

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА
Навчально-науковий Інститут енергетичної, інформаційної та
транспортної інфраструктури
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

на тему Кульовий млин у складі лінії
з виробництва портландцементу за сухим способом.

Виконав: здобувач вищої освіти
3 курсу, групи ГМ 2023-1у
напряму підготовки (спеціальності)
133 – Галузеве машинобудування

Лещенко Олексій Михайлович

(прізвище та ініціали)

Керівник Рябушко А.В. ст. викл.

(прізвище та ініціали, наук. ступ., вч. звання)

Рецензент Саєнко Л.В. к.т.н., доц.

(прізвище та ініціали, наук. ступ., вч. звання)

Харків – 2026

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**Навчально-науковий Інститут енергетичної, інформаційної та
транспортної інфраструктури**

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр

Галузі знань 13 – Механічна інженерія

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри АКТ

 **БАРАНОВ О. О.**

« 22 » червень 2026 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Лещенку Олексію Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти)

1. Тема роботи Кульовий млин у складі лінії з виробництва портландцементу за сухим способом

затверджені наказом університету від « 22 » травня 2026 року № 440-03

Керівник роботи Рябушко Андрій Валерійович ст. викл.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

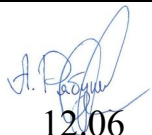
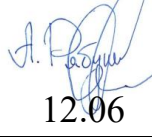
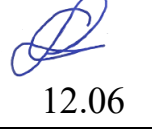
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи « 20 » червня 206 р.

3. Вихідні дані до роботи: Лінія з виробництва портландцементу за сухим способом. Головне обладнання – кульовий млин. Продуктивність – 2,4 т/год.

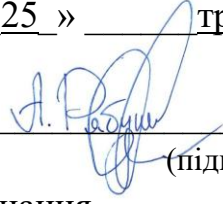
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Аналіз проблеми (опис продукції та контроль її якості, сировина, технологія виробництва, режим роботи заводу, вибір основного обладнання). Основна частина (призначення та конструкція млина, його принцип дії). Спеціальна частина (розрахунок продуктивності, потужності привода та показників роботи трубного млина, його технічне обслуговування та ремонт, експлуатація кульового млина). Охорона праці (виробнича санітарія, безпека праці, пожежна безпека). Висновки. Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Технологічна схема. Загальний вид обладнання. Барабан. Вузол розвантаження. Роликоопора. Ролик. Деталювання: бандаж, вісь ролика, секція перегородки.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз проблеми	ст. викл. Рябушко А.В.	25.05	 12.06
Основна частина	ст. викл. Рябушко А.В.	25.05	 12.06
Спеціальна частина	ст. викл. Рябушко А.В.	25.05	 12.06
Охорона праці	доц. Рогозін А.С.	25.05	 12.06

7. Дата видачі завдання « 25 » травня 2026 р.

Керівник  (підпис)

Завдання прийняв до виконання  (підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання розділів	Примітка
1	Аналіз проблеми	до 29.05	
2	Основна частина	до 05.06	
3	Спеціальна частина	до 12.06	
4	Охорона праці	до 12.06	

Здобувач вищої освіти  (підпис)

Керівник  (підпис)

РЕФЕРАТ

У роботі розглядається можливість використання кульового млина у складі лінії з виробництва портландцементу.

Структура роботи представлена вступом, 4 розділами, висновками і переліком посилань.

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, 4 розділів, висновки та переліку посилань. Повний обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра становить 89 сторінок, в тому числі: 14 рисунків; 2 таблиці; перелік посилань з 24 найменувань на 2 сторінках.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: кульовий млин, сировина, помел, портландцемент, трубошnek, роликоопора.

ABSTRACT

The paper considers the possibility of using a ball mill as part of a Portland cement production line.

The structure of the paper is presented by an introduction, 4 sections, conclusions and a list of references.

The bachelor's final qualification work consists of an introduction, 4 sections, conclusions and a list of references. The full volume of the bachelor's final qualification work is 89 pages, including: 14 figures; 2 tables; a list of references with 24 names on 2 pages.

KEYWORDS: ball mill, raw material, grinding, Portland cement, pipe screw, roller support.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ	8
1.1 Опис готової продукції та методів контролю її якості	8
1.2 Сировинні матеріали для виробництва цементу	12
1.3 Вибір технологічної схеми комплексу	14
1.4 Визначення режиму роботи підприємства	20
1.5 Вибір обладнання	23
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА	28
2.1 Призначення та конструкція млина Ø1,5×5,6 м	28
2.2 Принцип дії млина	37
3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	36
3.1 Розрахунок продуктивності, потужності привода та показників роботи трубного млина	38
3.2 Технічне обслуговування та ремонт	56
3.3 Експлуатація кульового млина	68
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	72
4.1 Виробнича санітарія	72
4.2 Заходи безпеки праці	81
4.3 Пожежна безпека	84
ВИСНОВКИ	88
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89

ВСТУП

Актуальність теми дослідження.

Портландцемент є основою для виробництва бетонів, залізобетонних конструкцій, будівельних розчинів, сухих будівельних сумішей та інших композиційних матеріалів, які широко застосовуються під час спорудження житлових, громадських, промислових і транспортних об'єктів.

Сучасне цементне виробництво є складним багатостадійним процесом, що включає підготовку та усереднення сировинних матеріалів, помел сировинної шихти, випал клінкеру, його охолодження, помел цементу та зберігання готової продукції.

Важливим напрямом розвитку цементної галузі є впровадження енергоощадного обладнання та сучасних аспіраційних систем, які забезпечують зниження викидів пилу та підвищення екологічної безпеки виробництва.

Мета дослідження – можливість використання кульового млина як помольно-сушильного агрегату

Для досягнення мети необхідно виконати наступні **завдання**:

1. Розглянути технологічну схему з виробництва портландцементу;
2. Проаналізувати застосовувані сировинні матеріали;
3. Визначити головне обладнання технологічної лінії;
4. Провести розрахунок показників роботи млина

Об'єкт дослідження – кульовий млин

Предмет дослідження – процес помелу.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати можуть бути використані під час проєктування, модернізації та підвищення ефективності роботи підприємств цементної промисловості.

1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ

1.1 Опис готової продукції та методів контролю її якості

Портландцемент є одним із найважливіших гідравлічних в'язучих матеріалів, який широко застосовується у сучасному промисловому та цивільному будівництві, при виготовленні бетонів, залізобетонних конструкцій, будівельних розчинів, сухих сумішей та інших композиційних матеріалів.

Виробництво, технічні характеристики та показники якості цементів загальнобудівельного призначення в Україні регламентуються наступними нормативними документами:

- ДСТУ Б В.2.7-46:2010 «Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови»;
- ДСТУ Б EN 197-1 «Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів».

Класифікація цементів, технічні терміни, методи контролю якості та раціональні сфери застосування визначаються відповідно до сучасної нормативної бази України та гармонізованих європейських стандартів.

Основними технічними вимогами до виробництва цементу є:

1. Виготовлення цементу відповідно до затверджених технологічних регламентів підприємства-виробника.
2. Забезпечення стабільності мінералогічного та хімічного складу клінкеру.
3. Контроль фізико-механічних характеристик готової продукції.
4. Забезпечення нормативних строків тужавлення та показників міцності.
5. Дотримання встановленої тонкості помелу цементу.
6. Забезпечення однорідності властивостей готової продукції.

Відповідно до чинних нормативних документів цементи поділяються на:

- портландцемент без мінеральних добавок;
- портландцемент із мінеральними добавками;
- шлакопортландцемент;
- композиційні цементи.

За показниками міцності цементи класифікуються за класами або марками міцності, які характеризують межу міцності при стиску та згині у встановлені строки тверднення.

Під час виробництва цементу основним компонентом є портландцементний клінкер. Масова частка оксиду магнію MgO у клінкері не повинна перевищувати нормативних значень, установлених чинними стандартами.

Для окремих видів сировини допускається підвищений вміст MgO за умови забезпечення стабільності зміни об'єму цементу під час автоклавних випробувань.

Тонкість помелу цементу повинна забезпечувати необхідну дисперсність матеріалу та достатню питому поверхню частинок. Під час контрольного просіювання залишок на ситі не повинен перевищувати нормативних значень, установлених чинними стандартами України.

Під час виробництва цементу для інтенсифікації процесу помелу допускається введення технологічних добавок, які не погіршують фізико-механічні властивості цементу та не знижують його експлуатаційні характеристики.

Ефективність використання технологічних добавок та відсутність їх негативного впливу на властивості цементу повинні підтверджуватися результатами лабораторних і виробничих випробувань.

Стандартна міцність цементу, а також рання міцність у встановлені строки тверднення повинні відповідати нормативним вимогам чинних стандартів.

Контроль якості цементу здійснюється відповідно до:

- ДСТУ EN 196-1:2019 Методи випробування цементу;
- ДСТУ Б EN 197-1:2015 Цемент. Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів;
- ДСТУ Б В.2.7-187:2009 Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск;

Визначення фізико-механічних властивостей цементу включає:

- визначення тонкості помелу;
- визначення строків тужавлення;
- визначення рівномірності зміни об'єму;
- визначення межі міцності при стиску та згині;
- визначення водопотреби цементного тіста;
- визначення активності цементу.

Хімічний аналіз цементу виконується відповідно до вимог чинних стандартів та лабораторних методик контролю якості.

Портландцемент являє собою гідравлічну в'язучу речовину, яку отримують шляхом тонкого помелу портландцементного клінкеру з гіпсом та, за необхідності, спеціальними мінеральними або технологічними добавками.

Портландцементний клінкер утворюється у процесі високотемпературного випалу сировинної суміші та надходить із печі у вигляді спечених гранул або шматків різної крупності залежно від типу випалювального агрегату.

Мікроструктура клінкеру являє собою складну тонкодисперсну систему, що складається з кристалічних фаз та певної кількості склоподібної фази.

Хімічний склад цементного клінкеру може змінюватися у певних межах залежно від складу сировини та технологічного режиму випалу.

Основними оксидами цементного клінкеру є:

- оксид кальцію CaO ;
- діоксид кремнію SiO_2 ;
- оксид алюмінію Al_2O_3 ;
- оксид заліза Fe_2O_3 .

Сумарний вміст зазначених оксидів у клінкері зазвичай становить 95–97 %.

Крім основних компонентів, у складі клінкеру можуть міститися:

- оксид магнію MgO ;
- сірчаний ангідрид SO_3 ;

- діоксид титану TiO_2 ;
- оксиди хрому;
- оксиди марганцю;
- лужні оксиди Na_2O та K_2O ;
- фосфорний ангідрид P_2O_5 .

Типовий вміст основних оксидів у цементному клінкері становить:

1. CaO – 63...66 %;
2. SiO_2 – 21...24 %;
3. Al_2O_3 – 4...8 %;
4. Fe_2O_3 – 2...4 %;
5. MgO – 0,5...5 %;
6. SO_3 – 0,3...1 %;
7. $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – 0,4...1 %;
8. $\text{TiO}_2 + \text{Cr}_2\text{O}_3$ – 0,2...0,5 %;
9. P_2O_5 – 0,1...0,3 %.

Підвищений вміст оксиду кальцію за умови його повного зв'язування з кислотними оксидами забезпечує інтенсивніше тверднення цементу та підвищення його кінцевої міцності.

Оксиди заліза сприяють зниженню температури спікання клінкеру та впливають на кінетику процесів тверднення цементу.

Основними мінералами цементного клінкеру є:

- аліт $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S);
- беліт $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S).

Аліт є основним клінкерним мінералом, який визначає високу швидкість тверднення, значну ранню міцність та основні експлуатаційні характеристики портландцементу. Вміст аліту у клінкері зазвичай становить 45–60 %.

Беліт характеризується повільнішим процесом тверднення, однак забезпечує поступове наростання міцності цементного каменю у тривалі строки експлуатації.

Проміжна речовина між кристалами аліту та беліту містить алюмоферитну й алюмінатну фази, а також другорядні мінерали та склоподібну фазу.

Мінералогічний склад клінкеру безпосередньо впливає на:

- швидкість тверднення цементу;
- тепловиділення;
- корозійну стійкість;
- морозостійкість;
- довговічність бетонів і розчинів.

Контроль якості цементу на підприємстві здійснюється на всіх стадіях виробництва:

- під час контролю сировини;
- у процесі випалу клінкеру;
- під час помелу цементу;
- при відвантаженні готової продукції.

Система виробничого контролю передбачає:

- лабораторний контроль хімічного складу;
- контроль тонкості помелу;
- контроль температурного режиму випалу;
- контроль фізико-механічних характеристик готового цементу.

Комплексне дотримання технологічних параметрів виробництва, вимог до складу сировини та системи контролю якості забезпечує отримання цементу зі стабільними фізико-механічними властивостями, високою міцністю та відповідністю чинним нормативним вимогам України.

1.2 Сировинні матеріали для виробництва цементу

Під час виробництва портландцементу використовують різні види матеріалів, частина з яких безпосередньо застосовується для отримання клінкеру, а інші у вигляді добавок вводяться під час помелу цементу (гіпс та мінеральні добавки).

Сировинними матеріалами для виробництва клінкеру є карбонатні гірські породи з високим вмістом карбонату кальцію, а також глинисті породи, що містять кремнезем, глинозем та оксид заліза. У середньому для виготовлення 1 т цементу необхідно до 1,6 т вихідної сировини.

У виробництві портландцементу найбільш широко застосовують вапняк, крейду та мергелі.

Середня густина вапняків становить 2400–2700 кг/м³, а крейдяних порід – 1500–2000 кг/м³. Вологість зазначених матеріалів відповідно становить 2–6% та 15–30%. Вапняки і крейда містять до 90% і більше карбонату кальцію, а також незначну кількість кварцового піску, глинистих матеріалів та інших домішок. Хімічний склад характеризується високим вмістом оксиду кальцію (до 50% і більше) та діоксиду вуглецю CO₂ (до 40% і більше). Вміст MgO понад 3–3,5%, а також сірчаного ангідриду понад 1,3% є недопустимим.

Мергелі являють собою природну суміш дрібнодисперсних частинок карбонату кальцію та глинистих мінералів і є цінною цементною сировиною. За вмістом CaO та SiO₂ мергелі близькі до клінкеру. Середня густина мергелів становить 2200–2500 кг/м³, а вологість перебуває в межах 5–20%.

Глини є тонкодисперсними осадовими породами, які при розбавленні водою легко утворюють суспензію. За мінеральним складом глини характеризуються переважним вмістом алюмосилікатів і кварцового піску.

Легкоплавкі глини складаються переважно з кремнезему (70–80%), глинозему (3–10%), оксиду заліза (3–6%) та невеликої кількості карбонатів кальцію і магнію. В окремих випадках вміст оксиду кальцію може досягати 10–25%, а оксиду магнію – 3–5%. Вологість глини коливається в межах 15–25%, а середня густина грудкової глини становить 1800–2000 кг/м³. Вміст вапна в перерахунку на активні CaO + MgO зазвичай становить 10–30% за масою.

Гіпсовий та гіпсоангидритовий камінь, який використовується для виробництва в'язучих матеріалів, повинен відповідати вимогам чинних нормативних документів. Видобування та перероблення каменю здійснюється відповідно до затвердженого технологічного регламенту.

Для виробництва гіпсових в'язучих матеріалів постачається лише гіпсовий камінь, а для виробництва цементу – гіпсовий та гіпсоангідритовий камінь. У гіпсоангідритовому камені вміст гіпсу повинен становити не менше 30%.

Кількість гіпсу не повинна перевищувати 5%, однак у деяких випадках для покращення властивостей та довговічності в'язучого допускається введення 15–25% гіпсу від маси портландцементу.

Під час помелу цементу допускається введення спеціальних пластифікуювальних або гідрофобізувальних поверхнево-активних добавок у кількості не більше 0,3% маси цементу в перерахунку на суху речовину добавки.

При виробництві цементу для інтенсифікації процесу помелу допускається введення технологічних добавок, що не погіршують якість цементу, у кількості не більше 1% маси цементу.

Для прийнятого у проєкті портландцементу:

- Портландцемент марки 500 без мінеральних добавок нормованого складу ПЦ 500-Д0-Н;

- Склад сировинної суміші для отримання клінкеру:

 - вапняк – 70%;

 - глина – 30%;

- Склад цементу:

 - клінкер – 94,5%;

 - гіпс – 5,5%.

1.3 Вибір технологічної схеми комплексу

Основними компонентами сировинної шихти для виробництва цементу є вапняк-черепашник, червоно-бура глина, залізовмісні коригувальні добавки, а також зола вугілля, яка вводиться до складу сировинної суміші з метою оптимізації хімічного складу та покращення технологічних характеристик шихти.

Вапняк та глина піддаються спільному подрібненню у двороторний зубчастій дробарці. Конструкція дробарки забезпечує ефективну роботу навіть при підвищеній вологості матеріалів і запобігає налипанню сировини на робочі органи обладнання.

Вагове дозування матеріалів, що подаються у дробарку, дозволяє підтримувати необхідне співвідношення між вапняковим та глинистим компонентами сировинної суміші.

Подрібнена до крупності не більше 100 мм сировинна суміш стрічковим конвеєром транспортується до усереднювального складу шатрового типу, де забезпечується її додаткове усереднення та стабілізація хімічного складу.

Технологічною схемою також передбачено використання чистого вапняку-коректора. Після дроблення у цій самій дробарці коригувальний матеріал подається до спеціального силосу.

Із силосу чистий вапняк автомобільним транспортом подається до приймального пристрою та системою стрічкових конвеєрів транспортується на склад добавок поздовжнього типу.

Склад добавок призначений для зберігання нормативних запасів:

- вапняку-коректора;
- залізовмісних добавок;
- доменного гранульованого шлаку;
- гіпсу.

Залізовмісні добавки, шлак та гіпс, що надходять залізничним транспортом, розвантажуються у приймальному вузлі та системою стрічкових конвеєрів подаються до штабелеукладача для формування окремих штабелів.

