

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-ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

на тему **Валковий млин у складі лінії з виробництва**
стінових блоків із коміркового бетону

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

Гусак Роман Євгенійович

(прізвище та ініціали)

Керівник **Куласенко О.О. к.т.н., доц.**

(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 АКІТ

 **БАРАНОВ О. О.**

« 22 » червень 2026 року

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

Гусаку Роману Євгенійовичу

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

1. Тема роботи Валковий млин у складі лінії з виробництва стінових блоків із коміркового бетону

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

Керівник роботи Кулаєнко Олег Олександрович канд. техн. наук, доц.

(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 коміркового бетону. Продуктивність: 24 тис. м³/рік. Головне обладнання – помольна валкова установка.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Вступ. Аналіз проблеми (властивості продукції, сировина та її характеристика, технологія виробництва, підготовка сировинних матеріалів, режим роботи заводу). Основна частина (аналіз існуючих помольних систем, використання валкового млина для отримання вискодисперсних матеріалів). Спеціальна частина (розрахунок основних конструктивно-технологічних параметрів валкового подрібнювача, вибір методу організації та проведення ремонту, особливості експлуатації машини та її основних вузлів, мащення обладнання). Охорона праці (виробнича санітарія, техніка безпеки, пожежна безпека, вплив об'єкта на навколишнє середовище). Висновки. Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Технологічна схема. Загальний вид обладнання. Валок в зборі. Демпферний вузол у зборі. Деталювання: вал, пружний елемент, бандаж валка.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз проблеми	доц. Кулаєнко О.О.	25.05	 12.06
Основна частина	доц. Кулаєнко О.О.	25.05	 12.06
Спеціальна частина	доц. Кулаєнко О.О.	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 валкового млину у складі лінії з виробництва стінових блоків із коміркового бетону

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 73 сторінок, в тому числі: 4 рисунків; 11 таблиці; перелік посилань з 26 найменувань на 2 сторінках.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: комірковий бетон, сировина, помольні системи, валковий млин, помольно-валкова установка, техніка безпеки.

ABSTRACT

The paper considers the possibility of using a roller mill as part of a line for the production of wall blocks from cellular concrete

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 73 pages, including: 4 figures; 11 tables; a list of references with 26 names on 2 pages.

KEYWORDS: cellular concrete, raw materials, grinding systems, roller mill, grinding-roller installation, safety equipment.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ	9
1.1 Основні властивості продукції	9
1.2 Сировини та її технічна характеристика	11
1.3 Технологічна схема виробництва	11
1.4 Підготовка сировинних матеріалів	18
1.5 Режим роботи заводу	21
1.6 Вибір обладнання та розрахунок необхідної кількості технологічних агрегатів	24
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА	27
2.1 Аналіз існуючих помольних систем та перспективи їх розвитку ..	27
2.2 Можливості використання валкового млина для отримання високодисперсних матеріалів	31
2.3 Перспективи розвитку валкових млинів	33
3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	36
3.1 Розрахунок основних конструктивно-технологічних параметрів валкового млина	38
3.2 Організація та проведення ремонту	49
3.3 Особливості експлуатації машини та її основних вузлів	51
3.4 Мащення обладнання	53
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	54
4.1 Виробнича санітарія	54
4.2 Заходи безпеки	57
4.3 Пожежна безпека	62
4.4 Вплив об'єкта на навколишнє середовище	64
ВИСНОВКИ	71
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72

ВСТУП

Актуальність теми дослідження.

Пінобетон є ефективним матеріалом для зведення огорожувальних конструкцій завдяки високому опору теплопередачі та можливості отримання виробів із різною густиною і функціональним призначенням. Виробництво таких матеріалів потребує ретельного вибору сировини, оптимізації складу сумішей, забезпечення стабільності технологічних режимів та використання сучасного високопродуктивного обладнання. Важливе значення мають процеси підготовки вапна, цементу, кварцового піску, золи-виносу та пороутворювачів, а також правильна організація змішування, формування та тепловологісної обробки виробів.

Однією з найбільш енергоємних операцій у технології виробництва коміркових бетонів є подрібнення та підготовка мінеральної сировини. Тому особлива увага приділяється вдосконаленню помольних систем, зниженню питомих енерговитрат і підвищенню продуктивності обладнання. Серед сучасних напрямів розвитку значний інтерес становлять подрібнювально-вальцюві установки, які забезпечують ефективне руйнування матеріалу при менших витратах енергії порівняно з традиційними барабанными млинами.

Мета дослідження – можливостям використання подрібнювально-валкових установок для підготовки сировини при виробництві коміркового бетону.

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

1. Скласти технологічну схему з виробництва коміркового бетону;
2. Розрахувати потребу у сировинних матеріалах;
3. Обрати основне обладнання технологічної лінії;
4. Провести розрахунок конструктивно-технологічних параметрів валкового млина

Об'єкт дослідження – помольно валкова установка

Предмет дослідження – можливість використання валкового млина у

технологічній лінії з виробництва коміркового бетону.

Практичне значення отриманих результатів.

Отримані результати мають практичне значення для підвищення ефективності виробництва коміркових бетонів та зниження енергоємності технологічних процесів.

1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ

Дослідження, виконані провідними фахівцями у галузі технології комірчастих бетонів, підтверджують можливість суттєвого зниження середньої густини теплоізоляційного коміркового бетону. У зв'язку з цим удосконалення технології виробництва теплоізоляційних коміркових бетонів повинно бути спрямоване на стабільне отримання в умовах промислового виробництва виробів із прогнозованими фізико-механічними характеристиками, що забезпечують зменшення собівартості продукції більш ніж на 40 % та зниження приведених витрат на одиницю термічного опору. Ці показники є нижчими порівняно з іншими видами жорстких теплоізоляційних матеріалів, що визначає перспективність подальшого розвитку даного напрямку.

Світові обсяги виробництва коміркових бетонів постійно збільшуються, особливо у таких країнах, як Німеччина, Нідерланди, Польща та держави Скандинавського регіону. В Україні також виготовляється значна кількість теплоізоляційних коміркових бетонів, частка яких становить близько 10 % від загального обсягу теплоізоляційних бетонів та майже 20 % від виробництва жорсткої штучної теплоізоляції.

Основний обсяг виробництва теплоізоляційного коміркового бетону припадає на газосилікатні матеріали – близько 80-90 %, менша частка належить пінобетону становить 10-15 %. Незважаючи на це, технологія виготовлення пінобетону є перспективним напрямом розвитку будівельної індустрії та активно впроваджується у сучасне виробництво завдяки можливості отримання ефективних теплоізоляційних матеріалів із низькою густиною та достатньою міцністю.

1.1 Основні властивості продукції

Коміркові бетони належать до особливо легких бетонів, структура яких характеризується наявністю значної кількості рівномірно розподілених повітряних пор. Об'єм пор може досягати 85 % загального об'єму матеріалу, а

розміри пор зазвичай знаходяться у межах 1–1,5 мм. Саме наявність пористої структури забезпечує високі теплоізоляційні характеристики матеріалу та порівняно невелику середню густину.

За показниками середньої густини та функціонального призначення коміркові бетони поділяють на теплоізоляційні, теплоізоляційно-конструкційні та конструкційні. Теплоізоляційні матеріали мають густину 300–600 кг/м³ та межу міцності 0,4–1,2 МПа. Теплоізоляційно-конструкційні коміркові бетони характеризуються густиною 500–900 кг/м³ та використовуються переважно для огорожувальних конструкцій. Конструкційні коміркові бетони мають густину 600–1200 кг/м³, найчастіше близько 800 кг/м³, а їхня міцність становить 2,5–15 МПа.

У сучасному виробництві значного поширення набули вироби з автоклавного коміркового бетону, тверднення яких відбувається в автоклавах при тепловологісній обробці під тиском 0,8–1,0 МПа. Автоклавний спосіб забезпечує формування стабільної мікроструктури матеріалу, підвищення його міцності, морозостійкості та довговічності.

Автоклавні коміркові бетони виготовляють із сумішей на основі цементу та кварцового піску, вапна та кварцового піску, а також із комбінованих цементно-вапняних в'язучих. Для виробництва застосовують алітовий портландцемент із вмістом С3S понад 50 % та низьким або середнім вмістом алюмінатної фази С3А у межах 5–8 %. Початок тужавлення цементу повинен наставати не пізніше ніж через дві години, що забезпечує необхідну технологічну стабільність формування масиву.

Для змішаних автоклавних в'язучих використовують негашене мелене вапно у співвідношенні з цементом 1:1 за масою. Вапно повинно містити не менше 70 % активного оксиду кальцію та не більше 5 % оксиду магнію. Важливою характеристикою є висока екзотермічність і температура гасіння близько 85 °С. Питома поверхня меленого вапна має становити не менше 3500–4000 см²/г, що забезпечує достатню реакційну здатність матеріалу.

Коміркові бетони класифікують за декількома основними ознаками. За функціональним призначенням розрізняють теплоізоляційні, теплоізоляційно-конструкційні та конструкційні матеріали. За способом формування пористої структури виділяють газобетони, газосилікати, пінобетони, піносилікати та аеровані коміркові бетони.

За видом в'язучої речовини у виробництві коміркових бетонів переважно використовують цемент і вапно, рідше – гіпс. Використання автоклавної обробки дало можливість широко застосовувати матеріали, здатні до гідратаційного тверднення в умовах підвищених температур і тиску. До таких матеріалів належать металургійні шлаки, перліти, природні та штучні кремнеземисті компоненти, а також відходи промислового виробництва.

Як кремнеземистий компонент найчастіше застосовують кварцовий пісок із вмістом кремнезему близько 90 %. Також використовують золу-винос теплоелектростанцій, кислі металургійні шлаки та інші промислові відходи. Застосування вторинних ресурсів дозволяє знизити собівартість продукції та підвищити екологічну ефективність виробництва.

За способом тверднення коміркові бетони поділяють на автоклавні та неавтоклавні. Неавтоклавні бетони тверднуть в умовах природного або тепловологісного тверднення, тоді як автоклавні матеріали набирають міцність в умовах підвищеного тиску та температури.

1.2 Сировини та її технічна характеристика

Для формування пористої структури коміркового бетону застосовують піноутворювачі та газоутворювачі. Як піноутворювачі використовують поверхнево-активні речовини, здатні формувати стабільну дрібнодисперсну піну.

Клейоканіфольний піноутворювач виготовляють на основі кісткового або міздрового клею, каніфолі та розчину їдкого натру. Такий склад забезпечує отримання значного об'єму стійкої піни, однак є несумісним із прискорювачами тверднення кислотного типу, оскільки вони викликають

коагуляцію клею. Зберігати такий піноутворювач рекомендується не більше 20 діб за умов невисоких позитивних температур.

Смолосапониновий піноутворювач отримують із мильного кореня та води. Додавання рідкого скла як стабілізатора дозволяє підвищити стійкість піни та забезпечує збереження властивостей матеріалу приблизно протягом одного місяця.

Алюмосульфонафтенний піноутворювач виробляють із керосинового контакту, сірчанокислого глинозему та їдкого натру. Він характеризується стабільністю властивостей при позитивних температурах упродовж шести місяців.

Піноутворювач марки ГК виготовляють із гідролізованої крові та сірчанокислого заліза. Такий матеріал сумісний із прискорювачами тверднення цементу та характеризується стабільністю властивостей упродовж тривалого часу.

Витрата піноутворювачів для отримання піни залежить від їх типу та становить певний відсоток від кількості води: для клейоканіфольного – 8–12 %, смолосапонинового – 12–16 %, алюмосульфонафтенного – 16–20 %, а для піноутворювача ГК – 4–6 %. Використання комбінованих складів із декількох піноутворювачів дозволяє підвищити стабільність піни, хоча й дещо ускладнює технологічний процес.

Пористу структуру пінобетону створюють шляхом змішування цементного розчину з попередньо підготовленою піною або введенням піноутворювача безпосередньо до розчинної суміші з подальшим інтенсивним перемішуванням. Для підвищення рівномірності розподілу пор часто застосовують вібраційну обробку суміші або інші методи механічної активації.

1.3 Технологічна схема виробництва

Промисловість будівельних матеріалів має суттєвий вплив на розвиток і розміщення продуктивних сил держави, формування її економічного потенціалу та підвищення рівня життя населення. У сучасних умовах,

незважаючи на складну економічну ситуацію, обсяги будівництва житлових, громадських та промислових об'єктів залишаються значними. Особливо зростає потреба у високоефективних стінових матеріалах для цивільного та сільськогосподарського будівництва. Одними з найбільш перспективних матеріалів будівельної індустрії є стінові блоки з коміркового бетону, які характеризуються високими теплоізоляційними властивостями, достатньою міцністю, вогнестійкістю та довговічністю.

У вітчизняній практиці виробництво стінових блоків, призначених для кладки зовнішніх і внутрішніх стін будівель та споруд, здійснюється за технологією, яка передбачає приготування комплексного в'язучого шляхом змішування вапна, цементу та кварцового піску. Вапняно-цементно-піщане в'язуче піддається тонкому подрібненню до питомої поверхні не менше $3400 \text{ см}^2/\text{кг}$, що забезпечує необхідну активність компонентів та інтенсивний перебіг фізико-хімічних процесів у системі.

Основними компонентами в'язучого для виробництва стінових блоків є:

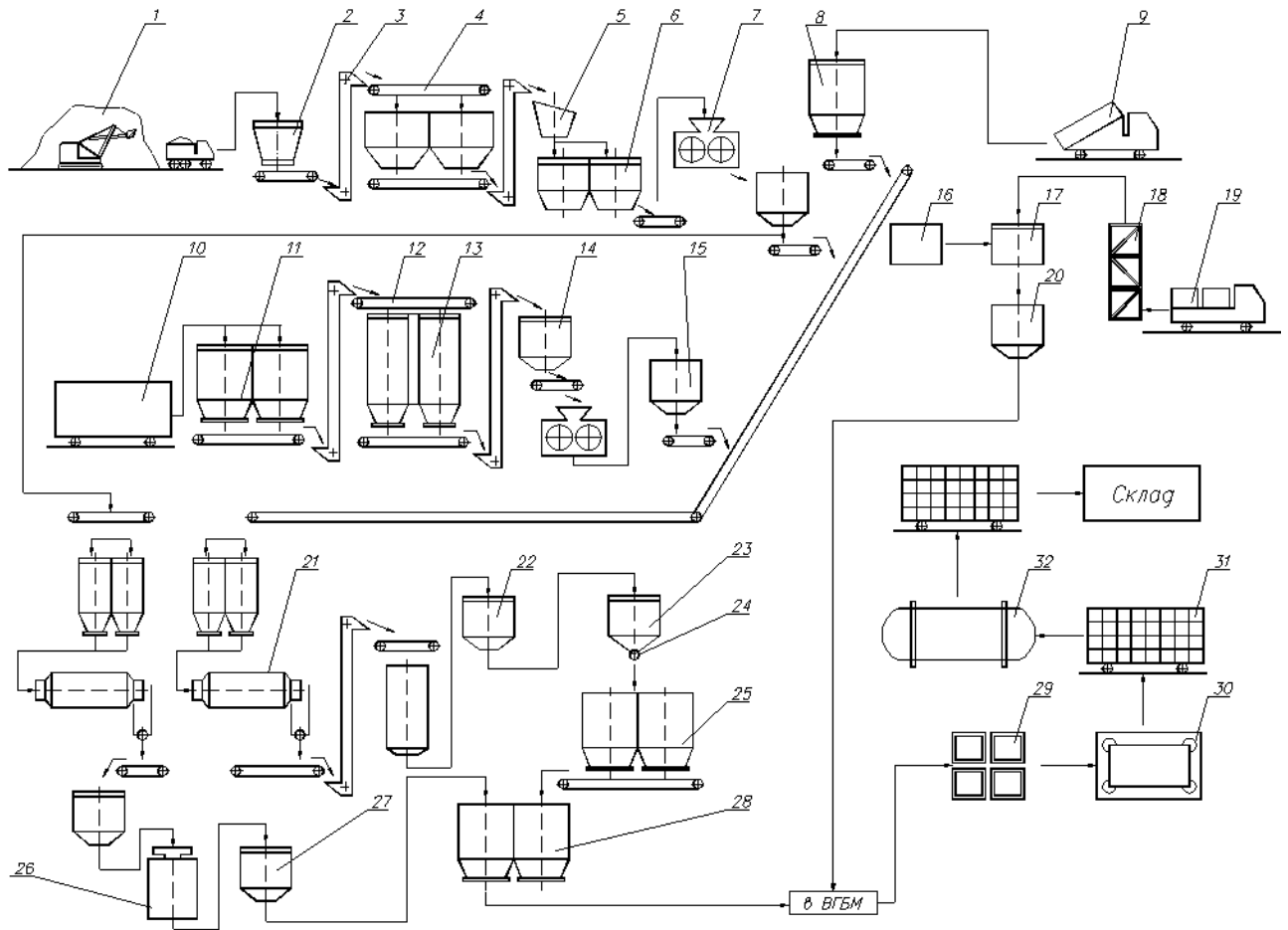
- негашене вапно;
- портландцемент;
- кварцовий пісок;
- алюмінієва пудра.

