

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

**РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА**

на тему **Барабанно-валковий млин у складі лінії**  
**з виробництва пористих стінових блоків**

Виконав: здобувач вищої освіти

**4** курсу, групи **ГМ 2022-1**

напряму підготовки (спеціальності)

**133 – Галузеве машинобудування**

Сафаров Рафаель Ельчінович 

(прізвище та ініціали)

 Керівник Саснко Л.В. к.т.н., доц.

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

 Рецензент Блажко В.В. к.т.н., доц.

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

**Харків – 2026**

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

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

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр

Галузі знань 13 – Механічна інженерія

**Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**В.о. завідувача кафедри АКТ**

\_\_\_\_\_  
**БАРАНОВ О. О.**

« 22 » червень 2026 року

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

Сафарову Рафаелю Ельчіновичу

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

1. Тема роботи Барабанно-валковий млин у складі лінії з виробництва пустотілих стінових блоків.

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

Керівник роботи Саєнко Леонід Володимирович 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 пустотілих стінових блоків. Головне обладнання – барабанно-валковий млин. Продуктивність: 500 м<sup>3</sup>/год.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Аналіз проблеми (призначення та властивості продукції, сировина та її характеристика, вибір способу виробництва, порівняння технологій виробництва, розробка та опис технологічної схеми, режим роботи підприємства та кількість головного обладнання). Основна частина (характеристика механічної обробки, огляд конструкцій бігунів та їх аналіз, вибір конструкції барабанно-валкового млина). Спеціальна частина (визначення робочих параметрів млина, його інженерні розрахунки, експлуатація та технічне обслуговування). Охорона праці (Аналіз потенційних шкідливих та небезпечних факторів, охорона праці, пожежна безпека). Висновки. Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Технологічна схема. Загальний вид обладнання. Вузол приводного валу. Вузол валка. Вузол ножа. Деталювання: шків, вісь валка, втулка фіксуюча.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ             | Консультант       | Підпис, дата   |                                                                                              |
|--------------------|-------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    |                   | завдання видав | завдання прийняв                                                                             |
| Аналіз проблеми    | доц. Саєнко Л.В.  | 25.05          | <br>12.06 |
| Основна частина    | доц. Саєнко Л.В.  | 25.05          | <br>12.06 |
| Спеціальна частина | доц. Саєнко Л.В.  | 25.05          | <br>12.06 |
| Охорона праці      | доц. Рогозін А.С. | 25.05          | <br>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 барабанно-валкового млину у складі лінії з виробництва пустотілих стінових блоків.

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 79 сторінок, в тому числі: 23 рисунки; 13 таблиць; перелік посилань з 24 найменувань на 2 сторінках.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** барабанно-валкового млину, сировина, бігуни, валок, барабан.

## **ABSTRACT**

The paper considers the possibility of using a drum-roll mill as part of a line for the production of hollow wall blocks.

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

The bachelor's thesis consists of an introduction, 4 chapters, conclusions and a list of references. The full volume of the bachelor's final qualification work is 79 pages, including: 23 drawings; 13 tables; a list of links with 24 names on 2 pages.

**KEY WORDS:** drum-roll mill, raw materials, runners, roll, drum.

## ЗМІСТ

|                                                                            | стор. |
|----------------------------------------------------------------------------|-------|
| ВСТУП .....                                                                | 7     |
| 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ .....                                                   | 8     |
| 1.1 Призначення та основні властивості продукції .....                     | 8     |
| 1.2 Вибір сировинних матеріалів .....                                      | 11    |
| 1.3 Вибір способу виробництва .....                                        | 14    |
| 1.4 Порівняння та вибір технологічного варіанта .....                      | 16    |
| 1.5 Розроблення технологічної схеми та опис технологічного процесу .....   | 16    |
| 1.6 Режим роботи підприємства .....                                        | 20    |
| 1.7 Розрахунок кількості основного обладнання .....                        | 23    |
| 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА .....                                                   | 26    |
| 2.1 Характеристика процесу механічної обробки .....                        | 26    |
| 2.2 Огляд конструкцій бігунів. Аналіз їх переваг та недоліків .....        | 27    |
| 2.3 Конструкції барабанно-валкових млинів .....                            | 34    |
| 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА .....                                                | 39    |
| 3.1 Визначення робочих параметрів барабанно-валкового млина .....          | 39    |
| 3.2 Інженерні розрахунки .....                                             | 41    |
| 3.3 Технічне обслуговування машини .....                                   | 53    |
| 3.4 Експлуатація та технічне обслуговування барабанно-валкового млина..... | 61    |
| 4. ОХОРОНА ПРАЦІ .....                                                     | 64    |
| 4.1 Аналіз основних потенційних шкідливих і небезпечних факторів .....     | 64    |
| 4.2 Охорона праці .....                                                    | 67    |
| 4.3 Пожежна безпека .....                                                  | 76    |
| ВИСНОВКИ .....                                                             | 77    |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....                                          | 78    |

## **ВСТУП**

### **Актуальність теми дослідження.**

Виробництво стінових бетонних блоків є одним із важливих напрямів сучасної будівельної індустрії, оскільки такі вироби широко застосовуються під час зведення житлових, громадських, промислових і сільськогосподарських будівель. Застосування гранульованого доменного шлаку як основного заповнювача дозволяє ефективно використовувати вторинні матеріальні ресурси та знижувати собівартість продукції. Важливим напрямом удосконалення технології є механічна обробка компонентів бетонної суміші, яка сприяє інтенсифікації процесів структуроутворення та підвищенню якості виробів.

**Мета дослідження** – знизити питомі витрати електроенергії та покращити якість готових виробів.

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

1. Скласти технологічну схему з виробництва газобетону;
2. Розрахувати потребу у сировинних матеріалах;
3. Обрати основне обладнання технологічної лінії;
4. Провести інженерні розрахунки барабанно-валкового млина.

**Об'єкт дослідження** – барабанно-валковий млин.

**Предмет дослідження** – доцільність використання барабанно-валкового млина у технологічній лінії з виробництва стінових бетонних блоків.

**Практичне значення отриманих результатів.** Реалізація запропонованих рішень сприяє отриманню конкурентоспроможної продукції та підвищенню економічної ефективності підприємства.

# 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ

## 1.1 Призначення та основні властивості продукції

Порожнисті стінові бетонні блоки виготовляють відповідно до вимог чинних нормативних документів України, зокрема:

- ДСТУ Б EN 771-3:2016 Камені стінові. Вироби стінові бетонні з щільним та легким заповнювачами;
- ДСТУ Б В.2.7-207:2009 Будівельні матеріали. Матеріали щебеневі, гравійні та піщані, оброблені неорганічними в'язучими.

Стандарт поширюється на повнотілі та порожнисті, рядові та лицьові стінові блоки, що виготовляються методом вібропресування, пресування, лиття або іншими технологічними способами з легких і важких бетонів на цементних, вапняних, шлакових та гіпсових в'язучих.

Твердіння виробів може здійснюватися: у природних умовах, методом тепловологісної обробки, в автоклавних установках.

Стінові блоки застосовуються відповідно до вимог:

- ДБН В.2.6-162:2010 Конструкції будинків і споруд. Кам'яні та армокам'яні конструкції;
- ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель для улаштування:
  - несучих конструкцій;
  - самонесучих стін;
  - огорожувальних конструкцій житлових, громадських, промислових та сільськогосподарських будівель.

Найбільш широко блоки використовуються у малоповерховому будівництві.

Блоки виготовляють у вигляді повнотілих або порожнистих прямокутних паралелепіпедів та поділяють на такі типи:

- СКЦ – на цементному в'язучому;
- СКВ – на вапняному в'язучому;

- СКШ – на шлаковому в’язучому;
- СКГ – на гіпсовому в’язучому.

За конструктивним виконанням блоки поділяють на: цілі, поздовжні половинки, перегородкові.

Основні типорозміри та довідкова маса стінових бетонних блоків повинні відповідати розмірам  $390 \times 190 \times 188$  мм. Допускається виготовлення блоків розмірами  $410 \times 200 \times 200$  мм.

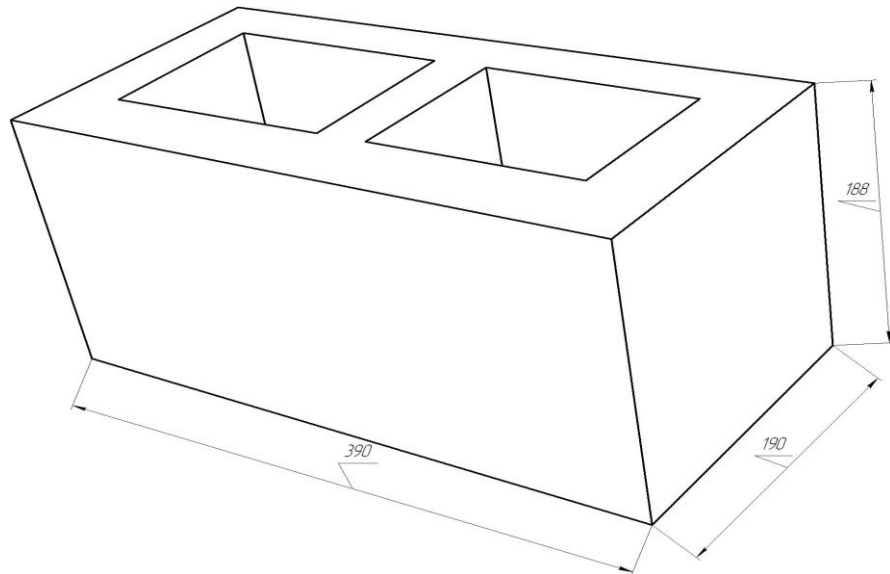


Рисунок 1.1 – Ескіз блоку

За погодженням із замовником та органом сертифікації допускається виготовлення порожнистих блоків з іншою формою, кількістю та розташуванням пустот за умови забезпечення нормативної середньої густини виробів. Середня густина порожнистих блоків не повинна перевищувати  $1650 \text{ кг/м}^3$ . Товщина зовнішніх стінок порожнистих блоків повинна бути не меншою ніж 20 мм. Маса одного блока повинна бути не більше 31 кг.