Штабелерозбирач здійснює відбір матеріалу поперек шарів штабеля, що забезпечує додаткове усереднення сировини та стабілізацію її хімічного складу.

Системою стрічкових конвеєрів чистий вапняк-коректор та залізовмісні добавки подаються до бункерів дозувального відділення сировинного млина.

До цих самих бункерів із усереднювального складу подається суміш вапняку та глини зі зниженим титром.

На конвеєрах подачі шихти до млина встановлюються:

- магнітні сепаратори;
- детектори немагнітних металевих включень.

Використання зазначеного обладнання дозволяє запобігти пошкодженню млина сторонніми металевими предметами.

Однією з основних умов отримання високоякісного цементного клінкеру є приготування сировинного борошна розрахункового хімічного складу та забезпечення його високої однорідності.

Отримання сировинного борошна необхідного складу забезпечується:

- точним ваговим дозуванням компонентів;
- автоматичним підтриманням співвідношення між складовими шихти;
- оперативним контролем хімічного складу.

Для реалізації зазначених вимог під бункерами дозувального відділення встановлюються вагові дозатори безперервної дії, а на конвеєрі подачі шихти до млина монтується ізотопний експрес-аналізатор.

Автоматизована система контролю якості забезпечує підтримання розрахункового співвідношення між компонентами сировинної шихти.

Система оптимального завантаження млина автоматично регулює продуктивність дозувального відділення залежно від різниці розрідження на вході та виході млина, при цьому співвідношення між компонентами шихти залишається незмінним.

Сировинний млин призначений для одночасного помелу та сушіння сировинної шихти вологістю до 12 %.

Як сушильний агент переважно використовуються відхідні гази циклонного теплообмінника з температурою 300–330 °С.

Циркуляція матеріалу, що подрібнюється, відбувається спільно з потоком гарячих газів. Завдяки цьому кінцева вологість сировинного борошна після помелу не перевищує 0,7 %.

Вбудований у корпус млина відцентровий сепаратор забезпечує регулювання тонкості помелу сировинного борошна. Кількість некондиційної фракції при цьому не перевищує 12 % загальної маси продукту.

До складу обладнання відділення помелу сировини також входить теплогенератор гарячих газів, який використовується:

- при недостатній температурі відхідних газів печі;
- за відсутності основного джерела сушильного агенту.

Продукт помелу за рахунок розрідження, створюваного млиновим вентилятором, разом із сушильним агентом виноситься із млина та після проходження сепаратора уловлюється в осаджувальних циклонах.

Крупна фракція («крупка») повертається до млина для повторного помелу.

Для остаточного очищення газів від пилу сировинного борошна застосовується рукавний фільтр необхідної продуктивності. Уловлений пил повертається у технологічний процес.

Цей самий рукавний фільтр використовується для очищення відхідних газів печі у випадках, коли сировинний млин не працює.

Після двоступеневого очищення кінцева запиленість газів, що викидаються в атмосферу, не перевищує 20 мг/нм³, що відповідає сучасним екологічним вимогам та чинним природоохоронним нормативам України.

Готове сировинне борошно із відділення помелу за допомогою пневмотранспортних жолобів та елеватора подається до силосу безперервної гомогенізації.

Система перемішування у силосі забезпечує необхідну однорідність хімічного складу сировинного борошна перед подачею до печі випалу клінкеру.

До силосу безперервної гомогенізації примикає вузол живлення печі сировинним борошном, оснащений ваговими та об'ємними дозаторами.

Вузол забезпечує:

- рівномірне живлення печі;
- плавне регулювання подачі матеріалу;

- автоматичне або дистанційне керування.

На потоці сировинного борошна встановлюються пробовідбірники для періодичного контролю ефективності роботи дозувального блоку та системи гомогенізації.

Для подачі сировинного борошна до циклонного теплообмінника використовуються:

- стрічкові елеватори;
- пневмотранспортні жолоби.

Для випалу клінкеру передбачено використання пічного агрегату з короткою обертовою піччю розміром 3,75×44 м, одногілковим чотириступеневим циклонним теплообмінником, реактором-декарбонізатором та холодильником клінкеру.

Експлуатаційна продуктивність пічного агрегату становить 1800 т клінкеру на добу при питомій витраті теплоти 795 ккал/кг клінкеру.

Основним технологічним паливом для випалу клінкеру є суміш пісного та газового вугілля.

У перспективі передбачається можливість використання нафтового коксу.

Дозування та плавне регулювання кількості пиловугільного палива, що подається до пальника печі та декарбонізатора, здійснюється автоматично або машиністом печі.

Для спалювання палива у декарбонізаторі використовується гаряче третинне повітря температурою до 600–700 °С, яке надходить із холодильника клінкеру.

Клінкер із печі надходить до холодильника, де охолоджується зовнішнім повітрям, що подається вентиляторами.

Після виходу з холодильника температура клінкеру перевищує температуру навколишнього середовища не більше ніж на 65 °С.

Очищення надлишкового повітря, що викидається в атмосферу, здійснюється у рукавному фільтрі, перед яким встановлюється трубчастий охолоджувач гарячого повітря.

Клінкер із холодильника металевим ковшовим конвеєром транспортується до силосного складу клінкеру.

Процеси завантаження та розвантаження силосу автоматизовані та керуються дистанційно з центрального пульта управління.

До складу клінкерного складу також входить металевий силос для:

- зберігання некондиційного клінкеру;
- відвантаження товарного клінкеру автомобільним транспортом.

У відділенні помелу цементу та гранульованого шлаку використовується вертикальний тарілчасто-роликовий млин, який забезпечує суміщення процесів сушіння та помелу.

Гіпс та сирий гранульований шлак зі складу добавок системою стрічкових конвеєрів та елеваторів подаються до відповідних бункерів відділення помелу.

Клінкер із силосного складу транспортується системою стрічкових та ковшових конвеєрів до бункера відділення помелу цементу.

Під бункерами встановлюються стрічкові вагові дозатори безперервної дії:

- для шлаку та гіпсу – з гумовою стрічкою;
- для клінкеру – з металевою стрічкою.

Система вагових дозаторів працює в автоматичному режимі та забезпечує:

- оптимальне завантаження млина;
- підтримання заданого співвідношення між компонентами цементної шихти.

Млин використовується:

- для помелу бездобавкового цементу;
- для помелу та сушіння гранульованого шлаку.

Під час сушіння шлаку як сушильний агент використовується гаряче повітря з холодильника клінкеру, а також топкові гази теплогенератора, встановленого у відділенні помелу.

На тракті подачі матеріалів до млина встановлюються:

- магнітний сепаратор;
- детектор немагнітних металів.

Це забезпечує захист млина від аварійних пошкоджень.

Млин працює у вентильованому режимі. Подрібнений та висушений матеріал потоком газів транспортується через динамічний сепаратор до рукавного фільтра, де здійснюється уловлювання готового продукту.

Крупна фракція повертається на тарілку млина для повторного помелу.

Готовий цемент механічним транспортом подається до силосного складу цементу.

Силосний склад включає ємності:

- для бездобавкового цементу;
- для меленого шлаку;
- для вузла змішування цементу та шлаку у необхідних пропорціях.

Для відвантаження цементу в автоцементовози та залізничні хопери-цементовози передбачено встановлення додаткових металевих силосів, оснащених системами завантаження та вагового контролю готової продукції.

1.4 Визначення режиму роботи підприємства

Режим роботи підприємства, окремих цехів та виробничих відділень характеризується кількістю робочих днів у році, кількістю змін на добу, тривалістю робочої зміни та встановлюється відповідно до трудового законодавства України і чинних норм технологічного проектування підприємств промисловості будівельних матеріалів.

Рациональний вибір режиму роботи цементного заводу забезпечує виконання виробничої програми при мінімальних витратах трудових, енергетичних і матеріальних ресурсів, що безпосередньо впливає на економічну ефективність виробництва та собівартість готової продукції.

Режим роботи помольного відділення:

- кількість робочих днів на рік – 365;

- кількість змін на добу – 3;
- тривалість зміни – 8 год;

Розрахунок складу цементу та сировинного матеріального балансу

Для виробництва цементу приймаємо:

1. Клінкер – 82,5 %; механічні втрати – 0,5 %;
2. Гіпс двоводний – 5,5 %; вологість – 5 %; механічні втрати – 0,5 %;
3. Шлак – 12 %; механічні втрати – 0,5 %; вологість – 15 %;
4. Втрати цементу під час помелу та транспортування – 1,5 %.

Порядок виконання розрахунку:

1. Визначаємо кількість портландцементу на складі з урахуванням втрат:

$$Q_{\text{ПЦ}} = Q \cdot x_1 = 500000 \cdot 1.015 = 507500 \text{ (т/рік)}$$

де: Q – виробнича потужність, т/рік;

x_1 – втрати, %.

2. Визначаємо кількість клінкеру, необхідну для отримання заданої кількості цементу:

$$Q_{\text{КЛ}} = Q_{\text{ПЦ}} \cdot x_2 = 507500 \cdot 0.825 = 418687,5 \text{ (т/рік)}$$

де: x_2 – частка клінкеру у складі цементу.

3. Визначаємо кількість клінкеру з урахуванням механічних втрат:

$$Q_{\text{КЛП}} = Q_{\text{КЛ}} \cdot x_3 = 418687,5 \cdot 1.005 = 420781 \text{ (т/рік)}$$

де: x_3 – механічні втрати, %.

4. Визначаємо кількість гіпсу, необхідну для виробництва цементу:

$$Q_{\text{Г}} = 507500 \cdot 0,055 = 27912,5 \text{ (т/рік)}$$

5. Визначаємо кількість гіпсу з урахуванням вологості та механічних втрат:

$$Q_{\text{ГП}} = Q_{\text{Г}} \cdot x_5 \cdot x_6 = 27912,5 \cdot 1.05 \cdot 1.005 = 29454,67 \text{ (т/рік)}$$

де: x_5 – вологість гіпсу;

x_6 – механічні втрати.

6. Визначаємо кількість добавки, необхідної для виробництва цементу:

$$Q_{\text{Д}} = Q_{\text{ПЦ}} \cdot x_7 = 507500 \cdot 0.12 = 60900 \text{ (т/рік)}$$

де: x_7 – частка добавки у цементі.

7. Визначаємо кількість добавки з урахуванням її вологості та механічних втрат:

$$Q_{дл} = Q_{д} \cdot x_8 \cdot x_9 = 60900 \cdot 1.15 \cdot 1.005 = 70385,175 \text{ (т/рік)}$$

де: x_8 – вологість добавки;

x_9 – механічні втрати.

Для розрахунку матеріального балансу приймаємо наступний режим роботи помольного відділення: 365 робочих днів на рік; двозмінний режим роботи; тривалість роботи – 16 год на добу.

8. Визначаємо добову потребу у матеріалах.

9. Визначаємо погодинну потребу у матеріалах.

Витрати ресурсів помольного відділення

Клінкер:

- витрата на 1 т цементу – 82,5 %;
- погодинна витрата – 104,7 т;
- змінна витрата – 1675,2 т;
- тижнева витрата – 6700,8 т;
- місячна витрата – 26803,2 т;
- річна витрата – 418687,5 т.

Гіпс:

- витрата на 1 т цементу – 5,5 %;
- погодинна витрата – 6,98 т;
- змінна витрата – 111,68 т;
- тижнева витрата – 446,72 т;
- місячна витрата – 1786,88 т;
- річна витрата – 27912,5 т.

Добавки:

- витрата на 1 т цементу – 12 %;
- погодинна витрата – 15,225 т;
- змінна витрата – 243,6 т;
- тижнева витрата – 974,4 т;

- місячна витрата – 3897,6 т;
- річна витрата – 60900 т.

Електроенергія:

- витрата на 1 т цементу – 0,06 тис. кВт·год;
- погодинна витрата – 7,6125 тис. кВт·год;
- змінна витрата – 121,8 тис. кВт·год;
- тижнева витрата – 478,2 тис. кВт·год;
- місячна витрата – 1948,8 тис. кВт·год;
- річна витрата – 30450 тис. кВт·год.

Стиснене повітря:

- витрата на 1 т цементу – 0,02 тис. м³;
- погодинна витрата – 2,5 тис. м³;
- змінна витрата – 40 тис. м³;
- тижнева витрата – 160 тис. м³;
- місячна витрата – 640 тис. м³;
- річна витрата – 10150 тис. м³.

Раціонально обраний режим роботи підприємства та оптимізація матеріальних потоків дозволяють забезпечити стабільність технологічного процесу, підвищити ефективність використання обладнання та знизити енерговитрати під час виробництва цементу.

1.5 Вибір обладнання

Вибір основного технологічного обладнання цементного виробництва здійснюється з урахуванням його продуктивності, технологічної ефективності та здатності забезпечувати якісне виконання операцій, передбачених технологічним процесом.

Під час вибору млинів, класифікаторів, змішувачів та іншого технологічного обладнання необхідно враховувати:

- міцність оброблюваних матеріалів;
- гранулометричний склад вихідної та готової продукції;

- вологість матеріалів;
- консистенцію;
- насипну густину;
- абразивність;
- схильність матеріалу до налипання.

Для помольного відділення цементного виробництва основним технологічним обладнанням є кульовий трубний млин.

Основне обладнання виробничого комплексу та окремих технологічних ділянок повинно працювати з максимально можливим навантаженням, що забезпечує найвищу економічну ефективність виробництва.

У зв'язку з цим усе допоміжне та транспортне обладнання підбирається таким чином, щоб забезпечити повне завантаження основного технологічного агрегату.

У даній роботі продуктивність усього комплексу визначається продуктивністю основного помольного обладнання.

Трубний млин розміром 3,2×15 м має паспортну продуктивність 60 т/год.

Допоміжне обладнання:

- компресори;
- парові котли;
- насосне обладнання;
- газорозподільні системи;
- трансформаторні підстанції;
- обладнання паливopідготовки;
- аспіраційні системи

також підбирається за продуктивністю та здатністю забезпечувати необхідні технологічні параметри роботи комплексу.

Розрахункова продуктивність компресора визначається аналогічно розрахунковій годинній продуктивності обладнання:

$$P_{р\ хв} = K_{нер} \times K_{дод} \times P_{пот.год} / 60 = 2 \times 2 \times 60 / 60 = 4 \text{ м}^3/\text{хв.}$$

де: $K_{нер}$ – коефіцієнт нерівномірності споживання стисненого повітря;

$K_{\text{нер}} = 2-3$ – приймається для підприємств із періодично діючим пневматичним транспортом;

$K_{\text{дод}}$ – коефіцієнт, що враховує втрати стисненого повітря через нещільності та його додаткове використання під час ремонтних робіт;

$$K_{\text{дод}} = 1,5-2,0.$$

На практиці транспортне обладнання комплектується із серійно виготовлених вузлів та елементів на основі попередньо виконаних розрахунків.

Розміри робочих органів транспортуючих машин визначаються за універсальними залежностями фактичної (паспортної) продуктивності.

Для стрічкових конвеєрів, які широко застосовуються у цементному виробництві, ширина стрічки визначається за формулою:

$$B \geq \sqrt{\frac{P_{p, \text{зод}}}{C_n \times V \times \rho}} = \sqrt{\frac{50}{200 \times 1 \times 1.5}} = 0,408 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартну стрічку шириною: $B = 0,5$ м.

де: C_n – коефіцієнт площі вантажу на стрічці, який залежить: від кута нахилу роликкоопор; кута природного укосу матеріалу; швидкості руху стрічки.

Для більшості сипких матеріалів при використанні жолобчастих роликкоопор приймають: $C_n = 200-250$.

Швидкість руху стрічки зазвичай приймається із стандартного ряду:

- 0,63 м/с;
- 0,8 м/с;
- 1,0 м/с;
- 1,2 м/с.

Найбільш поширеними є стрічки шириною:

- 0,5 м;
- 0,65 м;
- 0,8 м;
- 1,0 м.

З точки зору експлуатації транспортного обладнання на підприємстві доцільно використовувати однакову номенклатуру стрічок.

Для забезпечення різної продуктивності конвеєрів при однаковій ширині стрічки змінюють швидкість її руху.

Транспортне обладнання, яке забезпечує зв'язок між технологічними агрегатами та виробничими дільницями, повинно не лише транспортувати необхідну кількість матеріалу, але й забезпечувати роботу з матеріалами, що мають складні транспортні властивості:

- високу запиленість;
- налипання на робочі поверхні;
- підвищену абразивність;
- наявність гострокромкових частинок.

Важливим питанням під час проєктування цементних виробництв є вибір раціональних об'ємів бункерів та накопичувальних ємностей для зберігання сировини і напівфабрикатів.

Збільшення об'єму накопичувальних ємностей:

- підвищує надійність функціонування виробничого комплексу;
- забезпечує ритмічність технологічного процесу;
- компенсує нерівномірність постачання сировини.

Разом із тим надмірне збільшення місткості бункерів призводить до:

- підвищення капітальних витрат;
- збільшення площ виробничих приміщень;
- ускладнення транспортних схем.

Найбільший об'єм мають бункери, які забезпечують безперервну роботу технологічних дільниць щонайменше протягом однієї зміни.

Інші накопичувальні ємності зазвичай забезпечують запас матеріалу на 2–3 години безперервної роботи наступної технологічної дільниці.

Орієнтовний об'єм бункерів визначається на основі погодинної витрати матеріалів.

Бункер для клінкеру:

$$V_6 = t_6 \times \Pi_{\text{пот. год}} \times \rho = 8 \times 37,7 \times 1,5 = 452 \text{ м}^3.$$

Бункер для гіпсу:

$$V_6 = t_6 \times \Pi_{\text{пот. год}} \times i \times \rho = 24 \times 2,5 \times 1,5 = 90 \text{ м}^3.$$

Бункер для шлаку:

$$V_6 = t_6 \times \Pi_{\text{пот. год}} \times \rho_i = 16 \times 5,5 \times 1,5 = 132 \text{ м}^3.$$

де: i – насипна густина матеріалу, т/м³.

Для більшості сировинних матеріалів та напівфабрикатів насипна густина становить: $i = 1,0\text{--}1,6$ т/м³.

