

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 : Проектування відділення підготовки сировини для цементного заводу,
що працює за сухим способом виробництва із встановленням млинів $4,2 \times 10$ м.

За освітньою програмою бакалавр

Зі спеціальності: 161 хімічні технології та інженерія

Виконав : студент 4 курсу групи 4-ТС-53

(підпис)(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ) _____ / Євгеній ЯЦУНЕНКО /

Керівник: _____ асист, (PhD) Юлія КАЛІШЕНКО
(підпис) (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)

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 raw material preparation plant for a cement plant using the
dry process, including the installation of 4.2×10 m mills.

in the specialty: 161 chemical technology and engineering

Done by the student of the group: group 4-TS-53 Yevgeniy Yatsunenکو
(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 Яцененко Євгеній Олександрович

(Прізвище, Ім'я, По-батькові)

1.Тема роботи:: Проектування відділення підготовки сировини для цементного заводу, що працює за сухим способом виробництва із встановленням млинів 4,2×10 м.

Керівник роботи : Каліщенко 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 І – 500 (20%), ШПЦ ІІ/А-400 (50%), ПЦ ІІ/А-В –400 (30%)

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 4,2×10 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	12.05.2026 р.	
2.	Загальна частина	13.05.2026 р.	
3.	Технологічна частина	15.05.2026 р.	
4.	Спеціальна частина	26.05.2026 р.	
5.	Охорона праці	28.05.2026 р.	
6.	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	03.06.2026 р.	
	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри		
	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної системи		

Студент _____ Євгеній ЯЦУНЕНКО
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

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

[illegible]

					4ТС53.026.161.001 ДП				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування відділення підготовки сировини для цементного заводу, що працює за сухим способом виробництва із встановленням млинів 4,2×10 м.	Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.		Яцуненко Є.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., 28 джерел.

Проектом передбачається проектування відділення підготовки сировини для цементного заводу, що працює за сухим способом виробництва із встановленням млинів $4,2 \times 10$ м.

У загальній частині наведений асортимент продукції та вимоги стандарту, описана характеристика сировини та розрахована сировинна суміш для одержання портландцементного клінкеру.

У технологічній частині обрані та обґрунтовані: спосіб та технологічна схема виробництва; описані фізико-хімічні основи процесів підготовки та випалу; розраховані питомі норми витрат сировинних матеріалів і матеріальний баланс виробництва.

У спеціальній частині розрахована кількість основного обладнання по технологічним переділам заводу, детально описано відділення підготовки сировини із встановленням трубних сировинних млинів $4,2 \times 10$ м одночасного сушіння та помелу, розглянуто систему контролю та керування хіміко-технологічними процесами, наведено техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень.

У проєкті розроблено ряд заходів щодо охорони праці та безпеки життєдіяльності у виробничому підрозділі.

Графічна частина містить у собі: технологічну схему виробництва цементу за сухим способом та креслення основного апарату відділення — трубного сировинного млина $4,2 \times 10$ м.

ЦЕМЕНТ, СУХИЙ СПОСІБ, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, ПІДГОТОВКА СИРОВИНИ, ТРУБНИЙ МЛИН, МЕХАНОХІМІЧНА АКТИВАЦІЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ

Лист

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЗМІСТ

ВСТУП

1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Асортимент та характеристика продукції. Вимоги стандартів

1.2 Характеристика сировини. Вимоги стандартів

1.3 Розрахунок хімічного складу маси та готових виробів

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір технологічної схеми та її опис

2.2 Фізико-хімічні основи виробництва

2.3 Розрахунок матеріального балансу виробництва

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Вибір, розрахунок кількості та технічна характеристика устаткування

3.2 Контроль та керування хіміко-технологічними процесами

3.3 Опис конструкції та принципу дії сировинного трубного млина
4,2×10 м

3.4 Техніко-економічне обґрунтування

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

ДОДАТКИ

Додаток А

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

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

ВСТУП

Цементна промисловість є однією з фундаментальних галузей національної економіки, що забезпечує будівельний комплекс стратегічно важливим конструкційним матеріалом. На сучасному етапі розвитку економіки України та світу загалом, пріоритетними напрямками вдосконалення технології виробництва цементу є зниження його енергоємності, раціональне використання природних ресурсів та мінімізація негативного впливу на навколишнє середовище.

Переважна більшість старих вітчизняних цементних заводів була спроектована за мокрим способом виробництва, який характеризується надмірно високими питомими витратами палива на випалювання клінкеру (через необхідність випаровування значної кількості води зі шламу). У зв'язку з постійним зростанням вартості енергоносіїв, перехід на сухий спосіб виробництва є єдиним економічно виправданим шляхом розвитку галузі. Сучасний сухий спосіб дозволяє зменшити витрати палива майже вдвічі, що суттєво знижує собівартість готової продукції та підвищує її конкурентоспроможність.

Проте, сухий спосіб висуває значно жорсткіші вимоги до етапу підготовки сировини. Процеси сушіння, подрібнення та усереднення компонентів багато в чому визначають стабільність подальшого випалу та якість готового клінкеру. Тому проектування високоефективного відділення підготовки сировини із застосуванням потужних трубних млинів одночасного сушіння та помелу (розміром $4,2 \times 10$ м) є надзвичайно актуальним технологічним завданням.

Другим важливим аспектом сучасного цементного виробництва є розширення ресурсної бази за рахунок утилізації багатотоннажних промислових відходів. Залучення доменного гранульованого шлаку як активної мінеральної добавки при помелі цементу дозволяє знизити «клінкер-фактор», зменшити питому енергоємність продукції та випускати шлакопортландцементи з високими експлуатаційними характеристиками (стійкістю до корозії та агресивних

Піліс і дата						
Інв. № дубл.						
Замість						
Піліс і дата						
Інв. № оригін.						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист

середовищ). Використання залізовмісного пилу газоочистки суміжних виробництв у якості коригуючої добавки не лише вирішує проблему утилізації відходів, але й інтенсифікує процеси клінкеротворення за рахунок зниження температури утворення рідкої фази.

Метою даного бакалаврського проєкту є розробка відділення підготовки сировини для цементного заводу, що працює за сухим способом виробництва.

Для досягнення поставленої мети в проєкті вирішуються наступні завдання:

- розрахунок оптимального хімічного та речовинного складу сировинної суміші для випалу портландцементного клінкеру із залученням мергелю, глини та пилу газоочистки;
- обґрунтування та розрахунок матеріального балансу заводу з визначенням потреби в сировині, добавках і напівфабрикатах;
- вибір технологічної схеми та розрахунок основного технологічного устаткування (сировинних та цементних млинів, сушильних барабанів, ємностей складів);
- розробка заходів щодо контролю та керування хіміко-технологічними процесами;
- аналіз питань охорони праці, безпеки життєдіяльності та техніко-економічної ефективності запроєктованого виробництва.

Реалізація запропонованих у проєкті технологічних рішень дозволить створити сучасне, енергоефективне та екологічно безпечне виробництво цементу, що відповідає кращим світовим стандартам та принципам сталого розвитку.

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

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

1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Асортимент та характеристика продукції. Вимоги стандартів

Згідно з технологією виробництва базового підприємства, яке спеціалізується на сухому способі, асортимент цементної продукції включає наступні типи та марки гідравлічних в'язучих:

- Портландцемент ПЦ І-500: бездобавочний цемент високої міцності.
- Портландцемент з добавками ПЦ ІІ/А-ІІІ-400: містить помірну кількість мінеральних добавок.
- Портландцемент з добавками ПЦ ІІ/Б-ІІІ-400.
- Шлакопортландцемент ШПЦ ІІІ/А-400: містить від 36% до 65% доменного гранульованого шлаку.

Таблиця 1.1 – Типи і склад цементів [4], які передбачається випускати

Вид, марка цементу	Частка виду цементу, %	Об'єм виробництва за рік, т	Склад цементу, мас. %			
			клінкер	ДГШ	вапняк	гіпсове каміння
ПЦ І – 500	20	264042,55	95	0	0	5
ШПЦ ІІІ/А-400	50	660106,39	55	40	0	5
ПЦ ІІ/А-В – 400	30	396063,83	80	0	16	4

Основним масовим продуктом є шлакопортландцемент – гідравлічне в'язуче, яке отримують шляхом сумісного тонкого помелу портландцементного клінкеру та гранульованого доменного шлаку. При помелі обов'язково додається гіпсовий камінь (до 5%) для регулювання термінів тужавлення, що забезпечує вміст SO_3 в готовому цементі на рівні 1–4%. Шлакопортландце-

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ

Лист

мент доцільно застосовувати для зведення бетонних і залізобетонних підземних, надземних та підводних споруд, які піддаються впливу прісних і мінералізованих вод.

Фактори, що негативно впливають на якість і можуть призвести до руйнування та погіршення експлуатаційних властивостей бетонів на основі шлакопортландцементів:

- Дія перемінного заморожування та розморожування конструкцій.
- Тверднення важких бетонів при температурах навколишнього середовища нижче 10°C.
- Використання матеріалу для морозостійких бетонів з маркою міцності понад 200 МПа.

Виробництво цементу та його кінцеві характеристики суворо регламентуються вимогами ДСТУ Б В.2.7-46:2010 «Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови». Оскільки цемент є дисперсним порошком, геометричні «розміри» виробу визначаються тониною помелу (питомою поверхнею), яка для готового продукту повинна досягати 4400–4600 см²/г.

Для підтвердження якості та паспортизації кожної партії проводяться приймально-здавальні випробування за такими нормативними показниками: в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Назви - Нормативні показники та методи контролю якості цементу

Показник	Характеристика та методи контролю
1	2
Речовинний склад	Відсоток введення мінеральних добавок має відповідати типу цементу згідно з НТД

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

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

Тонкість помелу	Ступінь дисперсності визначається залишком на ситі або вимірюванням питомої поверхні.
1	2
Фізико-механічні властивості	Контроль нормальної густоти, термінів тузавлення (початок/кінець) та міцності (на згин і стиск 2 і 28 діб) проводиться за ДСТУ Б В.2.7-185, 187, 189:2009
Зміна об'єму	Рівномірність зміни об'єму перевіряється шляхом випробування зразків кип'ятінням у воді.
Хімічні вимоги	Повний хімічний аналіз клінкеру та добавок виконується за ДСТУ Б В.2.7-202:2009.
Екологічна безпека	Сумарна питома активність природних радіонуклідів у цементі не перевищує 370 Бк/кг (ДБН В.1.4-1.01)

1.2 Характеристика сировини. Вимоги стандартів

Вибір сировинних матеріалів для проектного відділення підготовки сировини цементного заводу, що працює за сухим способом виробництва, обумовлений хіміко-мінералогічною доцільністю забезпечення заданих модульних характеристик клінкеру, економічною ефективністю логістики та раціональним залученням промислових відходів регіону.[4,7]

В якості основного вапнякового компонента використовується мергель вапняковий. Його головне призначення – забезпечення сировинної суміші оксидом кальцію (CaO) для синтезу клінкерних мінералів (аліту та беліту).

Таблиця 1.3– Хімічний склад і природна вологість матеріалів, мас %.

Матеріал	Вологість	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	ВПП	Σ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Підпис і дата	
Інв. № дубл.	
Замість	
Підпис і дата	
Інв. № оригін.	

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

Мергельвап-няковий	8,50	6,50	2,86	1,10	49,75	1,28	0,10	37,34	98,93
Глина	10,68	58,42	16,20	0,95	7,97	2,33	0,81	12,20	98,88
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пил газо-очистки	2,25	14,20	14,89	35,00	30,15	3,02	2,24	0,50	100

В залежності від хімічного складу карбонатні породи поділяють на класи. Заданий мергель містить 49,75% CaO (що еквівалентно приблизно 88,8% CaCO₃) та незначну кількість MgO (1,28%). Вміст глинистих домішок (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) становить 10,46%. За цими показниками порода відповідає II-III класу карбонатних порід[4]. Природна вологість становить 8,50%, що є сприятливим фактором для сухого способу виробництва та використання млинів самоподрібнення (наприклад, типу «Аерофол»), які здатні підсушувати матеріал у процесі помелу.