Стінові блоки виготовляються відповідно до технологічного регламенту, затвердженого у встановленому порядку. Відхилення геометричних розмірів та показників зовнішнього вигляду виробів не повинні перевищувати значень, установлених нормативною документацією.

Відпуск блоків споживачеві дозволяється лише після досягнення виробами відпускнуї міцності при стиску, що визначається випробуванням:

- цілих блоків;
- контрольних зразків-кубів.

Відпускна міцність повинна становити не менше 50 % від проєктної міцності.

Таблиця 1.1 – Допустимі відхилення

| Показники                                                   | Відхилення             |                     |
|-------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------|
|                                                             | для порожнистих блоків | для лицьових блоків |
| Відхилення розмірів, мм:                                    |                        |                     |
| відхилення по довжині                                       | ± 4                    | ± 4                 |
| відхилення по ширині                                        | ± 3                    | ± 3                 |
| відхилення по висоті                                        | ± 4                    | ± 4                 |
| допустиме відхилення від прямолінійності ребер і граней, мм | 6                      | 4                   |
| кількість пошкоджених ребер і кутів                         | 3                      | 2                   |
| кількість блоків із тріщинами , не більше %                 | 10                     | 5                   |

Залежно від умов експлуатації виробів та конструкцій встановлюються марки бетонів за морозостійкістю та водонепроникністю відповідно до чинних ДСТУ.

За морозостійкістю встановлюються марки: F15; F25; F35; F50; F75; F100; F150; F200; F300; F400; F500.

За водонепроникністю встановлюються марки: W2; W4; W6; W8; W10; W12.

Таблиця 1.2 – Технічна характеристика блоків

| Параметр                                             | Значення            |
|------------------------------------------------------|---------------------|
| Межа міцності при стиску (клас міцності), МПа        | 5; 10; 12,5; 15; 20 |
| Міцність шлакоблоків становить, кг/см <sup>2</sup> . | 80–150              |
| Водопоглинання                                       | не більше 4 %       |
| Морозостійкість блоків                               | від F25 до F35      |
| Теплопровідність блоків                              | 0,25–0,4 Вт/(м·К)   |

Підприємство-виробник при відпуску виробів із міцністю нижче проєктної повинно гарантувати досягнення проєктної міцності у віці 28 діб із моменту виготовлення.

Втрата міцності при стиску після випробувань на морозостійкість не повинна перевищувати 25 % від міцності контрольних зразків. Втрата маси після випробувань не повинна перевищувати 5 %.

Для визначення межі міцності при стиску та середньої густини відбирають три блоки. Допускається визначення відпускної міцності та марки виробів за результатами випробування контрольних зразків-кубів із використанням перехідних коефіцієнтів.

Для визначення морозостійкості використовують шість блоків або контрольних зразків від однієї чи декількох партій.

Матеріали, що застосовуються для виготовлення стінових блоків, повинні відповідати вимогам чинних державних стандартів, технічних умов та нормативної документації України.

## **1.2 Вибір сировинних матеріалів**

Сировинними компонентами для технологічної лінії виробництва шлакобетонних стінових блоків методом пресування є:

- портландцемент;
- гранульований доменний шлак;
- вода.

Для виготовлення блоків застосовується портландцемент марки не нижче М400, який повинен відповідати вимогам:

- ДСТУ Б EN 197-1:2015 ДСТУ Б EN 197-1:2015 Цемент. Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів;
- ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови.

Цемент є гідралічним в'язучим матеріалом, здатним тверднути як у повітряному середовищі, так і у воді. Його отримують шляхом тонкого помелу цементного клінкеру з необхідними мінеральними добавками.

Клінкер являє собою спечену сировинну суміш вапняку та глини у вигляді гранул розміром до 40 мм. Від якості клінкеру значною мірою залежать: міцність цементу, швидкість набору міцності, довговічність, стійкість до впливу експлуатаційних факторів.

Для регулювання строків тужавлення під час помелу до клінкеру додають 1,5–3,5 % гіпсу у перерахунку на ангідрид сірчаної кислоти  $\text{SO}_3$ .

Портландцемент може виготовлятися:

- без мінеральних добавок;
- з мінеральними добавками після механічної обробки у кількості до 15 %.

Для приготування бетонної суміші рекомендується використовувати бездобавковий портландцемент або портландцемент із вмістом мінеральних добавок не більше 5 %. Вміст оксиду магнію  $\text{MgO}$  у цементному клінкері не повинен перевищувати 5 %. Вміст трьохкальцієвого алюмінату  $\text{C}_3\text{A}$  не повинен перевищувати 8 %.

Одним із перспективних постачальників цементу для виробництва стінових блоків є цементні підприємства України, що випускають цементи відповідно до вимог чинних ДСТУ.

Як крупний заповнювач використовується шлак із максимальним розміром зерен 5–10 мм. Шлак отримують у процесі перероблення шлакових розплавів металургійного виробництва під час виплавлення сталі та чавуну.

Шлаки можуть бути: легкими та важкими.

Доменні шлаки утворюються під час виплавлення чавуну внаслідок взаємодії:

- кремнезему;
- глинозему;
- пустої породи;
- золи палива;

- флюсів.

Основними компонентами шлаків є: кремнезем  $\text{SiO}_2$ ; суміш  $\text{CaO}$  та глинозема  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

У невеликих кількостях можуть міститися: окиси магнію  $\text{MgO}$ , заліза  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та  $\text{FeO}$  марганцю  $\text{MnO}$  і сульфід.

Таблиця 1.3 – Класифікація шлаків за об'ємною густиною:

| Група шлаків   | Об'ємна щільність шлаків           |
|----------------|------------------------------------|
| особливо легкі | менше $500 \text{ кг/м}^3$         |
| легкі          | $550\text{--}1000 \text{ кг/м}^3$  |
| важкі          | $1000\text{--}2000 \text{ кг/м}^3$ |
| особливо важкі | понад $2000 \text{ кг/м}^3$        |

Перевага надається гранульованим шлакам, оскільки вони характеризуються підвищеною активністю, кращими фізико-хімічними властивостями, більшою однорідністю.

Шлаки повинні відповідати вимогам:

- ДСТУ Б В.2.7-18-95 Будівельні матеріали;
- ДСТУ EN 15167-1:2019 Шлак мелений гранульований доменний для використання в бетоні, будівельному та цементному розчинах.

Вода, що використовується для приготування бетонної суміші, повинна відповідати вимогам:

- ДСТУ Б В.2.7-273:2011 Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови;
- ДСТУ EN 1008:2022 Вода для замішування бетону. Технічні умови для відбирання проб, тестування та оцінювання придатності води, охоплюючи воду, відновлену під час виробництва бетону, як воду для змішування бетону.

Вода подається на підприємство від системи централізованого водопостачання.

### **1.3 Вибір способу виробництва**

Для отримання високоякісних порожнистих стінових блоків необхідно забезпечити ретельне дозування компонентів, однорідність бетонної суміші, стабільну щільність матеріалу, необхідний ступінь ущільнення.

Порожнисті стінові блоки можуть виготовлятися:

- методом вібропресування;
- методом лиття;
- методом пресування.

#### **Вібропресувальний спосіб виробництва**

Вібропресувальна технологія переважно використовується на невеликих підприємствах, на міні-заводах, у складі компактних виробничих ліній.

Сутність способу полягає у формуванні виробів із жорсткої бетонної суміші у формі, встановленій на вібростолі. У процесі вібраційного ущільнення бетонна суміш рівномірно розподіляється по об'єму форми, що забезпечує підвищення щільності, покращення структури матеріалу, підвищення якості готових виробів.

Тривалість циклу формування становить – 20–45 с.

Для вібропресування можуть бути застосовані віброверстати типу СМТ-188 та СМТ-162А;

Недоліками вібропресувального способу є:

- негативний вплив вібрації на персонал;
- підвищене динамічне навантаження на конструкції обладнання;
- збільшення зношування механізмів.

#### **Ливарний спосіб виробництва стінових блоків**

Ливарний спосіб також застосовується на підприємствах малої та середньої продуктивності.

Особливістю технології є використання рухомої бетонної суміші, яка подається у форму бетононасосом чи трубопроводом.

Даний спосіб дозволяє виготовляти вироби складної конфігурації, зі складною системою пустот та має покращене заповненням форми.

Основним недоліком технології є підвищена вологість бетонної суміші, що призводить до:

- збільшення тривалості тепловологісної обробки;
- підвищених енерговитрат;
- виникнення внутрішніх напружень;
- погіршення якості виробів.

### **Пресувальний спосіб виробництва на автоматі формування блоків**

Пресувальний спосіб виробництва порожнистих стінових блоків є найбільш ефективним для сучасних автоматизованих технологічних ліній.

У бетоно-змішувальному обладнанні здійснюється приготування жорсткої бетонної суміші, після чого суміш подається до автомату формування блоків.

У процесі формування здійснюється ущільнення бетонної суміші стінками форми, пустотоутворювачами та пресувальними елементами.

Після формування блок виймається з форми на піддон та по рольгангу направляється на тепловологісну обробку або у зону твердіння.

Після набору необхідної міцності готові вироби транспортуються на склад готової продукції.

Особливістю даної технології є введення пустотоутворювачів після заповнення форми бетонною сумішшю, що забезпечує якісніше ущільнення, рівномірне формування структури виробу, покращення геометричних параметрів блоків.

Пресувальний спосіб дозволяє виготовляти вироби із мінімальними витратами ручної праці при робочому тиску 3,3–20 МПа, та має високу продуктивність.

Технологія характеризується простотою обладнання, невеликими виробничими площами, відносно низькими капітальними витратами, високою довговічністю обладнання, стабільною якістю готової продукції.

Саме тому пресувальний спосіб виробництва є найбільш доцільним для організації сучасного виробництва стінових блоків із цементовмісної суміші.