$t_6 = 2\text{--}24$ год – тривалість автономної роботи виробничої ділянки, яку забезпечує бункер.

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Призначення та конструкції млина Ø1,5×5,6 м

У виробництві будівельних матеріалів значна кількість технологічних процесів потребує тонкого подрібнення сировинних компонентів, напівфабрикатів та палива. Зокрема, під час переведення цементних заводів на тверде паливо виникає необхідність у подрібненні вугілля до заданої тонкості помелу, що забезпечує стабільність процесу спалювання та ефективність теплотехнічних режимів випалу клінкеру.

Найбільшого поширення у цементній промисловості як помольні агрегати набули кульові трубні млини, які характеризуються високою надійністю, стабільністю роботи та можливістю забезпечення необхідної тонкості помелу.

Кульовий трубний млин являє собою порожнистий циліндричний барабан, закритий з торців литими днищами з порожнистими цапфами. Через цапфові опори барабан спирається на підшипникові вузли.

Робочий об'єм млина на 25–30 % заповнюється мелючими тілами.

Подрібнення матеріалу у млині здійснюється внаслідок:

- ударної дії мелючих тіл;
- роздавлювання частинок матеріалу;
- стирання;
- комбінованого механічного впливу.

Під час обертання барабана мелючі тіла під дією відцентрових сил та сил тертя піднімаються на певну висоту по внутрішній поверхні барабана, після чого падають, забезпечуючи подрібнення матеріалу.

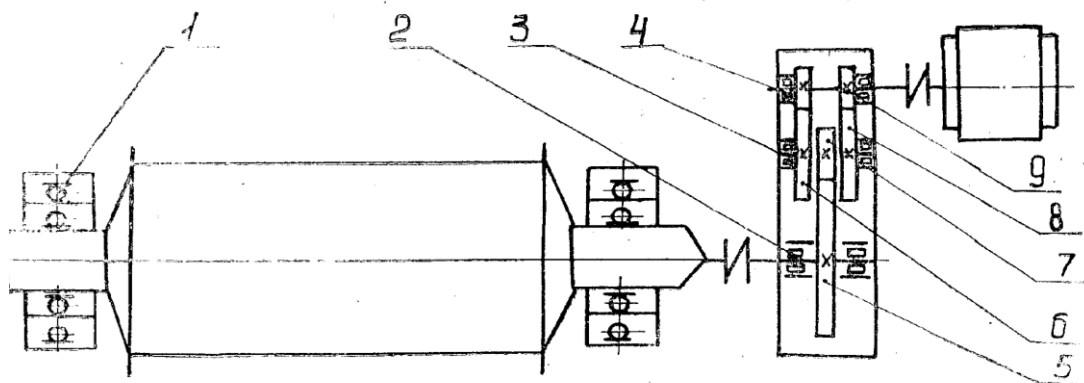
Помольний агрегат із млином СМ 1,4×5,6 м призначений для помелу клінкеру з добавками за відкритим циклом із використанням внутрішньомлинового класифікувального пристрою.

Помольний агрегат входить до складу технологічної лінії виробництва цементу.

Основним обладнанням помольного агрегату є:

- млин СМ 1,5×5,6;
- вагові дозатори безперервної дії типу 4273 ДН;
- камерний пневматичний насос ТА29А;
- вихровий вологомасловідокремлювач СМЦ5;
- циклон Ø1410 мм;
- шлюзовий живильник Ш5;
- димосос ДН11,2У.

Стрічковим конвеєром матеріал подається до завантажувальної течки млина, після чого через трубошnek, установлений у порожнистій цапфі завантажувальної кришки, надходить у першу камеру млина.



1 – цапфовий підшипник; 2, 3, 4, 7 – підшипники редуктора;
5, 6, 8, 9 – зубчасті передачі редуктора.

Рисунок 2.1 – Кінематична схема млина:

Під час обертання млина гвинтові лопаті трубошнека переміщують матеріал у робочу камеру млина.

Камера млина завантажується цильпесом Ø18–27 мм загальною масою не більше 9 т, за допомогою якого здійснюється помел матеріалу та утворення вугільного пилу.

Через щілини розвантажувальних секторів, установлених наприкінці другої камери, та діафрагму готовий продукт надходить на футерівку розвантажувальної кришки млина.

Під час обертання млина матеріал переміщується до вікон розвантажувального патрубку, звідки вугільний пил висипається на кругле сито, закріплене на патрубку та встановлене на спільному валу обертання.

Подрібнений вугільний пил проходить через сито та потрапляє до розвантажувальної камери.

Недоподрібнений матеріал та уламки мелючих тіл, які залишаються на ситі, потрапляють до спеціальної кишені розвантажувальної камери, звідки через бічну течку видаляються у міру накопичення.

Із розвантажувальної камери вугільний пил подається на стрічковий конвеєр, за допомогою якого транспортується до накопичувального бункера вугільного пилу.

Для інтенсифікації процесу помелу, та зниження запиленості помольного відділення млин обладнаний аспіраційною системою.

В аспіраційній системі млина CM1456 використовується димосос ДН11,2У, який створює необхідне розрідження для просмоктування повітря через млин із заданою швидкістю руху газоповітряного потоку.

Дрібнодисперсні фракції, що видаляються з млина разом з аспіраційним повітрям через аспіраційну шахту, надходять до двоступеневої системи газоочищення.

Першим ступенем очищення є циклон Ø1400 мм, який забезпечує попереднє очищення аспіраційного повітря від пилу.

Млин являє собою порожнистий зварний циліндричний барабан, внутрішня поверхня якого захищена від абразивного зношування бронефутерованими плитами.

Камера млина футерується гребінчастими плитами, виготовленими з марганцевистої сталі або вибіленого чавуну.

З торців корпус закривається литими сталевими днищами, центральні частини яких виконані у вигляді цапф.

Через цапфи барабан спирається на роликоопори.

Підшипникові вузли змащуються пластичним мастилом відповідно до вимог експлуатаційної документації.

До розвантажувальної кришки млина кріпляться:

- розвантажувальний патрубок;
- сито.

Приведення млина в обертання здійснюється асинхронним електродвигуном через:

- втулково-пальцеву муфту;
- двоступеневий редуктор.

Під час проведення ремонтних робіт провертання млина виконується окремим асинхронним електродвигуном через:

- втулково-пальцеву муфту;
- двоступеневий редуктор;
- кулачкову муфту примусового ввімкнення, встановлену на другому кінці вала редуктора.

Основними складовими роlikоопори є:

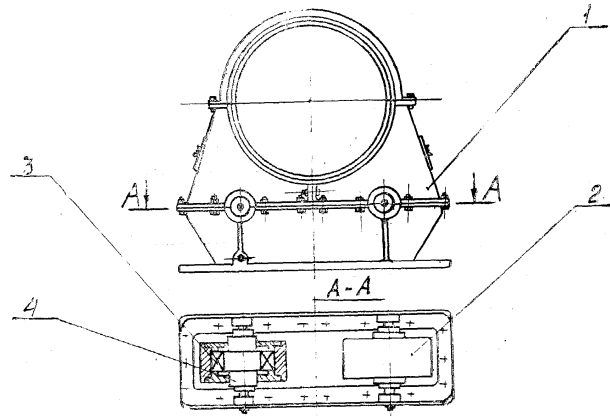
- корпус;
- ролик;
- підшипник;
- вісь.

Рама підшипника являє собою зварну конструкцію з обробленою верхньою площиною, на якій установлюється корпус підшипника.

На рамі розміщуються:

- регулювальні болти для суміщення осей підшипників із віссю млина;
- кронштейни для регулювання висотного положення рами.

Рама кріпиться до фундаменту анкерними болтами та після остаточного вивіряння заливається бетоном для забезпечення монолітності конструкції.



1 – корпус; 2 – ролик; 3 – підшипник; 4 – вісь.

Рисунок 2.2 – Роликоопора:

Завантажувальна кришка у зборі являє собою порожнисту сталеву відливку, виконану спільно з порожнистою цапфою, через яку млин спирається на підшипник.

По зовнішньому діаметру кришки виконані отвори для кріплення кришки болтами до фланця барабана.

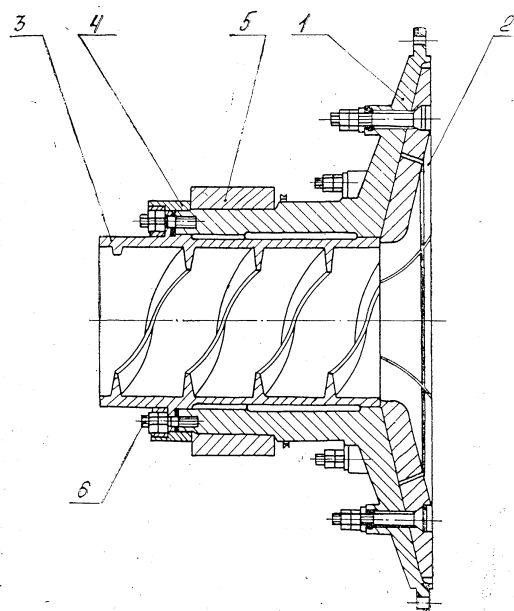
На конічній поверхні розміщені отвори для кріплення торцевої ребристої футерівки до внутрішньої поверхні кришки.

Усередині порожнистої цапфи завантажувальної кришки болтами закріплений трубошnek із гвинтовими лопатями, який під час обертання млина забезпечує переміщення матеріалу із течки до першої камери.

У трубошнеку передбачена додаткова порожнина з радіальними лопатями, які повертають матеріал, що потрапив у зазор між трубошнеком та горловиною течки, назад до завантажувальної горловини.

Між торцевою футерівкою та внутрішньою поверхнею кришки встановлюється ущільнювальна прокладка.

Середня частина млина являє собою сталевий зварний циліндричний барабан, виготовлений із низьколегованого листового прокату, який забезпечує необхідну міцність, жорсткість та стійкість конструкції до динамічних навантажень під час експлуатації.



- 1 – кришка барабана;
- 2 – торцева футерівка;
- 3 – завантажувальна втулка;
- 4 – кільце;
- 5 – бандаж;
- 6 – шпилька.

Рисунок 2.3 – Завантажувальний патрубок:

У корпусі барабана виконано спеціальні отвори, призначені для кріплення бронефутерівки за допомогою спеціальних болтових з'єднань. Робоча камера млина заповнюється цильпесом, який використовується як мелюче тіло.

У барабані передбачені люкові отвори, через які виконуються:

- завантаження та вивантаження мелючих тіл;
- технічний огляд внутрішніх поверхонь;
- демонтаж та монтаж футерівочних плит;
- проведення ремонтних робіт.

Люкові отвори закриваються знімними кришками. У ребрах кришок виконані технологічні отвори, що полегшують демонтаж під час технічного обслуговування.

На внутрішній поверхні барабана встановлюється бронефутерівка. Камера цементного млина футерується литими гребінчастими бронеплитами зі сталі 110Г13Л, яка характеризується високою зносостійкістю та стійкістю до ударно-абразивного навантаження.

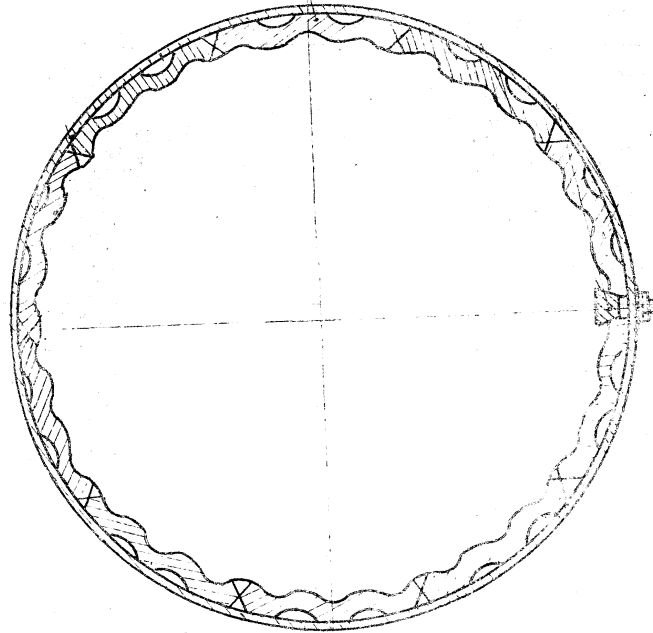


Рисунок 2.4 – Футерований барабан.

Розвантажувальна кришка у зборі складається з:

- литої розвантажувальної кришки;
- діафрагми із секторами вихідної решітки;
- футерівки розвантажувальної кришки.

Сектори вихідної решітки мають радіально розташовані щілини, призначені для проходження подрібненого матеріалу.

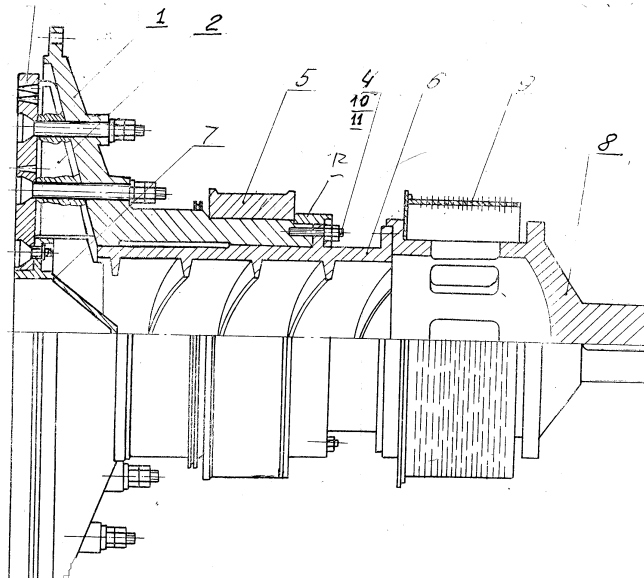
Розвантажувальна кришка з барабаном та розвантажувальним патрубком з'єднується за допомогою прецизійних болтів.

Розвантажувальна кришка являє собою порожнисту сталеву відливку, виконану спільно з цапфою, через яку млин спирається на підшипниковий вузол.

До розвантажувальної кришки кріпляться:

- діафрагма;
- сектори вихідної решітки.

Діафрагма оснащується радіальними ребрами та конусом, за допомогою яких матеріал, що пройшов через щілини секторів, подається на футерівку розвантажувальної кришки та далі переміщується до розвантажувального патрубка.



- 1 – кришка барабана; 2 – розвантажувальна лопать; 3 – решітка; 4 – шпилька;
 5 – бандаж; 6 – розвантажувальний шнек; 7 – розвантажувальний конус;
 8 – розвантажувальний барабан.

Рисунок 2.5 – Розвантажувальна кришка

Розвантажувальний патрубок являє собою зварно-литу конструкцію, яка за допомогою прецизійних болтів приєднується до розвантажувальної кришки та проміжного з'єднання.

У патрубку передбачено декілька вікон, призначених для вивантаження готового подрібненого матеріалу.

До патрубка кріпиться сито.

Сито складається із секцій, обтягнутих зносостійкою сталевною сіткою та з'єднаних між собою болтами.

Основне призначення сита – виділення з продукту, що виходить із млина:

- уламків мелючих тіл;
- недоподрібненого матеріалу розміром більше 5 мм.

Сито кріпиться до частини прецизійних болтів, призначених для стикування розвантажувального патрубка з розвантажувальною кришкою.

Другий кінець сита закріплюється на патрубку за допомогою стояків, які приварюються під час монтажу безпосередньо за місцем встановлення.

Приймальна камера являє собою металоконструкцію, виготовлену з листової сталі.

Камера оснащується люками для:

- технічного огляду;
- ремонту сита;
- виконання профілактичних робіт.

У приймальній камері передбачені вихідні отвори, призначені:

- для виходу подрібненого матеріалу;
- для вивантаження залишків мелючих тіл.

Верхню частину приймальної камери цементного млина рекомендується закривати знімною кришкою, яка виготовляється безпосередньо за місцем монтажу.

Привод млина призначений для передачі крутного моменту від електродвигуна до барабана млина.

На швидкохідному валу редуктора з одного боку встановлюється електродвигун, робоче обертання якого через втулково-пальцеву муфту передається на редуктор, а далі – на млин.

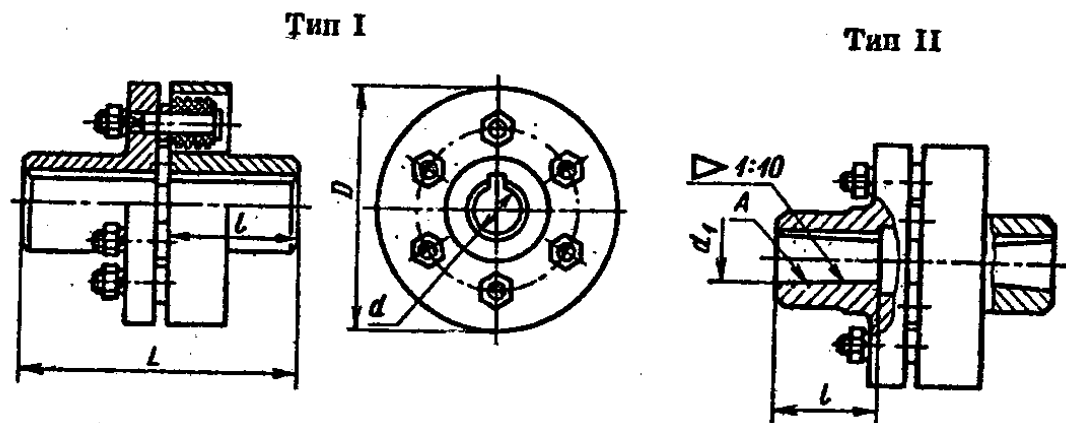
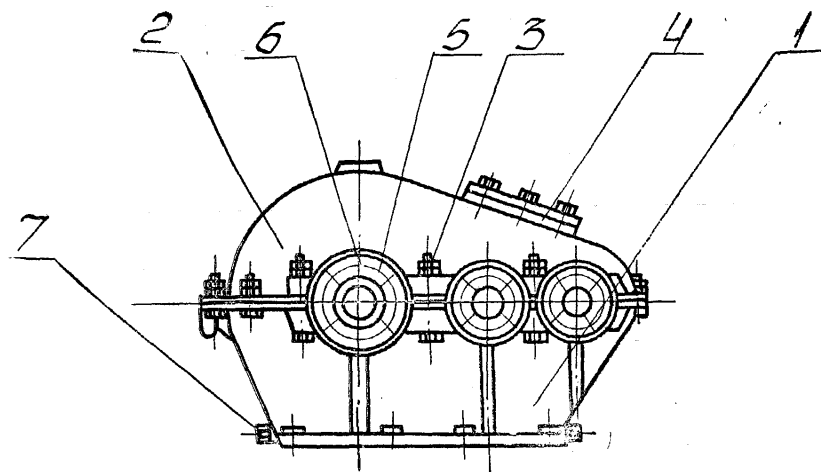


Рисунок 2.6 – Втулково-пальцева муфта.