Технологічна схема виробництва стінових блоків із коміркового бетону включає комплекс взаємопов'язаних процесів: приймання та зберігання сировини, її транспортування, подрібнення, дозування, змішування, формування масиву, різання та автоклавну обробку.

Вапно надходить на підприємство залізничним транспортом та розвантажуються у приймальний бункер місткістю 60 м^3 . Із приймального бункера вапно системою стрічкових транспортерів та елеваторів розподіляється по силосах запасу. Об'єм запасу вапна розрахований таким чином, щоб забезпечити безперервну роботу підприємства протягом п'яти діб.

Із силосів вапно транспортером подається на елеватор, який транспортує його до накопичувального бункера. Далі за допомогою живильника матеріал

подається у подрібнювально-вальцюву установку, де здійснюється попереднє подрібнення. Максимальний розмір частинок вапна після подрібнення не перевищує 5 мм. Після цього матеріал надходить до витратного бункера, звідки живильником спрямовується на збірний конвеєр.



- 1 – кар’єр кварцового піску; 2, 11, 17 – приймальні бункери; 3 – елеватор;
 4, 12 – стрічковий конвеєр; 5 – віброгрохот; 6, 13, 14, 25 – накопичувальні бункери; 7 – валковий млин; 8 – гомогенізатор; 9, 19 – автотранспорт;
 10 – залізничний транспорт; 15 – витратні бункери; 16 – лічильник води;
 18 – підйомник; 20, 28 – дозатор; 21 – млин мокрого помелу;
 22 – пневмокамерний насос; 23 – циклонний фільтр; 24 – комірковий живильник; 26 – шламбасейн; 27 – камерний насос; 29 – форма; 30 – різальна машина; 31 – запарочний візок; 32 – автоклав.

Рисунок 1.1 Технологічна схема виробництва стінових блоків із коміркового бетону

Кварцовий пісок із кар'єру доставляється на підприємство автомобільним транспортом та розвантажується у приймальний бункер. Далі за допомогою стрічкових конвеєрів та елеваторів пісок подається на віброгрохот для класифікації за гранулометричним складом. Після грохочення матеріал розподіляється по бункерах запасу, звідки надходить у подрібнювально-вальцюву установку для більш тонкого помелу.

Подрібнений кварцовий пісок подається у витратний бункер. Значна частина піску спрямовується у млини мокрого помелу, а менша – у сировинні млини сухого помелу для спільного подрібнення з іншими компонентами сировинної суміші.

Пісок, призначений для мокрого помелу, подається у млин мокрого помелу, куди одночасно надходить вода. Отриманий шлам після виходу з млина камерним насосом транспортується у вертикальні шламбасейни. У шламбасейнах відбувається усереднення суміші, стабілізація її складу та створення необхідного запасу сировинної маси. Із вертикальних шламбасейнів сировинна маса камерним насосом подається у мірний бачок, а далі – у формувальне відділення.

Дозування сухих компонентів – вапна, цементу та піску – здійснюється за допомогою дозаторів у встановленому співвідношенні. При активності вапна $84 \pm 8\%$ співвідношення компонентів становить 1:0,8:0,6. Після дозування суміш подається у млин сухого помелу, де здійснюється її подрібнення до питомої поверхні 3400 $\text{см}^2/\text{кг}$. Необхідно зазначити, що мокрий та сухий помел компонентів здійснюється у однотипних сировинних млинах $\varnothing 2 \times 10,5$ м.

Із млина сухого помелу готове в'язуче за допомогою шнека та елеватора транспортується у гомогенізатор, де створюється необхідний запас матеріалу та забезпечується вирівнювання його складу. Для стабілізації властивостей в'язучого воно повинно витримуватися у гомогенізаторі не менше 8 годин.

Після завершення процесу гомогенізації в'язуче пневмокамерним насосом подається у циклон, а далі через комірковий живильник

транспортується у витратний бункер. Із витратного бункера за допомогою дозатора в'язуче надходить у високошвидкісний газобетонозмішувач.

Алюмінієва пудра доставляється на підприємство автомобільним транспортом у металевих барабанах. Перед використанням її подають підйомником у мішалку, де виконується промивання від парафіну. Для цього у мішалку подається гаряча вода та мийний розчин. Після підготовки алюмінієва суспензія подається у змішувач.

Компоненти завантажуються у змішувач у певній технологічній послідовності. Спочатку шлам та вода перемішуються протягом 1,5–2 хв. Потім вводять частину в'язучого та продовжують перемішування ще близько 2 хв. Після цього додають решту в'язучого і виконують додаткове перемішування. На завершальному етапі подається алюмінієва суспензія та здійснюється остаточне перемішування суміші.

Водотверде співвідношення підтримується у межах 0,48–0,52. Після завершення перемішування суміш заливається у форми. Комірчастобетонний масив витримується у формах протягом 3–4 годин для набору пластичної міцності сирцю.

Після дозрівання масив подається на стіл різальної машини, де попередньо встановлюється запарювальна решітка. Масив розрізається струнами, натягнутими на раму, спочатку у поперечному, а потім у поздовжньому напрямку. Після різання з поверхні масиву видаляється верхня кірка.

Розрізаний масив разом із решіткою встановлюється на запарювальну вагонетку. На одній вагонетці розміщується 44 блоки. Далі вагонетки із блоками подаються в автоклав для тепловологісної обробки.

Автоклавна обробка виробів здійснюється в середовищі насиченої водяної пари при тиску 10 атм. Режим автоклавування включає продувку, поетапне підвищення тиску, ізотермічну витримку та поступове зниження тиску. Такий режим забезпечує формування міцної та стабільної структури коміркового бетону.

Після завершення автоклавної обробки вироби витримують у приміщенні при температурі не нижче 18 °С протягом не менше однієї години. Різниця температур між виробами та навколишнім повітрям під час вивантаження і складування не повинна перевищувати 40 °С.

Після охолодження готові вироби мостовим краном перевантажуються на самохідні візки та транспортуються на склад готової продукції.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика ПВІ

Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
Продуктивність	т/год	8
Окружна швидкість валків	м/с	0,45
Зазор між валками	мм	5-10
Потужність електродвигуна	кВт	44

Таблиця 1.2 – Технічна характеристика віброгрохота

Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
Продуктивність	м3/год	9
Розмір комірки	мм	—
Площа просіву	мм	—
Потужність приводу	кВт	8

Таблиця 1.3 – Технічна характеристика млина

Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
Продуктивність	т/год	17,6
Номінальна частота обертання барабана	об/хв	23
Потужність головного електродвигуна	кВт	500
Потужність допоміжного електропривода	кВт	7,5
Загальна маса завантаження барабана	т	32
Маса млина	т	168,3

1.4 Підготовка сировинних матеріалів

Технологічна схема приймання, транспортування та переробки сировинних матеріалів є однією з ключових складових виробництва коміркового бетону, оскільки саме якість підготовки компонентів визначає стабільність технологічного процесу та експлуатаційні характеристики готової продукції.

Зола-винос із ТЕС доставляється на підприємство автомобільним транспортом та за допомогою пневмонасосів подається до ємностей силосного складу. Із силосного складу матеріал пневмонасосом транспортується у приймальний бункер.

Вапно із приймального бункера об'ємом 40 м³ стрічковим живильником подається у молоткову дробарку, де подрібнюється до фракції менше за 5 мм та надходить у пневмокамерний насос, який транспортує його розподільчим трубопроводом у силоси.

Із другого бункера вапно у силоси подається пневмогвинтовим насосом. Силосний склад складається з п'яти ємностей об'ємом 220 т. Із силосів подрібнене вапно насосом подається у витратний бункер над млином сухого помелу.

Сухий помел вапна із золою-виносом виконується у валковому млині. Вапно та зола-винос із витратних бункерів одночасно дозуються ваговими стрічковими дозаторами у співвідношенні 1:1 або 1,5:1, яке регулюється залежно від активності використовуваного вапна.

Витрата вапна різної активності на приготування 1 тонни вапняно-зольного в'язучого розраховується за формулою:

$$U = \frac{A_{I.3.B}}{A_{\text{вап}}} \cdot 100$$

де: $A_{I.3.B}$ – активність в'язучого, %;

$A_{\text{вап}}$ – активність вапна;

U – витрата вапна, кг.

Із млина вапняно-зольна суміш самопливом надходить у гвинтовий конвеєр, який подає її у пневмокамерний насос. Насос транспортує суміш у гомогенізатор. У гомогенізаторі в'язуче усереднюється при одночасному перемішуванні мішалкою та стисненим повітрям за заданим режимом.

Дві ємності гомогенізаторів (робочий об'єм 50 м³) працюють періодично:

- одна заповнюється сумішшю із млина, після чого виконується усереднення;
- з іншої усереднене в'язуче подається на вузол дозування.

Однорідність усередненого в'язучого визначається за різницею активності проб, відібраних із різних рівнів гомогенізатора. Усереднене в'язуче пневмокамерним насосом періодично подається у витратний бункер на вузлі дозування.

Активність в'язучого призначається з урахуванням активності вапна та температури його гасіння. У зимовий період активність в'язучого підвищується до 38–44 %, тоді як у літній період використовується в'язуче зі зниженою активністю 33–36 %.

Цемент використовується у технології без додаткової підготовки. Із вагонів цемент самопливом розвантажується у приймальний бункер, із якого пневмокамерним насосом транспортується у ємності силосного складу. Цементи різних марок та видів зберігаються окремо. Змішування цементів різних марок не допускається.

Із силосного складу цемент пневмокамерним насосом подається у витратний бункер дозувального відділення. Перехід на подачу цементу з іншої ємності виконується за погодженням із лабораторією. Надходження цементу, його розвантаження та подача на дозування фіксуються у технологічному журналі складу цементу.

Приготування водної суспензії алюмінієвої пудри

Алюмінієва пудра використовується у технології як пороутворювач. Вона являє собою тонкодисперсний порошок сріблясто-сірого кольору, який легко розпилюється у повітрі. Аерозоль алюмінієвої пудри є вибухонебезпечним, а сам порошок характеризується пожежонебезпечними властивостями.

Частинки алюмінію мають пластинчасту форму та розміри 10–50 мкм. Поверхня частинок покрита шаром парафіну, який запобігає окисненню алюмінію під час зберігання. У лужному середовищі захисна плівка швидко руйнується, внаслідок чого алюміній активно реагує з водою та лугами з інтенсивним виділенням водню.

Для забезпечення рівномірного змочування алюмінієвої пудри перед введенням у сировинну суміш її промивають із використанням мийних засобів.

Суспензія готується періодично у реакторі об'ємом 2 м³ із вертикальним валом. Алюмінієва пудра надходить на пост приготування у закритих бляшаних банках. Маса пудри визначається за етикеткою та контролюється на вагах вантажопідйомністю 50–100 кг.

Мийний засіб подається на пост у ємностях або поліетиленових мішках. Зважування дози мийного засобу виконується на технічних вагах. Як мийні засоби використовують порошки, пасти, сульфонол «Прогрес» та інші слабколужні або нейтральні поверхнево-активні речовини.

Вода дозується ваговим дозатором.

Співвідношення компонентів у суспензії:

- алюмінієва пудра – 1 ч;
- вода – 15–20 ч;
- мийний засіб – 0,05–0,1 ч.

Кількість води у суспензії визначається з урахуванням об'єму мішалки, витрати суспензії на форму та місткості дозатора суспензії на формувальній ділянці. Для спрощення роботи та підвищення точності дозування складається спеціальна дозувальна таблиця на масу 1, 2 або 3 банок пудри.

Таблиця 1.4 – Витрата вапна та золи-виносу на приготування 1 т вапняно-зольного в'язучого

Активність в'язучого	39	40	41	42	43
Витрата вапна, кг	557	571	586	600	614
Витрата золи-виносу, кг	443	429	414	400	386

Таблиця 1.5 – Вимоги до якості в'язучого (В.З.В.)

Показники	Значення
Активність, %	35:42
Питома поверхня, м ² /кг	не менше 550
Час гасіння, хв	10:20
Температура гасіння, °С	не менше 60
Залишок на ситі 0,08 %	не більше 5
Однорідність за різницею активності окремих проб, %	не більше 2

1.5 Режим роботи заводу

Режим роботи заводу з виробництва зовнішніх стінових панелей із пінобетону характеризується кількістю робочих діб у році, кількістю робочих змін на добу та тривалістю робочої зміни.

Для даного підприємства визначають кількість робочих годин у зміну, на добу та за рік.

Таблиця 1.6 – Режим роботи заводу

Цех, відділення, дільниця	Кількість робочих змін на добу	У зміну	На добу	За рік
1. Склад піску	2	8	16	5840
2. Склад грудкового вапна	2	8	16	5840
3. Склад цементу	2	8	16	5840
4. Склад золи	2	8	16	5840
5. Склад піноутворювача	2	8	16	5840
6. Склад готової продукції	2	8	16	5840

Розрахунок потреби сировинних матеріалів

Розрахунок потреби сировинних матеріалів включає визначення матеріального балансу сировини, вибір технологічного обладнання та розрахунок необхідної кількості технологічних агрегатів, а також опис процесів, що відбуваються під час переробки сировини та матеріалів.

Розрахунок сировинного матеріального балансу полягає у визначенні співвідношення між складовими компонентами сировинної пінобетонної суміші на основі результатів хімічного аналізу вихідних матеріалів. Основною

метою розрахунку є забезпечення отримання коміркового бетону із заданими фізико-механічними характеристиками та необхідною середньою густиною.

Необхідно отримати комірковий бетон марки 550 за середньою густиною із застосуванням змішаного цементно-вапняного в'язучого. Для виробництва використовують портландцемент марки 500, мелене вапно-кипілку активністю 70 % та пороутворювач марки ГК.