Стандартом передбачено, що вміст MgO у готовому клінкері не повинен перевищувати 5,0% для уникнення нерівномірності зміни об'єму цементу. Наявні 1,28% MgO у мергелі повністю задовольняють цю вимогу.

Глина застосовується як алюмосилікатний компонент. Глинисті породи забезпечують в сировинній суміші необхідну кількість та співвідношення кислотних оксидів: SiO₂, Al₂O₃ і Fe₂O₃.

До хімічного складу глинистих порід установлені наступні вимоги: кількість CaO не обмежується, вміст лугів (Na₂O + K₂O) не має перевищувати 3-4%, а SO₃– не більше 1% [4]. Задана глина має SO₃ на рівні 0,81%, що відповідає нормам.

Глина характеризується високим вмістом SiO₂ (58,42%) та Al₂O₃ (16,20%), але є вкрай збідненою на залізо (Fe₂O₃ = 0,95%). Природна вологість становить 10,68%, тому глина потребуватиме попереднього підсушування теплоносієм (до 400 °C перед млином або в сушильному барабані).

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ

Лист

Зм. Лист № докум. Підпис Дата

Для досягнення економічної доцільності та вирішення проблеми дефіциту оксиду заліза у глині, у проєкті передбачено використання промислового відходу — пилу газоочистки металургійних чи суміжних виробництв.

Пил газоочистки містить 35,00% Fe_2O_3 . Він виступає потужною залізовмісною коригуючою добавкою, що знижує температуру спікання клінкеру та збільшує кількість рідкої фази у печі.

Компонент має мінімальну природну вологість (2,25%) та втрати при прожарюванні (0,50%), що свідчить про відсутність енергетичних витрат на його декарбонізацію. Це суттєво зменшує питому витрату палива на випал клінкеру [7].

Доменний гранульований шлак (ДГШ) постачається з Дніпровського металургійного комбінату (м. Кам'янське) автотранспортом і використовується як активна мінеральна добавка при помелі цементу типу ШПЦ Ш/А-400 [5]. Технічні вимоги до шлаку регламентуються ДСТУ Б В.2.7-302:2014. Матеріал надходить із високою початковою вологістю 20–25% та насипною щільністю у пухкому стані близько 800 кг/м³. На стадії підготовки він піддається обов'язковому висушуванню в сушильних барабанах до залишкової вологості не більше 1%. Сприятливий хімічний склад розплаву ДГШ містить: сумарно основні оксиди ($\text{CaO} + \text{MnO} + \text{MgO}$) – 42–52%, кислотні оксиди ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) – 46–55%. Валовий склад на 95% сформований чотирма основними оксидами (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO). Вміст оксиду марганцю MnO становить 2–4%, а оксидів заліза — не більше 1%. Придатність ДГШ оцінюється за коефіцієнтами якості, модулями основності та активності[5].

Гіпсовий камінь (гіпсові в'язучі) застосовується при помелі цементу в кількості до 5% відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-46:2010 для регулювання термінів тужавлення готового продукту з метою забезпечення вмісту SO_3 у межах від 1% до 4%. Якість гіпсу повинна відповідати нормативним вимогам

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата																	
<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td rowspan="3">4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ</td> <td rowspan="3">Лист</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Зм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> </tr> </table>										4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист						Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист															
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата																	

ДСТУ Б В.2.7-104-2000[3]. Гіпс виконує подвійну функцію: уповільнює швидку гідратацію клінкерних мінералів (аліту та трикальцієвого алюмінату) і водночас діє як активатор тверднення шлакової складової, що сприяє інтенсивному зростанню міцності шлакопортландцементу на всіх етапах його тверднення[6].

1.2 Розрахунок хімічного складу маси та готових виробів

В якості сировинних матеріалів на підприємстві, що проєктується, будуть використовуватися вапняк, доменний гранульований шлак, золошлаковий відхід, хімічний склад яких наведено в табл. 1.3. Розрахунок складу сировинної суміші (Додаток А) буде здійснюватись за коефіцієнтом насичення ($KH=0,90$) та силікатним модулем ($n=2,3$). Результати розрахунків наведені в табл. 1.4 та 1.5.

Результати розрахунку хімічного складу сировинної суміші і клінкеру наведено у табл. 1,4.

Таблиця 1.4– Хімічний склад сировинної суміші і клінкеру, мас. %

Матеріал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Інші	ППП	Сума
Мергельва- пняко- вий(85,16%)	5,53	2,43	0,94	42,3 7	1,09	0,08	0,91	31,80	85,16
Глина (14,34%)	8,38	2,32	0,14	0,14	0,34	0,12	0,16	1,75	14,34
Матеріал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Інші	ППП	Сума
Пил газо- очистки(0,5 0%)	0,07	0,07	0,17	0,15	0,01	0,01	0,00	0,00	0,50
С/суміш	13,9 8	4,82	1,25	43,6 6	1,44	0,21	1,07	33,55	100,00
Клінкер	21,0 5	7,27	1.88	65,7 0	2,17	0,32	1,61	—	100,00

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ

Лист

Зм. Лист № докум. Підпис Дата

Таблиця 1.5 – Речовий склад сировинної суміші

Матеріал	ВПП	Вміст компонентів, мас.%		
		Мергельва- пняковий	Глина	Пил газо- очистки
Сировинна су- міш	33,55	85,16	14,34	0,50

Розрахунок питомих норм витрат сировинних матеріалів

1.2.1 Теоретичні питомі витрати сухої сировини на 1 т клінкеру:

$$A_c^0 = \frac{100 \cdot 1000}{100 - \text{ВПП}}, \text{ кг/т кл.}, \quad (1.1)$$

де ВПП – витрати при прожарюванні сировинної суміші, % (табл. 1.2):

$$A_{\text{ц}}^{\text{рік}} = \frac{100 \cdot 1000}{100 - 33,55} = 1504,89 \text{ кг/т кл.}$$

1.2.2 Теоретичні питомі витрати сухих компонентів сировинної суміші:

$$A_i^0 = A_c^0 \cdot \frac{N_i}{100}, \text{ кг/т кл.}, \quad (1.2)$$

де N_i – вміст окремих компонентів в сировинній суміші, % (табл. 1.3).

-мергелю вапнякового:

$$A_{\text{марг}}^0 = 1504,89 \cdot \frac{85,16}{100} = 1281,56 \text{ кг/т кл.}$$

-глини:

$$A_{\text{марг}}^0 = 1504,89 \cdot \frac{14,34}{100} = 215,80 \text{ кг/т кл.}$$

-пилу газоочистки:

$$A_{\text{марг}}^0 = 1504,89 \cdot \frac{0,50}{100} = 7,52 \text{ кг/т кл.}$$

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ

Лист

Зм. Лист № докум. Підпис Дата

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

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

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

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

$$A_i^D = A_c^D \cdot \frac{N_i}{100}, \text{ кг/т кл.}; \quad (1.5)$$

-мергелю вапнякового:

$$A_{\text{марг}}^D = 1520,09 \cdot \frac{85.16}{100} = 1294.51 \text{ кг/т кл}$$

-глини:

$$A_{\text{марг}}^D = 1520,09 \cdot \frac{14.34}{100} = 217.98 \text{ кг/т кл}$$

-пилу газоочистки:

$$A_{\text{марг}}^D = 1520,09 \cdot \frac{0.50}{100} = 7.60 \text{ кг/т кл}$$

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

$$B_c^F = B_c^w \cdot \frac{100}{100 - \Pi_c}, \text{ кг/т кл.}, \quad (1.6)$$

$$B_c^F = 1649.90 \cdot \frac{100}{100 - 1.0} = 1666,58 \text{ кг/т кл}$$

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

$$B_i^F = B_i^w \cdot \frac{100}{100 - \Pi_c}; \quad (1.7)$$

-мергелю вапнякового:

$$B_{\text{марг}}^F = 1294.51 \cdot \frac{100}{100 - 1.0} = 1307,58 \text{ кг/т кл}$$

-глини:

$$B_{\text{гл}}^F = 217.98 \cdot \frac{100}{100 - 1.0} = 220.18 \text{ кг/т кл}$$

-пилу газоочистки:

Інв. № оригін.	Підпис і дата	
	Інв. № дубл.	
	Замість	
	Підпис і дата	
Зм. Лист № докум. Підпис Дата		4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ Лист

$$B_{\text{пил}}^{\Phi} = 7.60 * \frac{100}{100-1,0} = 7.67 \text{ кг/т кл}$$

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

$$K_{\Phi} = \frac{1000}{A_c^{\Delta}} = \frac{1000}{1520,09} = 0,6579 \text{ т/т с/с} \quad (1.8)$$

1.2.11 Природна вологість сировинної суміші:

$$W_c = \frac{B_c^{\Phi} - A_c^{\Delta}}{B_c^{\Phi}} \cdot 100\%, \quad (1.9)$$

$$W_c = \frac{1666.58 - 1520.09}{1666.58} * 100 = 8.79\%$$

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата	4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір технологічної схеми та її опис

Принципова технологічна схема виробництва цементу по сухому способу представлена на рис. 2.1

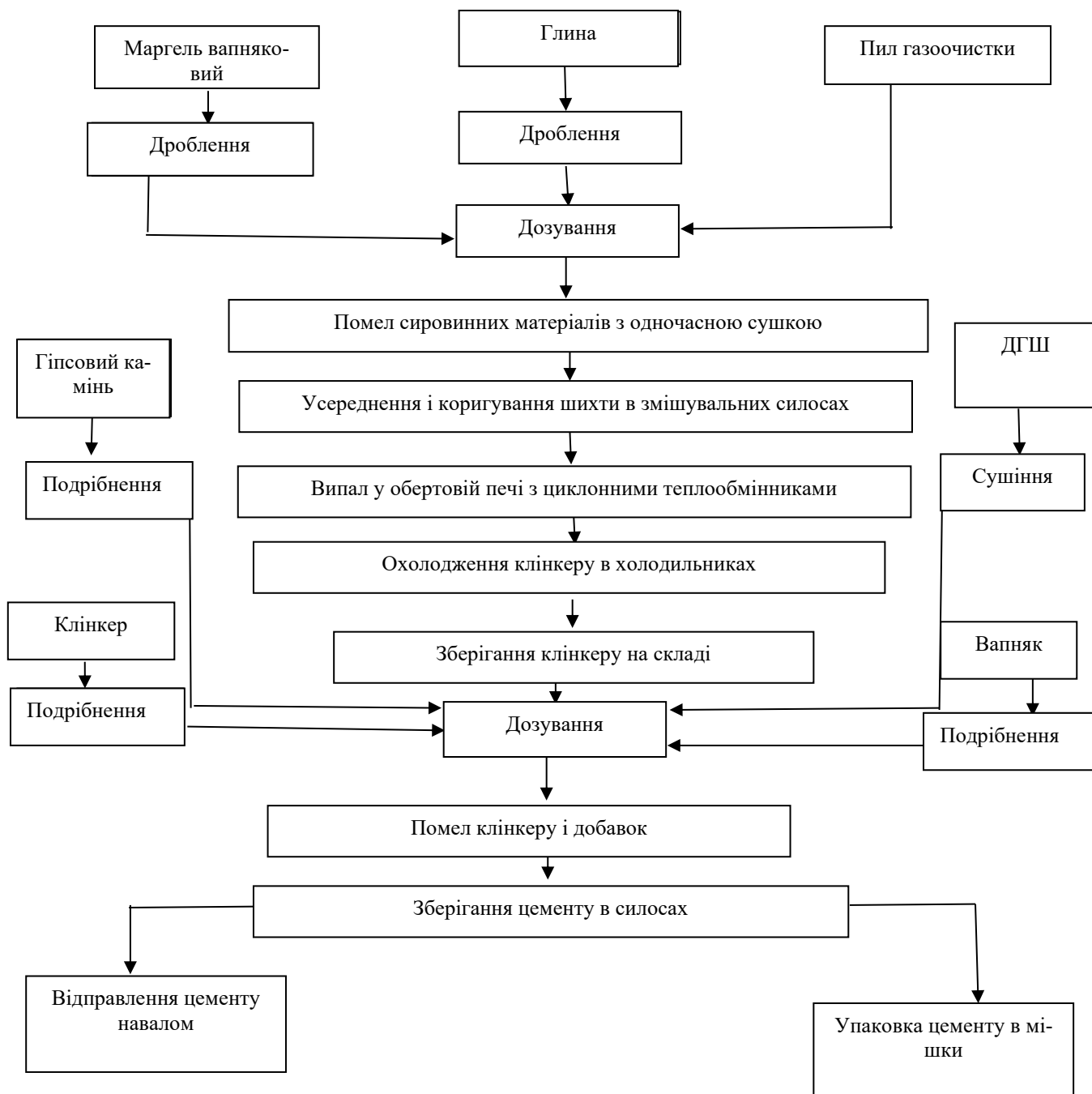


Рисунок 2.1 – Технологічна схема отримання цементу по сухому способу

Для виробництва цементу використовується доменний гранульований шлак Дніпровського металургійного комбінату (м. Кам'янське), який завозиться автотранспортом на склад. Граншлак подається грейферним краном у приймальний бункер (вологість шлаку становить від 5% до 15%).