Опори валів редуктора виконуються на підшипниках кочення.

Корпус редуктора виготовляється литтям із чавуну, а кришка редуктора та піддони мають зварну конструкцію.



1 – корпус; 2 – кришка; 3 – болт; 4 – люк; 5 – кришка; 6 – болт; 7 – пробка.

Рисунок 2.7 – Редуктор:

2.2 Принцип дії млина

Принцип роботи млина полягає у наступному.

Матеріал, що підлягає подрібненню, за допомогою дозаторів подається до приймальної воронки та через живильник надходить у трубошnek, встановлений у порожнистій цапфі завантажувального днища.

Далі матеріал подається у першу камеру млина.

У процесі подрібнення матеріал поступово переміщується до міжкамерної перегородки та через щілини у ній проходить до збірного кожуха.

У нижній частині кожуха матеріал накопичується, після чого за допомогою елеватора подається до сепараторів.

Тонкі фракції, виділені у сепараторах, через аерозолоби подаються до пневматичних камерних насосів, якими транспортуються до силосів.

Недоподрібнений матеріал (крупка) через систему аерозолобів повторно подається до камери млина через приймальний патрубок.

Далі за допомогою лопаті матеріал піднімається та, пересипаючись на конус, знову спрямовується у робочу камеру.

Під час роботи млина внаслідок ударів мелючих тіл об матеріал відбувається інтенсивне виділення тепла.

У результаті цього спостерігається:

- нагрівання клінкеру;

- випаровування вологи;
- підвищення температури газоповітряного середовища.

Ці явища можуть призводити до уповільнення процесу помелу.

Для запобігання зазначеним негативним явищам млин безперервно аспірується шляхом відсмоктування нагрітого запиленого повітря.

Після цього повітря очищується у циклонах та фільтрах.

За необхідності млин може бути переведений на роботу за відкритим циклом.

Для цього технологічні отвори закриваються кришками, а матеріал через отвори у перегородці подається до другої частини кожуха.

Далі за допомогою лопатей та конуса матеріал спрямовується до другої камери млина.

У міру подрібнення матеріал проходить через отвори решітки та за допомогою радіальних лопатей і конуса спрямовується у порожнисту цапфу розвантажувального пристрою.

Після цього готовий матеріал надходить до розвантажувального патрубку та через вікна висипається на сито.

Подрібнені уламки мелючих тіл затримуються на ситі та відводяться через спеціальний патрубок.

Готовий цемент через патрубок транспортується до місця складування.

Порожнистий циліндричний барабан млина виготовляється зі сталевих листів, з'єднаних між собою зварюванням.

Внутрішня поверхня барабана облицьовується футерівочними бронеплитами, відлитими з марганцевистої сталі або вибіленого чавуну.

З торців корпус закривається литими сталевими днищами, центральні частини яких виконані у вигляді цапф.

Через цапфи барабан спирається на роликоопори.

Даний млин відрізняється від аналогічного обладнання тим, що використовується не лише для помелу, а й для підсушування матеріалу, тобто працює як помольно-сушильний агрегат.

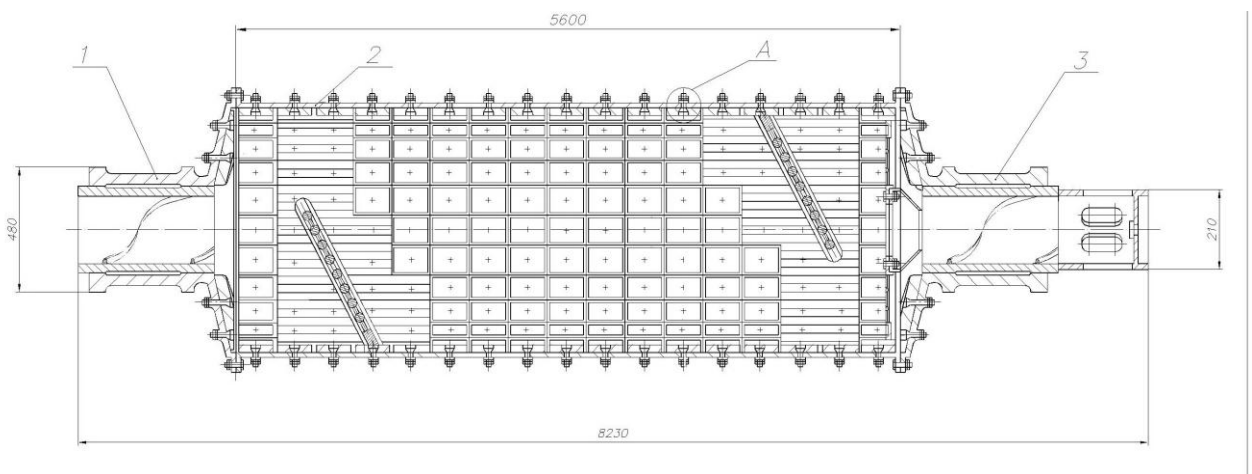
Млин є однокамерним, а як мелючі тіла використовуються циліндри.

Конструктивною особливістю агрегату є наявність двох похилих перегородок, установлених:

- одна – на початку барабана;
- друга – наприкінці барабана.

Завдяки нахилу перегородок забезпечується:

- осьове переміщення матеріалу;
- переміщення мелючих тіл;
- покращення процесу сушіння матеріалу;
- інтенсифікація перемішування та пересипання матеріалу.



1 – завантажувальна частина; 2 – барабан; 3 – розвантажувальна частина.

Рисунок 2.8 – Основні елементи млина

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок продуктивності, потужності привода та показників роботи трубного млина

Розрахунок трубного млина

Вихідні дані:

- клінкер середньої розмелюваності;
- $R = 0,68$ м – внутрішній радіус барабана;
- $L_B = 5,6$ м – довжина барабана;
- $\varphi_1 = 0,30$ – коефіцієнт заповнення першої кульової камери;
- $\varphi_2 = 0,27$ – коефіцієнт заповнення другої цильпібсної камери.

Зазначені параметри отримані за умови розрахункового залишку матеріалу, що подрібнюється, на ситі 008 наприкінці першої камери $R_0 = 50$ %, а також робочої довжини барабана $L_0 = 5,6 - 0,2 = 5,4$ м.

Під час експлуатації помольного обладнання можливі коливання гранулометричного складу та розмелюваності частинок матеріалу, що виникають унаслідок нестабільності процесу випалу у обертовій печі.

Такі коливання можуть призводити до необхідності збільшення тривалості дії ударних навантажень від кульового завантаження, а отже – до збільшення довжини першої камери.

У зв'язку з цим приймаємо $L_1 = 2$ м.

Значення коефіцієнта ψ , який характеризує величину пустот між кулями, залежить від діаметра мелючих тіл.

Оскільки перша камера завантажується кулями різного діаметру, значення коефіцієнта приймається як середньоарифметичне або відповідно до середньозваженого діаметра кульового завантаження.

Маса цильпібсів у другій камері:

$$M_2 = \varphi_2 \times \psi \times \pi \times R^2 \times L_2 \times \gamma = 0,27 \times 0,55 \times 3,14 \times 0,68^2 \times 3,2 \times 7,85 = 5,4 \text{ т.}$$

де: $L_2 = L_0 - L_1 = 5,4 - 2 = 3,2$ м – довжина цильпібсної камери.

Загальна маса мелючих тіл:

$$M = M_1 + M_2 = 4 + 5,4 = 9,4 \text{ т.}$$

Критична частота обертання становить:

$$n_K = \frac{42,4}{\sqrt{2 \cdot R}} = \frac{42,4}{\sqrt{2 \cdot 0,68}} = 36,4 \text{ об/хв.}$$

Розрахункова робоча частота обертання для кута відриву $\alpha = 54^\circ 40'$ без урахування ковзання становить:

$$n = n_K \cdot \sqrt{\cos \alpha} = 36,4 \cdot \sqrt{\cos 54^\circ 40'} = 36,4 \cdot 0,785 = 28,6 \text{ об/хв.}$$

Продуктивність млина:

$$Q_M = 6,45 \cdot V \cdot \sqrt{2 \cdot R} \cdot \left(\frac{M}{V}\right)^{0,8} \cdot q \cdot K_{\text{пит}} \text{ т/год.}$$

де: $V = \pi \times R^2 \times L_0 = 3,14 \times 0,68^2 \times 5,4 = 7,8 \text{ м}^3$ – корисний об'єм млина;

$q = 1$ – коефіцієнт, що відповідає тонкості помелу із залишком 10 % на ситі 008;

$K_{\text{пит}} = 0,040 \text{ т/кВт} \cdot \text{год}$ – питома продуктивність під час помелу клінкеру.

$$Q_M = 6,45 \cdot 7,8 \cdot \sqrt{2 \cdot 0,68} \cdot \left(\frac{7,6}{7,8}\right)^{0,8} \cdot 1 \cdot 0,040 = 2,4 \text{ т/год.}$$

Потужність привода млина:

$$N = \frac{0,462 \cdot M \cdot R \cdot n}{\eta} = \frac{0,462 \cdot 7,6 \cdot 0,68 \cdot 44}{0,9} = 116,7 \text{ кВт.}$$

Розрахункову величину потужності привода збільшують на 5–20 %, що пояснюється можливим збільшенням коефіцієнта заповнення млина мелючими тілами та відповідним збільшенням кількості матеріалу, який подрібнюється.

Крім того, під час холостого обкатування, тобто за відсутності матеріалу у барабані, спостерігається підвищене енергоспоживання внаслідок зміщення центра мас завантаження.

З урахуванням зазначених факторів приймають фактичну потужність привода $N = 160 \text{ кВт}$.

У сучасних помольних агрегатах застосовуються електродвигуни потужністю 160 кВт із частотою обертання $n_d = 29 \text{ об/хв}$.

Підвищення частоти обертання електродвигуна дозволяє:

- зменшити габаритні розміри електродвигуна;

- знизити передаточне число редуктора;
- підвищити компактність привідної системи.

За передаточного числа редуктора $i = 16$, робоча частота обертання корпусу млина становить:

$$n = \frac{n_d}{i} = \frac{725}{16.5} = 44 \text{ об/хв.}$$

При оптимальному куті відриву куль від футерівки $\alpha = 54^\circ 40'$ час руху куль по круговій траєкторії разом із футерівкою до точки відриву становить:

$$T_1 = \frac{(90 - \alpha) \cdot 60}{90 \cdot n} = \frac{(90 - 54^\circ 40') \cdot 60}{90 \cdot 44} = 0.54 \text{ с}$$

Час падіння куль по параболічній траєкторії:

$$T_2 = \frac{0,319 \cdot 60 \cdot \sin(2 \cdot \alpha)}{n} = \frac{0,319 \cdot 60 \cdot \sin(2 \cdot 54^\circ 40')}{44} = 0.4 \text{ с.}$$

Загальний час руху куль зовнішнього ряду:

$$T = T_1 + T_2 = 0,54 + 0,4 = 0,94 \text{ с.}$$

Розрахунок корпусу млина

Для перевірки міцності корпусу млина визначають навантаження, які діють на барабан під час експлуатації помольного агрегату.

Сила ваги завантаження, що контактує з корпусом млина, становить:

$$G_{\text{зав}} = 0,627 \times G_{\text{зав макс}}, \text{ кН.}$$

де: $G_{\text{зав макс}} = 140 \text{ кН}$ – сила ваги завантаження при максимально допустимому заповненні млина.

$$G_{\text{зав}} = 0,627 \times 140 = 87,8 \text{ кН.}$$

Під час обертання завантаження виникає відцентрова сила:

$$P = 0,356 \times G_{\text{зав макс}} = 0,356 \times 140 = 49,84 \text{ кН.}$$

Рівнодійна зазначених сил дорівнює:

$$T = \sqrt{P^2 + G_{\text{зав}}^2 - 2 \cdot P \cdot G_{\text{зав}} \cdot \cos(120^\circ)} = \sqrt{49.8^2 + 87.8^2 + 49.8 \cdot 87.8} = 120.7 \text{ кН.}$$

При розрахунку враховують:

$G_1 = 1700 \text{ кН}$ – сила ваги корпусу з футерівкою;

$G_2 = 400 \text{ кН}$ – сила ваги завантажувальної кришки;

$G_3 = 80$ кН – сила ваги міжкамерної перегородки;

$G_4 = 400$ кН – сила ваги розвантажувального днища у зборі;

$G_5 = 82$ кН – сила ваги розвантажувального патрубку із ситом;

$G_6 = 155$ кН – сила ваги муфти та половини привідного вала.

Сумарне статичне навантаження визначається за формулою:

$$G_{\text{бс}} = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 + G_{\text{зав}}, \text{ кН.}$$

$$G_{\text{бс}} = 170 + 40,0 + 58 + 40,2 + 8,2 + 15,5 + 14,9 = 293,8 \text{ кН.}$$

Тоді: $G_B = G_{\text{бс}} + G_{\text{зав}} = 293 + 137 = 430 \text{ кН.}$

Рівнодійна сил T та G_B становить:

$$Q = \sqrt{T^2 + G_B^2 - 2 \cdot T \cdot G_B \cdot \cos(160^\circ)}, \text{ кН.}$$

$$Q = \sqrt{120,7^2 + 430^2 - 2 \cdot 120,7 \cdot 430 \cdot 0,94} = 545 \text{ кН.}$$

$$q = \frac{Q}{L} = \frac{545}{8} = 68 \text{ кН/м.}$$

Максимальний згинальний момент від дії другої сили прикладений у середній частині барабана млина та становить:

$$M_{\text{зг}} = \frac{Q \cdot L}{2,2} = \frac{545 \cdot 8}{2,2} = 1981,8 \text{ Н·м.}$$

Максимальний крутний момент, що передається на барабан:

$$M_{\text{кр}} = \frac{1000 \cdot N}{\omega} = \frac{1000 \cdot 160 \cdot 30}{3,14 \cdot 44} = 34,7 \cdot 10^3 \text{ Н·м.}$$

Приведений сумарний максимальний момент у середній частині барабана млина:

$$M_{\text{пр}} = \sqrt{M_{\text{зг}}^2 + M_{\text{кр}}^2}, \text{ Н·м.}$$

$$M_{\text{пр}} = \sqrt{(1981,8)^2 + (34,7 \cdot 10^3)^2} = 347 \cdot 10^3 \text{ Н·м.}$$

Момент опору кільцевого перерізу барабана млина визначається:

$$W = \frac{R_H^4 - R_B^4}{R_H} = \frac{0,75^4 - 0,68^4}{0,75} = 0,1, \text{ м.}$$

де: $R_{\text{зов}} = 0,75$ м – зовнішній радіус барабана;

$R_{\text{внутр}} = 0,68$ м – внутрішній радіус барабана у середній частині.

Найбільше напруження у середній частині корпусу:

$$G = \frac{M_{\text{ПР}}}{K \cdot W} = \frac{347000}{0,8 \cdot 1,0} = 0,433 \text{ МПа.}$$

де: $K = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує ослаблення поперечного та профільного перерізу корпусу через наявність кріпильних отворів.

Матеріал корпусу – сталь М16С із межею міцності $\sigma_B = 380$ МПа.

Напруження розтягу-стиску у корпусі змінюється за симетричним циклом:

$$[\sigma_{-1}] = 0,33 \times \sigma_B = 0,33 \times 380 = 125 \text{ МПа.}$$

Запас міцності:

$$n_n = \frac{[\sigma_{-1}]}{G} = \frac{125}{0,4} = 312$$

що є цілком достатнім для забезпечення надійної експлуатації корпусу млина.

Виходячи з умов рівномірності, товщина корпусу від середньої частини до фланців повинна зменшуватись таким чином, щоб значення моменту опору W зменшувалося пропорційно зниженню приведенного моменту.

Для спрощення виготовлення корпусу товщину стінки приймають ступінчастою:

- у середній частині – 50 мм;
- у фланцевих частинах – 45 мм.

Відповідно до розрахункової схеми (рис. 2.9) визначаються відстані прикладання навантажень.