## **1.4 Порівняння та вибір технологічного варіанта**

Відповідно до технологічних вимог та техніко-економічних показників для виробництва стінових блоків із цементовмісної суміші обрано пресувальний спосіб формування виробів.

Дана технологія дозволяє виготовляти стінові блоки:

- з мінімальними витратами ручної праці;
- зі зниженими витратами енергії на тепловологісну обробку;
- із забезпеченням стабільної геометрії виробів;
- з високими показниками міцності.

Пресувальний спосіб виробництва є найбільш доцільним та економічно ефективним для організації сучасного виробництва стінових блоків.

Перевагами технології є:

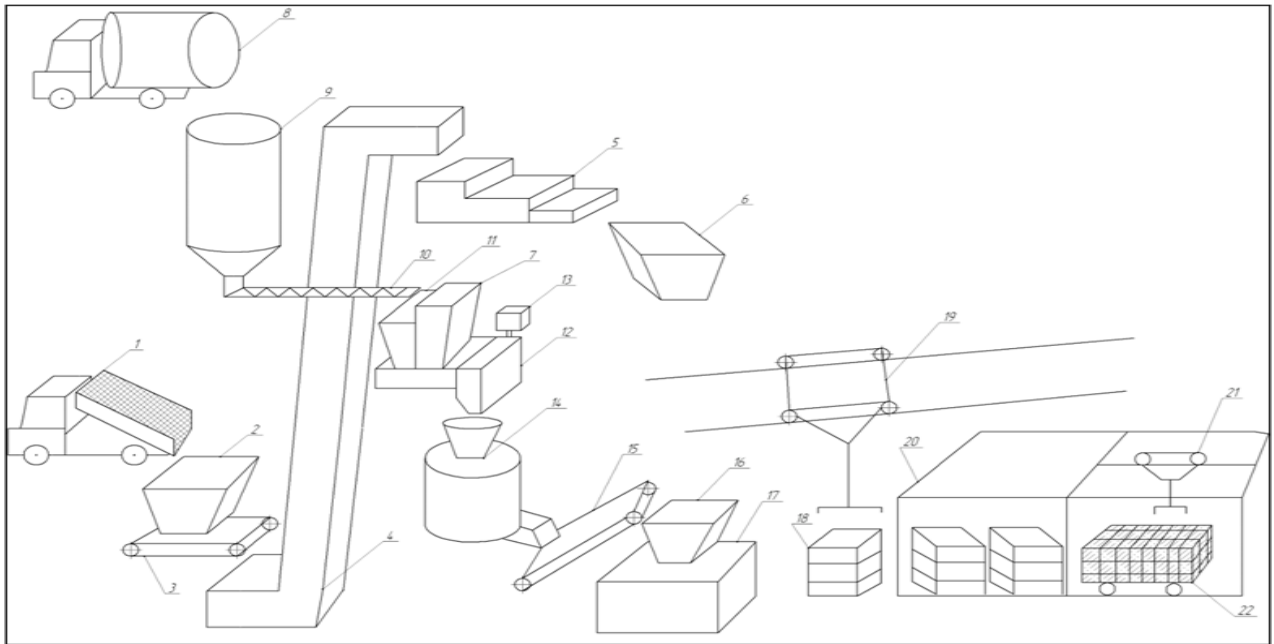
- відносна простота технологічного обладнання;
- невеликі виробничі площі;
- зниження капітальних витрат на будівництво підприємства;
- висока продуктивність;
- стабільна якість готової продукції;
- високий рівень автоматизації процесу.

Застосування пресувальної технології забезпечує:

- рівномірне ущільнення бетонної суміші;
- підвищення щільності та міцності блоків;
- покращення експлуатаційних характеристик виробів;
- підвищення довговічності продукції.

## **1.5 Розроблення технологічної схеми та опис технологічного процесу**

У результаті аналізу існуючих способів виробництва та відповідно до завдання було розроблено технологічну схему виробництва шлакобетонних стінових блоків методом пресування.



- 1 – Автомобіль; 2 – Приймальний бункер шлаку; 3 – Живильник; 4 – Елеватор;  
 5 – Класифікатор; 6 – Бункер відходи шлаку; 7 – Витратний бункер шлаку;  
 8 – Цементовоз; 9 – Силос цементу; 10 – Шнековий живильник цементу;  
 11 – Витратний бункер цементу; 12 – Двошнековий живильник-змішувач;  
 13 – Живильник води; 14 – Барабанно-валковий млин; 15 – Конвеєр;  
 16 – Бункер преса; 17 – Прес; 18 – Стелаж; 19 – Кран балка;  
 20 – Тепловологісна обробка (ТВО); 21 – Пакетувальник; 22 – Візок.

Рисунок 1.2 – Технологічна схему виробництва шлакобетонних стінових блоків методом пресування

Технологічна схема включає послідовне виконання операцій:

- підготовки сировинних матеріалів;
- дозування компонентів;
- приготування бетонної суміші;
- механічна обробка суміші;
- формування блоків;
- тепловологісної обробки;
- складування готової продукції.

Шлак доставляється на підприємство автомобільним транспортом та розвантажується у приймальний бункер.

Із приймального бункера шлак за допомогою живильника подається на елеватор. Конструкція живильника забезпечує можливість регулювання швидкості подачі матеріалу. Далі шлак надходить у класифікатор, де здійснюється відокремлення крупної фракції розміром понад 10 мм. Відсортовані відходи накопичуються у бункері відходів шлаку. Шлак необхідної гранулометричної фракції надходить у накопичувальний бункер двошнекового живильника-змішувача.

Цемент транспортується на підприємство цементовозами та за допомогою компресорного обладнання розвантажується у витратний силос цементу. Із силосу цемент шнековим живильником подається у витратний бункер цементу двошнекового живильника-змішувача.

У двошнековому живильнику-змішувачі здійснюється:

- дозування компонентів;
- перемішування шлаку та цементу;
- підготовка бетонної суміші необхідної вологості.

Для забезпечення необхідної вологості суміші змішувач обладнаний автоматизованою системою дозування води.

Автоматична система регулює подачу води відповідно до заданої програми та підтримує вологість суміші на рівні 9–12 %.

Підготовлена суміш через приймальну воронку надходить у барабанно-валковий млин.

У процесі сумісного помелу відбувається інтенсивне перемішування суміші, її рівномірне обволікання частинок шлаку цементним в'язучим та покращення структури бетонної суміші.

Після млина суміш конвеєром подається у бункер пресувальної установки, де здійснюється формування стінових блоків.

Піддони для формування блоків встановлюються у нішу преса.

Після завершення циклу пресування готові блоки на піддонах автоматично відбираються механізмом подачі та встановлюються на стелажі.

Стелажі за допомогою кран-балки транспортуються у камеру тепловологісної обробки. Після завантаження камера герметично закривається. Тепловологісна обробка блоків триває 8–10 год. Після завершення тепловологісної обробки стелажі з блоками транспортуються кран-балкою на пост пакування.

На посту пакування блоки укладаються у транспортні пакети та подаються на склад готової продукції. Транспортування пакетів виконується вагонеткою, після чого вона повертається у вихідне положення.

### **Особливості технологічної лінії**

Особливістю запропонованої технологічної лінії є використання компактної схеми транспортування сировинних матеріалів без застосування громіздких конвеєрних систем.

Модернізація технологічної лінії передбачає застосування:

- класифікатора;
- двошнекового живильника-змішувача;
- автоматизованої системи дозування води.

Практичний досвід експлуатації подібних виробництв показує, що постачальники шлаку не завжди забезпечують необхідний гранулометричний склад матеріалу.

Наявність надмірно крупних зерен заповнювача негативно впливає на якість лицьової поверхні блоків, рівномірність ущільнення та міцність виробів.

Для усунення даного недоліку у технологічній схемі передбачено класифікатор, який відокремлює частинки шлаку, що не відповідають установленій фракції.

Конструкція двошнекового живильника-змішувача забезпечує дозування цементу, дозування шлаку, перемішування компонентів, подачу суміші у млин.

Таке конструктивне рішення дозволяє відмовитися від додаткових дозаторів, скоротити кількість транспортного обладнання, знизити виробничі витрати та спростити технологічну схему.

Автоматизована система дозування води забезпечує підтримання вологості бетонної суміші на рівні 9–12 %.

### **1.6 Режим роботи підприємства**

Режим роботи підприємства приймається відповідно до вимог чинних норм технологічного проєктування підприємств промисловості будівельних матеріалів.

Згідно з прийнятою технологічною схемою виробництва встановлюється такий режим роботи:

- кількість робочих змін на добу – 2;
- тривалість однієї зміни – 8 год;
- загальна тривалість роботи обладнання на добу – 16 год;
- кількість робочих годин на місяць – 340 год;
- кількість робочих годин на рік – 4080 год.

### **Розрахунок складу бетону та складання матеріального балансу**

Вихідні дані:

1. Визначаємо річну продуктивність технологічної лінії:

$$\begin{aligned} P_{\text{річ.}} &= P_{\text{год}} \cdot \Phi \cdot K_{\text{зм}} \cdot K_{\text{тв}} \cdot K_{\text{вр}} = 500 \cdot 8760 \cdot 0,66 \cdot 0,87 \cdot 0,7 \\ &= 1760,497 \text{ шт/год} = 2995,000 \text{ т/м}^3 \end{aligned}$$

де:  $P_{\text{річ}} = 500$  шт/год – годинна продуктивність пресувальної установки;

$\Phi = 8760$  год – річний фонд часу;

$K_{\text{зм}} = 0,66$  – коефіцієнт змінності роботи обладнання;

$K_{\text{тв}} = 0,87$  – коефіцієнт технічного використання обладнання;

$K_{\text{час}} = 0,7$  – коефіцієнт використання обладнання за часом.

2. Клас бетону: В10.

3. Рухливість бетонної суміші: 5–10 см.

4. Характеристика в'язучого:

- вид цементу – портландцемент;
- марка цементу – М400;
- насипна густина цементу:  $\gamma_{\text{ц.н}} = 1300$  кг/м<sup>3</sup>.