Виробництво цементу наведено на рис 2.2.

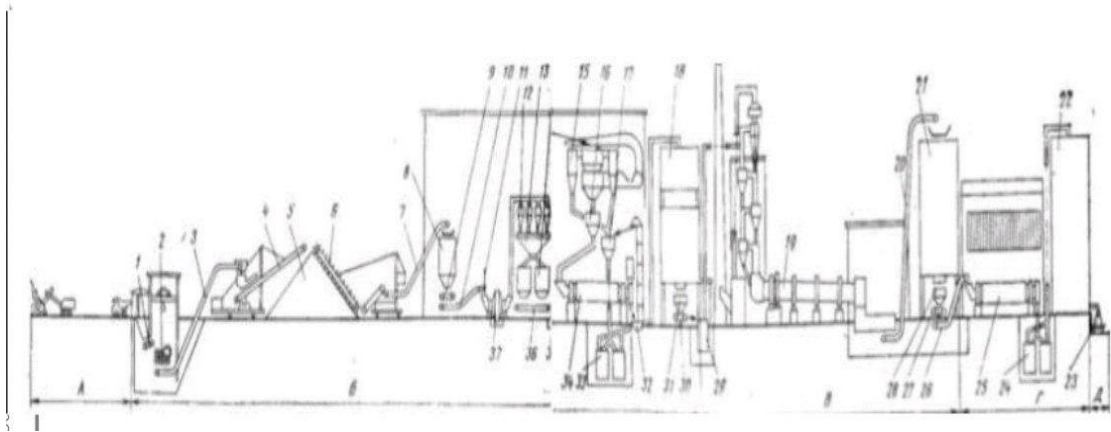


Рисунок 2.2— Схема заводу для виробництва цементу сухим способом

А-добування,завіз сировини;Б-підготування сировини; В-видал сировинної м уки; Д-відвантаження Г– помел клинкеру; Д– відвантаження цементу; 1– пластинний двигун;барка;2– дробарка; 3,7,10,26,36– стрічкові конвеєри; 4– штабелезавантаження; 5– усереднювальний штабель; 6– штабелерозбірник; 8– бункер сировини; 9,27,30– дозатори; 11– подача гарячих пічних газів; 12– циклони; 13– проміжний бункер; 14,17,28,31– бункера;15– повітряний сепаратор з прохідними циклонами; 18– двухрівневий змішувальний силос; 19– печний агрегат; 20– клинкерний конвеєр;21– клинкерний силос; 22– цементний силос;23– транспортуючий пристрій для відгрузки цементу; 24,33–пневмокамерні насоси; 25– помельний агрегат.

З приймального бункера граншлак за допомогою транспортерів та норії подається в бункери над сушильними барабанами №1 і №2. Перед барабанами

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ

Лист

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	
-----	------	----------	--------	------	--

Гіпсовий камінь із клінкерного складу подається в бункер №3 за допомогою норій та стрічкових транспортерів. Відповідно до ДСТУ Б В.2.7-46:2010, для регулювання термінів тужавлення при помелі цементу вводиться до 5% гіпсового каменю. Система рукавних фільтрів на північній галереї вловлює шлаковий пил із сушильних барабанів і скидає його в бункер №4, звідки він шнеком повертається у виробничий цикл. Первинно мелений шлак із млина №4 аерозолобом надходить у бункери над млинами №1 і №2, а також може подаватися норією на північну галерею в бункер №1.

Основним компонентом є портландцементний клінкер марки М500 (ПАТ «Івано-Франківськцемент»), який доставляється залізничним транспортом на клінкерний склад. Клінкер грейферним краном подається в бункер, звідки транспортується до витратного бункера над млином №1. Перед помелом клінкер проходить через валкову дробарку, де подрібнюється до фракції 5

Підпис і дата		млина №4 аероолобом надходить у бункери над млинами №1 і №2, а також може подаватися норією на північну галерею в бункер №1. Над млинами встановлено аспіраційну систему з рукавними фільтрами, яка за допомогою струшувального механізму повертає вловлений пил у бункер над аероолобом. Під час виробництва цементу первинно мелений шлак із бункерів №1 і №3 дозується ваговим живильником на млини для повторного помелу (продуктивність 14 т/год) до досягнення питомої поверхні 4400–4600 см²/г, після чого аероолобами та норіями подається на вагову або в силоси готової продукції. Основним компонентом є портландцементний клінкер марки М500 (ПАТ «Івано-Франківськцемент»), який доставляється залізничним транспортом на клінкерний склад. Клінкер грейферним краном подається в бункер, звідки транспортується до витратного бункера над млином №1. Перед помелом клінкер проходить через валкову дробарку, де подрібнюється до фракції 5		
Інв. № дубл.				
Замість				
Підпис і дата				
Інв. № оригін.		Зм. Лист № докум. Підпис Дата		

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ
Лист

мм. У млині №1 клінкер розмелюється до питомої поверхні 3200–3500 см²/г і транспортується аерозолобом у бункер №7 північної галереї.

При виробництві цементу первинно мелений клінкер і первинно мелений шлак (з питомою поверхнею 3200–3500 см²/г) дозуються ваговими живильниками в млини №1 і №2. Готовий цемент із питомою поверхнею 4400–4600 см²/г транспортується на склад, де додатково перемішується під час руху системами аерозолобів.

Завод також виготовляє бездобавочний цемент ПЦ І-500. Мелений клінкер із бункера №7 подається на млини №1 і №2, де розмелюється до питомої поверхні 4400–4600 см²/г.

Заводська лабораторія здійснює безперервний операційний контроль:

- Щогодини проводиться відбір проб із потоку для проведення фізико-механічних випробувань та контролю питомої поверхні.
- Двічі за зміну перевіряється вміст гіпсу в цементі.
- Для підвищення продуктивності млинів та якості помелу використовується комплексна добавка «Корал Іnt 2» у дозуванні 350 г/т.

Відвантаження готової продукції здійснюється в автоцементовози та залізничні вагони. Для завантаження паперових мішків використовується пакувальна машина з автоматичним ваговим механізмом наповнення.

2.2 Фізико-хімічні основи виробництва

У технології сухого способу виробництва портландцементного клінкеру сировинна сумішпроходить складний комплекс послідовних фізичних, механохімічних та фізико-хімічнихперетворень. Ці процеси умовно поділяються на два основні етапи: підготовку сировини(сушіння, подрібнення, усереднення)

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

та її термічну обробку (випалювання). Процесиформування, варіння та вологої грануляції у сухому способі виробництва відсутні.

Фізико-механічні та механохімічні процеси підготовки сировини

- Сушіння: Оскільки вихідні компоненти мають значну природну вологість, вони потребують термічного підсушування. Процесушіння є суто фізичним ендотермічним процесом випаровування вільної(гігроскопічної) вологи за температур до 150 °С. У сухому способі видаленнянадлишкової вологи є критично важливим, оскільки вона спричиняє налипанняматеріалу на бронефутерівку та мелючі тіла в трубних млинах, що різко знижуєпродуктивність агрегатів і перешкоджає досягненню необхідної тонини помелу.

- Подрібнення та механохімічна активація: Процес сумісного диспергуваннямергелю, глини та коригуючої добавки (пилу газоочистки) у трубних сировиннихмлинах розміром 4,2×10 м не обмежується лише механічним зменшенням розмірчастинок. Під дією інтенсивних ударно-стираючих навантажень протікають глибокі процеси механохімічної активації. При руйнуванні кристалічних решіток мінералівна свіжоутворених поверхнях зерен виникають ненасичені валентності та активні центри. Значна частина механічної енергії млина переходить у надлишковуповерхневу та внутрішню енергію матеріалу (мікропластичні деформації, зростаннягустини дислокацій, часткова аморфізація).

- Вплив на мергель: Спостерігається порушення впорядкованості решіткикальциту, що в подальшому знижує температуру його декарбонізації.

- Вплив на глину: Локальні підвищення температури та механічна дія в зоніконтакту мелючих тіл викликають початок дегідратації шаруватихалюмосилікатів, перетворюючи їх на більш реакційноздатний стан ще допотрапляння у піч.

- Гомогенізація (усереднення): Пневматичне перемішування тонкого лотогосировинного борошна в силосах забезпечує ідеальний розподіл мікро частиноккислотних оксидів (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) та основного оксиду (CaO).

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

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

Тісний просторовий контакт цих фаз є термодинамічною та кінетичною умовою для повноти протікання подальших твердофазових реакцій у печі без утворення шкідливого надлишку вільного оксиду кальцію (СаО вільн).

Фізико-хімічні процеси при випалюванні клінкеру

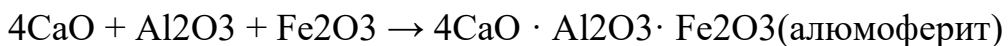
Підготована та гомогенізована сировинна суміш подається до обертової печі з циклонним теплообмінником та декарбонізатором, де під впливом високих температур протікають такі основні реакції клінкеротворення:

- Підігрів та дегідратація (100–600 °С): Відбувається видалення залишків вільної води та відщеплення хімічно зв'язаної води з глинистих мінералів (наприклад, перехід каолініту в метакаолінит). Кристалічна решітка глини руйнується з утворенням аморфної високоактивної суміші оксидів алюмінію та кремнію.

- Декарбонізація (700–1000 °С): Найбільш енергоємний ендотермічний хімічний процес дисоціації карбонату кальцію на вільний оксид кальцію та вуглекислий газ: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

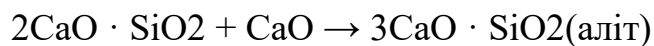
Застосування у суміші пилу газоочистки (з втратами при прожарюванні лише 0,50%) зменшує загальну частку карбонатів у шихті, що знижує питомі витрати теплоти на цей процес.

- Екзотермічні твердофазові реакції (800–1300 °С): Завдяки високій дисперсності борошна, вільний СаО вступає в інтенсивну хімічну взаємодію з кислотними оксидами у твердому стані. Утворюються проміжні мінерали клінкеру – двокальцієвий силікат (беліт), трикальцієвий алюмінат та чотирикальцієвий алюмоферит:



Інв. № оригін.	Підпис і дата	Інв. № дубл.	Замість	Підпис і дата	4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ Лист
	Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	

● Спікання та утворення аліту (1300–1450 °С): При досягненні температури 1300 °С легкоплавкі мінерали-плавні (алюмінати та ферити) починають плавитися, утворюючи від 20 % до 30 % рідкої фази. Високий вміст оксиду заліза ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = 35,00\%$) у коригуючій добавці сприяє збільшенню кількості розплаву та зниженню його в'язкості. У цьому розплаві інтенсивно розчиняються зерна беліту та залишковий вільний CaO , взаємодіючи з утворенням головного клінкерного мінералу – трикальцієвого силікату (аліту):



● Охолодження: Різне зниження температури клінкеру в колосниковому холодильнику фіксує його мінералогічний склад. Швидке охолодження запобігає зворотному розпаду термодинамічно нестійкого аліту на беліт і вторинний вільний CaO , а також сприяє формуванню дрібнокристалічної структури клінкеру з високим вмістом склоподібної фази, що гарантує максимальну гідравлічну активність майбутнього цементу.