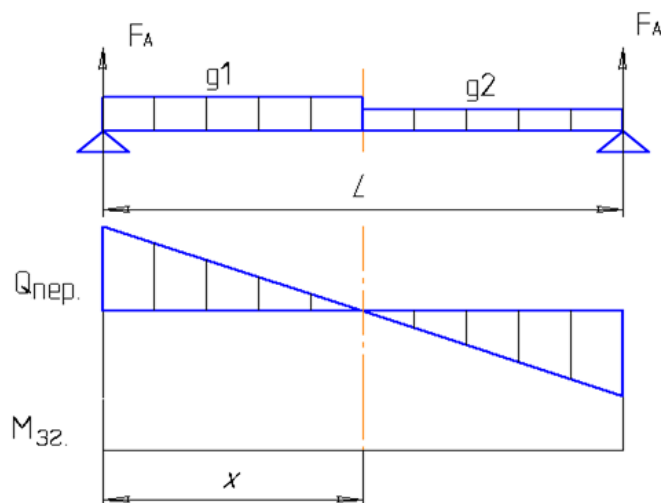


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема навантажень

Опорна реакція R_B дорівнює:

$$R_B = \frac{1}{L} [G_2 \cdot l_1 + G_3 \cdot (l_2 + l_3) + q \cdot L_B \cdot \left(\frac{L_B}{2} + l_2\right) + G_4 \cdot (L - l_1) + \\ + G_5 \cdot (L + l_5) + G_6 \cdot (L + l_6)], \text{ кН.}$$

$$R_B = \frac{1}{7} [40 \cdot 1 + 8.2 \cdot (0.8 + 2.7) + 68 \cdot 5.4 \cdot \left(\frac{5.6}{2} + 1.45\right) + \\ + 40.2 \cdot (7 - 0.4) + 1.49 \cdot (7 + 0.35) + 2.89 \cdot (7 + 0.7)] = 274.9 \text{ кН.}$$

Опорна реакція R_A визначається за рівнянням:

$$R_A = G_2 + G_3 + q \cdot L_B + G_4 + G_5 + G_6 - R_B, \text{ кН.}$$

$$R_A = 40 + 8.20 + 68 \cdot 7 + 40.20 + 82 + 15.5 - 274.9 = 240 \text{ кН.}$$

Втрати крутного моменту внаслідок тертя у підшипнику на опорі В визначаються:

$$M_{T1} = R_B \cdot f_{\Pi} \cdot r_{\Pi}, \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

де: f_{Π} – коефіцієнт тертя, який визначається за умови що $k_0 = 3$; $l = 1 \text{ м}$;
 $\eta = 0,00045 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$ для мастила типу «Індустріальне 50»;

r_{Π} – радіус цапфи, м.

$$V = \frac{\pi \cdot 2 \cdot r_{\Pi} \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,25 \cdot 44}{60} = 0.52 \text{ м/с.}$$

Внаслідок впливу різних експлуатаційних факторів фактичне значення коефіцієнта тертя може сягати $f_{\Pi} = 0,05$.

За значенням коефіцієнта тертя також визначають необхідну кількість рідини для охолодження підшипникового вузла.

$$M_{T1} = 265 \cdot 0,004 \cdot 0,9 = 0.95 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Відповідно зменшення крутного моменту на опорі А становить:

$$M_{T2} = R_A \cdot f_{\Pi} \cdot r_{\Pi} = 274.9 \cdot 0,004 \cdot 0,9 = 0.98 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Розрахунок роlikоопори

Розрахунок опорно-ходової частини млина виконується з метою визначення контактних напружень, перевірки міцності осі ролика, оцінки довговічності підшипникових вузлів та працездатності бандажів в умовах експлуатаційних навантажень.

Контактні напруження у парі «бандаж–ролик» визначаються за залежністю:

$$\sigma_k = 0,418 \sqrt{\frac{PE}{b} \frac{Rb+Rp}{RbRp}} = 0,418 \sqrt{\frac{189,7 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{11}}{0,2} \frac{0,25+0,16}{0,25 \cdot 0,16}} = 182,05 \text{ МПа.}$$

де: P – максимальне навантаження на опорний ролик при максимальному навантаженні на опору;

$$P = \frac{Q_{\max}}{2 \cos \beta} = \frac{320}{1,687} = 189,7 \text{ кН}$$

$$Q_{\max} = 320 \text{ кН;}$$

E – модуль пружності матеріалу бандажа та ролика; $E = 2 \times 10^{11} \text{ Па}$;

b – ширина бандажа; $b = 0,2 \text{ м}$.

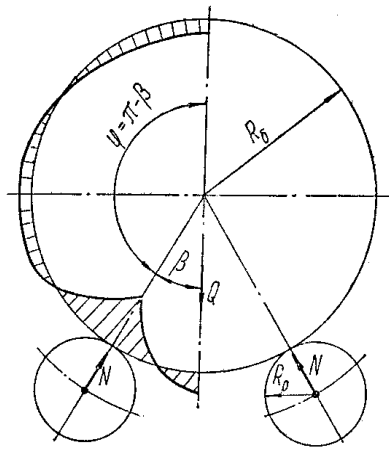


Рисунок 3.2 – Схема навантаження ролика та бандажа.

Допустимі контактні напруження:

$$[\sigma_k]' = 4,9 \text{ НВ} (1 - 0,001 \text{ НВ}) =$$

$$4,9 \times 160 \times (1 - 0,001 \times 160) = 660 \text{ МПа} > \sigma_k = 466 \text{ МПа.}$$

де: НВ – твердість робочих поверхонь бандажа та ролика за Брінеллем;

НВ = 160.

Розрахунок осі опорного ролика

Для визначення міцності осі опорного ролика розраховують напруження у перерізах I та II, а також коефіцієнти запасу міцності у відповідних перерізах.

Осьова сила, що діє на ролик:

$$A = P \times f \times c = 189,7 \times 10^3 \times 0,2 = 37,94 \times 10^3 \text{ Н},$$

де: f_c – коефіцієнт тертя сталі по сталі; $f_c = 0,2$.

Згинальний момент від осьової сили:

$$M = A \times R_p = 37,94 \times 10^3 \times 1,1 = 41,734 \times 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Максимальна реакція опор визначається за формулою:

$$R_a = \frac{P}{2} + \frac{G_p}{2} + \frac{M}{l} = \frac{189,7 \cdot 10^3}{2} + \frac{500}{2} + \frac{41,734 \cdot 10^3}{1,2} = 130,128 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

де: l – відстань між опорами; $l = 1,2$ м.

Моменти опору перерізів I та II:

$$W_I = 0,1 \times d_I^3 = 0,1 \times 100^3 = 10 \times 10^4 \text{ мм}^3;$$

$$W_{II} = 0,1 \times 120^3 = 17,28 \times 10^4 \text{ мм}^3.$$

де: d_I, d_{II} – діаметри осі у перерізах I та II; $d_I = 100$ мм; $d_{II} = 120$ мм.

Нормальні напруження у перерізі I визначаються за виразом

$$\sigma = \frac{R_a \cdot l_1}{W_I} = \frac{130,128 \cdot 10^3}{5,12 \cdot 10^3} = 58,84 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт запасу міцності з урахуванням ослаблення перерізу галтеллю визначається за формулою:

$$m = \frac{\sigma_k \cdot R \cdot d \cdot R_v}{\sigma \cdot R_\sigma} = \frac{250 \cdot 0,5 \cdot 1}{30,128} = 1,66 \text{ МПа}.$$

де: $\sigma_{-1} = 250$ МПа – границя витривалості для сталі 40Х;

k_a, k_d, k_v – ефективні коефіцієнти концентрації напружень для галтельного переходу, впливу абсолютних розмірів поперечного перерізу та стану поверхневого зміцненого шару. Для визначення коефіцієнтів приймається: радіус галтелі $r = 20$ мм; $r/d_I = 5/100 = 0,0625$; $d_{II}/d_I = 120/100 = 1,2$.

Коефіцієнт концентрації напружень визначають за табличними даними. Для осі зі сталі 40Х при: $\sigma_b = 600$ МПа – приймається $k_a = 2,5$.

Коефіцієнт впливу абсолютних розмірів визначають екстраполяцією табличних даних: $k_d = 0,5$.

Коефіцієнт впливу поверхневого зміцнення: $k_v = 1$.

У перерізі І запас міцності перевищує допустиме значення $[n] = 1,5$.

В інших перерізах коефіцієнти запасу міцності є ще більшими.

Розрахунок підшипників кочення на довговічність

Осі опорних роликів установлені на однорядних роликових підшипниках нестандартного виконання, які сприймають радіальне навантаження.

Максимальне значення опорної реакції, визначене раніше: $R_A = 130128 \text{ Н}$.

Приведене навантаження на радіальний підшипник при $\theta = 0$; $x = 1$ становить:

$$P_{\text{пр}} = R_A \cdot k_K \cdot k_\beta \cdot k_T = 130128 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1 = 169166 \text{ Н},$$

де: $k_K = 1$ – коефіцієнт обертання;

$k_\beta = 1,3$ – коефіцієнт безпеки;

$k_T = 1$ – температурний коефіцієнт.

Температура під час нормальної роботи системи охолодження не перевищує 125°C .

Приведене навантаження на підшипник визначається за рівнянням:

$$P_{\text{пр}} = A \cdot k_\beta \cdot k_T = 37940 \cdot 1,3 \cdot 1 = 49322 \text{ Н}.$$

Довговічність для радіального підшипника визначають за формулою:

$$(nh)^{0,3} = \frac{C_p g}{P_{\text{пр}}^R} = (nh)^{0,3} = \frac{C_p \cdot g}{P_{\text{пр}}^R} = \frac{30 \cdot 10^5 \cdot 9,81}{196166} = 173,97$$

де: C – коефіцієнти працездатності, для використаних підшипників.

Частота обертання підшипника:

$$n_n = n \frac{R_\beta}{R_p} = 44 \frac{0,25}{0,08} = 137,5 \text{ об/хв.}$$

Довговічність радіального підшипника: $h_{\text{рад}} > 10^5 \text{ год} > 10 \text{ років}$.

Довговічність упорного підшипника: $h_{\text{уп}} = 33800 \text{ год} = 4 \text{ роки}$.

Розрахунок бандажів

Максимальний згинальний момент у перерізі бандажа над опорним роликом визначається за формулою:

$$M_{32} = a_6 \cdot Q_{max} \cdot R = 0,08 \cdot 320 \cdot 10^3 \cdot 0,25 = 6400 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

де: R – внутрішній радіус бандажа; R = 0,25 м.

Момент опору перерізу бандажа:

де: b₆ – ширина бандажа;

h – товщина бандажа; h = 0,05 м.

$$h = R_6 - R = 0,275 - 0,25 = 0,05 \text{ м.}$$

Максимальні напруження згину:

$$\sigma_{32} = \frac{M_{32}}{W} = \frac{6400}{0.00083} = 7710843.4 \text{ Па} = 7,7 \text{ МПа.}$$

Виконаний розрахунок роликоопори дозволяє оцінити міцність і довговічність основних елементів опорно-ходової частини трубного млина.

Розрахунок болтів, що з'єднують фланець барабана з кришкою

Найбільш навантаженими елементами кріплення є болти, що з'єднують фланець барабана млина з розвантажувальною кришкою.

Призонні болти працюють на зріз під дією:

- ваги обертової частини млина;
- відцентрових сил;
- колового зусилля, яке передається від електродвигуна на кришку та напрямлене по дотичній до кола розташування осей болтів.

Перерізувальна сила у площині з'єднання фланця з кришкою за епюрою Q становить:

$$P_1 = 18,9 \text{ т} = 18900 \text{ кг.}$$

Сила зрізу, що виникає внаслідок дії колового зусилля:

$$P_2 = 71620 \times N / n \times r_1, \text{ кг,}$$

де: N – потужність електродвигуна; N = 160 к. с.;

n – частота обертання млина; n = 44 об/хв;

r_1 – радіус кола, на якому розташовані з’єднувальні болти; $r_1 = 140$ см.

$$P_2 = 71620 \times 160 / 44 \times 140 = 1860 \text{ кг.}$$

Найбільше значення рівнодійної сили, що зрізає болти, становить:

$$P = P_1 + P_2 = 18970 + 1860 = 20830.$$

Напруження зрізу у болтах:

$$\tau_{зр} = 4 \times P / m \times \pi \times d^2,$$

де: m – кількість болтів; $m = 6$;

d – діаметр болта; $d = 5,6$ см.

$$\tau_{зр} = 4 \times 20830 / 6 \times 3,14 \times 5,6^2 = 141 \text{ кг/см}^2.$$

Допустиме напруження зрізу: $[\tau]_{зр} = (0,2 \div 0,3) \times \sigma_T$.

Для сталі 45: $\sigma_T = 3200 \text{ кг/см}^2$.

Тоді: $[\tau]_{зр} = 0,2 \times 3200 = 640 \text{ кг/см}^2$.

$$\tau_{зр} = 141 \text{ кг/см}^2 < [\tau]_{зр} = 640 \text{ кг/см}^2.$$

Розрахунок болтів на зусилля затягування

Опорна реакція прагне повернути торцеву кришку у площині креслення навколо точки А.

Болти, що кріплять кришку, працюють на розтяг, а зусилля у кожному стержні болта пропорційне його відстані від болта, розташованого у точці А.

$$P_i = P \times B_i / B,$$

де: P_i – зусилля у болті, що знаходиться на відстані B_i від осі обертання;

B – відстань між найбільш віддаленим болтом та віссю обертання кришки під дією сили R_b .

Середнє розривне зусилля, що діє на болти:

$$R_b \times L = P_1 \times D/2.$$

$$P = R_b \times L / D/2 = R_b \times L / r.$$

Приймаємо, що навантаження сприймають $3/4$ усіх болтів, тоді середнє навантаження на один болт становить:

$$P_1 = R_b \times L / 3/4 \times m \times r, \text{ кг.}$$

де: R_b – реакція опори; $R_b = 27,4$ т;

L – відстань від осі підшипника до площини роз’єму; $L = 1,27$ м;

m – кількість болтів; $m = 48$;

r – радіус кола розташування болтів; $r = 1,4$ м.

Максимальне навантаження:

$$P_1 / P = R / D;$$

$$P = 2 \times P_1.$$

$$P_1 = 4 \times 27,4 \times 1,27 / 3 \times 48 \times 1,4 = 2,7 \text{ т} = 2700 \text{ кг.}$$

$$P = 2 \times 2,7 = 5,44 \text{ т} = 5440 \text{ кг.}$$

Визначення необхідної величини затягування

$$\sigma_{\text{зат}} = V \times P / F_1,$$

де: P – зовнішнє навантаження;

F_1 – площа поперечного перерізу нарізної частини болта;

V – коефіцієнт затягування; $V = 2,5 \div 5$.

Зазвичай: $\sigma_{\text{зат}} = (0,4 \div 0,5) \times \sigma_T$.

Розрахунок виконується для болтів М56, виготовлених зі сталі Ст3.

Для сталі Ст3: $\sigma_T = 2200 \text{ кг/см}^2$.

$$\sigma_{\text{зат}} = 0,45 \times 2200 = 990 \text{ кг/см}^2.$$

$$F_1 = 18,37 \text{ см}^2.$$

Зусилля затягування:

$$T = \sigma_{\text{зат}} \times F_1 = 990 \times 18,37 = 18200.$$

Розрахункове навантаження:

$$Q = T + x \times P,$$

де: x – коефіцієнт основного навантаження; $x = 0,2 \div 0,3$.

$$Q = 18200 + 0,25 \times 8000 = 20200 \text{ кг.}$$

Визначення розтягувальних напружень у нарізній частині:

$$\sigma = Q / F_1 = 20200 / 18,37 = 1099,9 \text{ кг/см}^2.$$

У стержні болта:

$$F_c = 0,785 \times 56^2 = 24,6 \text{ см}^2.$$

$$\sigma_c = 20200 / 24,6 = 821 \text{ кг/см}^2.$$

Момент, необхідний для закручування при затягуванні:

$$M_k = T \times d \times k = 18200 \times 5,6 \times 0,12 = 12250 \text{ кг}\cdot\text{см},$$

де: $k = 0,12$.

Найбільше дотичне напруження у нарізній частині болта:

$$\tau = M_k / 0,2 \times d^3 = 12250 / 0,2 \times 4,88^3 = 530 \text{ кг/см}^2.$$

У стержні болта:

$$\tau_c = 12250 / 0,2 \times 5,6^3 = 350 \text{ кг/см}^2.$$

Найбільше приведені напруження у нарізній частині:

$$\sigma_{1\text{пр}} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \times \tau^2} = \sqrt{1090^2 + 3 \times 530^2} = 1460 \text{ кг/см}^2.$$

У стержні:

$$\sigma_{\text{спр}} = \sqrt{\sigma_c^2 + 3 \times \tau_c^2} = \sqrt{821^2 + 3 \times 350^2} = 1020 \text{ кг/см}^2.$$

Запас за пластичними деформаціями у нарізній частині:

$$П_T = \sigma_T' / \sigma_{\text{пр}} \approx \sigma_T / \sigma_{\text{пр}}.$$

де: σ_T – межа текучості матеріалу болта;

$\sigma_{\text{пр}}$ – приведені напруження у нарізному стержні.

$$П_T = 2200 / 1460 = 1,5.$$

У стержні болта:

$$П_T = \sigma_T / \sigma_{\text{спр}} = 2200 / 1015 = 1,92.$$

Звичайні значення: $[П_T] = 1,3 \div 2,5$.

Запас статичної міцності у нарізній частині:

$$П_6 = \sigma_6' / \sigma_{1\text{пр}} \approx \sigma_6 / \sigma_{1\text{пр}},$$

де: σ_6 – межа міцності матеріалу болта;

σ_6' – межа міцності нарізного стержня.

$$П_6 = 3800 / 1460 = 2,6.$$

У стержні болта:

$$П_6 = 3800 / 1015 = 3,74.$$

Типові значення: $[П_6] = 1,5 \div 4$.

Додатково виконується розрахунок з урахуванням змінного навантаження.

Визначення змінного циклу:

$$\sigma_a = x \times P / 2 \times F_1 = 0,25 \times 8000 / 2 \times 18,37 = 54,4 \text{ кг/см}^2.$$

Середнє напруження циклу:

$$\sigma_m = \sigma_{\text{зат}} + \sigma_a = 990 + 49,6 = 1039,6 \text{ кг.}$$

Визначення границі витривалості різьбової деталі:

$$\sigma_{-16} = \sigma_{-1} / k_6,$$

де: $k_6 = 3,5 \div 5$;

σ_{-1} – границя витривалості для сталі Ст3; $\sigma_{-1} = 1800 \text{ кг/см}^2$.

$$\sigma_{-16} = 1800 / 4,25 = 424 \text{ кг/см}^2.$$

Визначення запасу міцності за змінними напруженнями:

$$P_a = \sigma_{-16} \times (1 - \sigma_m / \sigma_6) / \sigma_a \approx 424 \times (1 - 1039,6 / 3800) / 49,6 = 6,2.$$

$$P_a = 6,2 > [P_a] = 2,5 \div 5.$$

Перевірочний розрахунок показує, що болти працюють із достатнім запасом міцності при змінному навантаженні, а коефіцієнти запасу за пластичними деформаціями та статичною міцністю знаходяться у рекомендованих межах.