### 5. Характеристика крупного заповнювача:

- вид – шлак;
- максимальний розмір зерен: 10 мм;
- насипна густина:  $\gamma_{\text{ш}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

### Розрахунок складу бетону

1. Визначаємо мінімальну густину бетону у сухому стані при марці пористого шлаку за насипною густиною 800:  $\gamma_6 = 1700 \text{ кг/м}^3$ .

2. Визначаємо початкову витрату цементу на 1 м<sup>3</sup> бетону:  $\text{Ц}_{\text{п}} = 250 \text{ кг/м}^3$  при максимальній крупності заповнювача 10 мм.

3. Визначаємо витрату води на 1 м<sup>3</sup> бетону:  $\text{В} = 330 \text{ л}$ .

4. Визначаємо густину бетонної суміші.

$$\gamma_{\text{Б.с.}} = \gamma_{\text{Б}} + (\text{В} - 0,45 \cdot \text{Ц}) = 1700 + (330 - 0,45 \cdot 250) = 1917,5 \text{ кг/м}^3$$

5. Визначаємо загальну витрату заповнювачів.

$$\text{З} = \gamma_{\text{Б}}^{\text{сух}} - 1,15 \cdot \text{Ц} = 1917,5 - 1,15 \cdot 250 = 1630 \text{ кг/м}^3$$

6. Визначаємо насипну густину суміші заповнювачів.

$$\gamma_{\text{Зп}} = \frac{0,9 \cdot (1 - 95) \cdot \gamma_{\text{ш}}}{1 - V_{\text{н.г}} \cdot (1 - 95)} = \frac{0,9 \cdot (1 - 95) \cdot 1000}{1 - 0,42 \cdot (1 - 95)} = 1538 \text{ кг/м}^3$$

7. Визначаємо загальний об'єм суміші заповнювачів.

$$V_{\text{З}} = \frac{\text{З}}{\gamma_{\text{Зп}}} = \frac{1630}{1538} = 1,06 \text{ м}^3$$

Результати підбору складу бетону наведені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Склад бетонної суміші

| Вид суміші | Марка бетону | Витрати сировини на 1 м <sup>3</sup> суміші |               |              |
|------------|--------------|---------------------------------------------|---------------|--------------|
|            |              | витрата цементу                             | витрата шлаку | витрата води |
| Легка      | M100         | 250                                         | 1630          | 330          |

**Розрахунок річної витрати бетонної суміші та сировинних матеріалів виконується без урахування втрат.**

Річна витрата цементу

$$\text{Ц} = \text{Ц} \cdot \text{П}_{\text{річ}} = 0,25 \cdot 2995,000 = 749\text{т}$$

Річна витрата шлаку

$$\text{Ш} = \text{Ш} \cdot \text{П}_{\text{річ}} = 1,63 \cdot 2995,000 = 4882\text{т}$$

Річна витрата води

$$\text{В} = \text{В} \cdot \text{П}_{\text{річ}} = 0,33 \cdot 2995,000 = 989\text{м}^3$$

Розрахунок витрати матеріалів за видами на рік, добу, зміну та годину виконується з урахуванням технологічних втрат.

Бетонна суміш:

$$\text{Б}_{\text{річ}} = \text{Б}_{\text{річ}} + \text{Б}_{\text{річ}} \cdot 1,5\% = 2995,000 + 45 = 3040,000\text{т}$$

$$\text{Б}_{\text{доб}} = \frac{\text{Б}_{\text{річ}}}{260} = \frac{3040,000}{260} = 12\text{т}$$

$$\text{Б}_{\text{зм}} = \frac{\text{Б}_{\text{доб}}}{2} = \frac{12}{2} = 6\text{т}$$

$$\text{Б}_{\text{год}} = \frac{\text{Б}_{\text{зм}}}{8} = \frac{6}{8} = 0,75\text{т}$$

Цемент:

$$\text{Ц}_{\text{річ}} = \text{Ц}_{\text{річ}} + \text{Ц}_{\text{річ}} \cdot 2\% = 749 + 15 = 764\text{т}$$

$$\text{Ц}_{\text{доб}} = \frac{\text{Ц}_{\text{річ}}}{260} = \frac{764}{260} = 3\text{т}$$

$$\text{Ц}_{\text{зм}} = \frac{\text{Ц}_{\text{доб}}}{2} = \frac{3}{2} = 1,5\text{т}$$

$$\text{Ц}_{\text{год}} = \frac{\text{Ц}_{\text{зм}}}{8} = \frac{1,5}{8} = 0,19\text{т}$$

Шлак:

$$\text{Ш}_{\text{річ}} = \text{Ш}_{\text{річ}} + \text{Ш}_{\text{річ}} \cdot 3\% = 4882 + 146 = 5028\text{т}$$

$$\text{Ш}_{\text{доб}} = \frac{\text{Ш}_{\text{річ}}}{260} = \frac{5028}{260} = 19\text{т}$$

$$\text{Ш}_{\text{зм}} = \frac{\text{Ш}_{\text{доб}}}{2} = \frac{19}{2} = 9,5\text{т}$$

$$\text{Ш}_{\text{год}} = \frac{\text{Ш}_{\text{зм}}}{8} = \frac{9,5}{8} = 1,18\text{т}$$

Вода:

$$\text{В}_{\text{річ}} = \text{В}_{\text{річ}} + \text{В}_{\text{річ}} \cdot 1\% = 989 + 9,89 = 999\text{м}^3$$

$$\text{В}_{\text{доб}} = \frac{\text{В}_{\text{річ}}}{260} = \frac{999}{260} = 4\text{м}^3$$

$$\text{В}_{\text{зм}} = \frac{\text{В}_{\text{доб}}}{2} = \frac{4}{2} = 2\text{м}^3$$

$$\text{В}_{\text{год}} = \frac{\text{В}_{\text{зм}}}{8} = \frac{2}{8} = 0,25\text{м}^3$$

Режим роботи підприємства: 260 діб – 2 зміни – 8 год.

Таблиця 1.5 – Витрата матеріалів на рік, добу, зміну та годину

| Характеристика<br><br>матеріалу |                  | Витрата                    |                           |      |        |     |        |      |           |      |
|---------------------------------|------------------|----------------------------|---------------------------|------|--------|-----|--------|------|-----------|------|
|                                 |                  | річна витрата              |                           |      | добова |     | змінна |      | погодинна |      |
|                                 |                  | без<br>урахування<br>втрат | з<br>урахуванням<br>втрат |      | т      | м³  | т      | м³   | т         | м³   |
|                                 |                  |                            | т                         | м³   |        |     |        |      |           |      |
| Вид                             | Марка            |                            |                           |      |        |     |        |      |           |      |
| Бетонна суміш                   | Легка            | 2995т                      | 3040                      | 1789 | 12     | 7   | 6      | 3,6  | 0,75      | 0,45 |
| Цемент                          | ПЦ 400           | 749т                       | 764                       | 588  | 3      | 2,3 | 1,5    | 1,15 | 0,19      | 0,15 |
| Шлак                            | фракція до 10 мм | 4882т                      | 5028                      | 5028 | 19     | 19  | 9,5    | 9,5  | 1,18      | 1,18 |
| Вода                            | —                | 989м³                      | —                         | 999  | —      | 4   | —      | 2    | —         | 0,25 |

### 1.7 Розрахунок кількості основного обладнання

Для забезпечення необхідної продуктивності технологічної лінії виробництва стінових блоків із цементовмісної суміші виконується розрахунок кількості основного технологічного обладнання.

### Розрахунок кількості бетонозмішувачів

Визначаємо необхідну кількість бетонозмішувачів для приготування заданого об'єму бетонної суміші.

Час приготування 0,5 м³ бетонної суміші:  $T_p = 180 \text{ с} = 3 \text{ хв}$ .

Визначаємо кількість циклів приготування бетонної суміші за 1 годину роботи бетонозмішувача.

$$n_w = \frac{60}{T_n} = \frac{60}{3} = 20_{\text{циклів}}$$

На основі отриманих даних визначаємо годинну продуктивність бетонозмішувача:

$$q_{\text{год}} = n_{\text{ц}} \times V_3 = 20 \times 0,5 = 10 \text{ м}^3/\text{год},$$

де:  $V_3$  – об'єм одного замісу, який дорівнює: 0,5 м³.

Необхідна кількість бетонозмішувачів визначається за формулою:

$$n = \frac{Q_{\text{год}}}{8760 \cdot q_{\text{час}} \cdot k_{\text{см}} \cdot k_{\text{ис}}} = \frac{2995}{8760 \cdot 10 \cdot 0,66 \cdot 0,85} = 0,6 \approx 1$$

де:  $Q_{\text{річ}} = 2995 \text{ т/м}^3$  – річна продуктивність технологічної лінії;

$q_{\text{год}}$  – годинна продуктивність бетонозмішувача;

$k_{\text{зм}} = 0,66$  – коефіцієнт змінності;

$k_{\text{вик}} = 0,85$  – коефіцієнт використання обладнання за часом.

За результатами розрахунку приймаємо: 1 бетонозмішувач.

Таблиця 1.6 – Технічна характеристика бетонозмішувача

| Основні технічні параметри          | Значення |
|-------------------------------------|----------|
| об'єм змішувача за завантаженням, л | 375      |
| об'єм готового замісу бетону, л     | 250      |
| тривалість перемішування, с         | 120      |
| встановлена потужність, кВт         | 9,7      |
| об'єм скіпового ковша, л            | 150      |
| Габаритні розміри, мм<br>довжина    | 4950     |

|                     |      |
|---------------------|------|
| ширина              | 2250 |
| висота              | 2300 |
| Маса обладнання, кг | 1650 |

### *Розрахунок кількості вібропресів*

Необхідну кількість вібропресувальних установок визначаємо за формулою:

$$n = \frac{Q_{\text{год}}}{8760 \cdot q_{\text{час}} \cdot k_{\text{см}} \cdot k_{\text{час}}} = \frac{2995}{8760 \cdot 2 \cdot 0,66 \cdot 0,85} = 0,40 \approx 1$$

де:  $Q_{\text{річ}} = 2995 \text{ т/м}^3$  – річна продуктивність технологічної лінії;

$q_{\text{год}}$  – годинна продуктивність пресувального автомата:  $2 \text{ м}^3/\text{год}$ ;

$k_{\text{зм}} = 0,66$  – коефіцієнт змінності;

$k_{\text{вик}} = 0,85$  – коефіцієнт використання обладнання за часом.