2.3 Розрахунок матеріального балансу виробництва

Таблиця 2.1 – 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 I – 500	20	264042,55	95	0	0	5
ШПЦ III/A–400	50	660106,39	55	40	0	5
ПЦ II/A-B – 400	30	396063,83	80	0	16	4

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ

Лист

Річний випуск обсяг виробництва клінкеру при встановленні печі діаметр якої становить 4,5 м, а довжина 80 м оснащеною циклонним теплообмінником та декарбонізатором, з продуктивністю 125 т/год.

K_B – коефіцієнт використання печі; приймаємо $K_B = 0,85$ [1].

$$Q_{\text{кл}}^{\text{рік}} = 8760 \cdot q_{\text{год}} \cdot K_B, \text{ т/рік}, \quad (2.1)$$

де 8760 – час роботи печі за рік, години;

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

K_B – коефіцієнт використання печі; приймаємо $K_B = 0,85$ [1].

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

Середній вміст клінкеру в цементі:

$$M_{\text{сер}}^{\text{кл}} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot K_i, \quad (2.2)$$

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

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

$$M_{\text{сер}}^{\text{кл}} = 95 \cdot 0,2 + 55 \cdot 0,5 + 80 \cdot 0,3 = 70,5\%$$

Продуктивність заводу по цементу за рік становить:

$$Q_{\text{ц}}^{\text{рік}} = \frac{Q_{\text{кл}}^{\text{рік}} \cdot 100}{M_{\text{сер}}^{\text{кл}}}, \text{ т/рік}, \quad (2.3)$$

$$Q_{\text{ц}}^{\text{рік}} = \frac{930750 \cdot 100}{70,5} = 1320212,77$$

Розподіл річного обсягу фактичного випуску цементу за марками та типами (відповідно до часток у проєкті):

- ПЦ I – 500 (20%): $1\,389\,697,65 \times 0,20 = 264042,55$ т/рік;
- ШПЦ III/A-400 (50%): $1\,389\,697,65 \times 0,50 = 660106,39$ т/рік;
- ПЦ II/A-B – 400 (30%): $1\,389\,697,65 \times 0,30 = 396063,83$ т/рік.

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

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

2.1 Теоретичні річні потреби в компонентах цементної шихти цеху помелу цементу:

$$P_i^0 = \sum_{i=1}^n \Pi_i \cdot \frac{B_i}{100}, \text{ т/рік}, \quad (2.4)$$

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

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

– клінкеру:

$$Q_{\text{кл}}^{\text{теор}} = \frac{264042,55 \cdot 95}{100} + \frac{660106,39 \cdot 55}{100} + \frac{396063,83 \cdot 80}{100} = 930750,00$$

– доменного гранульованого шлаку:

$$Q_{\text{шл}}^{\text{теор}} = \frac{660106,39 \cdot 40}{100} = 264042,56 \text{ т/рік}$$

– вапняку:

$$Q_{\text{вап}}^{\text{теор}} = \frac{396063,83 \cdot 16}{100} = 63370,21 \text{ т/рік}$$

– гіпсового каменю:

$$Q_{\text{гіпс}}^{\text{теор}} = \frac{264042,55 \cdot 5}{100} + \frac{660106,39 \cdot 5}{100} + \frac{396063,83 \cdot 5}{100} = 62050,00 \text{ т/рік}$$

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

$$P_i^n = P_i^0 \cdot \frac{100}{100 - \Pi_i}, \text{ т/рік}, \quad (2.5)$$

де Π_i – виробничі втрати компонентів цементної шихти; приймаємо $\Pi_i = 5,0\%$ [5];

– клінкеру:

$$Q_{\text{кл}}^{\text{факт}} = \frac{930750,00}{1 - 0,05} = 979736,84 \text{ т/рік}$$

– доменного гранульованого шлаку:

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата	4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

$$Q_{\text{шл}}^{\text{факт}} = \frac{264042,65}{1-0,05} = 277939,54 \text{ т/рік}$$

– вапняку (в якості добавки):

$$Q_{\text{шл}}^{\text{факт}} = \frac{63370,21}{1-0,05} = 66705,48 \text{ т/рік}$$

– гіпсового каменю:

$$Q_{\text{вап}}^{\text{факт}} = \frac{62050,00}{1-0,05} = 65315,79 \text{ т/рік}$$

2.3 Річний випуск цементу з урахуванням виробничих втрат:

$$Ц^B = Ц^0 \cdot \frac{100}{100 - \Pi_{\text{ц}}}$$

$$Q_{\text{цем}}^{\text{факт}} = \frac{1320212,77}{1-0,05} = 1389697,65 \text{ т/рік}$$

2.4 Річна потреба в сировинних матеріалах

2.4.1 Суха сировинна суміш:

$$P_c^0 = K^B \cdot A_c^D = 979736,84 \cdot 1,37316 = 1345335,4 \text{ т/рік.}$$

$$Q_{\text{с/с}}^{\text{сух}} = \frac{979736,84 \cdot 1520,09}{1000} = 1489288,37 \text{ т/рік}$$

2.4.2 Сухі сировинні компоненти:

$$P_i^0 = K^B \cdot A_i^D, \text{ т/рік;} \quad (2.6)$$

– мергель вапняковий:

$$Q_{\text{мерг}}^{\text{сух}} = \frac{1489288,37 \cdot 85,16}{100} = 1268277,98 \text{ т/рік}$$

– глина:

$$Q_{\text{гл}}^{\text{сух}} = \frac{1489288,37 \cdot 14,34}{100} = 213563,95 \text{ т/рік}$$

Підпис і дата		2.4 Річна потреба в сировинних матеріалах				
Інв. № дубл.		2.4.1 Суха сировинна суміш:				
		$P_c^0 = K^B \cdot A_c^D = 979736,84 \cdot 1,37316 = 1345335,4 \text{ т/рік.}$				
		$Q_{с/с}^{сух} = \frac{979736,84 \cdot 1520,09}{1000} = 1489288,37 \text{ т/рік}$				
Замість		2.4.2 Сухі сировинні компоненти:				
		$P_i^0 = K^B \cdot A_i^D, \text{ т/рік;} \tag{2.6}$				
Підпис і дата		– мергель вапняковий:				
		$Q_{мерг}^{сух} = \frac{1489288,37 \cdot 85,16}{100} = 1268277,98 \text{ т/рік}$				
Інв. № оригін.		– глина:				
		$Q_{гл}^{сух} = \frac{1489288,37 \cdot 14,34}{100} = 213563,95 \text{ т/рік}$				
						Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	

– пил газоочистки:

$$Q_{\text{пил}}^{\text{сух}} = \frac{1489288,37 \cdot 0,50}{100} = 7446,44 \text{ т/рік}$$

2.4.4 Компонентів сировинної суміші в стані природної вологості:

$$P_i^w = K^B \cdot B_i^w, \text{ т/рік}; \quad (2.7)$$

– мергель вапняковий (W = 8,50%):

$$Q_{\text{мерг}}^{\text{вод}} = \frac{1268277,98}{1-0,0850} = 1386096,15 \text{ т/рік}$$

– глина (W = 10,68%):

$$Q_{\text{гл}}^{\text{вод}} = \frac{213563,95}{1-0,1068} = 239100,03 \text{ т/рік}$$

– пил газоочистки (W = 2,25%):

$$Q_{\text{пил}}^{\text{вод}} = \frac{7446,44}{1-0,0225} = 7617,84 \text{ т/рік}$$

2.4.3 Сировинна суміш з природною вологістю:

$$Q_{\text{пил}}^{\text{вод}} = 1386096,15 + 239100,03 + 7617,84 = 1632814,02 \text{ т/рік.}$$

2.4.5 Розрахунок добової витрати матеріалів:

$$Q_{\text{цем}}^{\text{доб}} = \frac{Ц^п}{365 \cdot K_{\text{в}}^{\text{цем}}}, \text{ т/добу}, \quad (2.8)$$

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

– цементу:

$$Q_{\text{цем}}^{\text{доб}} = \frac{1389697,65}{365 \cdot 0,85} = 4479,28 \text{ т/доб}$$

– клінкеру:

$$Q_{\text{кл}}^{\text{доб}} = \frac{979736,84}{365 \cdot 0,85} = 3157,89 \text{ т/доб}$$

– доменного гранульованого шлаку (для цементу):

$$Q_{\text{шл}}^{\text{доб}} = \frac{277939,54}{365 \cdot 0,85} = 895,86 \text{ т/доб}$$

Піліс і дата	
Інв. № дубл.	
Замість	
Піліс і дата	
Інв. № оригін.	

Зм.

Лист

№ докум.

Підпис

Дата

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ

Лист

– вапняку (для цементу):

$$Q_{\text{вап}}^{\text{доб}} = \frac{66705.48}{365 * 0,85} = 215.01 \text{ т/доб}$$

– гіпсового каменю:

$$Q_{\text{гіпс}}^{\text{доб}} = \frac{65315.79}{365 * 0,85} = 210.53 \text{ т/доб}$$

– сухої сировинної суміші:

$$Q_{\text{с/с}}^{\text{доб}} = \frac{1489288.375}{365 * 0,85} = 4800.28 \text{ т/доб}$$

– сухого мергелю вапнякового:

$$Q_{\text{мерг}}^{\text{доб}} = \frac{1268277.98}{365 * 0,85} = 4087.92 \text{ т/доб}$$

– сухої глини:

$$Q_{\text{гл}}^{\text{доб}} = \frac{213563.95}{365 * 0,85} = 688.36 \text{ т/доб}$$

– сухого пилу газоочистки:

$$Q_{\text{цем}}^{\text{доб}} = \frac{7446.44}{365 * 0,85} = 24.00 \text{ т/доб}$$

– сировинної суміші з природною вологістю:

$$Q_{\text{цем}}^{\text{доб}} = \frac{1632814.02}{365 * 0,85} = 5262.90 \text{ т/доб}$$

– вологого мергелю вапнякового:

$$Q_{\text{мерг}}^{\text{доб}} = \frac{1386096.15}{365 * 0,85} = 4467.67 \text{ т/доб}$$

– вологої глини:

$$Q_{\text{гл}}^{\text{доб}} = \frac{239100.03}{365 * 0,85} = 770.67 \text{ т/доб}$$

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

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

– вологого пилу газоочистки:

$$Q_{\text{пил}}^{\text{доб}} = \frac{7617.84}{365 * 0,85} = 24.55 \text{ т/доб}$$

2.4.6 Розрахунок годинних витрат матеріалів:

$$Q_{\text{цем}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{цем}}^{\text{доб}}}{24}$$

– цементу: $4479,28 / 24 = 186,64 \text{ т/год}$;

– клінкеру: $3157,89 / 24 = 131,58 \text{ т/год}$;

– доменного гранульованого шлаку: $895,86 / 24 = 37,33 \text{ т/год}$;

– вапняку (для цементу): $215,01 / 24 = 8,96 \text{ т/год}$;

– гіпсового каменю: $210,53 / 24 = 8,77 \text{ т/год}$;

– сухої сировинної суміші: $4800,28 / 24 = 200,01 \text{ т/год}$;

– сухого мергелю вапнякового: $4087,92 / 24 = 170,33 \text{ т/год}$;

– сухої глини: $688,36 / 24 = 28,68 \text{ т/год}$;

– сухого пилу газоочистки: $24,00 / 24 = 1,00 \text{ т/год}$;

– сировинної суміші з природною вологістю: $5262,90 / 24 = 219,29 \text{ т/год}$;

– вологого мергелю вапнякового: $4467,67 / 24 = 186,15 \text{ т/год}$;

– вологої глини: $770,67 / 24 = 32,11 \text{ т/год}$;

– вологого пилу газоочистки: $24,55 / 24 = 1,02 \text{ т/год}$.