Перевірка болтів кріплення розвантажувального патрубку на зріз та зминання

Болти кріплення розвантажувального патрубку працюють в умовах комбінованого навантаження та сприймають колове зусилля, що передається від електродвигуна на розвантажувальний патрубок та сили ваги самого патрубку.

Перерізувальна сила від дії ваги становить:

$$P_1 = Y_{\text{п.с}} / 2 + Y_{\text{п.с}} = 300 \text{ кг.}$$

Перерізувальна сила від колового зусилля визначається за формулою:

$$P_2 = 71620 \times N / n \times r,$$

де: $N = 160 \text{ кВт}$ – потужність електродвигуна;

$n = 44 \text{ об/хв}$ – частота обертання млина;

$r = 700 \text{ мм}$ – радіус прикладання навантаження.

$$P_2 = 71620 \times 160 / 44 \times 300 = 868 \text{ кг.}$$

Найбільше значення рівнодійної сили становить:

$$P = P_1 + P_2 = 300 + 868 = 1168 \text{ кг.}$$

Напруження у болтах:

$$\tau = 4 \times P / m \times \pi \times d^2 = 4 \times 1168 / 6 \times 3,14 \times 1,2^2 = 172 \text{ кг/см}^2,$$

де: m – кількість болтів; $m = 6$;

P – розрахункове навантаження; $P = 1168 \text{ кг}$;

d – діаметр болта; $d = 12 \text{ мм}$.

Для сталі 40 допустиме напруження на зріз становить: $[\tau]_{\text{сп}} = 375 \text{ кг/см}^2$.

Отже:

$$\tau_{\text{сп}} = 172 \text{ кг/см}^2 < [\tau]_{\text{сп}} = 375 \text{ кг/см}^2.$$

Напруження зминання у болтах:

$$\sigma_{\text{см}} = P / m \times \pi \times L = 1168 / 6 \times 1,2 \times 7 = 23 \text{ кг/см}^2,$$

де: L – найменша довжина болта, що працює на зминання; $L = 70 \text{ мм} = 7 \text{ см}$.

$$\sigma_{\text{см}} = 23 \text{ кг/см}^2 < [\sigma_{\text{см}}] = 400 \text{ кг/см}^2.$$

Виконаний перевірочний розрахунок показує, що болти кріплення розвантажувального патрубку мають достатній запас міцності та забезпечують надійну роботу вузла в умовах експлуатаційних навантажень.

Подовження млина при нагріванні

Під час роботи трубного млина відбувається нагрівання барабана, що викликає його температурне подовження. Для оцінки температурних деформацій виконується розрахунок зміни довжини корпусу млина.

Відстань між осями підшипників: $L = 6600 \text{ мм}$.

Коефіцієнт лінійного теплового розширення сталі: $\alpha = 11,5 \times 10^{-6}$.

Температура млина у неробочому стані в зимових умовах приймається:
 $t_0 = -10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Розглядаються два випадки температури млина у робочому стані:
 $t_1 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ та $t_2 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Подовження млина визначається за формулою:

$$\Delta L = \alpha \times t \times L,$$

де: ΔL – подовження млина при нагріванні, мм;

α – коефіцієнт лінійного теплового розширення;

L – відстань між осями підшипників;

t – різниця температур.

1) При температурі: $t_1 = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$\Delta L_1 = 0,0000115 \times 6000 \times 130 = 8,97 \text{ мм.}$$

2) При температурі: $t_2 = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$\Delta L_2 = 0,0000115 \times 6000 \times 210 = 14,49 \text{ мм.}$$

Виконаний розрахунок дозволяє оцінити величину температурного подовження барабана млина та врахувати її під час проєктування: опорних вузлів; підшипникових опор; компенсаційних зазорів; конструкції фундаменту.

Урахування температурних деформацій забезпечує: стабільність роботи млина; зниження додаткових напружень у корпусі; підвищення довговічності підшипникових вузлів; надійну експлуатацію помольного обладнання.

3.2 Технічне обслуговування та ремонт

У процесі експлуатації технологічного обладнання цементного виробництва передбачаються різні види технічного обслуговування та ремонту, спрямовані на забезпечення безперебійної роботи машин, підтримання їх працездатності та зниження аварійності обладнання.

Технічне обслуговування являє собою комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на підтримання працездатного стану машин під час підготовки до використання, у процесі роботи, транспортування та зберігання.

Системи ППР та СТОІР у загальному вигляді передбачають три основні методи організації ремонту обладнання:

1. Післяоглядовий метод ремонту – плануються лише технічні огляди, а всі інші види ремонтних робіт виконуються за фактичною потребою відповідно до технічного стану обладнання.

2. Стандартний метод ремонту – передбачає обов’язкову періодичну заміну або відновлення окремих елементів машини після досягнення встановленого ресурсу напруження.

3. Метод періодичних ремонтів – полягає у проведенні ремонтів у заздалегідь установлені терміни після визначеного ресурсу роботи обладнання. При цьому допускається зміна обсягу ремонтних робіт залежно від фактичного технічного стану деталей та вузлів.

У промисловості будівельних матеріалів найбільшого поширення набув саме метод періодичних ремонтів, оскільки він дозволяє забезпечити стабільність виробничого процесу та раціональне використання ремонтних ресурсів.

На кожному підприємстві технічне обслуговування та ремонт обладнання плануються річним планом-графіком ППР, який розробляється відділом головного механіка на календарний рік.

Планування ремонтів виконується помісячно з урахуванням:

- фактичного технічного стану обладнання;
- міжремонтних періодів;
- нормативів трудомісткості;
- режиму роботи виробничих ділянок;
- технологічних особливостей підприємства.

В основу складання річного графіка ППР покладаються:

- результати технічних оглядів;
- дані діагностики обладнання;
- ремонтні нормативи;
- чинні інструкції та положення з технічної експлуатації машин.

Зважаючи на те, що у всіх галузях промисловості будівельних матеріалів використовуються єдині принципи організації та планування ремонтів із попереднім визначенням трудомісткості робіт, для виконання необхідних розрахунків застосовується система нормативних коефіцієнтів, яка базується на групах ремонтної складності обладнання.

Усе технологічне обладнання поділяється на групи (категорії) ремонтної складності, які враховують:

- конструктивну складність машини;
- трудомісткість ремонтних робіт;
- особливості розбирання та складання;
- масу та габарити вузлів;
- специфіку умов експлуатації.

Група ремонтної складності характеризує кількість умовних ремонтних одиниць, що містяться у повній трудомісткості ремонту конкретної машини.

У графіках ППР зазвичай плануються всі види технічного обслуговування та ремонтів лише основного технологічного обладнання.

Допоміжне, резервне та допоміжно-транспортне обладнання обслуговується за потребою відповідно до режиму його використання у виробництві.

Залежно від потужності підприємства, типу виробництва та структури ремонтної служби адміністрація заводу встановлює метод організації ремонту обладнання:

- централізований;
- децентралізований;
- змішаний.

Вибір методу організації ремонтного господарства залежить від:

- типу обладнання;
- категорії ремонтної складності;
- виробничої потужності підприємства;
- структури ремонтної бази;
- чисельності та кваліфікації ремонтного персоналу.

Для даного підприємства приймається централізований метод організації ремонтної служби.

При централізованому методі всі види робіт з ремонту, монтажу та, у окремих випадках, планового технічного обслуговування виконуються силами ремонтно-механічного цеху (РМЦ).

У ремонтно-механічному цеху під керівництвом майстра або бригадира формуються ремонтні бригади, за якими закріплюються відповідні виробничі ділянки та технологічне обладнання.

Централізований метод організації ремонтів найчастіше застосовується:

- на невеликих підприємствах промисловості будівельних матеріалів;
- на підприємствах із великою кількістю однотипного обладнання;
- при високому рівні спеціалізації ремонтного персоналу.

При встановленому адміністрацією підприємства методі організації ремонтів для кожної конкретної машини додатково обирається метод проведення ремонту, під яким розуміють форму організації праці під час виконання ремонтних операцій.

Залежно від: конструктивних особливостей обладнання; номенклатури машин; технічного оснащення ремонтної бази; рівня організації ремонтного виробництва; забезпечення запасними частинами та вузлами, застосовують різні методи проведення ремонту:

- індивідуальний;
- знеособлений;
- змішаний.

Для млини приймається індивідуальний метод проведення ремонту.

Індивідуальний метод ремонту характеризується встановленням після ремонту тих самих деталей і складальних одиниць на ту машину, з якої вони були демонтовані.

У цьому випадку машина перебуває у ремонті до моменту завершення відновлення всіх демонтованих деталей та вузлів.

Індивідуальний метод ремонту характеризується:

- підвищеною тривалістю простою обладнання;
- необхідністю точного маркування деталей;

- значною трудомісткістю ремонтних операцій.

Такий метод використовується у випадках, коли технологічне обладнання є:

- унікальним;
- багатомарочним;
- конструктивно складним;
- важливим для безперервності виробничого процесу.

Рациональна організація системи технічного обслуговування та ремонту забезпечує:

- підвищення надійності обладнання;
- зниження аварійності;
- скорочення простоїв;
- підвищення ресурсу машин;
- стабільність роботи цементного виробництва.

Технологічний процес ремонту машин

Під час проведення капітального ремонту технологічного обладнання цементного виробництва, зокрема машин для подрібнення, транспортування, дозування та перероблення сировини, одне з провідних місць посідає комплекс підготовчих робіт. Особливо важливим цей етап є тоді, коли ремонт виконується безпосередньо на місці експлуатації машини, без її повного демонтажу та переміщення до ремонтно-механічного цеху.

З позиції інженера-механіка технологічний процес ремонту повинен забезпечувати не лише відновлення працездатності обладнання, а й збереження його експлуатаційної надійності, точності взаємного розташування вузлів, стабільності кінематичних зв'язків, герметичності робочих порожнин та відповідності машини технічним умовам після ремонту.

У загальному вигляді підготовчі роботи для виконання капітального ремонту містять комплекс організаційно-технічних заходів, спрямованих на підготовку обладнання, ремонтного персоналу, інструменту, запасних частин, технічної документації та засобів механізації ремонтних операцій.

До основних підготовчих заходів належать:

- складання попередньої дефектної відомості з уточненням характеру можливих несправностей, ступеня зношування деталей, потреби у запасних частинах і наявності робочих креслень на деталі та складальні одиниці;
- підготовка повного комплексу технічної документації на ремонт, включаючи ремонтні креслення, технологічні карти, схеми розбирання та складання, вимоги до контролю і випробувань;
- розроблення проєкту виконання робіт для найбільш складного, великогабаритного або відповідального обладнання цементного виробництва;
- визначення способів виконання ремонтних операцій, вибір засобів механізації, такелажного оснащення, пристроїв, інструменту і контрольно-вимірювальних засобів;
- планування місць встановлення та закріплення вантажопідіймальних пристроїв, ремонтного оснащення і тимчасових опор;
- визначення чисельності ремонтної бригади, розподіл робочої сили за операціями та встановлення відповідальності за якість виконання робіт.

Послідовність проведення підготовчих робіт доцільно оформлювати у вигляді структурної схеми. Така схема дозволяє узгодити взаємозв'язок між окремими операціями, визначити порядок їх виконання та виключити простой, пов'язані з відсутністю запасних частин, інструменту або необхідної документації.

За потреби кожний вид підготовчих робіт деталізують і розписують за окремими переходами. Це особливо важливо під час ремонту великогабаритних машин цементного виробництва, наприклад млинів, дробарок, сушильних барабанів, елеваторів, редукторів або роlikоопорних вузлів, де неправильна послідовність розбирання може призвести до пошкодження деталей або ускладнення подальшого складання.

Підготовчі роботи до капітального ремонту млина включають складання попередньої дефектної відомості. До неї вносять перелік імовірних дефектів: зношування штока роlikоопори, пошкодження або втрата еластичності

ущільнень, зношування футерівки, ослаблення кріпильних з'єднань, підвищений люфт у підшипникових вузлах, порушення співвісності елементів приводу та інші відхилення від нормального технічного стану.

Попередню дефектну відомість складають після прослуховування роботи машини на холостому ході та під робочим навантаженням. Під час такого контролю звертають увагу на характер шуму, рівень вібрації, нагрівання підшипників, плавність обертання, наявність ударів, пульсацій, витікання мастильних матеріалів або робочих рідин.

Після встановлення характеру несправностей уточнюють потребу в запасних частинах: ущільненнях, прокладках, підшипниках, футерувальних елементах, кріпленні, втулках, шпонках, пальцях, манжетах та інших деталях, що підлягають заміні або відновленню.

Одночасно готують повний комплект технічної документації на ремонт. У документації уточнюють спосіб відновлення деталей, допустимі розміри після ремонту, вимоги до посадок, шорсткості поверхонь, геометричної точності, методів контролю та остаточного приймання вузлів.

Також перевіряють наявність знімальних пристроїв, пресового оснащення, підйомно-транспортних засобів, спеціальних ключів, оправок, пристроїв для центрування, вимірювального інструменту та допоміжного обладнання, необхідного для безпечного і якісного виконання ремонтних операцій.

У загальному вигляді технологічний процес ремонту машин включає розроблення технології ремонту та визначення послідовності виконання операцій, прийомів і переходів. До складу такого процесу входять складання специфікацій деталей до складальних технологічних карт, нормування ремонтних робіт, розроблення технічних завдань на проектування спеціальних пристроїв, а також вибір засобів і методів контролю.

Повне розроблення технологічного процесу у такому обсязі, як правило, виконують під час ремонту великого, унікального або особливо відповідального обладнання. У звичайних умовах ремонтного виробництва

здійснюють технологічну підготовку ремонту, яка переважно полягає у складанні схеми послідовності технологічних операцій і визначенні порядку взаємодії ремонтних дільниць.

Необхідно враховувати, що схема технологічного процесу залежить від прийнятого методу організації ремонту машини, рівня забезпеченості запасними частинами, способу їх постачання, можливості використання відновлених деталей і наявності оборотного фонду вузлів.

Перед початком розбирання машина повинна бути повністю звільнена від матеріалу, залишків сировини, пилу, мастила, шламу та інших забруднень. Лише після ретельного очищення обладнання може бути передане у ремонт. Для цементного виробництва це особливо важливо, оскільки цементний пил і абразивні частинки прискорюють зношування поверхонь та ускладнюють дефектування.

Розбиральні роботи

Розбиральні роботи мають велике значення під час ремонту машин. Вони становлять приблизно 10–15 % загального обсягу робіт, що виконуються при капітальному ремонті обладнання. Якість розбирання значною мірою впливає на тривалість, вартість і якість усього ремонту.

Рационально побудований план розбирання машини дає змогу розширити фронт ремонтних робіт, швидко визначити ступінь зношування деталей, уникнути пошкодження придатних елементів і своєчасно уточнити обсяг відновлювальних операцій.

Розбирання виконують у суворій послідовності, передбаченій технологічним процесом. Якщо машина має складну конструкцію, складають схему розбирання за агрегатами, вузлами та деталями. Для кожної операції в технологічних картах зазначають обладнання, пристрої, інструмент, норми часу та технічні умови на розбирання.

Під час розбирання відповідальних вузлів необхідно маркувати деталі, фіксувати їх взаємне положення, записувати фактичні зазори, посадки, осьові

та радіальні люфти, а також характер виявленого зношування. Це спрощує подальше складання і дозволяє точніше визначити обсяг ремонту.

Очищення, миття та дефектування деталей

Після розбирання, перед дефектуванням, усі деталі підлягають очищенню та миттю. Механічне очищення застосовують для видалення пилу, нагару, залишків мастила, цементного каменю, продуктів корозії та інших забруднень. Миття і виварювання виконують у спеціальних рідинах, а для інтенсифікації процесу можуть застосовуватися вібраційні та ультразвукові установки.

Знежирені та очищені деталі передають на дефектування. Основне призначення дефектування полягає у визначенні фактичного технічного стану деталей і їх сортуванні на три групи: придатні без відновлення, такі, що підлягають відновленню, та непридатні до подальшої експлуатації.

Під час контролю і сортування керуються технічними умовами на ремонт, у яких зазначають загальну характеристику деталі, можливі дефекти, гранично допустимі розміри, допустимі відхилення форми і розташування поверхонь, а також ознаки остаточного браку.

Дефектування – це визначення технічного стану деталей та їх розподіл за придатністю. До придатних належать деталі, у яких фактичні відхилення перебувають у межах допусків, установлених технічними умовами на ремонт.

До деталей, що підлягають відновленню, відносять елементи, зношування яких не перевищує допустимих меж або які мають дефекти, що можуть бути усунені механічною обробкою, наплавленням, напиленням, заміною вставок, розточуванням, шліфуванням, хонінгуванням чи іншими ремонтними методами.

Непридатними вважають деталі, які неможливо відновити за фізико-механічними властивостями матеріалу, через надмірне зношування, тріщини, втрату міцності, викривлення або з економічних міркувань, коли відновлення є недоцільним.

Контроль і дефектування деталей здійснюють візуально та за допомогою вимірювального інструменту. Візуально оцінюють загальний стан деталі,

наявність тріщин, сколів, задирок, корозії, деформацій, порушень різьби, слідів перегрівання або абразивного зношування.

Приховані дефекти виявляють гідравлічним, пневматичним, магнітним, люмінесцентним, ультразвуковим контролем, рентгенографією, гамма-дефектоскопією, а також за допомогою гасової проби.

Методи виявлення прихованих дефектів

Гасова проба полягає в тому, що деталі занурюють у гас на 15–20 хвилин, після чого ретельно витирають і покривають тонким шаром крейдяної обмазки. Якщо в деталі є тріщини або пори, гас виходить на поверхню і проявляє дефект у вигляді плям на крейдяному шарі.