За результатами розрахунку приймаємо: 1 вібропрес.

Таблиця 1.7 – Технічна характеристика вібропреса ВП

| Основні технічні параметри        | Значення     |
|-----------------------------------|--------------|
| розміри формованих виробів, мм    | 1100×600×120 |
| тривалість циклу формування, с    | 20–25        |
| амплітуда коливань вібростола, мм | 0,8–1,2      |
| робоча збурювальна сила, кН       | 19,6         |
| встановлена потужність, кВт       | 4,1          |
| маса комплексу, кг                | 1440         |
| Габаритні розміри вібропреса, мм  |              |
| довжина                           | 3200         |
| ширина                            | 1020         |
| висота                            | 2185         |

## **2. ОСНОВНА ЧАСТИНА**

### **2.1 Характеристика процесу механічної обробки**

Механічна обробка (помел) бетонної суміші є одним із ключових технологічних процесів у виробництві стінових блоків із цементовмісної суміші методом пресування. Під нею розуміють процес інтенсивного механічного впливу на бетонну суміш, під час якого здійснюються операції перемішування, розтирання, ущільнення та часткового подрібнення компонентів. У процесі механічної обробки суміші її частинки піддаються багаторазовим контактним взаємодіям під дією сил тиску та тертя. У результаті цього відбувається руйнування інертних поверхневих плівок на зернах матеріалу та відкриття нових активних поверхонь. При подальшій переробці суміші активізуються процеси: гідратації цементу, гелеутворення, структуроутворення в'язучої системи. У результаті такого впливу відбувається інтенсивне накопичення активного гелю, який у подальшому виконує функцію в'язучої речовини у структурі бетонного композиту.

Основними компонентами сировинної суміші для виробництва шлакобетонних блоків є: доменний шлак, портландцемент та вода.

Характерною особливістю процесу помелу є те, що шлакова суміш переробляється під значним механічним тиском у товстому шарі матеріалу. Під час кожного проходження робочого органу у товщі суміші виникає інтенсивне внутрішнє тертя між частинками матеріалу. У процесі перекочування катків під дією стискання та зсувних навантажень забезпечується руйнування агломератів, рівномірне перемішування компонентів, ущільнення суміші та покращення контакту між зернами.

Процес помелу потребує певної кількості циклів механічного впливу, достатніх для досягнення необхідного ступеня структурної складу суміші.

Аналіз науково-технічної літератури показав, що традиційно основним обладнанням для такої обробки шлакових сумішей були бігуни – змішувально-помольні машини періодичної дії.

Тривалість оброблення суміші у бігунах або аналогічному обладнанні безпосередньо впливає на продуктивність технологічної лінії, якість готової продукції, енергоефективність виробництва і, звичайно, на економічність технологічного процесу.

Необхідна тривалість оброблення суміші у бігунах зазвичай становить 3–5 хв. Верхня межа тривалості перероблення, після якої покращення властивостей суміші практично припиняється, становить приблизно 10–15 хв. Зменшення тривалості помелу можливе шляхом збільшення концентрації активуючих добавок, зменшення товщини шару матеріалу, підвищення питомого тиску робочого органу, інтенсифікації механічного впливу. Встановлено, що для забезпечення ефективної переробки шлакової суміші та проходження процесів гідратації і гелеутворення необхідно забезпечити 150–250 циклів перероблення у товстому шарі матеріалу при необхідному рівні тиску. Тривалість процесу механічної обробки залежить від величини прикладеного тиску, товщини шару суміші, вологості матеріалу, конструкції робочого органу та швидкості його обертання. Відомо, що при переробленні матеріалу тиск до 50 Н/пог.см є недостатнім для забезпечення необхідного технологічного ефекту. Тиск 150–300 Н/пог.см забезпечує необхідний ступінь обробки приблизно через 5 хв роботи обладнання. Щодо товщини шару суміші, більшість дослідників наводять орієнтовний діапазон 50–150 мм. При меншій товщині шару знижується продуктивність обладнання, а при надмірному збільшенні товщини погіршується ефективність механічного впливу та рівномірність оброблення матеріалу.

## **2.2 Огляд конструкцій бігунів. Аналіз їх переваг та недоліків**

Проведений аналіз існуючих машин для подрібнення та механічної обробки матеріалів показав, що найбільш ефективними для виконання процесів розтирання та ущільнення суміші є бігуни. У процесі роботи бігунів одночасно реалізуються такі технологічні операції як подрібнення, розтирання, перемішування, ущільнення, пресування матеріалу під заданим тиском.

У промисловості будівельних матеріалів бігуни широко застосовуються

- для грубого помелу матеріалів із розміром частинок до 3–8 мм.
- для тонкого подрібнення матеріалів із кінцевим розміром зерен 0,2–0,5

мм;

Бігуни використовують для перероблення таких матеріалів як:

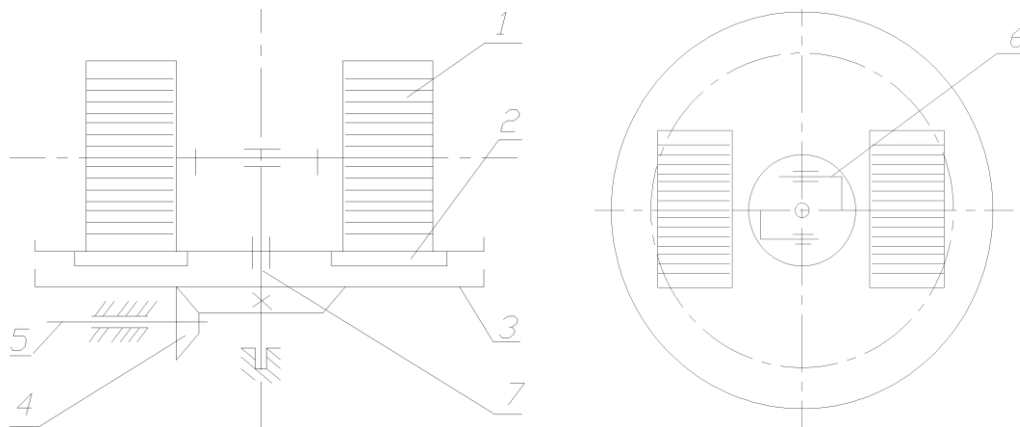
- волога глина;
- суха глина;
- кварц;
- шамот;
- польовий шпат;
- керамічний бій;

Існуючі конструкції бігунів класифікують:

- за конструктивним виконанням;
- за технологічним призначенням;
- за принципом дії.

За конструктивним виконанням розрізняють:

- бігуни з нерухомою чашею;
- бігуни з рухомою чашею.



- 1 – котки; 2 – нерухома чаша; 3 – прийомна чаша; 4 – конічна передача;  
5 – приводний вал; 6 – кривошип; 7 – головний вал.

Рисунок 2.1 Схема бігунів з нерухомою чашею

У бігунах із нерухомою чашею катки переміщуються по нерухомій поверхні чаші та одночасно обертаються навколо власної горизонтальної осі.

За технологічним призначенням бігуни поділяють на:

- бігуни мокрого подрібнення;
- бігуни сухого та напівсухого подрібнення;
- змішувальні бігуни.

Бігуни мокрого подрібнення використовуються при вологості матеріалу понад 15–16 %.

Бігуни сухого та напівсухого подрібнення застосовуються при вологості матеріалу не більше 10–12 %.

Змішувальні бігуни призначені для:

- змішування компонентів сировинної суміші;
- одночасного подрібнення матеріалу;
- ущільнення суміші.

За принципом роботи бігуни поділяються на:

- машини безперервної дії;
- машини періодичної дії.

Бігуни характеризуються діаметром катків, шириною катків, масою катків, продуктивністю, потужністю привода. Стандартні розміри катків для бігунів сухого подрібнення становлять від 600/200 мм до 1800/450 мм.

Продуктивність обладнання:

- при переробленні глини – 0,5–10 т/год;
- при переробленні польового шпату – 0,3–4,5 т/год.

Маса катків залежно від моделі машини може перевищувати 7 т.

Бігуни мокрого подрібнення належать до машин безперервної дії з нижнім приводом та нерухомою чашею.

На масивних опорних стійках (5) встановлена робоча чаша (4), яка є основним елементом машини та призначена для розміщення і оброблення матеріалу. У нижній частині стійок змонтовані поперечні балки, на яких закріплено опорний стакан п'яти вертикального валу (6). Таке конструктивне

рішення забезпечує надійне сприйняття статичних і динамічних навантажень, що виникають під час роботи обладнання.

На вертикальному валу, вище поперечини, розташоване конічне зубчасте колесо (7), яке отримує обертальний рух від привідного механізму. Через зубчасту передачу крутний момент передається на вертикальний вал, що забезпечує роботу всіх основних вузлів машини.

У верхній частині вертикального валу закріплено хомут (2) з осями кривошипів (3). На цих кривошипах встановлені котки бігунів, які мають можливість переміщуватися залежно від товщини шару оброблюваного матеріалу. Крім того, така конструкція дозволяє коткам відхилятися під час потрапляння під них твердих включень або шматків матеріалу, що не підлягають подрібненню.

Завдяки рухомому кріпленню котків суттєво знижується ризик руйнування елементів конструкції бігунів, зменшуються ударні навантаження на робочі органи та запобігається виникненню небезпечних згинальних напружень у вертикальному валу.

Бігуни обладнані скребковими пристроями, призначеними для рівномірного розподілу матеріалу в зоні подрібнення, безперервної подачі його під котки та очищення робочих поверхонь котків і бортів чаші від налиплих частинок матеріалу.