Таблиця 2.2 – Матеріальний баланс підприємства

Матеріал					Витрати матеріалів, т				
----------	--	--	--	--	-----------------------	--	--	--	--

Інв. № оригін.						4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ				Лист
	Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

Піліс і дата	
Інв. № дубл.	
Замість	
Піліс і дата	
Інв. № оригін.	

	за рік	за добу	за годину
Мергель вапняковий (вологий)	1386096,15	4467,67	186,15
Глина (волога)	239100,03	770,67	32,11
Пил газоочистки (вологий)	7617,84	24,55	1,02
Сировинна суміш (волога)	1632814,02	5262,90	219,29
Клінкер	979736,84	3157,89	131,58
Шлак (для цементу)	277939,54	895,86	37,33
Вапняк (для цементу)	66705,48	215,01	8,96
Гіпсове каміння	65315,79	210,53	8,77
Цемент(всіх марок)	1389697,65	4479,28	186,64

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

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

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Вибір, розрахунок кількості та технічна характеристика устаткування

На підприємстві, що проектується, вибір устаткування проводимо по переділам, виходячи із розрахованої годинної потреби цехів у сировині і паспортної продуктивності устаткування (відповідно до розрахованого раніше матеріального балансу). Технічна характеристика дробарки наведена в таблиці 3.1

Для подрібнення мергелю вапнякового проектом передбачається використання молоткової дробарки типу СМД-75 продуктивністю 187 т/год. Необхідна кількість дробарок типу СМД-75 становить:

Необхідна кількість дробарок типу СМД-75 становить:

$$n = \frac{Q_{\text{в}}^{\text{год}}}{q_{\text{дроб}}^{\text{год}}}, \quad (3.1)$$

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

$$n = \frac{186,15}{187} = 0,995$$

Приймаємо для встановлення одну дробарку типу СМД-75.

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата
Зм. Лист № докум. Підпис Дата 4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ				
Лист				

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика дробарки

Найменування показника	Значення показника
Розмір ротору, мм	1000×1000
Розмір завантажувального отвору, мм	1000×500
Найбільший розмір шматків, що завантажуються, мм	300
Ширина щілини ґрат, мм	20–80
Частота обертання ротора, хв ⁻¹	450
Продуктивність, т/год	187
Потужність електродвигуна, кВт	125
Тип живильника дробарки	Пластинчастий В=1200 мм

3.2 Сушіння шлаку

Для сушіння шлаку проектом передбачається використання сушарних барабанів 2,2×20,0 м продуктивністю 22 т/год. Технічна характеристика сушарного барабану наведена в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічна характеристика сушарного барабану

Найменування показника	Показник
1	2
Уклон, %	5
Частота обертання, хв ⁻¹	5
Внутрішні теплообмінні пристрої	коміркові
Вологість, мас. %	
початкова	20

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ

Лист

Зм. Лист № докум. Підпис Дата

Продовження табл. 3.2	
1	2
кінцева	2
Продуктивність, т/год	22
Питома витрата палива, кг/год	27,7
Потужність приводу, кВт	36

Кількість барабанів для сушіння шлаку:

$$n = \frac{Q_{\text{дгш}}^{\text{год}} + Q_{\text{ш}}^{\text{год}}}{q_{\text{сб}}^{\text{год}}}, \quad (3.2)$$

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

$$n = \frac{120,44 + 59,03}{22} = 8,16.$$

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

3.3 Помел сировини

Для помелу сировини проектом передбачається встановлення млина одночасного сушіння і помелу 4,2×10,0 м, який робить у замкненому циклі з повітрянопроходним сепаратором, продуктивністю 130 т/год. Технічна характеристика млина наведена в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічна характеристика млина 4,2×10,0 м

Найменування показника	Показник
1	2
Продуктивність, т/год	130

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

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

1	2
Частота обертання, хв^{-1}	15,62
Тонкість помелу, %	
R_{008}	15
R_{02}	4
Довжина камери, м	10
Завантаження мелючих тіл: маса, т	118
Потужність головного двигуна, кВт.	2000
Продуктивність електрофільтра, м/ч.	350000
Сепаратор	Повітрянопрохідний
Механізм транспортуючий крупку	Аерозолоб

Кількість млинів для помелу сировини:

$$n = \frac{Q_{\text{сс}}^{\text{год}}}{q_{\text{м}}^{\text{год}}}, \quad (3.3)$$

$$n = \frac{200,01}{130} = 1,538$$

3.4 Випал клінкеру

Проектом передбачається встановлення однієї печі $4,5 \times 80$ м з циклонними теплообмінниками та декарбонізаторами, продуктивністю 125 т/год. Технічна характеристика печі наведена в табл. 3.4.

Інв. № оригін.	Піліс і дата	Замість	Інв. № дубл.	Піліс і дата

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

Таблиця 3.4 – Технічна характеристика обертів печі 4,5×80 м

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

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ

Лист

3.5 Помел цементу

Проектом передбачається здійснювати помел цементу у млинах 3,2×15 м, що працюють у замкненому циклі, продуктивністю 60 т/год. Технічна характеристика млина наведена в табл. 2.7.

Необхідна кількість млинів складе:

$$n = \frac{Q_{\text{цем}}^{\text{год}}}{q_{\text{м}}^{\text{год}}}, \quad (3.4)$$

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

$$n = \frac{186,64}{60} = 3,11$$

Для встановлення приймаємо п'ять млинів 3,2×15 м.

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика цементного млина 3,2×15 м

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

Інв. № оригін.	Піліс і дата	Замісць	Інв. № дубл.	Піліс і дата						Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ					

3.6 Складування цементу

Для складування та зберігання цементу проектом передбачається установка силосного складу. Для зберігання цементу приймаємо силоси діаметром 15 м та висотою 27 м, які вміщують 6000 т [1].

Кількість силосів для зберігання цементу становить:

$$n = \frac{Q_{\text{цем}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{нц}}}{V}, \quad (3.5)$$

де $C_{\text{нц}}$ – кількість діб нормативного запасу цементу; приймаємо $C_{\text{нц}} = 9$ діб [1];

V – місткість силосу, т.

$$n = \frac{4479,28 \cdot 9}{6000} = 6,71$$

3.7 Складування сировинних матеріалів

3.7.1 Зберігання клінкеру

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

$$V_{\text{кл}} = \frac{Q_{\text{кл}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{нкл}}}{\rho_{\text{нкл}}}, \quad (3.6)$$

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

$C_{\text{нкл}}$ – кількість діб нормативного запасу клінкеру; приймаємо $C_{\text{нкл}} = 4$ доби [1];

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

$$V_k = \frac{3157.89 \cdot 4}{1.45} = 8711.4 \text{ м}^3.$$

Піппс і дпт						
Інв. № дубл.						
Замість						
Піппс і дпт						
Інв. № орптін.						
Зм.	Лпт	№ докұм.	Підптс	Дпт	4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лпт

Площа складу для зберігання клінкеру становить:

$$F_{\text{кл}} = \frac{V_{\text{кл}} \cdot K_1}{K_2 \cdot H_m}, \quad (3.7)$$

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

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

H_m – максимальна висота штабеля при використанні грейфера, м. $H_m = 2$

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

$$S_k = \frac{8711,4 \cdot 1,2}{0,85 \cdot 18} = 683,2 \text{ м}^2.$$

3.7.2 Зберігання вапняку

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

$$V_v = \frac{Q_{\text{вв}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{нв}}}{\rho_{\text{нв}}}, \quad (3.8)$$

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 [1];

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

$$V_{\text{мерг}} = \frac{4467,67 \cdot 3}{1,3} = 10310,0 \text{ м}^3.$$

Площа складу для зберігання вапняку становить:

Інв. № оригін.	Підпис і дата	
	Інв. № дубл.	
	Замість	
	Підпис і дата	
4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ		Лист
Зм.	Лист	№ докум.
Підпис		Дата

$$F_B = \frac{V \cdot K_1}{K_2 \cdot H_M}, \quad (3.9)$$

$$S_{\text{мерг}} = \frac{10310,0 \cdot 1.2}{0.85 \cdot 18} = 808,6 \text{ м}^2.$$

3.7.3 Зберігання шлаку

Для зберігання шлаку вибираємо горизонтальний склад відкритого типу.

Об'єм складу дорівнює:

$$V_{\text{ш}} = \frac{(Q_{\text{ВДГШ}}^{\text{доб}} + Q_{\text{ВШ}}^{\text{доб}}) \cdot C_{\text{нш}}}{\rho_{\text{нш}}}, \quad (3.10)$$

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

$C_{\text{нш}}$ – кількість діб нормативного запасу шлаку; приймаємо $C_{\text{нш}}=10$ діб [1];

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

$$V_{\text{шл}} = \frac{895.86 \cdot 1.2}{1.0} = 8958.6 \text{ м}^3.$$

Площа складу для зберігання шлаку становить:

$$V_{\text{шл}} = \frac{895.86 \cdot 1.2}{10.85 \cdot 18} = 702.6 \text{ м}^2.$$

3.7.4 Зберігання глини

Об'єм складу дорівнює:

$$V_{\text{гл}} = \frac{Q_{\text{гл}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{н.гл}}}{\rho_{\text{гл}}} \quad (3.11)$$

де $Q_{\text{гл}}^{\text{доб}} = 770,67$ т/добу; $C_{\text{н.гл}}=10$ діб; $\rho_{\text{гл}} = 1,2$ т/м³.

$$V_{\text{гл}} = \frac{770,67 \cdot 10}{1.2} = 6422,25 \text{ м}^3.$$

Площа складу для зберігання глини пилу:

Інв. № оригін.	Піліс і дата	Замість	Інв. № дубл.	Піліс і дата					Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ				

$$S_{\text{гл}} = \frac{6422.25 \cdot 1.2}{0.85 \cdot 18} = 503.7 \text{ м}^2.$$

3.7.5 Зберігання пилу газоочистки

Об'єм складу дорівнює:

$$V_{\text{пил}} = \frac{Q_{\text{пил}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{н.п}}}{\rho_{\text{пил}}}, \quad (3.12)$$

де $Q_{\text{пил}}^{\text{доб}} = 24,55 \text{ т/добу}$; $C_{\text{н.п}} = 30 \text{ діб}$; $\rho_{\text{пил}} = 1,6 \text{ т/м}^3$.

$$V_{\text{пил}} = \frac{24,55 \cdot 30}{1.6} = 460,3 \text{ м}^3.$$

Площа складу для зберігання глини пилу:

$$S_{\text{гл}} = \frac{460,3 \cdot 1.2}{0.85 \cdot 18} = 36,1 \text{ м}^2.$$

3.7.6 Зберігання гіпсового каменю

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

$$V_{\text{гк}} = \frac{Q_{\text{гк}}^{\text{доб}} \cdot C_{\text{нгк}}}{\rho_{\text{нгк}}}, \quad (3.13)$$

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

$C_{\text{нгк}}$ – кількість діб нормативного запасу гіпсового каменю; приймаємо

$C_{\text{нгк}} = 30 \text{ діб [1]}$;

$\rho_{\text{нгк}}$ – насипна маса гіпсового каменю, т/м³; приймаємо $\rho_{\text{нгк}} = 1,35 \text{ т/м}^3$.

$$V_{\text{гипс}} = \frac{24,55 \cdot 30}{1.6} = 4678,7 \text{ м}^3.$$

Площа складу для зберігання гіпсового каменю:

Інв. № оригін.	Підпис і дата	
	Замість	
	Інв. № дубл.	
	Підпис і дата	

Зм.

Лист

№ докум.