Магнітний метод контролю ґрунтується на появі поля розсіювання під час проходження магнітного потоку через дефектну деталь. У місцях тріщин, раковин або порушення суцільності металу магнітне поле змінюється, що дозволяє виявити дефект.

Ультразвуковий контроль базується на відбитті ультразвукових коливань від внутрішніх дефектів. Цей метод дає змогу виявляти тріщини, непровари, раковини, розшарування та інші внутрішні порушення структури матеріалу. Глибина звукової локації може становити від 7 мм до 5 м залежно від матеріалу, форми деталі та параметрів контролю.

Рентгенівський контроль ґрунтується на властивості електромагнітних хвиль по-різному поглинатися матеріалами різної густини. Дефекти, порожнини або включення мають іншу щільність, ніж основний метал, тому проявляються на знімку.

На цьому ж фізичному принципі базується гамма-дефектоскопія. Як джерела випромінювання можуть застосовуватися ізотопи цезію, стронцію або кобальту. Метод використовують для контролю відповідальних деталей, товстостінних елементів і вузлів, де необхідно виявити внутрішні дефекти без руйнування деталі.

Підбір, комплектування та складання деталей

Комплектування – це комплекс робіт, пов’язаних із контролем, підбором і припасуванням деталей, що входять до складу вузла або агрегату, з метою отримання заданого спряження деталей та прискорення складальних операцій.

Під час комплектування враховують фактичні розміри деталей, групи допусків, ступінь зношування, характер посадок, взаємозамінність елементів, а також умови подальшої експлуатації вузла у складі машини.

Складання – це з’єднання деталей у пари, вузли, агрегати і машину в цілому відповідно до заданої кінематичної схеми та технічних умов. Якість складання визначає точність роботи механізмів, довговічність підшипникових вузлів, надійність ущільнень, рівномірність розподілу навантажень і стабільність роботи обладнання.

У ремонтному виробництві застосовують чотири основні методи складання: метод індивідуального припасування, метод обмеженої взаємозамінності, метод повної взаємозамінності та комбінований метод.

Складання деталей у вузли у даному випадку доцільно виконувати із застосуванням методу повної взаємозамінності. Цей метод передбачає з’єднання деталей без додаткового припасування, підбору або інших допоміжних операцій. Він є найбільш придатним для серійного виробництва і потребує високої точності механічної обробки деталей.

Обкатування, випробування та приймання машини після ремонту

Після завершення складання виконують пробний пуск машини або її прокручування. Далі проводять обкатування на холостому ходу. Тривалість роботи на холостому ходу визначають відповідними інструкціями, технічними умовами або ремонтною документацією. У разі виявлення дефектів вони підлягають обов’язковому усуненню.

На довговічність деталей і машини в цілому значний вплив має припрацювання спряжених поверхонь, яке відбувається під час обкатування після складання. У цей період формується фактичний контакт робочих

поверхонь, зменшується шорсткість, стабілізуються зазори і розподіл навантаження.

Мета обкатування вузлів полягає у підвищенні якості припрацювання та скороченні часу роботи обладнання на холостому ході. Цього досягають підвищенням точності виготовлення і відновлення деталей, покращенням якості складальних робіт, нанесенням на поверхні тертя легкоспрацьовуваних покриттів, використанням мастильних матеріалів спеціальної в'язкості з додаванням тонкодисперсних абразивних частинок, а також правильним підбором матеріалів деталей, що сприяють покращенню припрацювання.

Після обкатування на холостому ході переходять до випробування машини під навантаженням. Навантаження збільшують поступово у 3–5 етапів, тривалість кожного з яких становить 1–3 години. Під час випробувань контролюють технічний стан машини, роботу її вузлів, продуктивність, витрату мастильних матеріалів, якість продукції, температуру підшипників і корпусних деталей, рівень вібрації, тиск у системах та інші експлуатаційні показники.

Після завершення обкатування здійснюють повну заміну мастильних матеріалів і готують машину до приймально-здавальних випробувань. Це необхідно тому, що під час припрацювання у мастилі можуть накопичуватися продукти зношування, абразивні частинки та інші забруднення.

Пофарбовану та підготовлену машину перевіряє приймально-здавальна комісія, затверджена наказом по підприємству. Контроль якості виконання ремонту обладнання здійснюють головний механік або головний енергетик, начальник ремонтно-механічного цеху та механік виробничого цеху-замовника.

За результатами вибіркового перевірок, випробувань і оцінювання технічного стану комісія підписує приймально-здавальний акт. Після цього машина вважається придатною до подальшої експлуатації у складі технологічної лінії цементного виробництва.

Схема технологічного процесу ремонту машини при індивідуальному методі

Технологічна схема ремонту машини при індивідуальному методі передбачає таку послідовність операцій:

- приймання машини в ремонт;
- зовнішнє миття та очищення;
- розбирання машини на агрегати і вузли;
- розбирання вузлів та агрегатів на деталі;
- миття деталей;
- дефектування деталей;
- комплектування деталей;
- складання вузлів і агрегатів;
- випробування вузлів і агрегатів;
- ремонт станини та корпусних частин;
- складання машини;
- випробування машини;
- усунення виявлених дефектів;
- фарбування машини;
- здавання машини після ремонту.

3.3 Експлуатація кульового млина

Кульовий млин призначений для помелу вугілля у складі технологічної лінії виробництва цементу сухим способом.

Експлуатація помольного обладнання повинна здійснюватися відповідно до:

- вимог експлуатаційної документації;
- технологічного регламенту підприємства;
- Правил охорони праці;

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика кульового млина

Продуктивність	10 т/год
Частота обертання барабана	20 об/хв
Маса (без електрообладнання та мелючих тіл)	97 т
Потужність електропривода	500 кВт

Порядок установлення

Кульовий млин повинен установлюватися відповідно до технологічних планувань; будівельних креслень; монтажної документації; вимог заводу-виробника.

Після надходження на монтаж кульовий млин підлягає перевірці комплектності.

Контроль комплектності поставки виконується шляхом зіставлення даних формуляра комплексу, перевірки наявності вузлів і деталей за пакувальними листами та огляду комплектуючих виробів та запасних частин.

Підготовка до першого ввімкнення

Підготовка кульового млина до роботи виконується після завершення монтажних робіт.

Перед першим запуском необхідно:

- переконатися у відсутності механічних пошкоджень електрообладнання;
- перевірити надійність кріплення електрообладнання;
- перевірити справність системи заземлення;
- перевірити правильність підключення силових і контрольних кабелів;
- перевірити роботу систем блокування та сигналізації.

Необхідно провести налагоджувальний режим роботи всіх механізмів комплексу з пультів керування.

Перед запуском обладнання механізми встановлюють у вихідне положення, а перемикачі пульта керування переводять у нейтральне положення.

Після цього виконують вимкнення автоматичних вимикачів у шафах керування.

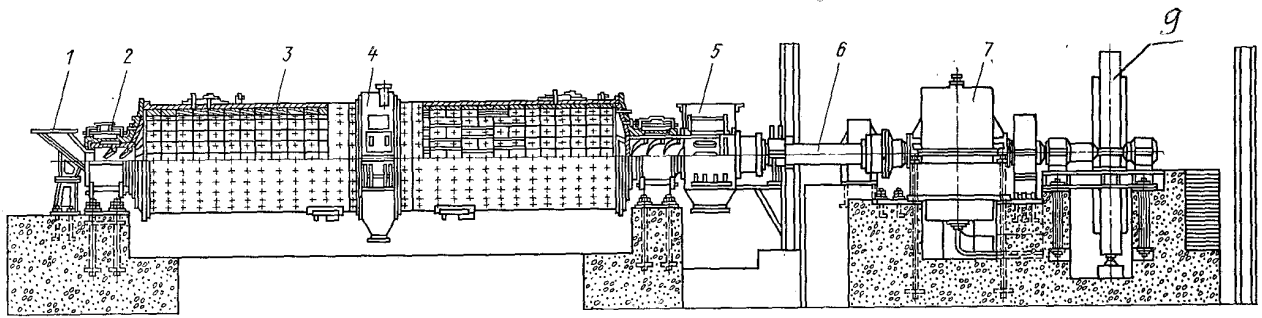


Рисунок 3.3 – Кульовий млин

Таблиця 3.2 – Карта мащення

Назва та позиція	кількість	деталь, що мащується	спосіб мащення	режим мащення	мастильний матеріал				
					марки	нормативний документ	витрати, кг		
							на одне мащення	на повну заміну	річні витрати
Електродвигун, поз. 9	2	підшипник	прес-маслянка	заміна 1 раз на 3 місяці	пластичне мастило для підшипникових вузлів відповідно до чинних технічних умов	ДСТУ ISO 6743	-	0,16	0,64
Валок, поз. 2	4	підшипник	прес-маслянка	заміна 1 раз на 3 місяці	пластичне антифрикційне мастило	ДСТУ ISO 6743	0,001	0,31	1,98
Вал, поз. 6	1	підшипник	прес-маслянка	1 раз на місяць	пластичне антифрикційне мастило	ДСТУ ISO 6743	0,001	0,31	1,98
Редуктор, поз. 7	1	підшипник, зубчасті колеса	Масляна ванна	1 раз на місяць	трансмісійна олива	DIN 51517 і ISO 12925-1	-	3	36

Під час експлуатації кульового млина необхідно постійно контролювати:

- температуру підшипникових вузлів;
- рівень вібрації;
- справність системи мащення;
- стан футерівки;
- рівень шуму;
- роботу привідного механізму;
- герметичність ущільнень.

Експлуатація обладнання з несправними системами мащення, пошкодженими огороженнями або несправними елементами привода не допускається.

Для забезпечення надійної та безпечної роботи кульового млина необхідно:

- своєчасно виконувати технічне обслуговування;
- дотримуватися міжремонтних інтервалів;
- використовувати мастильні матеріали встановлених марок;
- контролювати стан мелючих тіл.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Виробнича санітарія

Охорона праці – це система правових, організаційно-технічних, соціально-економічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності працівників у процесі трудової діяльності.

Адміністрація підприємства зобов'язана забезпечити безпечні та нешкідливі умови праці, організувати систему управління охороною праці, здійснювати профілактику виробничого травматизму та професійних захворювань, а також створювати належні санітарно-гігієнічні умови відповідно до вимог чинного законодавства України.

Потреба у побутових приміщеннях

До складу будь-якого промислового підприємства повинні входити допоміжні приміщення, призначені для забезпечення належних санітарно-побутових та соціальних умов праці персоналу.

До допоміжних приміщень належать:

- санітарно-побутові приміщення;
- медичні приміщення;
- приміщення громадського харчування;
- приміщення культурно-побутового та фізкультурно-оздоровчого призначення;
- адміністративні приміщення.

Допоміжні приміщення рекомендується розміщувати у місцях із мінімальним впливом шуму, вібрації, пилу та інших шкідливих виробничих факторів.

Вимоги щодо складу, площі, розміщення та обладнання допоміжних приміщень визначаються:

- ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення;

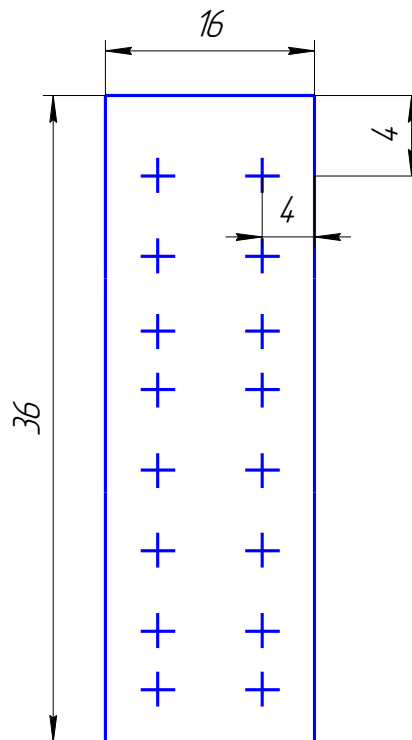
- Законом України «Про охорону праці»;
- чинними державними санітарними нормами.

Санітарно-побутові приміщення необхідно розташовувати максимально близько до робочих місць, уникаючи проходження працівників через виробничі ділянки з підвищеним рівнем шкідливих виділень, неопалювані приміщення та відкриті майданчики.

Розрахунок освітлення виробничого приміщення

Розрахунок штучного освітлення виконується методом коефіцієнта використання світлового потоку.

$A = 36$ м, $B = 16$ м; 10 світильників типу У без затінювачів; $h = 8$ м; напруга 220 В; коефіцієнт запасу $k = 1,3$; $P_{\Pi} = 30 \%$, $P_c = 10 \%$, $E_n = 102$ лк.



Визначаємо площу приміщення:

$$S = A \cdot B = 36 \cdot 16 = 576 \text{ (м}^2\text{)}$$

де: A, B – довжини сторін приміщення, м.

Визначаємо індекс приміщення i :

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{576}{8(36 + 16)} = 1,08$$

де: h – розрахункова висота світильника над робочою поверхнею, м.

Приймаємо $i=1$

За таблицею визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку:

$$\eta_{\phi} = 40\%.$$

Визначаємо величину світлового потоку:

$$\Phi_{\text{розрах}} = \frac{E_n \cdot k \cdot z \cdot S}{N_n \cdot \eta} = \frac{102 \cdot 1.3 \cdot 576 \cdot 1.2}{16 \cdot 0.4} = 14150 \text{ (лм)}$$

де: E_n – нормативна освітленість;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

N_n – кількість світильників.

Для освітлення приймаємо лампу потужністю 750 Вт типу НГ-220.

$$\Phi_{\text{табл}} = 14250 \text{ лм.}$$

Проводимо уточнений розрахунок:

$$N_{\text{розрах}} = \frac{E_n \cdot k \cdot z \cdot S}{\eta_{\phi} \cdot \Phi_{\text{табл}}} = \frac{102 \cdot 576 \cdot 1.3 \cdot 1.2}{14250 \cdot 0.4} = 16,07 \text{ (шт.)}$$

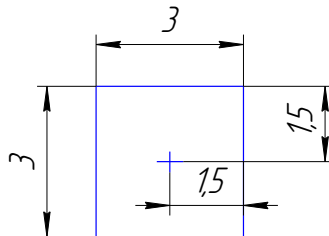
$$N_n \approx N_{\text{расчетн}}$$

Параметри освітлення повинні відповідати вимогам:

- ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення;
- ДСТУ EN 12464-1:2016 Світло та освітлення. Освітлення робочих місць.

Частина 1. Внутрішні робочі місця.

Розрахунок освітлення робочого місця



$A = 3$ м, $B = 3$ м; 1 світильник типу У без затінювачів; $h = 4$ м; напруга 220 В; коефіцієнт запасу $k = 1,3$; $R_p = 30\%$, $R_c = 10\%$, $E_n = 102$ лк.

Визначаємо площу освітлювальної зони:

$$S = A \cdot B = 3 \cdot 3 = 9 \text{ (м}^2\text{)}$$

де: A, B – довжини сторін приміщення, м.

Визначаємо індекс приміщення i :

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{9}{4(3 + 3)} = 0.37$$

де: h – розрахункова висота світильника над робочою поверхнею, м.

Приймаємо $i = 0.4$

За таблицею визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку:

$$\eta_{\phi} = 21\%.$$

Визначаємо величину світлового потоку:

$$\Phi_{\text{розрах}} = \frac{E_n \cdot \kappa \cdot S \cdot z}{N_n \cdot \eta} = \frac{102 \cdot 1.3 \cdot 9 \cdot 1.2}{1 \cdot 0.21} = 6819 \text{ (лм)}$$

де: E_n – нормативна освітленість;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

N_n – кількість світильників.

Для освітлення робочого місця приймаємо лампу потужністю 500 Вт типу НГ-220.

$$\Phi_{\text{табл}} = 8100 \text{ лм.}$$

Проводимо уточнений розрахунок:

$$N_{\text{розрах}} = \frac{E_n \cdot \kappa \cdot z \cdot S}{\eta_{\phi} \cdot \Phi_{\text{табл}}} = \frac{102 \cdot 9 \cdot 1.3 \cdot 1.2}{0.21 \cdot 8100} = 0.99 \text{ (шт.)}$$

$$N_n \approx N_{\text{расчетн}}$$

Рационально організоване виробниче освітлення забезпечує безпечні умови праці, знижує зорову втому працівників та сприяє підвищенню продуктивності праці.

Аналіз основних потенційних шкідливих і небезпечних факторів та технічні рішення щодо захисту працівників від шуму, вібрації та пилу

У промисловості будівельних матеріалів значна кількість технологічних процесів супроводжується підвищеним рівнем шуму, вібрації та запиленості повітря робочої зони.

Коливання елементів машин, технологічного обладнання, трубопроводів і будівельних конструкцій, що виникають під дією динамічних навантажень, обертання механізмів, пульсацій, інерційних процесів та ударних навантажень, характеризуються як виробнича вібрація.

Медико-біологічні дослідження показали, що тривалий вплив шуму та вібрації негативно впливає на центральну нервову систему, серцево-судинну систему та опорно-руховий апарат.

Шкідливий вплив вібрації може проявлятися у вигляді:

- підвищення артеріального тиску;
- головного болю;
- болю у суглобах;
- порушення координації рухів.

При тривалому впливі інтенсивної вібрації можливий розвиток професійного захворювання – вібраційної хвороби.

Захист від шуму

Розроблення заходів щодо захисту від шуму необхідно починати зі зменшення рівня шуму безпосередньо у джерелі його виникнення.

Ефективне зниження шуму досягається за рахунок:

- якісного монтажу обладнання;
- динамічного балансування обертових вузлів;
- своєчасного проведення планово-попереджувальних ремонтів;
- контролю технічного стану підшипників;
- усунення биття та ударів деталей;
- надійного кріплення кожухів та огорожень.

Шум, що поширюється повітряним середовищем, зменшують шляхом встановлення:

- звукоізоляційних конструкцій;
- звукопоглинальних екранів;
- перегородок;
- кожухів;
- акустичних облицювань.