Приймаємо: $K_c = 1,1$; $C = 1,5$; $p = 0,5$.

За таблицею 1.7 визначається необхідний розплив суміші. За методом Суттарда він повинен становити 30 см.

Таблиця 1.7 – необхідний розплив суміші

Густина коміркового бетону у сухому стані, кг/м ³	Пінобетон на цементі, вапні, змішаному в'язучому	Газобетон на в'язучому			
		Портландцемент, змішане в'язуче	Вапно	Нефеліновий цемент	Вапняно- зольний
400	34	34	25	42	26
500	30	30	23	38	24
600	26	26	21	32	22

За таблицею 1.8 встановлюємо, що при використанні даних матеріалів питомі витрати сухої суміші становлять $W = 0,48$ дм³/кг. Коефіцієнт використання пороутворювача становить 0,85, а водотверде співвідношення $B/T = 0,64$.

Таблиця 1.8

Вид кремнеземистого компонента	Портланд- цемент		Змішане в'язуче		Вапно		Вапняно- зольний цемент	
Пісок	С	W	С	W	С	W	С	W
Звичайна зола	1	0,34	1,5	0,38	3	0,38	1	0,32
	1	0,38	1,5	0,40	3	0,40	1	0,36

Після встановлення зазначених величин виконуємо розрахунок витрат матеріалів на 10 дм³ бетону, кг:

$$\text{В'язучого: } P_{\text{в'язж}} = \frac{0,5}{1,1(1+1,5)} \cdot 10 = 1,8.$$

$$\text{Вапна: } P_{\text{в}} = 1,8 \cdot 0,5 = 0,9.$$

$$\text{Цементу: } P_{\text{ц}} = 1,8 - 0,9 = 0,9.$$

$$\text{Золи: } P_{\text{к}} = 1,8 \cdot 1,5 = 2,7.$$

$$\text{Меленого двоводного гіпсу: } P_{\text{г}} = 0,9 \cdot 0,03 = 0,027.$$

$$\text{Води: } B = (1,8 + 2,7) \cdot 0,64 = 2,88.$$

Пористість, яку необхідно створити за допомогою пороутворювача для отримання заданої густини:

$$P_{\text{Б}} = 1 - \frac{0,5}{1,1} \cdot (0,48 + 0,64) = 0,51.$$

Визначаємо витрату водного розчину піноутворювача для пінобетону:

$$P_{\text{П}} = \frac{0,51}{18 \cdot 0,85} \cdot 10 = 0,333 \text{ кг}.$$

Готують 5 замісів із В/Т, рівним 0,60; 0,62; 0,64; 0,66; 0,68.

Приймаємо В/Т = 0,64. Готують заміси з різною температурою. Значення С приймається у межах 1,0; 1,25; 1,5; 1,75 та 2. Приймаємо С = 1,5.

Густина пінобетонної суміші кг/дм³. Середня густина бетону у сухому стані $\gamma_{\text{Б}} = 0,544$. Комірковий бетон виявився важчим за заданий, тому визначаємо його основні характеристики.

Фактична густина розчину:

$$W = \frac{1+B/T}{\gamma_{\text{р}}} - B/T = \frac{1+0,64}{1,45} - 0,64 = 0,49 \text{ дм}^3/\text{кг}.$$

Фактична густина становить: $0,808 - 0,033 = 0,775 \text{ кг/дм}^3$,

а пористість: $P_{\text{Б}} = 1 - \frac{\gamma_{\text{БС}} - P_{\text{п}}}{\gamma_{\text{н}}} = 1 - \frac{0,775}{1,45} = 0,47$.

Для визначення у пінобетоні попередньо обчислюють об'єм пінобетонної суміші без урахування об'єму піни:

$$V = \frac{7,41}{0,775} = 9,56 \text{ дм}^3,$$

$$\alpha = \frac{0,47}{18 \cdot 0,333} \cdot 9,56 = 0,75.$$

Уточнюємо величину коефіцієнта зв'язаної води у комірковому бетоні:

$$K_C = \frac{\gamma_B}{\gamma_{BC} - P_n} \cdot (1 + B/T) = \frac{0,544}{0,808 - 0,033} \cdot 1,64 = 1,15.$$

Після уточнення виконуємо остаточний розрахунок:

$$P_B = 1 - \frac{\gamma_B}{K_c} \cdot (W + B/T) = 1 - \frac{0,5}{1,15} \cdot (0,49 + 0,64) = 0,495$$

Витрата робочого розчину ГК для 10 дм³ пінобетону:

$$P_{II} = \frac{0,495}{18 \cdot 0,75} = 0,367 \text{ кг.}$$

Таблиця 1.9 – Витрати сировини

Найменування	На 1 заміс	На 1 м ³ бетону
В'язуче	1,8	180
Вапно	0,9	90
Портландцемент	0,9	90
Зола	2,7	270
Мелений двоводний гіпс	0,027	2,7
Вода (загальна кількість)	2,88	288
Піноутворювач	0,367	36,7

1.6 Вибір обладнання та розрахунок необхідної кількості технологічних агрегатів

$$n = \frac{Q_{річ}}{\lambda \cdot K_{зм} \cdot K_{подр} \cdot q_r} = \frac{24000}{5840 \cdot 75 \cdot 0,66 \cdot 0,9} = 0,92 \approx 1,$$

де: $Q_{річ}$ – річна продуктивність;

q_r – годинна продуктивність обладнання;

$K_{зм}$ – коефіцієнт змінності;

$K_{подр}$ – коефіцієнт подрібнення.

Технічна характеристика валкового млина

Продуктивність – 8 т/год;

Окружна швидкість валків – 0,45 м/с;

Зазор між валками – 5-10 мм;

Потужність електродвигуна приводу – 44 кВт;

Габаритні розміри, мм:

довжина – 4796;

ширина – 2600;

висота – 1595.

Технічна характеристика пінобетонозмішувача

Продуктивність – 15 м³/год;

Маса – 2,9 т;

Точність дозування:

- цементу – 3 %;
- шламу – 1 %;
- води – 1 %.

Тиск стисненого повітря – 7 кгс/см²;

Об'єм бака для води – 100 л;

Встановлена потужність – 12 кВт;

Габаритні розміри:

довжина – 3800 мм;

ширина – 2200 мм;

висота – 4700 мм.

Технічна характеристика автоклава

Тип автоклава – прохідний.

Робочий тиск пари – 12 кгс/см²;

Діаметр обичайки – 3600 мм;

Довжина корпусу – 27000 мм;

Робочий об'єм – 275,4 м³;

Привід відкривання кришки – гідромеханічний;

Встановлена потужність – 10,5 кВт;

Габаритні розміри:

довжина – 29980 мм;

ширина – 4250 мм;
висота – 5902 мм;
маса – 133,5 т.

Технічна характеристика кульового млина $\varnothing 2 \times 10,5$ м

Продуктивність – 10-56 т/год;
Внутрішній діаметр – 1,9 м;
Довжина робочої частини барабана – 10,5 м;
Частота обертання млина від головного приводу – 20,83 об/хв;
від допоміжного – 0,15 об/хв;
Потужність електродвигуна головного приводу – 500 кВт;
Маса без електрообладнання – 97 т;
Завантаження мелючими тілами – 32 т.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз існуючих помольних систем та перспективи їх розвитку

Із розвитком науки, техніки та сучасних ресурсозберігаючих технологій у промисловості будівельних матеріалів постійно підвищуються вимоги до якості тонкоподрібнених матеріалів. У зв'язку з розробленням нових композиційних матеріалів виникає необхідність забезпечення високої питомої поверхні порошків, стабільного гранулометричного складу, мінімального вмісту сторонніх домішок та високої однорідності готового продукту. Це зумовлює безперервне удосконалення помольного обладнання, розширення номенклатури помольних агрегатів та створення нових високоефективних помольних систем.

Переважаюча частина порошкоподібних матеріалів подрібнюється у помольних агрегатах, де реалізуються механічні способи руйнування матеріалу: роздавлювання, стирання, удар або комбінований вплив зазначених факторів. Відомі агрегати, що використовують інші принципи подрібнення – електрогідравлічний, кавітаційний або ультразвуковий способи – через відносно невелику потужність генерованих коливань та незначну довжину пружних хвиль придатні переважно для обробки м'яких матеріалів.

Помольні агрегати та технологічні системи класифікують за призначенням і ступенем подрібнення. Одні установки призначені для грубого помелу, інші – для тонкого або надтонкого подрібнення. Кожен тип агрегату має певний оптимальний діапазон дисперсності, у межах якого процес помелу є найбільш ефективним та характеризується мінімальними питомими енерговитратами.

Аналіз обладнання для подрібнення абразивних та кремнеземистих матеріалів показує, що енергоємність процесу істотно залежить від типу помольного агрегату. Для бігунів, призначених для дроблення, енергонасиченість становить приблизно 1 кВт/т. Для щоківих та валкових дробарок, які застосовуються для грубого подрібнення, енерговитрати досягають 10 кВт/т. У кульових та трубних млинах середнього і тонкого помелу

питомі витрати електроенергії складають близько 24 кВт·год/т. Віброкавітаційні агрегати для мокрого надтонкого помелу характеризуються енерговитратами на рівні 64 кВт·год/т, а струминні та конусні млини сухого надтонкого подрібнення – до 128 кВт·год/т.

У сучасних технологіях безвипалювального виробництва, які базуються на тонкому та надтонкому подрібненні кремнеземистих шихт, до якості готового продукту висуваються підвищені вимоги. Необхідно забезпечити високу дисперсність матеріалу з питомою поверхнею понад 400–700 м²/кг, а також мінімальний вміст металевих домішок. При цьому існуючі технології подрібнення характеризуються значними витратами електроенергії, які можуть перевищувати 100 кВт·год/т.

Існуючі помольні системи, що використовуються на підприємствах промисловості будівельних матеріалів, умовно поділяють на дві основні групи. До першої групи належать системи одностадійного помелу, у яких подрібнення здійснюється в одному агрегаті із використанням конструктивних та технологічних рішень, спрямованих на інтенсифікацію процесу. Прикладом можуть бути барабанні млини або подрібнювально-вальцьові установки, що працюють у замкненому циклі.

До другої групи належать багатостадійні системи помелу, у яких матеріал послідовно проходить декілька стадій подрібнення у різних агрегатах. Такі системи забезпечують більш стабільний гранулометричний склад готового продукту та вищу ефективність процесу. Типовою схемою є використання щоклової або конусної дробарки для попереднього подрібнення із подальшим домелюванням матеріалу у барабанному млині відкритого або замкненого циклу.

Розвиток сучасних помольних агрегатів спрямований не лише на удосконалення процесу подрібнення, а й на поєднання декількох технологічних операцій в одному агрегаті. У сучасних помольних системах широко використовуються установки із суміщенням процесів сушіння та помелу, змішування та механічної обробки матеріалів. При цьому особлива увага

приділяється зменшенню металомісткості обладнання, зниженню питомих енерговитрат та підвищенню коефіцієнта корисної дії машин.

У промисловості будівельних матеріалів при помелі вапняно-силікатних шихт, які використовуються для виробництва силікатної цегли, газосилікату та інших матеріалів, широко застосовуються барабанні млини із параметрами $D \times L = 1,5-5,6$ м, потужністю електроприводу 130 кВт та продуктивністю 8–9,5 т/год. Також використовуються агрегати з розмірами $D \times L = 2,0 \times 10,5$ м, потужністю 380 кВт та продуктивністю 10–17 т/год.

Для подрібнення матеріалів у виробництві тонкої кераміки та скла застосовують вібраційні млини, які забезпечують середньозважений розмір частинок менше 60 мкм. Такі млини характеризуються об'ємом робочої камери 0,23 м³, амплітудою коливань 4 мм, частотою 1500 кол/хв, потужністю електроприводу 28 кВт та продуктивністю близько 0,5 т/год.

Барабанні млини періодичної дії широко використовуються при мокрому помелі кварцу, польового шпату, шамоту та інших кремнеземистих матеріалів. Типові агрегати мають продуктивність 7 т/год, потужність приводу 160 кВт та забезпечують тривалість помелу від 5 до 12 годин.

Перспективні технології із використанням тонкоподрібнених кремнеземистих шихт застосовуються у виробництві теплоізоляційних матеріалів, вогнетривів за безвипалювальною технологією, рідкого скла, декоративних облицювальних плиток, силікатних фарб та архітектурно-художніх виробів.

Серед перспективних напрямів розвитку помольного обладнання слід відзначити використання барабанних млинів із енергообмінними пристроями, агрегатів високого тиску, пружинних апаратів для механічної активації та подрібнення будівельних матеріалів.

У зв'язку з розвитком малотоннажних виробництв та технологій, орієнтованих на отримання особливо чистих матеріалів, набувають розвитку нові способи подрібнення: електрогідравлічний, ультразвуковий, гравітаційний,

подрібнення за допомогою швидкозмінних температурних режимів та світлового променя.

У науково-технічній літературі існують різні погляди щодо перспектив розвитку помольного обладнання. Одні дослідники вважають найбільш перспективними струминні млини, інші – валкові та відцентрові агрегати. Аналіз сучасного стану техніки показує, що на сьогодні не існує універсального помольного агрегату, здатного ефективно забезпечити необхідний діапазон дисперсності для всіх типів матеріалів.

У сучасній промисловості будівельних матеріалів поряд із іншими помольними агрегатами широко застосовуються барабанні, вібраційні та струминні млини різних типорозмірів. Барабанні млини характеризуються простотою конструкції, високою надійністю та можливістю подрібнення матеріалів із широким спектром фізико-механічних властивостей. Проте вони мають значні питомі енерговитрати – понад 40–100 кВт·год/т, значний знос мелючих тіл та порівняно низький коефіцієнт корисної дії.

Вібраційні та струминні млини забезпечують можливість отримання надтонкого помелу, однак характеризуються невисокою продуктивністю та потребують попередньої підготовки матеріалу.

Одним із ефективних способів зниження енерговитрат є використання стадії попереднього подрібнення матеріалу, що дозволяє зменшити витрати електроенергії на 20–40 %. В останні десятиліття спостерігається тенденція до застосування агрегатів високого тиску для попереднього подрібнення дрібнокускових та зернистих матеріалів.

Особливий інтерес становить використання подрібнювально-вальцьових установок для обробки кремнеземистих матеріалів, зокрема кварцового піску, який широко застосовується у виробництві вогнетривів, рідкого скла, теплоізоляційних матеріалів, силікатної цегли, газосилікату та інших будівельних виробів.

2.2 Можливості використання валкового млина для отримання високодисперсних матеріалів

Процес отримання високодисперсних матеріалів у найбільш поширених барабанних, вібраційних та струминних млинах, як уже зазначалося раніше, супроводжується значними питомими енерговитратами. У цементній промисловості при помелі сировинних матеріалів та клінкеру у барабанних млинах витрати електроенергії становлять 50–60 % від загального енергоспоживання технологічного процесу. При цьому зі збільшенням дисперсності готового продукту різко знижується продуктивність помольного обладнання, а сумарні витрати електроенергії суттєво зростають.

Для великого дроблення питомі енерговитрати становлять 10,8–14,4 Дж/г, для дрібного дроблення – 18–21,6 Дж/г, для помелу – 72–108 Дж/г, а для тонкого помелу – 360–3600 Дж/г. Наведені дані підтверджують високу енергоємність процесу подрібнення та необхідність удосконалення існуючих помольних систем.