Підпис

Дата

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ

Лист

$$F_{\text{гипс}} = \frac{4678.4 * 1.2}{0.85 * 18} = 366.9 \text{ М}^2.$$

3.7.7 Зберігання сировинного борошна

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

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

Кількість корекційних силосів визначається за формулою:

$$n_{\text{КС}} = \frac{Q_{\text{СС}}^{\text{год}} \cdot \tau_0}{\rho_{\text{НСС}} \cdot 0,8 \cdot V_{\text{КС}}} + 0,8, \quad (3.14)$$

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

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

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

$$V_{\text{КС}} - \text{корисна ємність силосу, м}^3.$$

$$V_{KC} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot K}{4} \cdot H, \quad (3.15)$$

де D – діаметр силосу, м;

K_b – коефіцієнт використання силосу; приймаємо $K_b=0,85$ [1];

H – висота силосу, м.

Обираємо корегуючий силос діаметром 8 м та висотою 15 м.

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата	τ_0 – час, необхідний для перемішування сировинного борошна, відбору проб, коректування та перекачки у запасний силос; приймаємо $\tau_0=0,0056$ годин; $\rho_{\text{нсс}}$ – насипна маса сировинного борошна, т/м³; приймаємо $\rho_{\text{нсс}}=1,435$ т/м³; $V_{\text{кc}}$ – корисна ємність силосу, м³. $V_{\text{кc}} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot K_{\text{в}}}{4} \cdot H,$ де D – діаметр силосу, м; $K_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання силосу; приймаємо $K_{\text{в}}=0,85$ [1]; H – висота силосу, м. Обираємо корегуючий силос діаметром 8 м та висотою 15 м.	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист

$$E_k = \frac{3,14 \cdot 8^2}{4} \cdot 0,85,15 = 640,5 \text{ м}^3,$$

$$n_k = \frac{200,01 \cdot 5,6 \cdot 1,435}{640,5} = 2,51$$

Для встановлення приймаємо один корегуючий силос діаметром 8 м та висотою 15 м.

Кількість запасних силосів визначається за формулою:

$$n_{zc} = \frac{(Q_{cc}^{доб} \cdot C_H - n \cdot 0,8 \cdot V_{kc} \cdot \rho_{HCC})}{V_{zc} \cdot \rho_{HCC}}, \quad (3.16)$$

де V_{zc} – корисна ємність запасного силосу, м^3 .

$$V_{zc} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot K_B \cdot H}{4}. \quad (3.17)$$

Обираємо запасний силос діаметром 15 м та висотою 35 м.

$$V_{zc} = \frac{3,14 \cdot 15^2}{4} \cdot 0,85 \cdot 35 = 5253,5 \text{ м}^3,$$

$$n_1 = \frac{10035}{5253,5} = 1,91$$

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

3.2 Контроль та керування хіміко-технологічними процесами

Отримувати цемент високої якості на сучасних заводах можна лише за умови суворого дотримання всіх технологічних вимог та здійснення виробничого циклу при встановлених оптимальних режимах роботи обладнання. Велике значення при цьому має система виробничого контролю, яка охоплює всі стадії технологічного процесу – від приймання сировини до відвантаження готової продукції.

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

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

Технологічний контроль дає повні дані про фізико-хімічні характеристики матеріалів(повний хімічний аналіз клінкеру, мінералогічний склад, фізико-механічні випробування цементу на стиск і згин у ранньому (2 доби) та марочному (28 діб) віці). За даними технологічного контролю відділ технічного контролю (ВТК) маркує продукцію та складає регламенти.

При отриманні незадовільних результатів приймально-здавальних випробувань готового цементу за будь-яким показником, проводять повторні випробування на подвійній кількості проб. При негативному результаті хоча б однієї з повторних проб, служба технічного контролю бракує всю партію цементу.

Дієвість контролю залежить від правильного вибору місць відбору проб та їх репрезентативності. В даний час на ділянках помелу та гомогенізації застосовуються автоматичні пробовідбірники, пов'язані з рентгеноспектральними аналізаторами, що дозволяє в режимі реального часу коригувати подачу компонентів (мергелю, глини та пилу) ваговими дозаторами.

Технологічна карта контролю виробництва цементу (з акцентом на відділення підготовки сировини) представлена в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Схема параметричного та технологічного контролю виробництва – зробити перенос таблиці

Об'єкт контролю(технологічна стадія)	Контрольовані параметри та характеристики	Місце відбору проб / Місце контролю	Періодичність	Метод контролю / Засоби вимірювання
1	2	3	4	5

Піліс і дата	
Інв. № дубл.	
Замість	
Піліс і дата	
Інв. № оригін.	

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

Вхідний контроль сировини (мергель, глина, шлак)	Вологість, хімічний склад (вміст основних оксидів), наявність шкідливих Домішок	Склади сировини, приймальні бункери	Кожна партія (або 1 раз на зміну)	Лабораторний хімічний аналіз, вологоміри
1	2	3	4	5
Сушіння сировини (глина, ДГШ)	Залишкова вологість (не більше 1%), температура відхідних газів	Вивантаження із сушильних барабанів 2,2×20 м	1 раз на 2 години (вологість), безперервно (температура)	Експрес-аналіз вологості, термопари
Помел сировини (млини 4,2×10 м)	Тонина помелу (залишок на ситі №008 та №02), вологість борошна, температура підшипників	Аерожолоби після млинів, пульт управління	1 раз на годину, безперервно	Ситовий аналіз (або лазерний гранулометр), датчики температури
Усереднення сировинного борошна	Титр борошна (вміст СаСО ₃), КН, силікатний та глиноземний Модулі	Гомогенізація запасні силоси	Кожні 2 години, та після коригування силосу	Рентгеноспектральний або комплексонометричний аналіз
Випалювання клінкеру (піч 4,5×80 м)	Температурний режим зон печі, розрідження, витрата газу, вміст вільного СаО в клінкері	Обертова піч, вихід з холодильника клінкеру	Безперервно, 1 раз на 2 години (для СаО _{вільн})	Пірометри, газоаналізатори, лабораторний титриметричний аналіз
Помел та відвантаження	Питома поверхня	Цементні	1 раз на 2 год	Прилад Блейна, прилад Віка,

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ

Лист

Зм. Лист № докум. Підпис Дата

я цементу	(тонина помелу), терміни тужавлення, міцність на стиск, вміст SO ₃	млини, сили цементу	(помел), кожна партія (міцність)	розривна машина (ДСТУ Б В.2.7-187)
-----------	---	---------------------	----------------------------------	------------------------------------

Впровадження сучасної АСУТП та дотримання регламенту контролю дозволяє підприємству оптимізувати взаємовідносини з постачальниками, зменшити питомі витрати електроенергії на помел, уникнути випуску бракованої продукції та отримати гнучкі інструменти для управління процесом виробництва на усіх його стадіях.

3.3 Опис конструкції та принципу дії сировинного трубного млина 4,2×10 м

У сучасному виробництві цементу за сухим способом процес підготовки сировини є одним із найважливіших технологічних етапів. На запроєктованому підприємстві для розмелювання сировинної суміші передбачено використання потужного трубного кульового млина розміром 4,2×10 м, який працює за принципом одночасного помелу та сушіння матеріалу.

Конструкція млина

Трубний млин 4,2×10 м являє собою великогабаритний обертовий агрегат безперервної дії. Основними конструктивними елементами млина є:

- Барабан (корпус): Виконаний у вигляді звареного сталевого циліндра із товстолистової сталі. Внутрішній діаметр барабана становить 4,2 м, а його довжина — 10 м
- Опорні вузли: З торців до барабана болтами кріпляться торцеві кришки, відлиті заодно з порожнистими цапфами. Млин обертається на цих цапфах, які спираються на масивні сферичні роликопідшипники або підшипники ковзання з гідродинамічним змащенням. Порожністі цапфи одночасно

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата
----------------	---------------	---------	--------------	---------------

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

служать для завантаження та вивантаження матеріалу і сушильного агента.

- Бронефутеровка: Внутрішня поверхня барабана та торцевих кришок облицьована спеціальними зносостійкими бронеплитами (з марганцевистої або хромомолібденової сталі). Футеровка виконує дві функції: захищає корпус від зносу та забезпечує оптимальне зчеплення з мелючими тілами для їх підняття на необхідну висоту. Для сировинних млинів часто використовують сту ступінчасту або хвилясту бронефутеровку.
- Мелючі тіла: Робочим органом млина є сталеві кулі різного діаметру. Завантаження мелючих тіл становить близько 118 тонн. Розподіл куль за розміром розраховується так, щоб забезпечити як руйнування великих шматків сировини (великими кулями), так і тонке стирання дрібних частинок (малими кулями).
- Привод: Млин приводиться в обертання від головного високовольтного електродвигуна (потужністю 2000 кВт) через понижуючий редуктор. Крутний момент передається на вінцеву шестірню, жорстко закріплену на корпусі млина, через підвінцеву шестірню. Також передбачено допоміжний привод для повільного обертання млина під час ремонтних робіт та охолодження.
- Система завантаження та розвантаження: Завантаження сировинних компонентів здійснюється через завантажувальну тічку в порожнисту цапфу. Туди ж підводяться гарячі відхідні гази від оберткової печі.

Принцип дії та робота в замкненому циклі

Процес подрібнення в млині має механічну природу і базується на принципах удару та стирання.

Попередньо віддозовані компоненти (мергель, глина, пил газоочистки) безперервно подаються у завантажувальну цапфу. Одночасно у млин нагніта-

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

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

ються гарячі пічні гази (з температурою 300–350 °С). Під час обертання корпусу млина (з частотою близько 15,6 об/хв) мелючі кулі під дією відцентрової сили та сил тертя притискаються до футеровки і піднімаються на певну висоту. Досягнувши точки, де сила тяжіння перевищує відцентрову силу, кулі відриваються від стінки і падають вниз по параболичній траєкторії (водоспадний режим), розбиваючи шматки сировини. Частина куль перекочується одна по одній (каскадний режим), стираючи дрібні частинки матеріалу.

Одночасне сушіння: Завдяки інтенсивному перемішуванню матеріалу, куль та гарячих газів площа теплообміну є максимальною. Волога, що міститься в мергелі та глині, миттєво випаровується. Матеріал висушується від початкової вологості до залишкової (не більше 1 %). Завдяки цьому запобігається налипання вологої маси на броню та кулі, що є критично важливим для забезпечення високої продуктивності агрегату.

Робота в замкненому циклі: Млин 4,2×10 м працює за замкненим циклом із повітряно-прохідним сепаратором. Це означає, що матеріал не розмелюється до кінцевої тонини за один прохід через барабан. З млина виноситься аеросуміш (потік газів із завислими частинками розмеленого матеріалу), яка спрямовується до сепаратора. У сепараторі відбувається класифікація:

- Готовий дрібний продукт (сировинне борошно із заданою тониною помелу) відділяється потоком повітря, вловлюється в циклонах та електрофільтрах і направляється до гомогенізаційних силосів.
- Крупні нерозмелені частинки («крупка») осідають під дією гравітації та повертаються через аерожолоби назад у завантажувальну частину млина для повторного (додаткового) помелу.
- Застосування замкненого циклу суттєво підвищує продуктивність млина (до 130 т/год), запобігає переподрібненню матеріалу (утворенню надмірної

Інв. № оригін.	Піліс і дата	Замісць	Інв. № дубл.	Піліс і дата	4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

кількості пилоподібних фракцій) та дозволяє точно регулювати дисперсність сировинної суміші. Відпрацьовані теплоносії після системи пилоочищення викидаються в атмосферу димососами.

3.4 Техніко-економічне обґрунтування

Техніко-економічна доцільність будівництва та експлуатації запроєктованого відділення підготовки сировини для цементного заводу обґрунтовується впровадженням сучасних енергоощадних технологій сухого способу виробництва, раціональним використанням сировинних ресурсів, а також широким залученням багатотоннажних промислових відходів регіону, що дозволяє значно знизити собівартість готової продукції та підвищити її конкурентоспроможність.

Енерго- та ресурсозбереження технологічного процесу.