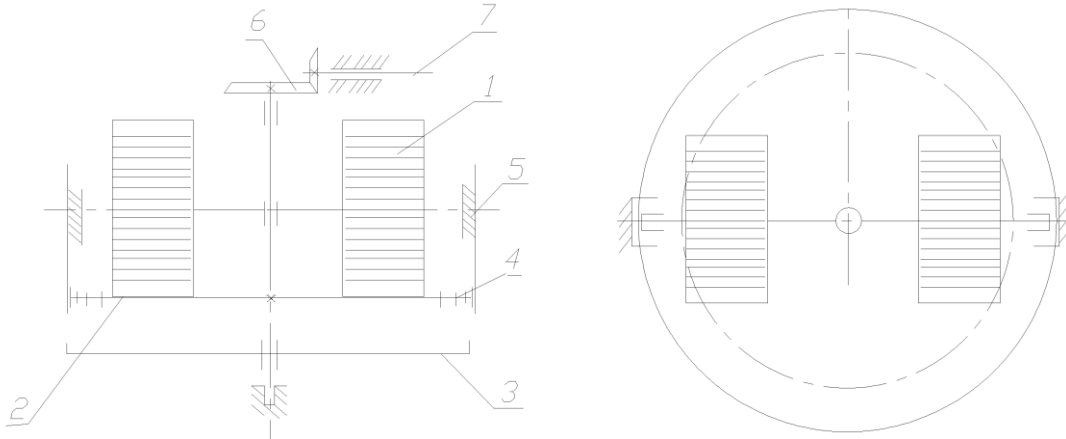
Під час роботи матеріал під дією значного питомого тиску котків продавлюється крізь отвори, виконані в плитах чаші, після чого надходить на приймальну тарілку. Для запобігання закупорюванню отворів їх виконують конічної форми з розширенням донизу.

Після проходження через отвори перероблена маса зрізається спеціальним ножем із поверхні тарілки та спрямовується до розвантажувального лотка для подальшого транспортування.

Бігуни сухого помелу призначені для подрібнення та перероблення сухих сипких матеріалів, таких як глина, шамот, польовий шпат, кварцит та інші

мінеральні компоненти, що широко використовуються у виробництві будівельних матеріалів.

Під час роботи котки бігунів, захоплювані силами тертя між їхньою поверхнею та днищем чаші, здійснюють обертання лише навколо власних горизонтальних осей. Така кінематична схема забезпечує ефективне подрібнення матеріалу та рівномірний розподіл навантаження.



- 1 – котки; 2 – обертова чаша; 3 – прийомна чаша; 4 – кільцеве сито;  
5 – підшипники вісі котків; 6 – конічна передача; 7 – приводний вал.

Рисунок 2.2 Схема бігунів з рухомою чашею

Конструкція бігунів включає два робочі котки, бокові стійки, вертикальний вал та обертову чашу, внутрішня поверхня якої футерована суцільними плитами без технологічних отворів. Під чашею розташований нерухомий піддон. По периферії днища чаші встановлюється кільцеве сито для контролю гранулометричного складу готового матеріалу. Осі котків з'єднані між собою складеною муфтою, через центральний отвір якої вільно проходить вертикальний вал. Таке конструктивне рішення забезпечує надійну передачу навантажень між елементами механізму.

Вільні кінці осей котків з боку опорних стійок оснащені повзунками, які переміщуються між напрямними елементами конструкції. Завдяки такому технічному рішенню котки мають можливість вертикального переміщення разом із муфтою, осями та повзунками у випадках потрапляння під них твердих сторонніх предметів або крупних фрагментів матеріалу. Крім того, піднімання

котків відбувається під час збільшення товщини шару матеріалу, що переробляється. Така конструкція забезпечує захист робочих органів від перевантажень, знижує ризик пошкодження вузлів машини та сприяє підвищенню її експлуатаційної надійності.

Бігуни оснащені скребковим механізмом, який виконує декілька важливих функцій у технологічному процесі. Скребки забезпечують безперервну подачу матеріалу в робочу зону під котки, а також спрямовують подрібнений продукт до просіювального пристрою. Для контролю гранулометричного складу матеріалу використовується сито, розмір комірок якого залежить від необхідного ступеня подрібнення і зазвичай становить від 2 до 8 мм.

Матеріал, що пройшов через сито, надходить на нерухомий кільцевий піддон для подальшого транспортування. Частинки, розміри яких перевищують встановлені значення і які не пройшли через сито, за допомогою скребків повторно подаються під котки для додаткового подрібнення. Таким чином реалізується замкнений цикл перероблення матеріалу, що забезпечує отримання продукту з необхідним гранулометричним складом.

У внутрішній частині кільцевого піддона встановлено додатковий скребок. Під час обертання чаші він захоплює матеріал, що надходить до нерухомого піддона, після чого спрямовує його до розвантажувального лотка. Це забезпечує безперервність технологічного процесу та виключає накопичення готового матеріалу в робочій зоні машини.

Застосування бігунів у технологічних лініях має як суттєві переваги, так і певні недоліки. До основних переваг належить висока ефективність перероблення сировинних матеріалів, особливо у виробництві керамічних та будівельних виробів. Значною перевагою є те, що котки часто виготовляються з кам'яного литва або інших зносостійких матеріалів, що практично виключає потрапляння металевих частинок до сировинної суміші внаслідок зношування робочих органів. Це дозволяє підтримувати стабільний склад шихти та забезпечувати високу якість готової продукції.

Ще однією важливою перевагою бігунів є їх здатність здійснювати інтенсивне розтирання та перемішування матеріалу безпосередньо в товщі шару. На відміну від багатьох інших подрібнювальних машин, у бігунах процес руйнування частинок відбувається не лише в зоні контакту з робочими органами, а й у всьому об'ємі матеріалу. Це сприяє активізації поверхні частинок, покращує однорідність суміші та підвищує ефективність підготовки сировини до подальших технологічних операцій.

Разом із тим даний тип обладнання має і певні недоліки. Насамперед до них належать значна маса та великі габаритні розміри машини. Це обумовлює необхідність використання вантажопідіймального обладнання великої вантажопідйомності під час монтажу, демонтажу та виконання ремонтних робіт. Відповідно збільшуються витрати на обслуговування та експлуатацію обладнання.

Крім того, значні габарити бігунів потребують виділення додаткових виробничих площ для їх розміщення. В умовах сучасних підприємств, які прагнуть мінімізувати виробничі площі, підвищити компактність технологічних ліній та знизити енергетичні витрати, використання такого обладнання не завжди є економічно доцільним.

Слід також враховувати, що експлуатація бігунів супроводжується підвищеними витратами електричної енергії, пов'язаними з необхідністю переміщення значних мас робочих органів та подолання сил тертя в процесі подрібнення матеріалу. У результаті застосування бігунів у сучасних енергоощадних технологічних схемах може призвести до збільшення експлуатаційних витрат.

З огляду на зазначені особливості використання бігунів для механічної обробки шлакових сумішей у технологічних лініях виробництва шлакоблоків методом вібропресування є недостатньо ефективним. У таких умовах доцільніше застосовувати більш компактне та енергоефективне обладнання, яке забезпечує необхідний ступінь подрібнення та активізації матеріалу при менших витратах виробничих ресурсів.

## 2.3 Конструкції барабанно-валкових млинів

### Аналіз агрегатів барабанно-валкового типу

Аналіз машин, що застосовуються для механічної обробки бетонних сумішей, свідчить про те, що поряд із бігунами для реалізації процесу можуть ефективно використовуватись агрегати барабанно-валкового типу.

Характер взаємодії бетонної суміші з робочими органами дає підстави вважати, що для реалізації процесу механічної обробки конструктивно та технологічно придатним є барабанно-валковий подрібнювач, виконаний у модифікованому варіанті відповідно до умов перероблення шлакових сумішей.

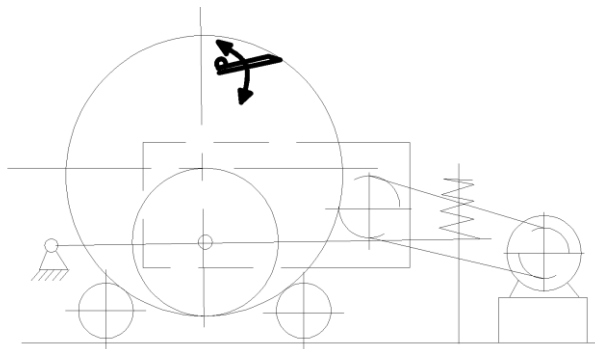


Рисунок 2.3 – Схема барабанно-валкового млина (подрібнювача)

Існуючі конструкції барабанно-валкових подрібнювачів класифікують за кількістю камер подрібнення, за конструкцією притискних пристроїв, за принципом дії.

За кількістю камер подрібнення агрегати поділяють на одновалкові та двовалкові. Конструктивне виконання робочої поверхні валків може бути циліндричним чи із симетрично скошеними кутами 5–15°. Форма робочої поверхні валків визначається технологічними процесами, що відбуваються у кожній камері подрібнення.

За конструкцією притискних пристроїв розрізняють двоопорне кріплення валка або консольне кріплення валка.