Аналіз експлуатаційних показників різних помольних агрегатів свідчить про перспективність використання валкових установок для подрібнення кремнеземистих матеріалів. Одним із найбільш ефективних агрегатів високого тиску, що набув широкого поширення протягом останніх десятиліть у Німеччині та інших країнах світу, є подрібнювально-валкова установка (ПВУ). Даний агрегат був розроблений професором Шернером у 1979 році та вперше впроваджений у промислову експлуатацію у середині 1980-х років для подрібнення цементного клінкеру.

Для встановлення можливості ефективного використання ПВУ необхідно визначити основні особливості процесу подрібнення у даних агрегатах. Основною відмінністю є те, що подрібнення шару матеріалу відбувається у замкненому просторі. У результаті руйнування здійснюється переважно шляхом взаємного руйнування частинок та зерен матеріалу у всьому об'ємі шару, а не внаслідок удару або стирання об робочі органи, як це має місце у барабанних млинах.

Такий механізм подрібнення дозволяє значно знизити інтенсивність зношування робочих поверхонь обладнання та одночасно підвищити продуктивність агрегату. Матеріал після проходження через валки виходить у вигляді ущільненої агломерованої стрічки, яка складається зі спресованих зерен та характеризується значним вмістом дрібних фракцій.

Подрібнений матеріал характеризується наявністю великої кількості мікротріщин, які утворюються внаслідок міжзернового стискання. Порівняно із традиційними методами дроблення кількість мікротріщин у зернах гірських порід крупністю від 2 до 0,075 мм збільшується у 2–5 разів залежно від типу матеріалу. Найбільша концентрація мікродефектів спостерігається переважно у фракції +0,15 мм.

На сьогодні ПВУ широко застосовуються для подрібнення цементного клінкеру, вапняку, шлаків, золотовмісних руд та інших техногенних матеріалів. Назва даного типу обладнання обумовлена значними зусиллями стискання, які створюються валками та досягають 3000–20000 кН.

Результати експериментальних і теоретичних досліджень, проведених у сфері обробки матеріалів тиском, підтверджують перспективність удосконалення процесів подрібнення у валкових агрегатах. Проведені дослідження свідчать про можливість суттєвого зниження енерговитрат при одночасному підвищенні продуктивності помольних систем.

За даними компанії «KRUPP POLYSIUS», ПВУ типу «POLYCOM» забезпечують отримання питомої поверхні цементного клінкеру до 500 м²/кг, а шлаку – до 480 м²/кг. Проте у більшості випадків дані агрегати використовуються для попереднього помелу матеріалу з подальшим допомелом у барабанних млинах.

Агрегати, які застосовуються у цементній та рудній промисловості, забезпечують продуктивність до 75000 кг/год при питомій поверхні матеріалу 480 м²/кг за Блейном. При цьому витрати електроенергії приблизно на 40 % нижчі порівняно із барабанними млинами.

Необхідна питома поверхня готового продукту може регулюватися зміною окружної швидкості валків. Так, при швидкості 1,5 м/с забезпечується отримання питомої поверхні близько 350 м²/кг, а при швидкості 1 м/с – близько 500 м²/кг.

Для різних матеріалів використання ПВУ дозволяє забезпечити зниження питомих енерговитрат на 20–40 %, а також підвищити продуктивність барабанних млинів на 15–30 %. Питомі витрати електроенергії при попередньому подрібненні клінкеру у ПВУ у 1,5–2 рази нижчі порівняно із барабанними млинами аналогічної тонкості помелу.

Можливість зниження енерговитрат за рахунок раціональної організації процесу подрібнення та дезагломерації ущільненої стрічки створює передумови для подальшого удосконалення ПВУ та їх адаптації до переробки дрібнозернистих матеріалів.

Підвищення ефективності роботи ПВУ можливе шляхом використання різних технологічних і конструктивних рішень: оптимізації процесу дезагломерації, застосування вібраційної обробки, використання поверхнево-активних речовин, зміни режимів навантаження та вдосконалення систем подачі матеріалу.

2.3 Перспективи розвитку валкових млинів

Основними світовими виробниками подрібнювально-вальцьових установок є німецькі компанії «Krupp Polysius» та «Humboldt Wedag». В Україні питаннями проєктування, дослідження та виготовлення ПВУ займаються спеціалізовані машинобудівні підприємства та науково-дослідні організації.

Конструктивно ПВУ являє собою агрегат, що складається з пари валків, переважно циліндричної форми, обладнаних індивідуальними приводами. Валки встановлюються у підшипникових опорах рамної конструкції, причому один або обидва валки мають можливість рухомого встановлення.

Газогідравлічна система амортизації забезпечує створення необхідного тиску у зоні подрібнення та компенсацію динамічних навантажень, які виникають у процесі роботи агрегату.

Над валками розташований бункер висотою до 3 м, який створює необхідний підпір матеріалу та забезпечує його рівномірну подачу у міжвалковий простір. Подрібнений матеріал після проходження через валки виходить у вигляді ущільненої стрічки.

На сьогодні створені ПВУ продуктивністю від 90 до 700 т/год при подрібненні клінкеру та до 1500 т/год при переробці золотовмісних руд. Діаметр валків становить 0,7–2 м, ширина – до 1 м, окружна швидкість валків – до 1,6 м/с, а потужність електроприводу складає 300–2500 кВт.

Незважаючи на відносну конструктивну простоту, процес подрібнення у ПВУ є складним механотехнологічним процесом, ефективність якого визначається фізико-механічними характеристиками матеріалу, конструктивними особливостями агрегату та режимами його роботи.

Одним із найбільш актуальних напрямів удосконалення ПВУ є забезпечення рівномірного та безперервного живлення валків матеріалом по всій ширині робочої поверхні. Це дозволяє зменшити локальне зношування валків, підвищити стабільність процесу подрібнення та забезпечити більш рівномірний гранулометричний склад готового продукту.

Важливим напрямом удосконалення є створення оптимальних умов для об'ємно-зсувного деформування шихти, що дозволяє інтенсифікувати процес руйнування матеріалу та знизити питомі енерговитрати.

До ефективних способів механотехнологічної інтенсифікації процесу подрібнення належать використання поверхнево-активних речовин, які забезпечують розклинювальну дію у мікротріщинах, багаторазовий силовий вплив на частинки матеріалу та організація внутрішнього рециркулю подрібнюваного продукту.

Процес живлення валкових агрегатів завжди знаходився у центрі уваги дослідників. Найпростішим варіантом живильника є бункер висотою 2–3 м, вихідна течка якого безпосередньо спрямована у міжвалковий простір.

Для забезпечення рівномірного завантаження валків були розроблені конструкції бункерів із регульованою шириною потоку матеріалу, а також спеціальні підвідні пристрої для подачі матеріалу у робочу зону.

Дослідження, проведені фірмою «Krupp Polysius», показали доцільність подачі дрібних фракцій та недоподрібненого матеріалу безпосередньо на поверхню валків для створення самофутерівного шару. Такий підхід дозволяє знизити інтенсивність зношування робочих поверхонь та підвищити ефективність подрібнення.

Для покращення підпору матеріалу та забезпечення його рівномірної подачі були розроблені конструкції бункерів із безпосередньо підвідними органами у міжвалковий простір.

Перспективи подальшого розвитку ПВУ пов'язані із підвищенням енергоефективності, удосконаленням конструкції валків, автоматизацією технологічних процесів, створенням комбінованих помольних систем та розробленням нових методів механічної активації матеріалів.

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Проведений аналіз умов експлуатації помольного агрегату, наведений у першому розділі, дозволив встановити основні перспективні напрями конструктивно-технологічного вдосконалення подрібнювально-вальцьових установок. До основних напрямів належать: забезпечення рівномірного живлення та розподілення матеріалу по ширині валків, попереднє ущільнення і руйнування шару матеріалу, а також застосування ефективних технологічних процесів дезагломерації спресованих пластин подрібненого матеріалу після виходу з ПВУ. Позитивні результати щодо підвищення ефективності роботи ПВУ можуть бути досягнуті при використанні вібраційного ущільнення подрібнюваних матеріалів.

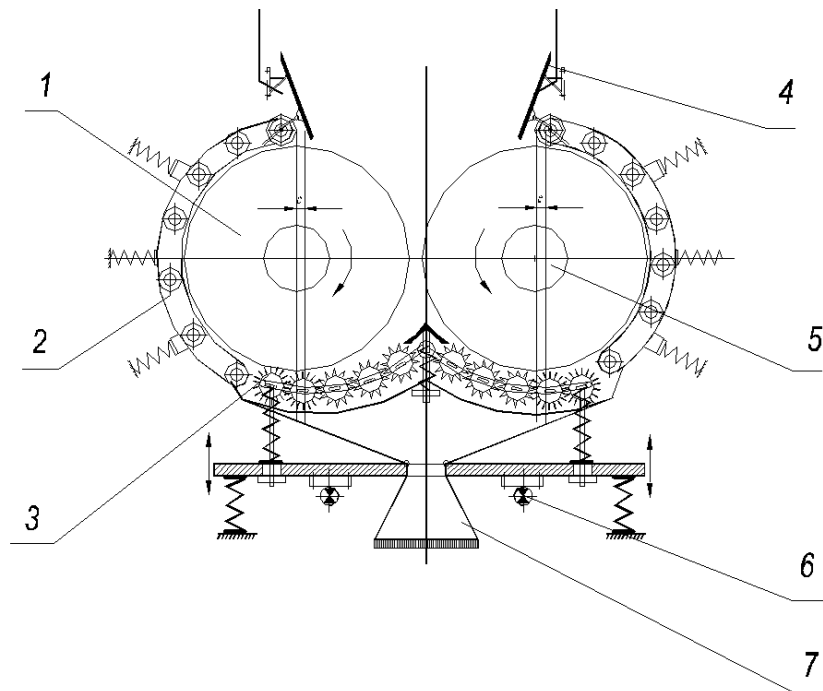
Для розширення номенклатури матеріалів, які можуть перероблятися у ПВУ, на основі проведених досліджень та пошукових експериментів було вирішено застосувати агрегат високого тиску з вібраційним дезагломерувальним пристроєм.

Така конструкція ПВУ з вібраційним дезагломерувальним пристроєм забезпечує ущільнення шихти за рахунок звужувального зазору, що сприяє підвищенню ступеня подрібнення матеріалу; дезагломерацію спресованої стрічки подрібненого продукту; класифікацію та повернення недоподрібненого матеріалу на повторне подрібнення.

Залежно від фізико-механічних властивостей матеріалу спресована стрічка у процесі транспортування може частково дезагломеруватися. Проте дрібнодисперсні частинки готового продукту залишаються достатньо міцно зв'язаними між собою, у зв'язку з чим процес їх дезагломерації та подальшої класифікації є ускладненим.

Найбільш повно процес дезагломерації реалізується у гідравлічному дезагломераторі. Однак після його застосування ускладнюється класифікація та подальша обробка матеріалу у технологічному процесі, особливо при сухому

способі виробництва. Саме тому запропонований спосіб дезагломерації спресованої стрічки матеріалу із використанням вібраційного впливу.



- 1 – валки; 2 – пристрій повернення матеріалу для доподрібнення;
 3 – дезагломеруючий пристрій; 4 – рухливі щоби для розподілення матеріалу;
 5 – приводні вали; 6 – вібратори; 7 – віброжолоб із ситом.

Рисунок 2.1 – ПВУ з вібраційним передущільнювальним та дезагломеруючим пристроями та пристосуванням для класифікації та повернення недоподрібненого матеріалу

Вібраційний дезагломерувальний пристрій розташовується під валками ПВУ та повторює поверхню одного з валків – нерухомого. Пристрій виконує декілька функцій: після завершення зони розширення спресованої стрічки хвостовик ВДУ руйнує її та спрямовує на робочу поверхню дезагломератора; за рахунок коливань робочого органу ВДУ, перпендикулярних до радіус-вектора криволінійної поверхні, а також унаслідок обертання валка створюються розривні зусилля в агломераті, що забезпечують ефективний процес дезагломерації.

Процес дезагломерації є особливо необхідним у тих випадках, коли у технологічній лінії безпосередньо після ПВУ передбачена класифікація матеріалу. У технологічних лініях, де після ПВУ здійснюється додатковий домел матеріалу, дезагломерація дозволяє скоротити тривалість домелювання на 10–20 хвилин та знизити питомі енерговитрати процесу.

3.1 Розрахунок основних конструктивно-технологічних параметрів валкового млина

З урахуванням отриманої інформації про проведені теоретичні та експериментальні дослідження, виконано розрахунок основних елементів ПВУ для тонкодисперсного подрібнення.

Кінематичний розрахунок привода ПВУ

Продуктивність ПВУ

Маса стрічки готового продукту становитиме:

$$m = \rho_{\text{бр}} \cdot V,$$

де $\rho_{\text{бр}}$ – густина стрічки, $\rho_{\text{бр}} = 1800 \text{ кг/м}^3$;

V – об'єм стрічки, $V = 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$.

$$m = 1800 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 0,036 \text{ кг.}$$

З урахуванням підвищення тиску ($P = 32 \text{ МПа}$) приймаємо робочі елементи циліндричного типу, для яких $\phi_{\text{жз}} = 0,92$.

Продуктивність подрібнювача

$$Q = m \cdot i \cdot n,$$

де n – число обертів вальців, $n = 0,1 \text{ с}^{-1}$

$$Q = 0,036 \cdot 245 \cdot 0,1 = 0,882 \text{ (кг/с)} = 3,2 \text{ (т/год).}$$

Розрахунок потужності.

Потужність привода ПВУ, що витрачається на подрібнення шихти, розраховується за формулою

$$N = \frac{M_{\text{кр}} \cdot \omega}{\eta}$$

де $M_{\text{кр}}$ – крутний момент, Н·м;

ω – кутова швидкість;

η – ККД привода.

$$M_{\text{кр}} = T \cdot R_0$$

де T – окружне зусилля,

$$T = 2P' \cdot \sin \theta$$

де P' – розпірне зусилля,

$$P' = P \cdot S \cdot k$$

де P – розпірний тиск;

S – площа робочого елемента;

$$P = 300 \cdot 3,4 \cdot 3,6 \cdot 7 \cdot 10 = 250000 \text{ (Н)}$$

$$T = 2 \cdot 250000 \cdot \sin \theta = 35000 \text{ (Н)}$$

$$M_{\text{кр}} = 35000 \cdot 0,222 = 7800 \text{ (Н·м)}$$

$$N = \frac{7800 \cdot 0,628}{0,85} = 5700 \text{ (Вт)}$$

За величиною $M_{\text{кр}}$ вибираємо редуктор Ц-2У-450Н-50-21-43 з номінальним крутним моментом на тихохідному валу $M_{\text{кр}} = 15900 \text{ Н·м}$ та передаточним відношенням $i = 50$.

Для привода ПВУ вибираємо електродвигун типу 4А180М8/730 з частотою обертання ротора $n_{\text{ел}} = 750 \text{ хв}^{-1} = 12,5 \text{ с}^{-1}$, потужністю електродвигуна $N_{\text{ел}} = 15 \text{ кВт}$.

