9th ed. Cengage Learning, 2013. 1072 p. (Основні хімічного аналізу, що використовуються в заводських лабораторіях для визначення сульфатів та оксидів).
43. Яковлев О. С., Черняк В. І. Автоматизація та управління якістю в сучасній технології будівельних матеріалів. *Вісник ОДАБА*. 2022. Вип. 86. С. 134–141.
44. Дворкін Л. Й., Клименко М. О. *Проектування підприємств будівельної індустрії: навчальний посібник*. Рівне: НУВГП, 2015. 312 с. (Основні розрахунки площ та ємностей складів сировини).
45. Fayed M. E., Otten L. *Handbook of Powder Science & Technology*. 2nd ed. Chapman & Hall, 1997. 872 p. (Описує механізм транспортування, норії та бункерні системи).
46. Reis M., Silva C. Advanced dosing and weighing systems in cement raw material preparation. *Control Engineering Practice*. 2017. Vol. 60. P. 142–151.
47. Малащенко В. О., Павлице В. Т. *Деталі машин: підручник*. Львів: Новий Світ-2000, 2020. 448 с. (Конструктивні особливості живильників та приводних механізмів).
48. Heumann W. L. *Industrial Air Pollution Control Systems. industrial Dust Collection*. CRC Press, 2021. 420 p. (Розрахунок та підбір аспіраційних систем і рукавних фільтрів).
49. Lynch A. J. *Comminution Handbook*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), 2015. 536 p. (Опис класичних конструкцій млинів з центральним приводом та розвантаженням).

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

50. Radziszewski P. Ball mill liner and diaphragm wear lifter design optimization. MineralsEngineering. 2013. Vol. 52. P. 148–155.

51. Fuerstenau D. W., Han K. N. Principles of Mineral Milling and Ball Grinding Kinetics. InternationalJournalofMineralProcessing. 2016. Vol. 148. P. 34–45.

52. Енергетичнийаналізпроцесуруйнуванняматеріалів у трубнихмлинадвокамерноїконструкції. Вісник КНУ ім. МихайлаОстроградського. 2021. Вип. 3(128). С. 104–110.

53. Tsamatsoulis D. Evaluation of closed-circuit cement ball mills efficiency using air separators. ChemicalEngineering&Technology. 2018. Vol. 41, No. 6. P. 1189–1198.

54. Wang X., Ge X., Zhang Z. Hydrodynamics and separation efficiency of 800 mm industrial cyclones for fine powder collection. PowderTechnology. 2020. Vol. 362. P. 455–464.

55. ДСТУ 2293–99.Охоронапраці. Терміни та визначенняосновних понять. Київ: ДержстандартУкраїни, 2000. 24 с.

56. ГОСТ 12.0.003–74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Примітка: цейміждержавний стандарт досівикористовується в інженернійпрактицідлябазовоїкласифікаціїчинників, якщо немаєповногозамінника ДСТУ.

57. Геврик Є. О.Охоронапраці в галузібудівельноїіндустрії: підручник. Київ: Центр учбовоїлітератури, 2018. 432 с. (Міститьспецифікузахистувід шуму та вібрацій великих млинів).

58. ДСН 2.2.5.027-2021.Державнісанітарнінорми "Гранично допустиміконцентраціїхімічних і біологічнихречовин в повітріробочоїзони". Київ: Міністерствоохорониздоров'яУкраїни, 2021. 115 с.

59. Закон України «Про охоронупраці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ (із змінами та доповненнями станом на 2026 рік).

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

60. Катренко Л. А., Кіт Ю. В. Охорона праці в хімічній та будівельній промисловості. Львів: Магнолія-2006, 2020. 380 с. (Описує заборону обдування обладнання та метод місцевої аспірації).

61. НПА ОП 40.1–1.21–98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено наказом Держнаглядохроппраці України від 09.01.1998 № 4. Київ, 1998. 128 с.

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис			

№ п/п	ФОРМАТ	ПОЗНАЧЕННЯ	НАЙМЕНУВАННЯ	КІЛ.АРКУШІВ	№ЕКЗ-РУ	ПРИМІТКА
1			Бункер	4		
2			Ваговий дозатор	4		
3			Млин «Гідрофол»	1		
4			Шламовий насос	3		
5			Вертикальний шламовий басейн	4		
6			Сировинний млин	3		
7			Насос-дозатор	1		
8			Горизонтальні шламові басейни	1		
9			Компресорна	1		
10			Обертова піч	2		
11			Колосникових охолодник	2		
12			Вентилятор гострого дуття	2		
13			Вентилятор загального дуття	2		
14			Скрубер	2		
15			Електрофільтр	3		
16			Димосмок	3		
17			Труба для викиду очищених газів	2		
18			Гвинтовий конвеєр для транспортування пилу	3		
19			Пневмогвинтовий насос	1		
20			Кішевий конієр	1		
21			Бункерний приймальний пристрій для розвантаження	1		
22			Склад клінкеру	1		

					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ							
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	Проект відділення помелу цементу з установкою трубних кульових млинів розміром 3,2×15 м за мокрим способом виробництва.			Лім.	Арк.	Аркушів		
Розроб.		Заморений						Д	П		4	
Консультант		Калішенко										
Керівник		Калішенко										
Н.Контр.		Калішенко										
Зав.каф.		Зайчук О.В.										
					ННІУДХТУ УДУНТ ХТКС та БМ 4ТС53							

						Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

[illegible]

Тримітка

Аркушів

1

УДХТУ

1 БМ гр.

53