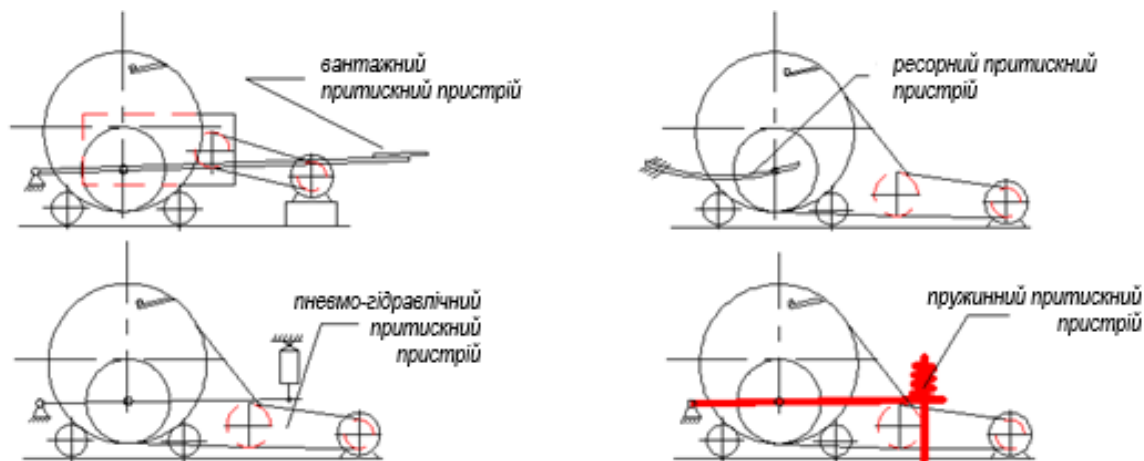


Рисунок 2.4 – Схеми конструкцій притискних пристроїв

Тип конструкції залежить від кількості камер подрібнення, конструкції притискного механізму та режиму роботи агрегату. За типом притискних пристроїв застосовують: вантажні; ресорні; пневмогідравлічні та пружинні системи. Конструкція кожного типу притискного пристрою визначається технологічним призначенням агрегату та необхідною величиною притискного зусилля. За принципом роботи барабанно-валкові подрібнювачі поділяються на машини безперервної дії та машини періодичної дії.

Для машин безперервної дії характерним є застосування ножа-знімача, який працює у постійному режимі та забезпечує безперервне видалення переробленого матеріалу із робочої зони.

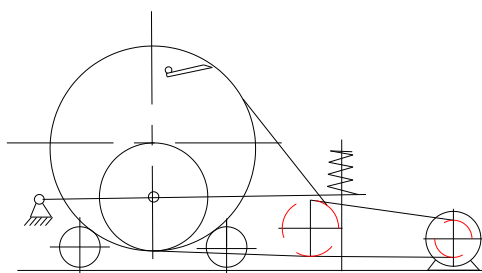


Рисунок 2.5 – Схеми конструкції барабано-валкового млина безперервної дії

Машини періодичної дії обладнуються двома ножами: для вивантаження готового продукту та ножем-розпушувачем для перемішування та розпушення ущільненого шару матеріалу.

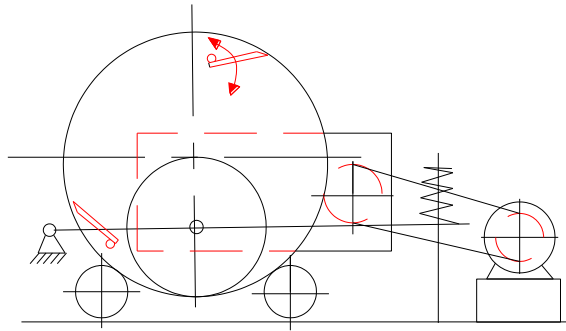


Рисунок 2.6 – Схеми конструкції барабано-валкового млина періодичної дії

Вивантажувальний ніж працює у періодичному режимі та використовується лише після завершення циклу оброблення суміші. Після завершення процесу механічної обробки ніж-знімач знаходиться у нижньому відведеному положенні.

Ніж-розпушувач перебуває у постійному контакті з ущільненою масою, що підвищує інтенсивність механічного впливу валка на елементарні частинки матеріалу.

### **Аналіз недоліків та шляхи їх усунення**

Аналіз конструктивних недоліків існуючих барабанно-валкових млинів дозволив визначити основні напрямки їх удосконалення.

Таблиця 2.1 – Недоліки та пропозиції щодо їх усунення

| Недолік                                                                                                                    | Пропозиція про усунення                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| періодичний режим роботи                                                                                                   | переведення агрегату у режим безперервної дії |
| складність технічного обслуговування привода (складність заміни веденої зірочки, складність кріплення привода до барабана) | застосування фрикційних опорних роликів       |

### **Пропозиції щодо вдосконалення машини та її складових частин**

Проведений аналіз конструктивних недоліків показав необхідність внесення ряду змін у конструкцію барабанно-валкового млина.

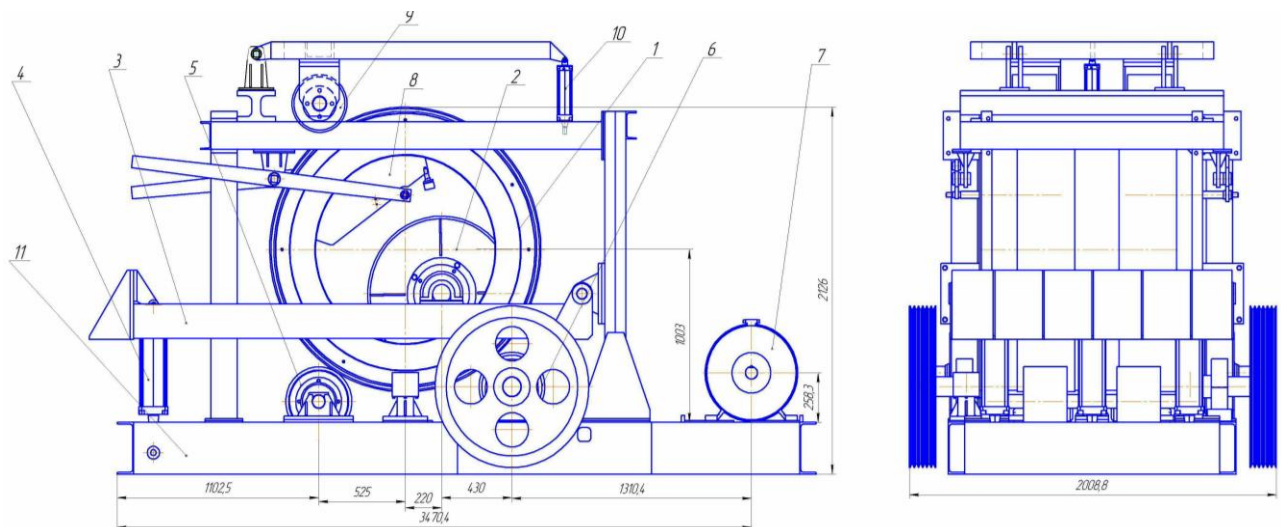
1. Переведення барабанно-валкового агрегату у режим безперервної дії.

Це дозволить підвищити продуктивність млина, зменшити металомісткість обладнання, спростити технологічну схему, відмовитися від використання дозаторів періодичної дії, забезпечити безперервну подачу суміші. Для забезпечення осьового переміщення шлакової суміші агрегат необхідно встановлювати під певним кутом нахилу.

2. Виконання привода через фрикційні опорні ролики. Це рішення забезпечить простоту технічного обслуговування, відсутність редуктора, відсутність ланцюгової передачі, зниження динамічних навантажень, підвищення надійності привода.

### Опис конструкції проєктованого барабанно-валкового млина

Проектований барабанно-валковий млин є машиною безперервної дії, призначеною для механічної обробки шлакової суміші перед пресуванням стінових блоків. У конструкції машини реалізовано основні робочі органи: барабан та валок.



- 1 – барабан; 2 – валок; 3 – рама валка; 4 – пневмоциліндр притискання валка;  
 5 – опорні ролики; 6 – вал приводного ролика; 7 – електропривод; 8 – ніж;  
 9 – ролик притискання барабана; 10 – пневмоциліндр притискання ролика;  
 11 – рама.

Рисунок 2.7 – Барабано-валковий млин

Барабан та валок утворюють фрикційну пару, яка затискає шар матеріалу та забезпечує його залучення у обертальний рух. Для зменшення зношування барабана всередині нього жорстко закріплено розмельне кільце, яке перебуває у постійному контакті з матеріалом та валком. Барабан обертається із надкритичною швидкістю, що забезпечує надійне притискання частинок матеріалу, рівномірний розподіл суміші по поверхні кільця та стабільність технологічного процесу.

Машина приводиться у рух за допомогою електропривода, який включає: електродвигун; клинопасову передачу; фрикційну передачу. Передача крутного моменту від електродвигуна до барабана здійснюється через приводну роликоопору, яка одночасно виконує функцію опори барабана. Неприводна роликоопора разом із приводною сприймає усі навантаження, як то: навантаження від барабана, навантаження від валка, навантаження від шару матеріалу. Притискне зусилля до валка прикладається за допомогою пневмоважільного притискного механізму.

Під час обертання барабана шлакова суміш під дією відцентрових сил притискається до поверхні розмельного кільця та розподіляється товстим шаром. Валок, навантажений пневмоважільним механізмом, створює необхідний тиск на шар матеріалу. Затиснений шар суміші піддається ущільненню, розтиранню, інтенсивному тертю між частинками. Після кожного проходження валка ущільнений шар матеріалу розпушується ножем. Для забезпечення необхідної кількості циклів механічної обробки ніж перебуває у постійному контакті з матеріалом. Безперервне вивантаження обробленої суміші здійснюється за допомогою ножів-знімачів. Кут нахилу агрегату може змінюватися за допомогою механізму нахилу.

Після завершення процесу механічної обробки, суміш під дією ножа спрямовується на розвантажувальний лоток та виводиться за межі агрегату.

### 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Визначення робочих параметрів барабанно-валкового млина

##### Визначення основних геометричних параметрів та кутової швидкості

Попередній вибір геометричних параметрів барабанно-валкового млина здійснюється на основі співвідношень, прийнятих відносно діаметра барабана  $D$ .

Приймаємо:

- діаметр барабана:  $D = 1,6$  м;
- довжина барабана:  $L = (0,7 \div 1,0) \cdot D = 0,75 \cdot 1,6 = 1,2$  м;
- діаметр валка:  $d_v = (0,5 \div 0,7) \cdot D = 0,55 \cdot 1,6 = 0,9$  м;
- довжина валка:  $B = (0,7 \div 1,0) \cdot d_v = 0,88 \cdot 0,9 = 0,8$  м;
- діаметр опорних роликів:  $d_p = (0,2 \div 0,4) \cdot D = 0,25 \cdot 1,6 = 0,4$  м;
- діаметр бандажа барабана:  $D_6 = (1,05 \div 1,2) \cdot D = 1,1 \cdot 1,6 = 1,76$  м;
- ширина бандажа:  $B_6 = (0,2 \div 0,3) \cdot L = 0,3 \cdot 1,2 = 0,35$  м.