Розрахунок валу валків

Зусилля, що діє на підшипники валків:

$$\begin{aligned} P_{\text{мах}} &= \frac{2}{3} R_0 \cdot B \cdot \bar{P} \cdot (\alpha_{\text{упл}} + \alpha_{\text{упр}}) = \\ &= \frac{2}{3} \cdot 0,222 \cdot 0,25 \cdot 30 \cdot 10^6 \cdot 2,09 = 2,3 \cdot 10^6 \text{ (Н)} \end{aligned}$$

Розрахунок валу здійснюємо виходячи із знайдених значень $P_{\text{мах}} = 2,3 \cdot 10^6 \text{ (Н)}$ і $M_{\text{кр}} = 78000 \text{ (Н·м)}$

Розглянемо навантаження валу:

Площина X–X:

$$\sum M_a = P_{\max} \cdot \frac{c}{2} - B_x \cdot c = 0$$

$$B_x = A_x = \frac{P_{\max} \cdot c}{2 \cdot c} = 1,15 \cdot 10^6 \text{ (Н)}$$

Площина Y–Y:

Маса валка:

$$G_B = \frac{\pi D^2}{4} \cdot B \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot g = 8.829 \text{ (кН)}$$

$$A_y = B_y = \frac{G_B}{2} = 4415 \text{ (Н)}$$

Згинальні моменти:

1. Площина X–X:

$$M_{3Г} = c/2 \cdot A_x = 0,4 \cdot 1,15 \cdot 10^6 = 0,46 \cdot 10^6 \text{ (Н·м)};$$

2. Площина Y–Y:

$$M_{3Гy} = c/2 \cdot A_y = 0,4 \cdot 4415 = 1766 \text{ (Н·м)};$$

Сумарний згинальний момент:

$$M_{3Г} = \sqrt{M_{3Гx}^2 + M_{3Гy}^2} = 460003 \text{ (Н·м)}$$

Приведений момент:

$$M_{\text{пр}} = \sqrt{M_{3Г}^2 + M_{\text{кр}}^2} = \sqrt{460003^2 + 7800^2} = 460070 \text{ (Н·м)}$$

Як матеріал валу приймаємо сталь 40Х покращену з допустимим напруженням $[\sigma_{3Г}] = 1000 \text{ кгс/см}^2$.

Діаметр валу в небезпечному перерізі

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 M_{\text{кр}}}{[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 460070}{100 \cdot 10^6}} = 0,107 \cdot 10^3 \text{ (мм)}$$

Приймаємо $d = 0,11 \text{ (м)}$

Виконаємо розрахунок валу на жорсткість.

Кут нахилу пружної лінії у розрахунковому перерізі

$$\theta = \frac{Q \cdot l^2}{10^6 \cdot d^4} \cdot K_{\theta}$$

Прогин, де Q – кгс, – рад., d та y – см.

$$y = \frac{Q \cdot l^3}{10^6 \cdot d^4} \cdot K_y$$

Площина X – X:

$$Q_{PX} = \frac{P_X \cdot l^2}{10^6 \cdot d^4} K_0 = \frac{2.3 \cdot 10^5 \cdot 80^2 \cdot 0.7}{10^6 \cdot 35^4} = 0,00068 \text{ (рад)}$$

Площина Y – Y:

$$Q_{GY} = \frac{G_X \cdot l^2}{10^6 \cdot d^4} K_0 = \frac{883 \cdot 80^2 \cdot 0.7}{10^6 \cdot 35^4} = 2.6 \cdot 10^{-6} \text{ (рад)}.$$

Для конічних роликотіщинників допустиме значення $Q_{max} \leq 0,0016$ рад.

Прогин у розрахунковому перерізі

Площина X-X:

$$y_1 = \frac{P_X \cdot l^3}{10^6 \cdot d^4} K_Y = \frac{2.3 \cdot 10^5 \cdot 80^3 \cdot 0.175}{10^6 \cdot 35^4} = 0.0137 \text{ (см)};$$

Площина Y-Y:

$$y_2 = \frac{G_X \cdot l^3}{10^6 \cdot d^4} = \frac{883 \cdot 80^3}{10^6 \cdot 35^4} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ (см)}.$$

$$\sum y = y_1 + y_2 = 0,014$$

Допустима величина не повинна перевищувати (0,00015 0,0005) відстані між опорами $y/l = 0.014/80 = 0.00018$.

Прогин валу під муфтою

$$y_{px} = \text{ctg } p_x l_1 = \text{ctg } 0,00068 \cdot 17 = 0,0129 \text{ (см)};$$

$$y_{Gv} = \text{ctg } G_y l_1 = \text{ctg } 2.6 \cdot 10^{-6} \cdot 17 = 1.6 \cdot 10^{-4} \text{ (см)};$$

$$y = y_{px} + y_{Gv} = 0,0129 + 1,6 \cdot 10^{-4} = 0,0131 \text{ (см)};$$

Установлення кулачкової муфти дозволяє компенсувати прогин при відношенні до 30'. Результати розрахунків валу показали, що достатня жорсткість валу забезпечується.

Діаметр валу під муфтою розраховуємо виходячи з $M_{кр} = 7800$ (Н·м).

$$d_M = \sqrt[3]{\frac{10 M_{кр}}{[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 7800}{100 \cdot 10^6}} = 0,08 \text{ (м)}.$$

З урахуванням короточасних перевантажень при потраплянні між двома валами недробимих тіл приймаємо $d = 80$ (мм).

Виходячи з конструктивних міркувань, діаметр валу під підшипником приймаємо $d = 90$ (мм).

Підбір підшипників валу валків

Діаметр валу під підшипники становить 90 мм. Кутова швидкість валу дорівнює 0,628 рад/с. Сумарна опорна реакція для опори В:

$$P_B = 1,15 \cdot 10^6 \text{ (Н)}.$$

Приймаємо $K_\delta = 2$, оскільки навантаження супроводжуються значними поштовхами та вібраціями, а короткочасні перевантаження можуть сягати 200 % від розрахункового навантаження.

$K_k = 1$, оскільки обертається внутрішнє кільце.

$$K_T = 1$$

$$Q_L = Q_6 = 1,15 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 2,3 \cdot 10^6 \text{ (Н)};$$

З урахуванням рекомендацій приймаємо довговічність підшипників $h = 10000$ годин.

Необхідний коефіцієнт працездатності підшипників опор:

$$C = 0,2 \cdot Q \cdot (h)^{0,3} = 6,3 \cdot 10^6;$$

За відношенням c/Q визначаємо довговічність підшипників: $c/Q = 2,7$,
 $L_h = 1000000$.

Приймаємо підшипник роликовий конічний дворядний ДСТУ ГОСТ 3478:2018 легкої серії № 97530 з $C = 950000$ та $\alpha = 14-16^\circ$.

Розрахунок діаметрів валів привода

Діаметри валів розраховують на кручення за зниженими допустимими напруженнями за формулою:

$$10^3 T = W_p[\tau] = \frac{\pi}{16} d^3[\tau],$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 10^3 \cdot T}{\pi[\tau]}};$$

$$d = c \sqrt[3]{T};$$

при $[\tau] = 10-25$ (Н/мм²) коефіцієнт $c = 6-8$.

Загальне передаточне число привода

$$U_{\text{заг}} = \frac{n_{\text{ел}}}{n_{\text{вих}}} = \frac{750}{6} = 125$$

$U_{\text{заг}} = U_{\text{ред}} \cdot U_{\text{вар}}$, де $U_{\text{ред}} = 50$, тоді

$$U_{\text{вар}} = \frac{U_{\text{заг}}}{U_{\text{ред}}} = \frac{125}{50} = 2,5$$

Момент на тихохідному валу редуктора

$$T_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{кр}}}{\eta_{\text{шв}}} = \frac{7800}{0,92} = 8478 \text{ (Н*м)}.$$

Діаметр тихохідного валу редуктора

$$d_{\text{тр}} = \sqrt[3]{8478} = 122 \text{ (мм)},$$

приймаємо $d_{\text{тр}} = 125 \text{ (мм)}$.

Момент на швидкохідному валу редуктора

$$T_{\text{шв}} = \frac{T_{\text{тр}}}{U_{\text{ред}}} = \frac{8478}{50} = 170 \text{ (Н*м)};$$

Діаметр швидкохідного валу редуктора

$$d_{\text{шр}} = \sqrt[3]{170} = 33 \text{ (мм)},$$

приймаємо діаметр $d_{\text{бр}} = 35 \text{ (мм)}$.

Момент на тихохідному валу варіатора

$$T_{\text{т.вар}} = \frac{T_{\text{шр}}}{\eta_{\text{м}}} = \frac{170}{0,98} = 173 \text{ (Н*м)}.$$

Діаметр тихохідного валу варіатора

$$d_{\text{ТВ}} = \sqrt[3]{173} = 33,1 \text{ (мм)},$$

приймаємо $d_{\text{ТВ}} = 35 \text{ (мм)}$.

Момент на швидкохідному валу варіатора

$$M_{\text{шв}} = \frac{T_{\text{ТВ}}}{U_{\text{вар}}} = \frac{173}{2,5} = 69,2 \text{ (Н*м)}.$$

Діаметр швидкохідного валу варіатора

$$d_{\text{шв}} = \sqrt[3]{69,2} = 24 \text{ (мм)},$$

приймаємо $d_{\text{ТВ}} = 25 \text{ (мм)}$.

Розрахунок вузла амортизації

Вузол амортизації валкового преса розраховуємо виходячи з розпірного зусилля $P_{\max} = 2.5 \cdot 10^5$ (Н), що діє на підшипники. Величина розпірного зусилля дозволяє виконати вузол амортизації пружинного типу; приймаємо кількість здвоєних пружин рівною восьми.

Величина зусилля, що діє на пружинну пару:

$$P'_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{8} = \frac{2.5 \cdot 10^5}{8} = 31250 \text{ (Н)}.$$

Сила, що діє на пару пружин при максимальній деформації

$$P'_{\Delta MAX} = \frac{P'_{MAX}}{1-\delta},$$

де δ – відносний інерційний зазор пружини; для пружин стиску I та II класу $\delta = 0,05-0,25$, приймаємо $\delta = 0,25$; (Н)

$$P'_{MAX} = \frac{31250}{1-0.25} = 41667$$

Приймаємо індекс пружини ($c = D_0/d$) $c = 5$.

Діаметр зовнішньої пружини приймаємо $D_{01} = 190$ (мм), тоді діаметр внутрішньої пружини

$$D_{02} = \sqrt{\frac{P'_{\Delta MAX} \cdot c^3}{0.4[\tau]} - D_{01}^2} = \sqrt{\frac{41667 \cdot 5^3}{0.4 \cdot 750}} - 190 = 129 \text{ (мм)},$$

де $[\tau]$ – допустиме дотичне напруження для сталі 50ХФА $[\tau] = 750$ (Н/мм²), приймаємо $D_{02} = 130$ (мм).

Діаметри дроту

$$d_1 = \frac{D_{01}}{c} = \frac{190}{5} = 38 \text{ (мм)},$$

$$d_2 = \frac{D_{02}}{c} = \frac{130}{5} = 26 \text{ (мм)},$$

Максимальні навантаження P_{31} та P_{32} на пружини визначаємо із сумісного розв'язання системи рівнянь

$$\left\{ \begin{array}{l} P'_{\Delta MAX} = P_{31} + P_{32} \\ \frac{P_{31}}{P_{32}} = \frac{D_1^2}{D_2^2} \end{array} \right\} \Rightarrow P_{31} = \frac{P'_{\Delta MAX} \cdot D_1^2}{D_1^2 + D_2^2}$$

Для більшого та меншого діаметрів відповідно:

$$P_{31} = \frac{41667 \cdot 190^2}{190^2 + 130^2} = 28380 \text{ (Н)};$$

$$P_{32}=P-P_{31}=41667-28380=13287 \text{ (Н)}.$$

Податливість одного витка

$$\lambda' = \frac{8c^3}{Gd}$$

де G – модуль зсуву для пружинної сталі, $G = 8 \cdot 10^4 \text{ (Н/мм}^2\text{)}$

$$\lambda' = \frac{8c^3}{Gd_1} = \frac{8 \cdot 5^3}{8 \cdot 10^4 \cdot 38} = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ (мм/Н)}, \lambda' = \frac{8c^3}{Gd_2} = \frac{8 \cdot 5^3}{8 \cdot 10^4 \cdot 26} = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ (мм/Н)}.$$

Сили пружини при номінальній деформації: $P_2=P_3(1-\delta)$

Для більшого та меншого діаметрів відповідно:

$$P_{21}=P_3 \cdot (1-\delta)=28380 \cdot (1-0,25)=21285 \text{ (Н)};$$

$$P_{22}=P_3 \cdot (1-\delta)=13287 \cdot (1-0,25)=9965 \text{ (Н)}.$$

Сила пружини при попередній деформації: $0,1P_3 \leq P_1 \leq 0,5P_3$

Для більшого та меншого діаметрів відповідно:

$$P_{11}=0,2 \cdot P_{31}=0,2 \cdot 28380=5676 \text{ (Н)};$$

$$P_{12}=0,2 \cdot P_{32}=0,2 \cdot 13287=2657 \text{ (Н)}.$$

Задаємося робочим ходом пружини: $h_1 = h_2 = 72 \text{ (мм)}$.

Найбільшу швидкість переміщення рухомого кінця пружини приймаємо з урахуванням окружної швидкості валків $V_{cp} = 0,59 \text{ (м/с)}$ та можливості захоплення недробимих включень з $d_{max} = 2 \text{ (м/с)}$,

$$V_1 = V_2 = 2 \text{ (м/с)}.$$

З урахуванням циклічно-статичного навантаження пружин витривалість становить $N_{таб} = 1 \cdot 10^5$ циклів. Пружини відповідають II класу.

Критична швидкість пружини стиску:

$$V_{кр} = \frac{\tau_3 \left(1 - \frac{P_2}{P_3}\right)}{\sqrt{2 \cdot G \cdot \rho}}$$

де $\rho = 8 \cdot 10^{-10} \text{ (кгс} \cdot \text{с}^2/\text{мм}^4\text{)}$ – густина пружинної сталі;

$\tau_3 = 75 \text{ (кгс/мм}^2\text{)}$ – максимальне дотичне напруження при крученні.

Критичні швидкості стиску пружин

$$V_{кр} = \frac{\tau_3 \left(1 - \frac{P_2}{P_3}\right)}{\sqrt{2 \cdot G \cdot \rho}} = \frac{75 \cdot (1 - 0,468)}{\sqrt{2 \cdot 8 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 10^{-10}}} = 11,15 \text{ (м/с)}$$

$$\frac{V_1}{V_{кр}} = \frac{V_2}{V_{кр}} = \frac{2}{11,15} < 1,$$

що свідчить про відсутність співударяння витків пружини.