Вибір сухого способу виробництва є головним чинником забезпечення економічної ефективності підприємства. На відміну від мокрого способу, де на випаровування води із шламу витрачається значна кількість палива, сухий спосіб передбачає подачу в піч сухого сировинного борошна з вологістю менше 1 %. Запроєктована обертова піч розміром 4,5×80 м, що оснащена чотириступінчастими циклонними теплообмінниками та декарбонізатором, забезпечує високу теплову ефективність. Питома витрата теплоти на випал клінкеру становить лише 3460 кДж/кг клінкеру, що майже вдвічі менше, ніж за мокрого способу (5800–6300 кДж/кг).

Додатковий ефект енергозбереження досягається завдяки використанню замкнутого циклу помелу у сировинних трубних млинах розміром 4,2×10 м. Конструкція передбачає одночасне сушіння та подрібнення матеріалу за рахунок тепла відхідних газів декарбонізатора та циклонних теплообмінників. Це повністю виключає потребу в окремих сушильних барабанах та спалюванні додаткового палива для сушіння мергелю й глини.

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

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

та електроенергії у розрахунку на 1 тону цементу. Це забезпечує зниження собівартості ШПЦ Ш/А-400 на 15–20 % порівняно з ПЦ І-500, роблячи продукцію максимально доступною для масового будівництва.

Ефективність та надійність обраного устаткування Вибір технологічного устаткування базується на забезпеченні заданої потужності печі (125 т/год клінкеру) та безперебійності суміжних відділень:

- Сировинні млини 4,2×10 м повністю забезпечують годинну потребу печі у сухій суміші з урахуванням коефіцієнта використання обладнання.
- Для помелу цементу обрано трубні млини розміром 3,2×15 м продуктивністю 60 т/год, які мають низькі питомі витрати електроенергії — 34,6 кВт·год/т цементу.
- Розраховані ємності силосів та складів гарантують високу технологічну гнучкість заводу. Наявність силосів зберігання цементу ємністю по 6000 тонн кожен та сировинних силосів корисним об'ємом 5253,5 м³ створює надійний буфер. Запас готового цементу розрахований на 9 діб безперервного відвантаження, а запас клінкеру – на 4 доби роботи, що виключає простої заводу у разі затримок у логістиці чи проведення короткочасних ремонтів.

Запроектоване відділення підготовки сировини повністю відповідає сучасним вимогам найкращих доступних технологій (НДТ). Завдяки переходу на сухий спосіб випалу, утилізації відхідного тепла газів, залученню пилу газоочистки як корегуючої добавки та широкому використанню доменного шлаку досягається значний техніко-економічний ефект: питоме споживання палива знижується на 40-45%, суттєво зменшуються викиди CO₂ в атмосферу, а собівартість тонни цементу знижується, що гарантує високу рентабельність та швидку окупність капітальних інвестицій проекту.

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація охорони праці та забезпечення безпечних умов життєдіяльності працівників у відділенні підготовки сировини є найважливішим елементом проєктування цементного заводу, що працює за сухим способом виробництва. Проєктоване відділення підготовки сировини із встановленням млинів $4,2 \times 10$ м характеризується наявністю великогабаритного обертового обладнання, високим рівнем механізації, значними електричними навантаженнями та інтенсивним виділенням пилу. У зв'язку з цим виникає необхідність детального аналізу небезпечних і шкідливих виробничих чинників та розробки комплексних заходів щодо запобігання виробничому травматизму та професійним захворюванням.

Класифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Відповідно до специфіки технологічного процесу підготовки сировини, всі потенційні небезпеки поділяються на дві великі групи: хімічні та фізичні чинники.[19].

До хімічних небезпечних та шкідливих виробничих чинників у проєктованому відділенні належать:

- Токсичні речовини, зокрема гази, що утворюються при спалюванні природного газу в сушильних барабанах (оксид вуглецю, оксиди азоту);
- Подразнюючі компоненти, до яких належить дрібнодисперсний пил сировинних матеріалів;
- Сенсibiliзуючі, канцерогенні та мутагенні чинники, присутні у вигляді домішок техногенної сировини та пилу газоочистки.

До фізичних небезпечних та шкідливих виробничих чинників належать[10]:

- Рухомі машини і механізми, обертові корпуси трубних сировинних млинів розміром $4,2 \times 10$ м, приводи, редуктори;
- Рухомі частини виробничого обладнання, а також вироби, заготівлі та матеріали, що пересуваються конвеєрними стрічками та елеваторами;

Піліс і дата						
Інв. № дубл.						
Замісць						
Піліс і дата						
Інв. № оригін.						
Зм. Лист № докум. Підпис Дата					4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист

- Конструкції, що руйнуються, або елементи футеровки млинів під час проведення ремонтних робіт;
- Підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони внаслідок подрібнення мергелю та глини;
- Підвищений рівень шуму та вібрації, що генеруються під час ударної дії мелючих тіл у трубних млинах;
- Підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися крізь тіло людини при обслуговуванні електроприводів;
- Підвищений рівень статичної електрики та електромагнітних випромінювань поблизу високовольтних ліній та силових шаф;
- Недостатня освітленість робочих місць або відсутність природного світла у галереях та підбункерних приміщеннях;
- Розташування робочого місця на значній висоті відносно поверхні підлоги при обслуговуванні верхніх точок силосів, елеваторів та бункерів.

Характеристика шкідливих компонентів виробництва

Основним шкідливим чинником у відділенні підготовки сировини є сировинний неорганічний пил, який утворюється при переробці мергелю, глини та пилу газоочистки.

Детальна фізико-хімічна та токсикологічна характеристика цього компонента наведена у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Характеристика основного шкідливого компонента виробництва

Найменування параметра чинника	Нормативна та токсикологічна характеристика компонента
1	2
Назва речовини та хімічна формула	Сировинний цементний пил. Являє собою дисперсну суміш мінералів вапняку, мергелю та глини з високим вмістом діоксиду кремнію (SiO ₂),

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ

Лист

Зм. Лист № докум. Підпис Дата

1	2
	оксиду кальцію (CaO), оксиду алюмінію (Al ₂ O ₃) та оксиду заліза (Fe ₂ O ₃).
Насипна або питома густина	Питома густина матеріалу становить 2,6–2,8 г/см ³ ; насипна щільність у пухкому стані складає близько 800–1300 kg/m ³ залежно від дисперсності та вологості компонентів.
Температура кипіння	Не застосовується, оскільки речовина складається з тугоплавких неметалевих та силікатних матеріалів природного походження.
Гранично допустима концентрація (ГДК) у повітрі робочої зони	Відповідає гігієнічним регламентам повітря робочої зони [11]. Належить до IV класу небезпеки (малонебезпечні речовини).
ГДК у повітрі населеного пункту	Максимальна середньодобова запиленість атмосферного повітря за межами санітарно-захисної зони підприємства не повинна перевищувати 0,15 мг/м ³ . [11]
ГДК у воді санітарно-побутового використання	Пил безпосередньо не утворює стійких токсичних сполук у водному середовищі, проте викликає слаболужну реакцію стічних вод, що вимагає постійного контролю нейтралізації. [17]
Механізм токсичного та фіброгенного впливу на організм людини	Пил має виражену фіброгенну, подразнювальну та слабку токсичну дію на органи дихання та шкірні покриви. Тривалий вдих дрібнодисперсного пилу здатний викликати хронічний бронхіт, пневмокніоз (силікоз), а також дерматити та кон'юнктивіти при потраплянні на слизові оболонки. [19]

Технічні та організаційні заходи щодо зменшення впливу шкідливих чинників

Для попередження нещасних випадків та професійних захворювань у проєкті передбачено впровадження комплексу інженерно-технічних рішень:

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ

Лист

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата
----------------	---------------	---------	--------------	---------------

- Аспірація та герметизація: Усі вузли пересипання сировини, завантажувальні галереї млинів 4,2×10 м та місця вивантаження обладнані аспіраційними кожухами та підключені до систем рукавних фільтрів та циклонів. Запиленість відхідних газів після пиловловлювачів жорстко обмежена величиною не більше 0,1 г/м³. [11]

- Вентиляція: Виробничі приміщення відділення підготовки сировини обладнуються загальнообмінними припливно-витяжними системами вентиляції відповідно до вимог ДСТУ 12.4.021.

- Захист від шуму та вібрації: Корпуси трубних млинів ізолюються звукопоглинальними кожухами, а фундаменти агрегатів виконуються на віброізолюючих підкладках згідно з ДСТУ 12.1.003. Працівники забезпечуються індивідуальними протишумовими навушниками або вкладишами.

- Електробезпека: Усе технологічне устаткування, корпуси електродвигунів та заземлювальні контури шаф автоматизації підлягають зануленню та заземленню відповідно до ДСТУ 12.1.019. Передбачено використання захисного відключення та низьковольтного інструменту для ремонтних робіт.

- Освітлення та побут: Забезпечується належна контрастність та освітленість робочих зон, регулярне прибирання пилу, а також постачання працюючих якісною питною водою згідно з ДСТУ 2874.

Правила техніки безпеки при проведенні технологічного процесу

До роботи в цеху допускаються особи, які досягли 18 років, пройшли повний курс професійного навчання, інструктажі на робочому місці та регулярний медичний огляд відповідно до наказу МОЗ України № 246. [9,18] Кожен робітник зобов'язаний неухильно виконувати правила техніки безпеки.

Правила безпеки для машиніста помольного відділення (млини 4,2×10 м) [10]:

1. Пуск трубного млина дозволяється виключно після перевірки відсутності людей у небезпечній зоні, наявності марки керування та обов'язкової подачі гучного звукового попереджувального сигналу.

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Інв. № дубл.	Замість	Підпис і дата	4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ Лист
	Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	

2. Категорично забороняється пересуватися, ходити або стояти на кришках та корпусах працюючих сировинних млинів.

3. Будь-які операції з технічного обслуговування, кріплення футерувальних болтів, баків чи крюків дозволяється проводити тільки за умови повного вимкнення напруги, зупинки агрегату та блокування пускової апаратури.

4. Під час висипання чи завантаження мелючих тіл (сталевих куль) з барабана млина необхідно повністю вивести весь персонал із приміщення допоміжного відділення.

5. Забороняється застосовувати неперевірені чи кустарні методи роботи, а також обслуговувати механізми при недостатньому рівні освітлення.

Правила безпеки для операторів та сушильників сировини[10]:

1. Робітники зобов'язані мати спеціальне посвідчення на право керування сушильними та паливними агрегатами.

2. Суворо забороняється здійснювати очищення, регулювання або змащування будь-яких рухомих деталей та роlikоопор на ходу обладнання.

3. Необхідно ретельно оберегатися від отримання термічних опіків від контакту з гарячими інструментами, шлаками чи елементами пальників сушильних барабанів.

4. Працівники повинні безперервно стежити за справністю систем охолодження підшипників, станом огорож обертових частин та підтримувати чистоту на робочих місцях.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) та пожежна безпека

Зважаючи на високу дисперсність сировинного пилу, персонал цеху в обов'язковому порядку забезпечується засобами індивідуального захисту[11]. До них належать протипилові респіратори (типу «Пелюсток»), захисні герметичні окуляри, сертифікований спеціальний одяг, захисне взуття, каски та рукавиці.

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

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

Пожежна безпека у відділенні підготовки сировини організовується відповідно до ДСТУ 12.1.004. Сировинні матеріали є пожежо- та вибухобезпечними. Проте використання природного газу для сушильних пальників вимагає встановлення автоматичних систем контролю загазованості, датчиків полум'я та засобів автоматичного перекриття подачі

палива при аварійних ситуаціях. Приміщення обладнується первинними засобами пожежогасіння (вогнегасниками, пожежними щитами) та внутрішнім протипожежним водопроводом.