Фізична сутність звукоізоляції полягає у відбитті більшої частини звукової енергії спеціальними огорожувальними конструкціями, унаслідок чого через них проходить лише незначна частина акустичної енергії.

Для звукопоглинання використовують матеріали з пористою структурою, здатні розсіювати енергію звукових коливань. При проходженні звукової хвилі через пористий матеріал частина акустичної енергії перетворюється на теплову, що забезпечує зниження рівня шуму.

Вимоги щодо захисту від шуму регламентуються:

- ДСН 3.3.6.037-99 «Державні санітарні норми виробничого шуму»;
- ДСТУ ISO 11690;
- Законом України «Про охорону праці».

Методи зменшення вібрації

Для зниження шкідливого впливу вібрації застосовують:

- методи зменшення збуджувальних сил у джерелах виникнення вібрації;
- методи зниження передачі вібрації шляхом віброзахисту та вібродемпфування.

У виробничих приміщеннях повинна бути забезпечена ефективна вентиляція, призначена для:

- видалення запиленого та забрудненого повітря;
- підтримання нормативних параметрів мікроклімату;
- зменшення концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

Вентиляція може бути:

- природною;
- механічною;
- припливно-витяжною.

Порушення правил технічної експлуатації обладнання призводить до того, що навіть мал шумні машини можуть ставати джерелами інтенсивного шуму та вібрації.

Віброізоляційний захист

Віброізоляція є одним із найбільш ефективних способів захисту робочих місць, технологічного обладнання та будівельних конструкцій від дії вібрації.

Віброізоляція – це спосіб віброзахисту, який полягає у зменшенні передачі коливань від джерела вібрації до захищуваного об'єкта за допомогою спеціальних віброзахисних елементів.

Як вібродемпфувальні та вібропоглинальні елементи застосовують:

- сталеві пружини;
- гумові амортизатори;

- комбіновані гумометалеві опори;
- пневморезинові амортизатори;
- гідравлічні віброгасники.

Для зменшення вібрації кожухів, огорожень та інших металевих конструкцій застосовують вібропоглинальні матеріали:

- гуму;
- пластики;
- мастики з високим внутрішнім тертям.

Такі покриття наносяться у зонах максимальних амплітуд коливань, які визначаються за результатами вимірювання віброшвидкості.

Виробничий пил та заходи боротьби з ним

Під час багатьох технологічних процесів у виробництві будівельних матеріалів у повітря робочої зони виділяється пил.

Пил – це дрібнодисперсні тверді частинки, здатні тривалий час перебувати у завислому стані в повітрі або промислових газах.

Пил характеризується:

- хімічним складом;
- дисперсністю;
- формою частинок;
- густиною;
- електричними та магнітними властивостями.

Виробничий пил є небезпечним гігієнічним фактором, оскільки негативно впливає на організм людини та може спричиняти:

- пневмоконіози;
- дерматити;
- екземи;
- кон'юнктивіти;
- захворювання органів дихання.

Найбільш небезпечними є частинки розміром від 0,2 до 7 мкм, які здатні проникати у легені та накопичуватися у дихальних шляхах.

Пил також:

- погіршує видимість;
- знижує ефективність освітлення;
- підвищує абразивне зношування обладнання;
- погіршує умови праці.

Гранично допустимі концентрації пилу в повітрі робочої зони встановлюються:

- ДСН 3.3.6.042-99;
- ДСП 201-97;
- санітарними нормами України.

Засоби захисту від пилу

Для зменшення запиленості повітря робочої зони необхідно передбачати:

- механізацію та автоматизацію технологічних процесів;
- використання герметичного обладнання;
- застосування закритих транспортних систем;
- зволоження сипких матеріалів;
- використання аспіраційних систем;
- очищення вентиляційного повітря;
- застосування засобів індивідуального захисту органів дихання.

Як засоби індивідуального захисту застосовують:

- респіратори;
- протипилові маски;
- фільтрувальні напівмаски.

Методи очищення повітря від пилу

Для очищення повітря використовують пиловловлювачі та фільтри різних типів:

- сухі механічні пиловловлювачі;
- мокрі пиловловлювачі;
- електрофільтри;
- рукавні фільтри;

- комбіновані системи очищення.

Забезпечення оптимальних метеорологічних умов

Самопочуття та працездатність працівників значною мірою залежать від параметрів мікроклімату виробничого середовища.

Основними параметрами мікроклімату є:

- температура повітря;
- відносна вологість;
- швидкість руху повітря.

Оптимальні параметри мікроклімату визначаються:

- ДСН 3.3.6.042-99;
- ДСТУ EN ISO 7730;
- чинними санітарними нормами України.

У виробничому приміщенні температура повітря підтримується у межах 16–24 °С.

У холодний період року передбачається система опалення приміщень.

Оптимальні метеорологічні умови – це поєднання параметрів температури, вологості та швидкості руху повітря, які при тривалому впливі не спричиняють негативного впливу на організм працівника.

Усі роботи, пов'язані з виробництвом продукції, повинні виконуватись у приміщеннях, обладнаних:

- місцевою витяжною вентиляцією;
- загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією.

Системи вентиляції повинні забезпечувати вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони на рівні, що не перевищує встановлених гранично допустимих концентрацій.

Виробничі приміщення повинні відповідати вимогам:

- ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»;
- Закону України «Про охорону праці»;
- санітарного законодавства України.

4.2 Заходи безпеки праці

Технічні та організаційні заходи безпеки під час монтажу, експлуатації та ремонту обладнання

Під час виконання технологічних операцій на підприємствах з виробництва будівельних матеріалів необхідно дотримуватися вимог нормативно-правових актів з охорони праці, промислової безпеки, електробезпеки та виробничої санітарії.

Монтаж, технічне обслуговування, експлуатація та ремонт обладнання повинні виконуватись відповідно до:

- Закону України «Про охорону праці»;
- Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів;
- ДБН та ДСТУ, чинних в Україні;
- інструкцій з охорони праці та експлуатаційної документації виробника.

1. До експлуатації, технічного обслуговування та ремонту обладнання допускаються лише працівники відповідної кваліфікації, які пройшли:

- навчання;
- інструктажі з охорони праці;
- перевірку знань з електробезпеки;
- медичний огляд.

2. Робоче місце повинно підтримуватись у належному санітарному стані та забезпечуватись нормативним рівнем освітлення. Освітленість робочої зони повинна бути не менше 150 лк відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018.

3. Рівень шуму на робочих місцях не повинен перевищувати допустимі значення, встановлені ДСН 3.3.6.037-99. Допустимий рівень шуму – не більше 80 дБА.

4. Корпуси електродвигунів, пультів керування та іншого електрообладнання повинні бути надійно заземлені.

5. Під час проведення профілактичних оглядів, ремонтів або налагодження обладнання необхідно виконувати повне відключення

електроживлення із застосуванням системи блокування та вивішування попереджувальних плакатів:

«Не вмикати! Працюють люди».

6. У процесі експлуатації необхідно постійно контролювати технічний стан:

- електрообладнання;
- електропроводки;
- систем захисту;
- заземлювальних пристроїв.

Не допускається експлуатація обладнання при наявності механічних пошкоджень кабелів або порушенні ізоляції.

7. При появі надмірної вібрації, стороннього шуму або інших ознак несправності роботу обладнання необхідно негайно припинити до повного усунення несправностей.

8. Вантажопідіймальні механізми, що використовуються під час монтажу та ремонту обладнання, повинні відповідати вимогам:

- НПАОП;
- Правил охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів;
- технологічних схем стропування.

Вантажопідіймальність крана для переміщення монтажних елементів повинна становити не менше 5 т.

9. Під час роботи з електроінструментом необхідно застосовувати:

- справний інструмент;
- перевірені засоби індивідуального захисту;
- діелектричні рукавички;
- діелектричне взуття;
- гумові килимки;
- ізолювальні підставки.

Електроінструмент повинен підключатися до мережі за допомогою кабелю із захисним заземлювальним провідником через справні штепсельні з'єднання.

Для огляду внутрішніх поверхонь камер та інших замкнених просторів необхідно застосовувати переносні світильники безпечної напруги.

10. Категорично забороняється:

10.1 Починати або продовжувати роботу при наявності несправностей обладнання.

10.2 Працювати зі знятими або пошкодженими огороженнями рухомих частин машин.

10.3 Виконувати монтажні, демонтажні або ремонтні роботи без відключення обладнання від електромережі.

10.4 Допускати до виконання робіт осіб, які не мають відповідної кваліфікації та допуску.

10.5 Виконувати підтягування болтових з'єднань, регулювання або ремонт під час роботи обладнання.

10.6 Захаращувати робочі місця, проходи та евакуаційні шляхи.

10.7 Самовільно змінювати або виводити з роботи аварійні блокувальні та захисні пристрої.

11. Для забезпечення безпечної експлуатації електроустановок електропроводку необхідно прокладати у металевих трубах, коробах або кабельних каналах відповідно до вимог ПУЕ.

Улаштування захисного заземлення електроустановки

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання із землею металевих неструмовідних частин обладнання, які за нормальних умов не перебувають під напругою, але можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції або аварійного режиму роботи.

Принцип дії захисного заземлення полягає у зниженні напруги дотику та струму, що проходить через тіло людини, до безпечних значень у разі замикання фази на корпус обладнання.

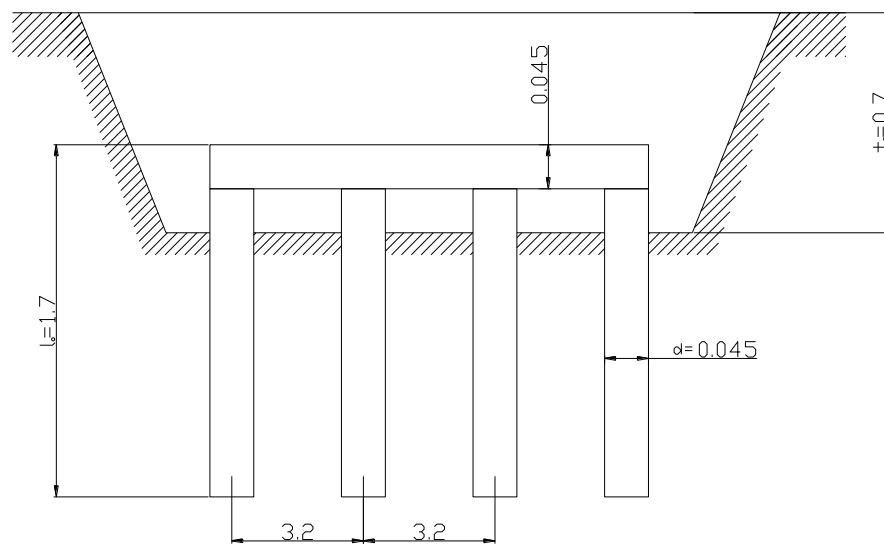
Повторне заземлення PEN-провідника застосовується для підвищення рівня електробезпеки при:

- обриві нульового провідника;
- пошкодженні ізоляції;
- замиканні фази на корпус.

Максимально допустиме значення опору заземлювального пристрою:

$$R = 4 \text{ Ом.}$$

Для виконання розрахунку повторного заземлення приймається розрахункова схема, наведена на рисунку 1.



4.3 Пожежна безпека

Розділ виконано з позиції фахівця з охорони праці та навколишнього середовища із застосуванням чинних вимог пожежної безпеки України.

Визначення категорії виробництва за вибухопожежною та пожежною небезпекою

Під час визначення ступеня вогнестійкості виробничих будівель і окремих конструктивних елементів, а також під час формування об'ємно-планувальних рішень необхідно враховувати ймовірність виникнення пожежі, швидкість поширення небезпечних факторів пожежі, масштаби можливих аварій та їх вплив на персонал, виробничі процеси і довкілля.

Категорювання приміщень та будівель здійснюється відповідно до чинного підходу класифікації за вибухопожежною та пожежною небезпекою з урахуванням фізико-хімічних властивостей речовин, умов їх використання, температурних режимів та особливостей технологічного процесу.

Пожежна небезпека виробничих об'єктів визначається двома складовими:

- пожежною небезпекою технологічного процесу;
- конструктивними та планувальними рішеннями будівлі.

Технологічний процес переважно визначає:

- імовірність виникнення займання;
- інтенсивність розвитку пожежі;
- швидкість поширення полум'я;
- масштаби пошкодження обладнання.

Конструктивні рішення визначають:

- межі локалізації пожежі;
- умови безпечної евакуації;
- стійкість будівельних конструкцій;
- можливість доступу пожежно-рятувальних підрозділів.

Цех виробництва керамічної цегли належить до категорії Д, оскільки технологічний процес пов'язаний із використанням переважно негорючих речовин та матеріалів у холодному стані.

Визначення ступеня вогнестійкості будівель і споруд

Вимоги до вогнестійкості конструкцій приймаються відповідно до чинного ДБН В.1.1-7:2016.

На стадії проєктування передбачаються:

- поділ на протипожежні відсіки;
- застосування протипожежних перешкод;
- забезпечення евакуаційних шляхів;
- використання негорючих матеріалів;
- облаштування систем пожежної сигналізації.

Протипожежні заходи

Організація пожежної безпеки покладається на керівництво підприємства та посадових осіб.

Для запобігання пожежам передбачають:

- автоматичний контроль виникнення пожежі;
- систему пожежної сигналізації;
- систему оповіщення та управління евакуацією;
- проведення інструктажів;
- підтримання справності обладнання;
- контроль стану електромереж.

На території виробничого підрозділу повинні бути:

- 1) пожежні щити із комплектом інвентарю;
- 2) протипожежні перегородки;
- 3) автоматичні системи виявлення пожежі;
- 4) пожежні крани та рукави;
- 5) під'їзди для спеціальної техніки;
- 6) евакуаційні виходи.

Протипожежні розриви між будівлями визначаються під час проєктування генеральних планів та повинні забезпечувати недопущення передачі теплового впливу.

Нормативні відстані приймаються як мінімально допустимі.

Необхідна кількість та типи первинних засобів пожежогасіння

Внутрішнє протипожежне водопостачання передбачається відповідно до чинних вимог.

Розрахункова витрата води визначається із забезпеченням роботи одного або двох пожежних струменів.

Продуктивність одного струменя – не менше 2,5 л/с.

Пожежні крани розміщують:

- біля входів;
- у коридорах;

— на сходових клітках.

Довжину рукавів приймають 10 або 20 м.

Тривалість зовнішнього пожежогасіння приймається 3 години.

До первинних засобів пожежогасіння належать:

- пожежні крани;
- вогнегасники;
- пожежні покривала;
- пісок.

Для локалізації пожеж використовують:

- Порошкові вогнегасники – універсального призначення.
- Вуглекислотні – для електроустановок та локальних осередків займання.

Пожежні покривала застосовуються для ліквідації невеликих осередків горіння.

Пісок використовується для локалізації локальних розливів і гасіння початкових осередків.

Запропоновані рішення забезпечують необхідний рівень пожежної безпеки, знижують ризик виникнення аварійних ситуацій та сприяють підвищенню рівня захисту персоналу і довкілля.

ВИСНОВКИ

У роботі проаналізовано сучасну технологію виробництва портландцементу та основні вимоги до якості готової продукції. Виконано вибір сировинних матеріалів, розглянуто їх фізико-хімічні характеристики та визначено склад цементної шихти. Обґрунтовано технологічну схему виробництва, яка забезпечує стабільність хімічного складу сировинного борошна, ефективний випал клінкеру та отримання цементу з необхідними експлуатаційними властивостями.

Проведено розрахунок матеріального балансу та режиму роботи помольного відділення, визначено потребу в основних матеріалах і ресурсах. Розглянуто конструкцію кульового трубного млина та принцип його роботи, що дозволило оцінити ефективність процесу помелу. Встановлено, що використання сучасного обладнання, автоматизованих систем контролю та енергоощадних технологій забезпечує підвищення продуктивності підприємства, покращення якості цементу та зниження негативного впливу виробництва на довкілля.

Перелік використаних джерел

1. ДСТУ Б EN 197-1:2015. Цемент. Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 42 с.
2. ДСТУ EN 196-1:2019. Методи випробування цементу. Частина 1. Визначення міцності. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 36 с.
3. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 28 с.
4. ДСТУ EN 15167-1:2019. Шлак мелений гранульований доменний для використання в бетоні, будівельному та цементному розчинах. Частина 1. Визначення, технічні умови та критерії відповідності. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 24 с.
5. ДСТУ EN 1008:2022. Вода для замішування бетону. Технічні умови для відбирання проб, випробування та оцінювання придатності води для бетону. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 32 с.
6. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Будівельне матеріалознавство : підручник. Рівне : НУВГП, 2009. 448 с.
7. Комар А. Г. Будівельні матеріали і вироби : підручник. Київ : Вища школа, 2005. 760 с.
8. Рунова Р. Ф., Шейнич Л. О., Пушкарьова Є. К. та ін. Технологія сучасних будівельних матеріалів : підручник. Київ : КНУБА, 2012. 568 с.
9. Санницький М. А., Позняк О. Р. Будівельні матеріали : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 256 с.
10. Lea F. M. Lea's Chemistry of Cement and Concrete. 4th ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 1998. 1092 p.
11. Taylor H. F. W. Cement Chemistry. 2nd ed. London : Thomas Telford Publishing, 1997. 459 p.
12. Mehta P. K., Monteiro P. J. M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4th ed. New York : McGraw-Hill Education, 2014. 704 p.

13. Neville A. M. Properties of Concrete. 5th ed. Harlow : Pearson Education Limited, 2011. 846 p.
14. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ (зі змінами та доповненнями).
15. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI.
16. ДСТУ EN 12464-1:2016. Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Робочі місця в приміщеннях. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
17. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018.
18. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Чинна редакція. Харків : Форт.
19. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Чинна редакція. Київ : Міністерство енергетики України.
20. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Київ : Мінрегіон України, 2017.
21. Правила пожежної безпеки в Україні : наказ МВС України від 30.12.2014 № 1417.
22. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-ХІІ.
23. Закон України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-ІХ.
24. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.