Жорсткість пружини, Н/мм,

$$z = \frac{P_2 - P_1}{h}$$

для більшого та меншого діаметрів відповідно

$$z = \frac{P_{21} - P_{11}}{h_1} = \frac{21285 - 5676}{72} = 217 \text{ (Н/мм)};$$

$$z = \frac{P_{22} - P_{12}}{h_2} = \frac{9965 - 2657}{72} = 101.5 \text{ (Н/мм)}.$$

Робоче число витків пружини: $n = \frac{h}{\lambda_1(P_2 - P_1)}$

для більшого та меншого діаметрів відповідно:

$$n_1 = \frac{h_1}{\lambda_1'(P_{21} - P_{11})} = \frac{72}{3.3 \cdot 10^{-4} \cdot (21285 - 5676)} = 14 \text{ (витків)};$$

$$n_2 = \frac{h_2}{\lambda_{12}'(P_{22} - P_{12})} = \frac{72}{4.8 \cdot 10^{-4} \cdot (9965 - 2657)} = 20 \text{ (витків)}.$$

При півтора неробочих витках повне число витків: $n' = n + (1.5 \dots 2)$

Для більшого та меншого діаметрів відповідно:

$$n'_1 = n_1 + 1.5 = 16 \text{ (витки)};$$

$$n'_2 = n_2 + 1.5 = 22 \text{ (витки)}.$$

Пружне стискання під дією сили P_3 : $\lambda_{MAX} = \lambda_1 \cdot n \cdot P_3$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$\lambda_{MAX1} = \lambda_1' \cdot n_1 \cdot P_{31} = 3.3 \cdot 10^{-4} \cdot 14 \cdot 28380 = 131 \text{ (мм)};$$

$$\lambda_{MAX2} = \lambda_2' \cdot n_2 \cdot P_{32} = 4.8 \cdot 10^{-4} \cdot 20 \cdot 13287 = 128 \text{ (мм)}.$$

Крок пружини: $t = d + \frac{(1,1 \dots 1,2) \cdot \lambda_{max}}{h}$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$t_1 = d_1 + \frac{1,1 \cdot \lambda_{max1}}{h_1} = 38 + \frac{1,1 \cdot 131}{14} = 48 \text{ (мм)};$$

$$t_2 = d_2 + \frac{1,1 \cdot \lambda_{max2}}{h_2} = 26 + \frac{1,1 \cdot 128}{20} = 33 \text{ (мм)};$$

Зовнішній діаметр пружини: $D' = D + d$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$D'_1 = D_1 + d_1 = 190 + 38 = 228 \text{ (мм)};$$

$$D'_2 = D_2 + d_2 = 190 + 38 = 228 \text{ (мм)};$$

Внутрішній діаметр пружини: $D'' = D - d$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$D''_1 = D_1 - d_1 = 190 - 38 = 152 \text{ (мм)};$$

$$D2'' = D2 - d2 = 130 - 26 = 104 \text{ (мм)};$$

Попередня деформація пружини: $F_1 = \frac{P_1}{z}$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$F_{11} = \frac{P_{11}}{z_1} = \frac{5676}{217} = 26 \text{ (мм)};$$

$$F_{12} = \frac{P_{12}}{z_2} = \frac{2657}{101.5} = 26 \text{ (мм)}.$$

Робоча деформація пружини: $F_2 = \frac{P_2}{z}$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$F_{21} = \frac{P_{21}}{z_1} = \frac{21285}{217} = 98 \text{ (мм)};$$

$$F_{22} = \frac{P_{22}}{z_2} = \frac{9965}{101.5} = 98 \text{ (мм)}.$$

Максимальна робоча деформація пружини: $F_3 = \frac{P_3}{z}$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$F_{31} = \frac{P_{31}}{z_1} = \frac{28380}{217} = 130 \text{ (мм)};$$

$$F_{32} = \frac{P_{32}}{z_2} = \frac{13287}{101.5} = 131 \text{ (мм)};$$

Довжина пружини, стиснутої до зіткнення витків: $H' = (h' - 0,5) \cdot d$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$H1' = (h1' - 0,5) \cdot d1 = (16 - 0,5) \cdot 38 = 589 \text{ (мм)};$$

$$H2' = (h2' - 0,5) \cdot d2 = (22 - 0,5) \cdot 26 = 559 \text{ (мм)}.$$

Довжина навантаженої пружини: $H0 = H' + n(t - d)$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$H01 = H1' + n1(t1 - d1) = 589 + 14(48 - 38) = 729 \text{ (мм)};$$

$$H02 = H2' + n2(t2 - d2) = 559 + 20(33 - 26) = 679 \text{ (мм)}.$$

Довжина пружини при попередній деформації: $H1 = H0 - F1$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$H11 = H01 - F11 = 729 - 26 = 703 \text{ (мм)};$$

$$H12 = H02 - F12 = 679 - 26 = 653 \text{ (мм)}.$$

Довжина пружини при робочій деформації: $H2 = H0 - F2$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$H21 = H01 - F21 = 729 - 98 = 631 \text{ (мм)};$$

$$H22 = H02 - F22 = 679 - 98 = 581 \text{ (мм)}.$$

Довжина пружини при максимальній деформації: $H3 = H0 - F3$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$H31 = H01 - F31 = 729 - 130 = 599 \text{ (мм)};$$

$$H32 = H02 - F32 = 679 - 131 = 548 \text{ (мм)}.$$

Кут підйому середньої гвинтової лінії: $\alpha = \arctg \frac{t}{2D_0}$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{t_1}{2D_{01}} = \frac{48}{2 \cdot 190} = 7^\circ 20';$$

$$\alpha_2 = \arctg \frac{t_2}{2D_{02}} = \frac{33}{2 \cdot 130} = 7^\circ 24'.$$

Довжина дроту для виготовлення пружини: $l_0 = \frac{\pi \cdot D_0 \cdot n'}{\cos \alpha}$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$l_{01} = \frac{\pi \cdot D_{01} \cdot n'_1}{\cos \alpha_1} = \frac{3.14 \cdot 190 \cdot 16}{\cos 7^\circ 20'} = 9626 \text{ (мм)};$$

$$l_{02} = \frac{\pi \cdot D_{02} \cdot n'_{21}}{\cos \alpha_2} = \frac{3.14 \cdot 130 \cdot 22}{\cos 7^\circ 24'} = 9057 \text{ (мм)};$$

Перевірочні розрахунки:

$$\tau_{MAX} = \frac{\kappa \cdot 8 \cdot P_3 \cdot D_0}{\pi d^3} \leq [\tau]$$

$$\text{де } \kappa = \frac{4 \cdot c - 1}{4 \cdot c - 4} + \frac{0.615}{c} = 1.31$$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$\tau_{21} = \frac{\kappa \cdot 8 \cdot P_{21} \cdot D_{01}}{\pi d_1^3} = \frac{1.31 \cdot 8 \cdot 21285 \cdot 190}{3.14 \cdot 38^3} = 245 \text{ (Н/мм}^2\text{)};$$

$$\tau_{22} = \frac{\kappa \cdot 8 \cdot P_{22} \cdot D_{02}}{\pi d_2^3} = \frac{1.31 \cdot 8 \cdot 9965 \cdot 130}{3.14 \cdot 26^3} = 245,8 \text{ (Н/мм}^2\text{)}.$$

Оскільки $\tau_{21} = \tau_{22} = 245 < [\tau] = 750$, вимоги за допустимими напруженнями виконуються.

$$\text{Жорсткість пружини: } z' = \frac{P_1}{F_1} = \frac{P_2}{F_2} = \frac{P_3}{F_3} = \frac{10000 \cdot d^4}{D_0^3 \cdot h}$$

Для більшої та меншої пружин відповідно:

$$z'_1 = \frac{P_{11}}{F_{11}} = \frac{P_{21}}{F_{21}} = \frac{P_{31}}{F_{31}} = 217; \frac{10000 \cdot d_1^4}{D_{01}^3 \cdot h_1} = \frac{10000 \cdot 38^4}{190^3 \cdot 14} = 217 \text{ (Н/мм}^2\text{)};$$

$$z'_2 = \frac{P_{12}}{F_{12}} = \frac{P_{22}}{F_{22}} = \frac{P_{32}}{F_{32}} = 101,5; \frac{10000 \cdot d_2^4}{D_{02}^3 \cdot h_2} = \frac{10000 \cdot 26^4}{130^3 \cdot 20} = 100,3 \text{ (Н/мм}^2\text{)};$$

Необхідна жорсткість забезпечується обома пружинами.

Здвоєний блок пружин сприймає максимальну деформацію:

$$P2 = P21 + P22 = 31223 \text{ (Н)}$$

3.2 Організація та проведення ремонту

Проблема підвищення надійності роботи технологічних машин за рахунок підвищення якості ремонту та технічного обслуговування вирішується шляхом застосування системи планово-попереджувального ремонту. Використання даної системи дозволяє виключити виникнення аварійних ситуацій, скоротити тривалість ремонтних робіт, підвищити якість відновлення обладнання, а також посилити відповідальність технічного персоналу за технічний стан машин і механізмів.

Впровадження прогресивних методів ремонту та сучасних технологій відновлення деталей забезпечує суттєве підвищення якості ремонтних робіт, скорочення тривалості ремонту машин і зниження трудомісткості виконуваних операцій. Важливе значення при цьому мають рівень технічної оснащеності ремонтної бази підприємства, а також кваліфікація ремонтного персоналу з питань організації та проведення ремонту обладнання у виробничих умовах.

Для організації ремонту технологічного обладнання обираємо централізований метод, при якому всі види ремонтних і монтажних робіт, а в окремих випадках і планове технічне обслуговування, виконуються силами ремонтно-механічного цеху (РМЦ). У складі РМЦ під керівництвом бригадира формуються ремонтні бригади, за якими закріплюються певні виробничі ділянки та відповідне технологічне обладнання для виконання технічного обслуговування та ремонту.

Метод проведення ремонту приймаємо індивідуальний. Для індивідуального методу ремонту характерним є встановлення відремонтованих деталей та складальних одиниць на ту саму машину, з якої вони були демонтовані. Машина перебуває у ремонті доти, доки на неї не будуть встановлені всі відремонтовані вузли та деталі.

Комплектування деталей у вузлах здійснюємо методом підбору, при якому до базової деталі вузла підбираються спряжені елементи таким чином, щоб забезпечити нормативний зазор у спряженнях.

Складання вузлів виконується методом індивідуального припасування, тобто шляхом механічного припасування спряжених деталей із використанням верстатної та ручної обробки.

Розроблення схеми технологічного процесу ремонту машин

Виконуємо технологічну підготовку ремонту, яка полягає у розробленні схеми послідовності виконання технологічних операцій.

Схема технологічного процесу залежить від прийнятого методу ремонту машини, а також від забезпеченості запасними частинами та способу їх постачання. При обраному індивідуальному методі проведення ремонту виникає необхідність повного розбирання вузлів на окремі деталі, виконання їх дефектації та передачі до ремонтно-механічного цеху. Після відновлення деталі надходять безпосередньо на комплектування та складання, минаючи проміжний склад. Лише покупні деталі подаються зі складу.

Технологія відновлення осі

Вибір основних технологічних параметрів виконується у такій послідовності:

- а) вимірювання зношених поверхонь та складання ескізу деталі із зазначенням місць відновлення та номінальних розмірів;
- б) визначення ступеня зношування з урахуванням номінальних та фактичних розмірів деталі;
- в) вибір способу відновлення деталі на основі ступеня зношування та вихідних даних відповідно до рекомендацій;
- г) визначення виду підготовки поверхні перед відновленням деталі відповідно до обраного способу;
- д) визначення необхідного діаметра валу під відновлення (для металізації та гальванічних покриттів);
- е) розрахунок необхідного діаметра валу після відновлення з урахуванням припусків на обробку;
- ж) визначення послідовності механічної обробки та необхідних припусків;

- з) встановлення виду термічної обробки до відновлення та після відновлення деталі перед механічною обробкою;
- и) визначення виду термічної обробки поверхні перед обробкою під номінальний розмір.

3.3 Особливості експлуатації машини та її основних вузлів

Обладнання підприємств промисловості будівельних матеріалів експлуатується відповідно до заводських інструкцій, складених згідно із загальними правилами технічної експлуатації підприємств, вимогами техніки безпеки, промислової санітарії, правилами мащення обладнання та іншими типовими нормативними документами, обов'язковими для всіх промислових підприємств.

Технічний догляд включає комплекс профілактичних заходів, спрямованих на підтримання машин у працездатному стані, запобігання прискореному зношуванню та своєчасне виявлення дефектів у роботі обладнання.

Технічний догляд передбачає підтримання машин у чистоті, періодичне виконання кріпильних та контрольно-регулювальних робіт, усунення дрібних несправностей окремих вузлів, своєчасне мащення, а також виконання заходів щодо правильного зберігання машин.

Кріпильні роботи виконуються систематично відповідно до спеціальних технологічних карт. Дані роботи включають перевірку надійності кріплення рознімних з'єднань, підтягування болтів та заміну непридатних або відсутніх кріпильних елементів. Болтові з'єднання, на які діють динамічні навантаження, повинні бути обладнані пристроями, що запобігають самовідгвинчуванню.

Контрольно-регулювальні роботи виконуються після перевірки вузлів і деталей машин, у процесі якої визначається обсяг регулювальних операцій. Одночасно з контролем і регулюванням вузлів та механізмів усуваються дрібні дефекти і несправності машин. Для забезпечення якісного та оперативного виконання робіт складаються контрольно-регулювальні карти.

На надійність валкового млина суттєво впливає робочий тиск валка на розмельну доріжку, а також частота обертання барабана. Оскільки подрібнення виконується одночасно із сушінням сировини, підвищена температура негативно впливає на умови роботи матеріалу валка та розмельної доріжки.

Для охолодження підшипників кочення, на яких встановлені валки, застосовується водяне охолодження порожнистих цапф осі.

Обов'язковими параметрами, які необхідно контролювати під час експлуатації, є:

- величина зусилля роздавлювання матеріалу шляхом регулювання товщини шару подрібнюваного матеріалу під валками;
- величина зусилля притискання валка до розмельної доріжки;
- температура цапф осі шляхом зміни витрати охолоджувальної води;
- температура гарячих газів, що надходять у млин, яка залежить від вологості сировини та регулюється кількістю газів при використанні вапняку для помелу.

Діапазон зусилля, що діє на подрібнюваний матеріал залежно від міцності сировини, становить 40–80 МПа.

Товщина шару матеріалу, який прокочується під валком, дорівнює 10–30 мм.

Коефіцієнт співвідношення робочої та критичної частоти обертання барабана становить 1,3–1,8.

Температура газу, що надходить у млин, становить 350–500 °С.

Найбільш інтенсивно зношуваними деталями є валки та розмельні доріжки. Саме тому валки виготовляються складеними зі змінними бандажами із зносостійких матеріалів, а також відновлюються шляхом наплавлення спеціальними електродами.

Для цих цілей рекомендуються такі матеріали:

Чавун марки ЧХ 945;

Сталь Х12Ф1.

3.4 Мащення обладнання

Мащення обладнання здійснюється відповідно до спеціальних карт мащення. Як мастильні матеріали застосовуються мінеральні масла, консистентні мастила та технічні мазі.