Інв. № оригін.	Підпис і дата				Лист
	Замість				
	Інв. № дубл.				
Підпис і дата					Лист
Замість					
Інв. № дубл.					
Зм. Лист № докум. Підпис Дата					Лист
4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ					

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврського проекту було розроблено відділення підготовки сировини для цементного заводу, що працює за сухим способом виробництва, та підтверджено техніко-економічну доцільність прийнятих рішень. На основі заданих модульних характеристик, а саме коефіцієнта насичення 0,90 та силікатного модуля 2,3, розраховано раціональний речовинний склад сировинної суміші. До складу шихти увійшли мергель вапняковий у кількості 85,16 %, глина - 14,34 % та залізовмісна коригуюча добавка у вигляді пилу газоочистки - 0,50 %. Використання промислового пилу дозволяє інтенсифікувати процес клінкеротворення та зменшити витрати палива, при цьому розрахунковий мінералогічний склад клінкеру забезпечує отримання високоякісного цементу з вмістом аліту 55,99 %, беліту 18,10 %, трикальцієвого алюмінату 16,09 % та чотирикальцієвого алюмофериту 5,71 %. Запроектована обертова піч розміром 4,5×80 м із декарбонізатором та продуктивністю 125 т/год здатна забезпечити фактичний річний випуск клінкеру на рівні 979 736,84 тонн. З урахуванням додавання доменного шлаку та гіпсу загальний річний обсяг виробництва цементу становить 1 389 697,65 тонн.

Для забезпечення безперебійної роботи підприємства розраховано та підібрано основне технологічне обладнання. Для помелу сировинної суміші з одночасним підсушуванням передбачено встановлення двох трубних млинів розміром 4,2×10 м продуктивністю 130 т/год. Також підібрано сушильні барабани 2,2×20 м для сушіння шлаку та глини, чотири трубні млини 3,2×15 м для помелу цементу, а розраховані ємності силосів та складів гарантують надійний запас сировини й готової продукції. Крім того, розроблено детальну схему контролю хіміко-технологічних процесів на всіх стадіях виробництва, що дозволяє оперативно керувати параметрами системи. Для забезпечення безпеки на виробництві передбачено комплекс заходів з охорони праці, зокрема встановлення аспіраційних систем з рукавними фільтрами для мінімізації впливу неорганічного пилу, а також дотримання вимог електро- та пожежної безпеки.

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата	4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010.

2. ДСТУ Б В.2.7-302:2014. Будівельні матеріали. Шлак доменний гранульований для цементів, бетонів і будівельних розчинів. Технічні умови. – Київ : Мінрегіон України, 2015.

3. ДСТУ Б В.2.7-104-2000. Будівельні матеріали. Камінь гіпсовий та гіпсоангидритовий для виробництва в'язучих матеріалів. Технічні умови. – Київ : Держбуд України, 2001.

4. Технологія в'язучих речовин : підручник / В. А. Свідерський, В. В. Токарчук, П. В. Миронюк та ін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 411 с.

5. Саніцький М. А. Модифіковані композиційні цементи / М. А. Саніцький, Х. С. Соболев, Т. Є. Марків. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 130 с.

6. Пащенко О. А. В'язучі матеріали / О. А. Пащенко, В. П. Сербін, О. А. Старчевська. – Київ : Вища школа, 1995. – 440 с.

7. Кривенко П. В. Ресурсозберігаючі технології у виробництві в'язучих матеріалів: навч. посібник / П. В. Кривенко, В. І. Гоц та ін. – Київ : КНУБА, 2015.

8. Лоскутов Ю.А., Максимов В.М., Веселовский В.В. Механическое оборудование предприятий по производству вяжущих строительных материалов. – М.:Машиностроение, 1986. – 376 с. (ст. 191).

9. Про охорону праці : Закон України від 14 жовт. 1992 р. № 2694-ХІІ (зі змінами та доповненнями).

10. Правила охорони праці під час виробництва цементу (НПАОП 26.5-1.02-00) : затв. наказом Мінпраці та соцполітики України від 12.06.2000 р. № 129.

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата	4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 14 лип. 2020 р. № 1596.

12. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку (ДСН 3.3.6.037-99) : затв. постановою Головного держ. санітарного лікаря України від 01.12.1999 р. № 37.

13. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98) : затв. наказом Держнаглядохоронпраці від 09.01.1998 р. № 4.

14. Правила пожежної безпеки в Україні : затв. наказом МВС України від 30.12.2014 р. № 1417.

15. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіон України, 2013. 141 с.

16. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018. 135 с.

17. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною (ДСанПіН 2.2.4-171-10) : затв. наказом МОЗ України від 12.05.2010 р. № 400.

18. Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 21.05.2007 р. № 246.

19. Гандзюк М. П., Желібо Є. П., Халімовський М. О. Основи охорони праці : підручник. 5-те вид. Київ : Каравела, 2011. 384 с.

20. Пащенко О. О. (ред.). Технологія цементу. Київ : Будівельник, 1991. 168 с.

21. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К. Технологія в'язучих речовин : підручник. Київ : Вища школа, 2012. 524 с.

22. Саницький М. А., Новицький В. В. Фізико-хімічні методи дослідження в'язучих речовин та бетонів. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2005. 248 с.

Піліс і дата						
Інв. № дубл.						
Замісць						
Піліс і дата						
Інв. № оригін.						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ	Лист

23. Салей А. А., Шевченко О. Ф. Механічне обладнання підприємств В'язучих матеріалів : підручник. Дніпропетровськ : ПДАБА, 2013. 320 с.

24. Пономарьов І. Ф., Верич Є. Д. та ін. Технологія виробництва цементу сухим та напівсухим способами. Київ : Будівельник, 1988. 109 с.

25. Шевченко О. Ф., Салей А. А. Оптимізація роботи трубних кульових млинів. Дніпро : УДХТУ, 2009. 158 с. 26. ДСТУ Б В.2.7-187:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 20 с.

27. ДСТУ Б В.2.7-128:2009. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 36 с.

28. А.О. Лідньов, Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. URL: <https://www.sop.com.ua/> (дата звернення: 18 січня 2022)

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата						Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ					

ДОДАТКИ

Додаток А

Розрахунок складу сировинної суміші для випалу портландцементного клінкеру виконується аналітичним методом на основі заданих характеристик проектного клінкеру: коефіцієнта насичення (КН) = 0,90 та силікатного модуля (n) = 2,3.

Вихідними даними для розрахунку є хімічний склад трьох компонентів сировинної суміші: мергеле-вапнякового компонента, глини та коригуючої добавки – пилу газоочистки. Оскільки застосовується високозалізна добавка (пил газоочистки містить 35,00% Fe_2O_3), використання саме силікатного модуля (n) як другої підконтрольної величини є технологічно обґрунтованим.

Таблиця А1– Хімічний склад і природна вологість матеріалів, мас %.

Матеріал	Во-логість	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	ВПП	Σ
Мергельва-пняковий	8,50	6,50	2,86	1,10	49,75	1,28	0,10	37,34	98,93
Глина	10,68	58,42	16,20	0,95	7,97	2,33	0,81	12,20	98,88
Пил га-зоочистки	2,25	14,20	14,89	35,00	30,15	3,02	2,24	0,50	100

Вихідні дані: компоненти сировинної суміші – мергельвапняковий, глина, пил газоочистки;

хімічний склад компонентів у таблиці А1;

коефіцієнт насичення $KH = 0,90$;

кремнеземный модуль $n = 2,3$;

Визначаємо коефіцієнти:

$$a_1 = (2,8KH \cdot S_1 + 1,65A_1 + 0,35F_1) - C_1 \quad (1.1)$$

$$b_1 = (2,8KH \cdot S_2 + 1,65A_2 + 0,35F_2) - C_2; \quad (1.2)$$

$$c_1 = C_3 - (2,8KH \cdot S_3 + 1,65A_3 + 0,35F_3); \quad (1.3)$$

$$a_2 = n \cdot (A_1 + F_1) - S_1; \quad (1.4)$$

$$b_2 = n \cdot (A_2 + F_2) - S_2; \quad (1.5)$$

$$c_2 = S_3 - n \cdot (A_3 + F_3). \quad (1.6)$$

$$a_1 = (2,8 * 0,90 * 6,50 + 1,65 * 2,86 + 0,35 * 1,10) - 49,75 = 28,266;$$

$$b_1 = (2,8 * 0,90 * 58,42 + 1,65 * 16,20 + 0,35 * 0,95) - 7,97 = - 266,311;$$

$$c_1 = (2,8 * 0,90 * 14,20 + 1,65 * 14,89 + 0,35 * 35,00) - 30,15 = 42,453.$$

$$a_2 = 6,50 - 2,3 * (2,86 + 1,10) = -2,608;$$

$$b_2 = 58,42 - 2,3 * (16,20 + 0,95) = 18,975;$$

$$c_2 = 2,3 * (14,89 + 35,00) - 14,20 = 100,547.$$

Співвідношення компонентів:

$$X = \frac{c_1 \cdot b_2 - c_2 \cdot b_1}{a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1}, \quad (1.7)$$

$$Y = \frac{a_1 \cdot c_2 - a_2 \cdot c_1}{a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1}. \quad (1.8)$$

$$X = \frac{42,453 * 18,975 - (-166,311) * 100,547}{28,266 * 18,975 - (-166,311) * (-2,608)} = 170,82 \text{ мас. частин}$$

$$Y = \frac{28,266 * 100,547 - 42,453 * (-2,608)}{28,266 * 18,975 - (-166,311) * (-2,608)} = 28,78 \text{ мас. частин}$$

Сума масових частин = 170,82 (мергель) + 28,78 (глина) + 1,00 (пил) = 200,60 мас. частин.

Інв. № оригін.	Піліс і дата	
	Інв. № дубл.	
	Замість	
	Піліс і дата	
4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.
Підпис		Дата
		Лист

Мергельвапняковий - $(170,82 / 200,60) * 100\% = 85,16\%$

Глина - $(28,78 / 200,60) * 100\% = 14,34\%$

Пил газоочистки - $(1,00 / 200,60) * 100\% = 0,50\%$

Результати розрахунку хімічного складу сировинної суміші і клінкеру наведено у табл. А2.

Таблиця А2– Хімічний склад сировинної суміші і клінкеру, мас.%

Матеріал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Інші	ППП	Сума
Мергельвапняковий(85,16%)	5,53	2,43	0,94	42,37	1,09	0,08	0,91	31,80	85,16
Глина (14,34%)	8,38	2,32	0,14	0,14	0,34	0,12	0,16	1,75	14,34
Пил газоочистки(0,50%)	0,07	0,07	0,17	0,15	0,01	0,01	0,00	0,00	0,50
С/суміш	13,98	4,82	1,25	43,66	1,44	0,21	1,07	33,55	100,00
Клінкер	21,05	7,27	1,88	65,70	2,17	0,32	1,61	—	100,00

Перевіряємо правильність виконаного розрахунку:

$$КН = 65,70 - (1,65 * 7,27 + 0,35 * 1,88) / 2,8 * 21,05 = 0,90$$

$$n = 21,05 / 7,27 + 1,88 = 2,30$$

Збіг обчислених значень КН и n з заданими свідчать про правильність зробленого розрахунку.

Значення глиноземного модуля:

$$p = 7,27 / 1,88 = 1,21$$

Мінералогічний склад отриманого клінкеру за методом В.А. Кінда:

$$C_3S = 3,8 * SiO_2 * (3КН - 2) = 3,8 * 21,05 * (3 * 0,90 - 2) = 55,99\%$$

4ТС53.026.161.001.ДП.ПЗ

Лист

$C_2S = 8,6 * SiO_2 * (1 - KH) = 8,6 * 21,05 * (1 - 0,90) = 18,10\%$

$C_3A = 2,65 * (Al_2O_3 - 0,64 * Fe_2O_3) = 2,65 * (7,27 - 0,64 * 1,88) = 16,09\%$

$C_4AF = 3,04 * Fe_2O_3 = 3,04 * 1,88 = 5,71\%$

Інв. № оригін.	Підпис і дата	Замість	Інв. № дубл.	Підпис і дата

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

[illegible]

[illegible]

Тримітка

Аркушів

1

УДХТУ

1 БМ гр.

3