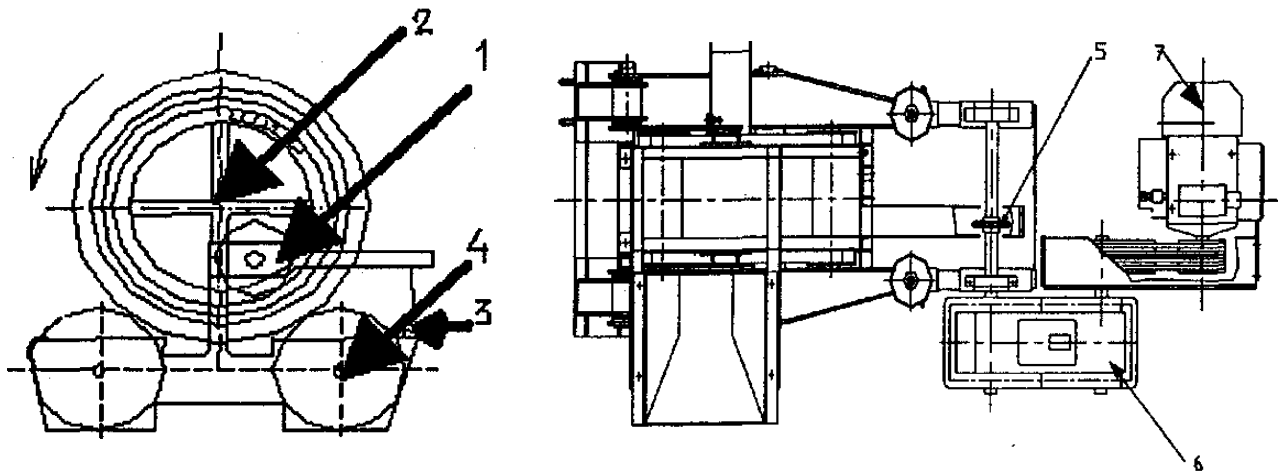


Рисунок 3.1 – карта змащення обладнання

Режим мащення та періодичність заміни мастильних матеріалів наведені у табл. 3.1

Таблиця 3.1 – Режим мащення та періодичність заміни мастильних матеріалів наведені у

№ точки	Місця мащення	Кількість точок	Мастило	Спосіб	Періодичність
1	Підшипник валка	1	УС-2	Набивання	2 р/міс
2	Вісь	2	УС-2	Набивання	4 р/міс
3	Болтове кріплення	1	УС-2	Набивання	1 р/6 міс
4	Підшипник роликоопори	1	УС-2	Набивання	1 р/міс
5	Ланцюгова передача	1	АК-15А	Заливання	1 р/міс
6	Редуктор	1	АК-15А	Заливання	1 р/рік
7	Двигун	1	АК-15А	Заливання	1 р/рік

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Виробнича санітарія

Аналіз основних потенційно шкідливих виробничих факторів

На підприємствах промисловості будівельних матеріалів значна кількість технологічних процесів супроводжується підвищеними рівнями шуму, вібрації та запиленості повітря робочої зони.

Вібрацією прийнято вважати механічні коливання елементів машин, апаратів, трубопроводів та будівельних конструкцій, що виникають унаслідок динамічної невідновженості обертових деталей, пульсації тиску, інерційних навантажень та інших технологічних чинників.

Медико-біологічні дослідження підтверджують, що виробничий шум і вібрація негативно впливають на центральну нервову систему, серцево-судинну систему та опорно-руховий апарат працівників. Шкідливий вплив вібрації проявляється у вигляді підвищеної втомлюваності, головного болю, болю у суглобах пальців рук, дратівливості та зниження працездатності.

У разі тривалого впливу інтенсивної вібрації можливий розвиток професійного захворювання – вібраційної хвороби.

Основними методами зниження вібрації є:

- зменшення збуджувальних сил безпосередньо у джерелах виникнення;
- зниження рівня вібрації на шляхах її поширення через опорні конструкції та елементи машин.

У виробничих приміщеннях необхідно забезпечувати нормативні санітарно-гігієнічні умови праці. Для цього застосовуються системи вентиляції, які забезпечують необхідний повітрообмін та видалення забрудненого повітря із робочої зони. Вентиляція може бути природною (аерація), механічною або змішаною.

Допустимі рівні шуму на робочих місцях встановлюються відповідно до вимог ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку», а також ДСТУ ISO 9612:2019.

Розроблення заходів щодо захисту від шуму необхідно розпочинати із впровадження технічних рішень зі зниження шуму безпосередньо у джерелі його виникнення.

Порушення правил технічної експлуатації обладнання призводить до того, що навіть малOSHUMні машини можуть перетворюватися на джерела підвищеного шумового навантаження.

У процесах дроблення, помелу та транспортування сипких матеріалів утворюється значна кількість виробничого пилу, який негативно впливає насамперед на органи дихання працівників.

Для захисту органів дихання застосовуються фільтрувальні респіратори, протигази та інші засоби індивідуального захисту відповідно до вимог НПАОП та Технічного регламенту засобів індивідуального захисту.

Профілактика професійних захворювань полягає у запобіганні впливу шкідливих виробничих факторів на організм працівників шляхом впровадження організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів.

Забезпечення оптимальних метеорологічних умов на робочих місцях

Нормативними документами, які регламентують параметри мікроклімату виробничого середовища, є ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», а також ДСТУ EN ISO 7730.

Зазначеними нормативними документами встановлюються оптимальні та допустимі значення температури повітря, відносної вологості та швидкості руху повітря у робочій зоні.

Важливу роль у формуванні мікроклімату помольних цехів відіграє технологічний процес виробництва пилоподібних матеріалів, зокрема потужність джерел тепловиділення і вологовиділення, а також відстань від відкритих прорізів (воріт, дверей, вікон), через які надходить повітря до виробничих приміщень.

Відносна вологість повітря у виробничих приміщеннях становить 40...60 %. Джерелами підвищеної вологості можуть бути несправності

виробничих воріт та шлюзів, через які здійснюється транспортування готової продукції.

Роботи з обслуговування валкового млина належать до категорії робіт середньої важкості. Відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 оптимальна температура повітря у робочій зоні в літній період повинна становити 20–24 °С, а у зимовий – 18–22 °С.

Швидкість руху повітря на робочому місці влітку повинна становити 0,5–1 м/с, а взимку – 0,2–0,5 м/с.

Забезпечення необхідних параметрів мікроклімату досягається шляхом реалізації комплексу заходів, до яких належать:

- забезпечення працівників спеціальним одягом та засобами індивідуального захисту;
- теплоізоляція обладнання та виробничих приміщень;
- застосування ефективних систем вентиляції;
- впровадження дистанційного керування тепловиділяючими процесами та агрегатами.

Поблизу робочих місць необхідно встановлювати сатуратори або пункти забезпечення працівників питною водою із розрахунку 4–5 л на одного працівника за зміну.

4.2 Заходи безпеки

Технічні та організаційні рішення під час складання, ремонту та експлуатації прес-валкового млина

Як і на будь-якому промисловому підприємстві, під час виконання технологічних операцій із виробництва будівельних матеріалів необхідно суворо дотримуватись вимог нормативно-правових актів з охорони праці та промислової безпеки. Організація безпечної експлуатації обладнання повинна здійснюватися відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці», НПАОП, ДБН та чинних державних стандартів.

1. До експлуатації та технічного обслуговування агрегату допускаються працівники відповідної кваліфікації, які вивчили конструкцію обладнання, правила його експлуатації, особливості роботи приводу та електрообладнання, пройшли інструктаж з охорони праці, перевірку знань та мають III групу допуску з електробезпеки відповідно до Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

2. Робоче місце повинно підтримуватися обслуговуючим персоналом у належному санітарному стані. Освітленість робочої зони повинна бути не меншою ніж 150 лк відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».

3. Рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати 80 дБА згідно з вимогами ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

4. Корпуси електродвигунів, рама агрегату та пульти керування повинні бути надійно заземлені відповідно до вимог ПУЕ та ДСТУ EN 61140.

5. Під час проведення профілактичних оглядів та ремонтних робіт пульти керування технологічного комплексу повинні бути відключені від електромережі із вивішуванням попереджувальних плакатів «Не вмикати! Працюють люди!».

6. У процесі експлуатації необхідно постійно контролювати технічний стан електрообладнання та електропроводки, не допускаючи механічних пошкоджень ізоляції та струмопровідних елементів.

7. У разі виникнення підвищеної вібрації експлуатацію обладнання необхідно негайно припинити до повного усунення несправностей, що стали причиною вібраційних коливань.

8. Вантажопідймальність крана, який використовується для монтажу та переміщення вузлів комплексу, повинна бути не меншою за 5 т. Вантажозахоплювальні пристрої повинні відповідати масі вантажів та схемам стропування.

9. Під час роботи з електроінструментом необхідно використовувати справні та перевірені засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавички, гумові калоші, ізолювальні килимки та підставки. Електроінструмент повинен підключатися до мережі за допомогою гнучкого кабелю із спеціальною жилою захисного заземлення або занулення через штепсельне з'єднання. Для огляду внутрішньої порожнини млина та інших замкнених просторів необхідно використовувати низьковольтне освітлення.

10. Категорично забороняється:

10.1. Розпочинати або продовжувати роботу у разі виявлення несправностей чи поломок обладнання.

10.2. Експлуатувати обладнання зі знятими або пошкодженими захисними огороженнями.

10.3. Виконувати монтаж, демонтаж, розбирання або ремонт комплексу без попереднього відключення від електричної мережі.

10.4. Особам, які не мають відповідного допуску, самостійно замінювати плавкі запобіжники, усувати несправності електродвигунів, пускової, виміральної та сигнальної апаратури.

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

10.6. Залишати агрегат під час роботи без нагляду.

10.7. Захаращувати робочі місця навколо технологічного обладнання.

10.8. Вносити зміни у конструкцію захисних блокувальних пристроїв.

10.9. Експлуатувати обладнання з несправними або штучно заблокованими кінцевими вимикачами.

Для забезпечення безпечної експлуатації агрегату силова та освітлювальна електропроводка повинна прокладатися у металевих трубах або захисних коробах.

Улаштування та розрахунок повторного заземлення нульового проводу

Заземленням називається навмисне електричне з'єднання із землею металевих неструмовідних частин обладнання, які у нормальному режимі

роботи не перебувають під напругою, але можуть опинитися під небезпечним потенціалом унаслідок пошкодження ізоляції електроустановок.

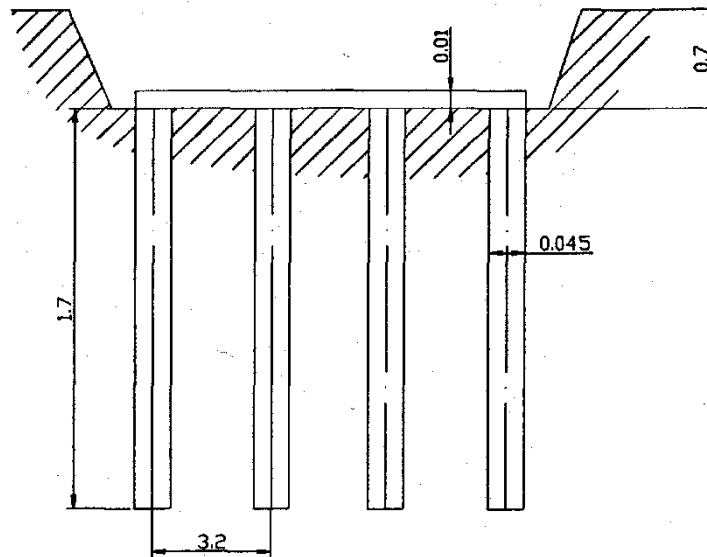
Принцип дії захисного заземлення полягає у зниженні до безпечних значень напруги дотику, яка виникає при замиканні фази на корпус електрообладнання.

Розрахунок виконується методом коефіцієнтів використання електродів.

Найбільше допустиме значення опору заземлення:

$$R_z = 10 \text{ Ом.}$$

Конструкцію заземлювального пристрою, геометричні розміри та схему розташування електродів приймаємо відповідно до рисунка 4.1.



- 1 – котлован для занурення електродів; 2 – горизонтальний електрод;
3 – вертикальний електрод.

Рисунок 4.1 – Схема заземлювального пристрою:

Опір розтікання струму одного вертикального електрода:

$$R'_B = 0,336 \cdot \frac{\rho}{l_B} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l_B}{d_B} + 0,5 \lg \frac{4t + l_B}{4t - l_B} \right), \text{ Ом}$$

де $l_B = 1,8 \text{ м}$ – довжина труби;

$d_B = 0,035 \text{ м}$ – діаметр труби;

$\rho = 95 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – питомий електричний опір ґрунту (суглинок).

$$t = \frac{l_e}{2} + t_0 = \frac{1,8}{2} + 0,7 = 1,6,$$

$$R'_B = 0,336 \cdot \frac{95}{2} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 1,8}{0,035} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,6 + 1,8}{4 \cdot 1,6 - 1,8} \right) = 34, \text{ Ом}$$

$$R_B = \frac{R'_B}{n \cdot \eta_B} = \frac{34}{4 \cdot 0,91} = 9,34 \approx 9,5 \text{ Ом},$$

де n – кількість вертикальних електродів, розташованих у ряд, $n=4$;

$\eta_B=91$ – коефіцієнт використання вертикальних електродів.

Опір розтікання струму горизонтального електрода:

$$R'_r = 0,336 \cdot \frac{\rho}{l_e} \cdot \lg \frac{l_e^2}{d_r \cdot t_0} = 0,336 \cdot \frac{95}{6,3} \cdot \lg \frac{6,3^2}{0,01 \cdot 0,7} = 19 \text{ Ом},$$

де $l_e = 1,05 \cdot (\pi - 1) \cdot a = 1,05 \cdot (4 - 1) \cdot 2 = 6,3 \text{ м}$.

Розрахуємо опір розтікання струму горизонтального електрода з урахуванням коефіцієнта використання:

$$R_r = \frac{R'_r}{\eta_0} = \frac{19}{0,74} = 25,6 \text{ Ом}.$$

Визначаємо сумарний опір заземлювального пристрою та порівнюємо його з допустимим значенням:

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_r}{R_B + R_r} = \frac{9,5 \cdot 25,6}{9,5 + 25,6} = 6,9 \text{ Ом}.$$

$$6 \text{ Ом} < R_1 = 6,9 < 10 \text{ Ом}.$$

Отримане значення 6,9 Ом відповідає вимогам нормативних документів.

Висновок: обрана схема повторного заземлення нульового проводу відповідає вимогам електробезпеки та може бути рекомендована до практичного застосування.

Вимоги техніки безпеки під час використання вантажопідіймальних засобів при ремонті та складанні обладнання

Для забезпечення безпечної експлуатації вантажопідіймальних засобів необхідно реалізувати комплекс організаційних та технічних заходів відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці», НПАОП 0.00-1.80-18 «Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних

пристроїв і відповідного обладнання», а також інших чинних нормативних документів.

До основних заходів належать:

- удосконалення та зміцнення ремонтно-технічної бази підприємства;
- організація сучасного та якісного ремонту технологічного обладнання;
- створення необхідного резерву запасних частин, вантажозахоплювальних пристроїв та стропувального оснащення;
- проведення комплексного технічного обстеження вантажопідіймальних механізмів із залученням спеціалізованих науково-дослідних та експертних організацій;
- модернізація вантажопідіймального обладнання на основі принципів уніфікації, нормалізації, блочності конструкцій та підвищення технологічності монтажу й обслуговування;
- підвищення професійного рівня персоналу, який виконує експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт вантажопідіймального обладнання.

Права та обов'язки стропальників, а також порядок виконання робіт визначаються типовими інструкціями з охорони праці та локальними нормативними актами підприємства.

Працівники монтажно-ї бригади повинні знати:

- конструкцію та принцип дії машин і обладнання, що монтуються або демонтуються;
- вимоги щодо перевірки та приймання фундаментів і монтажних майданчиків;
- способи стропування та переміщення монтажних елементів;
- заходи безпеки під час роботи з ручним інструментом, такелажним обладнанням і технологічним оснащенням;
- методи вивірки, балансування та регулювання механізмів і обладнання;
- правила навантаження та розвантаження технологічних елементів;
- вимоги безпеки під час проведення випробувань машин та обладнання після завершення монтажу.

Вибір та розрахунок стропувального пристрою

Стропування вантажів є однією з найбільш відповідальних операцій при виконанні монтажних і складальних робіт.

Вибір каната здійснюється за розривним зусиллям із умови:

$$P_K \geq P_{K.T} = S_{K_{max}},$$

де P_K - розривне зусилля каната за каталогом;

$S_{K_{max}}$ - максимальне зусилля у канаті;

k_K - коефіцієнт запасу міцності, $=k_K 5610$.

$$S \frac{Q \cdot g}{m \cdot \cos \alpha \cdot k_1} \frac{2,5 \cdot 10}{4 \cdot 0,7 \cdot 0,75_{max}} \text{ КН},$$

де Q – маса вантажу, $Q=2,5$ т;

m – кількість віток стропа;

k_1 – коефіцієнт нерівномірності натягу стропів.

$$P_{K.T} = 11,9 \cdot 6,0 = 71,4 \text{ КН}.$$

Приймаємо канат діаметром $d_k = 14$ мм.

Канат 14 35(W)хK7-IWRC EN 12385-4 U 1770 за ДСТУ EN 12385-4.

4.3 Пожежна безпека

Визначення категорії виробництва та необхідного ступеня вогнестійкості виробничих будівель

В основі процесу горіння лежить екзотермічна реакція окиснення, для виникнення якої необхідна одночасна наявність трьох складових:

- горючої речовини;
- окисника;
- джерела запалювання.

На стадії проектування виробничих будівель та споруд обов'язково враховується можливість виникнення пожежі та забезпечення необхідного рівня пожежної безпеки.

Класифікація виробництв за пожежною та вибухопожежною небезпекою виконується відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» та НАПБ Б.03.002-2007.

Усі виробництва за ступенем пожежної небезпеки поділяються на категорії А, Б, В, Г та Д.

Будівлі та споруди за ступенем вогнестійкості несучих конструкцій поділяються на п'ять ступенів. Ступінь вогнестійкості визначається межею вогнестійкості основних будівельних конструкцій та групою горючості матеріалів.

Виробництво пилоподібних матеріалів належить до категорії «Д» за вибухопожежною небезпекою. Ступінь вогнестійкості будівлі – III. Сировинна суміш для виробництва будівельних матеріалів є важкогорючою.

Найбільш поширеними причинами виникнення пожеж на промислових підприємствах є порушення правил пожежної безпеки працівниками та інженерно-технічним персоналом, недотримання вимог під час проведення зварювальних робіт, а також короткі замикання електропроводки та електрообладнання.

Технічні та організаційні рішення з пожежної профілактики.

Засоби пожежогасіння

Організація та забезпечення заходів пожежної безпеки покладається на керівників підприємств, начальників цехів, майстерень, складів та інших відповідальних осіб.

Для попередження виникнення пожежонебезпечних ситуацій та забезпечення ефективного гасіння пожеж необхідно реалізувати комплекс профілактичних і технічних заходів.

До основних профілактичних заходів належать:

- оснащення виробничих приміщень автоматичними системами виявлення та оповіщення про пожежу;
- підтримання чистоти та порядку на робочих місцях;
- своєчасне проведення технічного обслуговування електрообладнання;
- контроль стану евакуаційних шляхів та аварійного освітлення.

У разі виникнення пожежі на підприємстві повинен бути розроблений план евакуації персоналу, який доводиться до працівників під час проведення інструктажів з охорони праці та пожежної безпеки.

Передбачаються такі технічні засоби пожежогасіння:

- встановлення на території цеху пожежного щита, укомплектованого багром, ломом, відрами, ящиком із піском та вогнегасниками (вуглекислотними ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8);
- улаштування протипожежних перегородок для запобігання поширенню вогню;
- встановлення автоматичних систем пожежної сигналізації та пожежогасіння;
- наявність чотирьох пожежних рукавів діаметром 80 мм та чотирьох пожежних кранів із байонетними затворами;
- забезпечення виробничих приміщень та території підприємства під'їзними шляхами для пожежної техніки;
- постійний контроль технічного стану аварійного освітлення та запасних евакуаційних виходів.

4.4 Вплив об'єкта на навколишнє середовище

Аналізуючи вплив проєктованого обладнання – валкового млина та технологічної лінії загалом (склади сировини, молоткові млини) – на навколишнє природне середовище, можна зробити висновок, що технологічний процес супроводжується наявністю джерел потенційного негативного впливу на довкілля. У зв'язку з цим необхідним є розроблення комплексу природоохоронних заходів, спрямованих на мінімізацію техногенного навантаження на атмосферне повітря, водні ресурси, ґрунти та інші компоненти довкілля.

Розділ «Охорона навколишнього середовища» розроблений відповідно до вимог чинного природоохоронного законодавства України, зокрема Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища», ДБН А.3.1-

5:2016 «Організація будівельного виробництва», а також ДБН А.2.2-1-2021 «Склад та зміст матеріалів оцінки впливу на довкілля».

Оцінка стану атмосферного повітря передбачає визначення потенційної небезпеки його забруднення залежно від природно-кліматичних умов конкретної території, які визначають здатність атмосфери до розсіювання та поглинання шкідливих домішок. На інтенсивність розсіювання забруднювальних речовин впливають характер турбулентного обміну, швидкість вітру, рельєф місцевості, наявність туманів та інші метеорологічні фактори.

Особливо несприятливими умовами для розсіювання шкідливих речовин є температурні інверсії. Інверсія являє собою стан атмосфери, при якому температура повітря у приземному шарі підвищується, а не знижується з висотою, як за нормальних умов. За таких умов нижня межа інверсійного шару виконує роль екрану, що перешкоджає вертикальному перемішуванню повітряних мас, унаслідок чого забруднювальні речовини поширюються у приземному шарі на значні відстані.

Позитивний вплив на очищення атмосферного повітря мають інтенсивне перемішування повітряних мас, підвищені швидкості вітру та атмосферні опади, які забезпечують вимивання забруднювальних речовин із атмосфери.

Під час оцінки забруднення атмосферного повітря враховується не лише кількість шкідливих речовин, що викидаються за існуючих обсягів виробництва, але й перспективи збільшення виробничих потужностей, ефективність очисного обладнання, а також зміни соціально-економічних показників і розвитку інфраструктури району.

Для прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря використовуються сучасні уніфіковані програмні комплекси розрахунку розсіювання забруднювальних речовин, які дозволяють оцінювати внесок значної кількості стаціонарних та пересувних джерел викидів. Результати розрахунків подаються у вигляді ізоліній рівних концентрацій забруднювальних речовин.

На території підприємства розташовані склади крейди та шлаку, які використовуються як сировина для виробництва цементу. Крейда доставляється автомобільним транспортом із кар'єру, розташованого на відстані 30 км, а золошлакові відходи – автомобільним транспортом із Зміївської ТЕС.

Під час транспортування крейди та шлаку у атмосферне повітря виділяється пил. Втрати крейди при транспортуванні становлять 0,2 % від загальної маси, а втрати шлаку – 0,15 %.

Автомобільний транспорт, який використовується на підприємстві, також негативно впливає на екологічний стан атмосферного повітря. Встановлено, що вантажний автомобіль при щоденному пробігу 150–200 км за рік викидає в атмосферу (приблизно):

- CO₂ – 3250 кг;
- CO – 530 кг;
- вуглеводні – 93 кг;
- NO_x – 27 кг.

У процесі сортування сировини також утворюється пил. Під час сортування крейди втрати на пил становлять 4 %, а при сортуванні шлаку – 0,5 %.

Під час виконання ремонтних робіт періодично застосовуються зварювальні операції. Встановлено, що при використанні 1 кг електродів у атмосферу викидається:

- зварювальний аерозоль – 40–50 г;
- оксиди азоту NO_x – 4–5 г.

Під час проведення санітарно-гігієнічної оцінки стану водних об'єктів визначаються основні джерела забруднення, гідрологічні та гідродинамічні характеристики водних об'єктів, а також джерела живлення водойм і водотоків.

Основним напрямом вирішення проблеми захисту водних об'єктів від забруднення є реалізація ефективної технічної та екологічної політики підприємства. Особлива увага приділяється стану водозбірних басейнів,

особливостям рельєфу місцевості, рівню забруднення ґрунтів, наявності зливової каналізації та дренажних систем.

Санітарно-гігієнічна оцінка якості води базується на результатах фізико-хімічних, бактеріологічних та гідробіологічних досліджень проб води.

На території підприємства вода використовується:

1. для санітарно-побутових потреб;
2. для технологічних потреб;
3. для потреб гаражного господарства.

При використанні води для технологічних потреб вода повністю входить до складу сировинного шламу, оскільки необхідна кількість води додається для забезпечення вологості шламу $W=30\%$. Таким чином, технологічні стічні води практично не утворюються.

Після використання вода скидається до міської каналізаційної мережі відповідно до договору з комунальними службами.

У гаражному господарстві вода забруднюється нафтопродуктами та брудом із транспортних засобів. На території підприємства передбачена система зливової каналізації, у яку під час атмосферних опадів змивається пил із території підприємства.

Під час санітарно-гігієнічної оцінки стану ґрунтів розглядаються показники хімічного та бактеріологічного забруднення, а також ступінь порушення ґрунтового покриву.

Ступінь хімічного забруднення ґрунтів визначається шляхом порівняння фактичних концентрацій забруднювальних речовин із нормативними показниками.

Окремо визначаються зони впливу забрудненого ґрунтового покриву на рослинність, поверхневі та ґрунтові води, а також матеріально-технічні об'єкти.

До фізичних факторів впливу на навколишнє середовище, що підлягають оцінці, належать шум, вібрація та температурні поля.

Джерела шуму та фізичних полів можуть бути як рівномірно розподілені по території підприємства, так і локалізовані у межах окремих виробничих зон.

Оцінка шумового режиму території включає визначення основних джерел шуму: транспортних потоків, навантажувально-розвантажувальних майданчиків, промислового обладнання та окремих агрегатів.

Під час оцінки вібраційного впливу одним із джерел є барабанно-валковий млин, передбачений даним проєктом.

Негативний вплив вібрації залежить від відстані до житлової забудови, тривалості впливу, частотного спектра та рівня віброшвидкості. Вібраційний вплив може посилюватися при одночасній дії шуму.

Нормовані рівні вібрації та допустимі відхилення визначаються розрахунковими методами відповідно до чинних санітарних норм.

Оцінка стану озелених територій виконується за такими критеріями:

- функціональними;
- екологічними;
- санітарно-гігієнічними;
- естетичними.

Функціональні критерії визначають рекреаційні властивості озелених територій, рівень просторової організації виробничої території та формування ландшафтного середовища.

Екологічні критерії дозволяють оцінити роль зелених насаджень у захисті природних комплексів та зниженні антропогенного навантаження.

Екологічна оцінка озелених територій передбачає:

- віднесення насаджень до відповідних категорій захисності;
- проведення відновлювальних робіт;
- заміну пошкоджених насаджень;
- удосконалення системи озеленення підприємства з метою підвищення її екологічної ефективності.

У результаті аналізу роботи обладнання для виробництва цементу були визначені основні фактори впливу на навколишнє середовище.

Таблиця 4.1 Результати оцінки можливого впливу технологічної лінії на
навколишнє середовище

Вид діяльності	Атмосфера	Водні ресурси	Ґрунт	Флора і фауна
Складування матеріалу	Пил, будівельне сміття	Стічні води з домішками цементу та сміття	Сміття, пил	Підвищена міграція тваринного світу
Обслуговування та ремонт	Зварювальний аерозоль, пил, погіршення якості повітря, підвищення захворюваності людей	Підвищення захворюваності мешканців водного середовища	Забруднення ґрунту виробничими відходами	Підвищена міграція тваринного світу
Перевантаження цементу з автотранспорту у тимчасове сховище	Викиди цементного та вапнякового пилу	Запилення прилеглих водних ресурсів	Запилення території перевантаження цементу та вапна	Вапно та цемент можуть викликати захворювання органів дихання у тварин

Таблиця 4.2. Основні природоохоронні заходи та їх реалізація

Заходи	Результати впровадження
Оснащення перевантажувальних вузлів транспортерів та вагових дозаторів аспіраційними системами	Зниження концентрації пилу у виробничих приміщеннях на 60 %
Монтаж вентиляційних систем у помольних цехах	Зниження концентрації пилу на 80 %, зменшення рівня професійної захворюваності людей та негативного впливу на тваринний світ

З урахуванням наявних на підприємстві систем контролю екологічної безпеки реалізація наведених природоохоронних заходів є достатньою для покращення екологічного стану території підприємства та мінімізації негативного впливу виробництва на навколишнє природне середовище.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто технологічні особливості виробництва зовнішніх стінових панелей із пінобетону та проаналізовано основні властивості коміркових бетонів. Виконано вибір сировинних компонентів, наведено їх технічні характеристики та розраховано потребу в матеріалах для отримання пінобетону заданої густини. Визначено режим роботи підприємства та обґрунтовано вибір основного технологічного обладнання.

Проведений аналіз сучасних помольних систем показав, що значна частка енерговитрат у виробництві будівельних матеріалів припадає саме на процес подрібнення. Встановлено перспективність використання подрібнювально-вальцьових установок, які забезпечують зниження питомих витрат електроенергії, підвищення продуктивності та покращення якості готового продукту. Розглянуті конструктивні особливості ПВУ свідчать про доцільність їх подальшого впровадження у виробництво коміркових бетонів та інших будівельних матеріалів.

Запропоновані рішення сприятимуть підвищенню економічної ефективності виробництва, зниженню собівартості продукції та покращенню експлуатаційних характеристик готових виробів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б EN 771-4:2016. Вироби стінові. Частина 4. Вироби з автоклавного ніздрюватого бетону. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.
2. ДСТУ Б В.2.7-45:2010. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011.
3. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ : Мінрегіон України, 2022.
4. ДСТУ Б EN 197-1:2015. Цемент. Склад, технічні вимоги та критерії відповідності. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
5. ДСТУ EN 12620:2022. Заповнювачі для бетону. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
6. ДСТУ EN 1008:2022. Вода замісна для бетону. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
7. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Будівельне матеріалознавство. Рівне : НУВГП, 2009. 448 с.
8. Пушкарьова К. К. Будівельне матеріалознавство. Київ : Ліра-К, 2015. 592 с.
9. Рунова Р. Ф., Шейнич Л. О., Пушкарьова Є. К. Технологія сучасних будівельних матеріалів. Київ : КНУБА, 2012. 568 с.
10. Санницький М. А., Позняк О. Р. Будівельні матеріали. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 256 с.
11. Taylor H. F. W. Cement Chemistry. 2nd ed. London : Thomas Telford, 1997. 459 p.
12. Neville A. M. Properties of Concrete. 5th ed. Harlow : Pearson Education, 2011. 872 p.
13. Narayanan N., Ramamurthy K. Structure and Properties of Aerated Concrete: A Review. Cement and Concrete Composites. 2000. Vol. 22. No. 5. P. 321–329.
14. Hänsel J. Autoclaved Aerated Concrete. Berlin : Ernst & Sohn, 2012. 312 p.
15. Short A., Kinniburgh W. Lightweight Concrete. London : Applied Science Publishers, 1978. 406 p.

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