Кутова швидкість барабана визначається за формулою:

$$\omega_6 = K_\omega \cdot \omega_{кр} = 1,75 \cdot 3,5 = 6 \text{ с}^{-1},$$

де:  $\omega_{кр}$  – критична кутова швидкість барабана;

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R}} = \sqrt{\frac{9,81}{0,8}} = 3,5 \text{ с}^{-1}$$

де:  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння;

$R = D/2$  – радіус барабана;

$K_\omega = 1,5\text{--}2,5$  – коефіцієнт підвищення швидкості.

Приймаємо:  $\omega_6 = 10 \text{ с}^{-1}$ .

Тоді частота обертання барабана:

$$n_6 \approx 10 \cdot \omega_6 = 10 \cdot 6 = 60 \text{ об/хв.}$$

#### Продуктивність барабанно-валкового млина

Продуктивність барабанно-валкового млина визначається з урахуванням геометричних параметрів робочої зони та швидкості осьового переміщення матеріалу.

$$Q = \pi \cdot D_6 \cdot h \cdot \vartheta_0 = 3,14 \cdot 1,6 \cdot 0,06 \cdot 14,5 = 4,4 \text{ м}^3/\text{год.}$$

де  $D_6$  – діаметр барабану, м;

$h$  – товщина шару матеріалу під валком у ущільненому стані, м

$$h = (0,11 \div 0,15) \cdot r_6 = 0,13 \cdot 0,45 = 0,06 \text{ м,}$$

де:  $r_6$  – радіус валка.

$\vartheta_0$  – осьова швидкість переміщення матеріалу вздовж барабана визначається з урахуванням часу перебування суміші у млині.

$$\vartheta_0 = \frac{B}{t} \cdot 60 = \frac{0,8}{2} \cdot 60 = 14,5 \text{ м/год.}$$

$t$  – час перебування матеріалу у барабанно-валковому млині визначається залежно від необхідної кількості циклів прокочування.

$$t = \frac{n_{\text{ц}}}{n_6} = \frac{200}{60} = 3,3 \text{ хв}$$

$n$  – кількість циклів прокочування матеріалу, необхідних для забезпечення ефективної впливу:  $n = 150 \div 300$ . Приймаємо:  $n = 200$ .

При густині матеріалу під валком:  $\gamma = 1,5 \text{ т/м}^3$  продуктивність млина становить:

$$Q' = Q \cdot \gamma = 4,4 \cdot 1,5 = 6,5 \text{ т/год.}$$

Зусилля притискання валка визначається з урахуванням максимального тиску на шар матеріалу.

$$P_{\Sigma} = q q_{\text{max}}^6$$

де:  $q_{\text{max}}$  – максимальний тиск валка на шар суміші:  $q_{\text{max}} = 1\text{--}5 \text{ МПа}$ .

Для процесу механічної обробки силікатних сумішей характерною особливістю є порівняно невелике необхідне максимальне значення тиску у порівнянні з іншими типами сумішей. Приймаємо  $q_{\text{max}} = 1 \text{ МПа}$ .

Коефіцієнт співвідношення середнього та максимального тиску:

$$k_q = \frac{q_{\text{ум}}}{q_{\text{max}}}$$

Зазвичай він становить  $k_q = 0,2 \div 0,3$ .

### Визначення потужності привода барабанно-валкового млина

Потужність привода визначається за формулою:

$$N = P \cdot f \cdot \omega_6 \cdot R_6 = 72000 \cdot 0,15 \cdot 10 \cdot 0,8 = 86400 \text{ Вт.}$$

де:  $f = 0,15 \div 0,25$  – коефіцієнт опору руху;

$R_6$  – радіус бандажа барабана.

Для привода млина приймаємо два електродвигуни потужністю  $N = 75 \text{ кВт}$ ; та  $n = 1000 \text{ об/хв}$ .

Тип електродвигуна: АИР 280 S6.

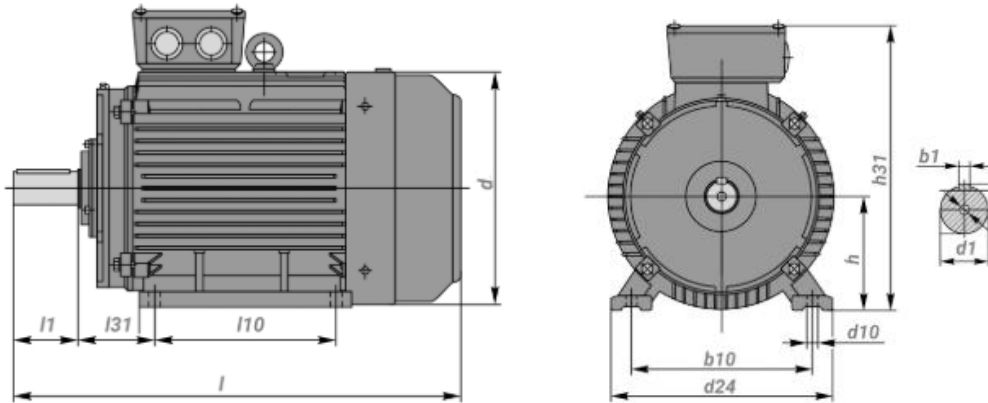


Рисунок 3.1 – Електродвигун АИР280S6

Необхідне передаточне число привода:

$$u_{\Sigma\Pi} = n_{\text{дв}} / n_6 = 1000 / 100 = 10.$$

Передаточне число привода формується із:

- передаточного числа фрикційної пари «бандаж–ролик»;
- передаточного числа клинопасової передачі.

Передаточне число фрикційної пари:

$$u_{\text{фр}} = D_6 / d_p = 1,6 / 0,4 = 4.$$

Необхідне передаточне число клинопасової передачі:

$$u_{\text{пас}} = u_{\Sigma\Pi} / u_{\text{фр}} = 10 / 4 = 2,5.$$

### 3.2 Інженерні розрахунки

#### Розрахунок клинопасової передачі

Для привода приймаємо клиновий пас типу «В».

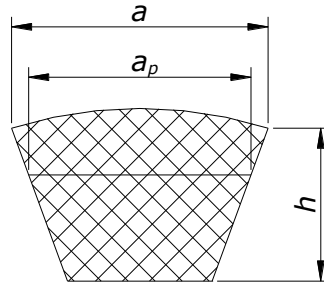


Рисунок 3.2 – Перетин клинового пасу типу «В»

Основні параметри пасу:  $a = 22$  мм;  $a_p = 19$  мм;  $h = 13,5$  мм;  $\varphi = 34^\circ$ .

Попередньо приймаємо діаметр меншого шківів:  $d_1 = 355$  мм.

Швидкість пасу визначається залежно від кутової швидкості шківів та радіуса шківів.

$$v_{\text{пас}} = \omega_{\text{шківів}} \cdot R_{\text{шківів}} = 104,66 \cdot 0,1775 \approx 18,56 \text{ м/с}$$

$$\omega_{\text{шківів}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв}}}{30} \approx 104,66 \text{ с}^{-1}$$

Потужність, що передається одним пасом:  $N_0 = 7,65$  кВт.

Кут обхвату меншого шківів:  $\alpha = 160^\circ$ .

Кількість ременів визначається з урахуванням потужності двигуна, коефіцієнта кута обхвату режиму роботи передачі:

$$z = \frac{N}{N_0 \cdot k_1 \cdot k_2} = \frac{45}{7,65 \cdot 0,95 \cdot 1,0} = 6,1$$

де:  $N$  – потужність двигуна, кВт;

$k_1$  – коефіцієнт, який залежить від кута обхвату.

$k_2$  – коефіцієнт, який враховує характер навантаження та режим роботи.

Приймаємо:  $z = 6$  пасів.

Діаметр більшого шківів:

$$D_2 = d_1 \cdot i_{\text{р.п.}} = 355 \cdot 2,5 = 887,5 \approx 900 \text{ мм.}$$

Міжосьова відстань клинопасової передачі:  $l = 1500$  мм.

Розрахункова довжина пасу:

$$L = 2 \cdot l + W + \frac{y}{l} = 2 \cdot 1500 + 1971 + \frac{74256}{1500} = 5020 = 5000 \text{ мм.}$$

де:  $W = \left( \frac{D_2 + d_1}{2} \right) \cdot \pi = \left( \frac{900 + 355}{2} \right) \cdot 3,14 = 1970,35 \approx 1971 \text{ мм}$

$$y = \left( \frac{D_2 - d_1}{2} \right)^2 = \left( \frac{900 - 355}{2} \right)^2 = 74256 \text{ мм}$$

Визначаємо остаточну міжосьову відстань передачі та зусилля у гільці пасу.

$$\begin{aligned} l &= 0,25 \cdot \left[ (L - W) + \sqrt{(L - W)^2 - 8y} \right] = \\ &= 0,25 \cdot \left[ (5000 - 1971) + \sqrt{(5000 - 1971)^2 - 8 \cdot 74256} \right] \\ &= 1490 \text{ мм} \end{aligned}$$

$$P_{\text{пас}} = \frac{M_{\text{кр1}}}{r_1} = \frac{2 \cdot M_{\text{кр1}}}{d_1} = \frac{2 \cdot 430}{0,1775} \approx 4845 \text{ Н}$$

Крутний момент на шківі електродвигуна визначається відповідно до параметрів привода.

$$M_{\text{кр1}} = \frac{N_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв}}} = \frac{45000}{104,66} = 430 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Консольне навантаження клинопасової передачі на вал визначається з урахуванням сил натягу пасів.

$$P_{\text{конс}} = 3 \cdot P_{\text{рем}} = 3 \cdot 4845 = 14535 \text{ Н}$$

### **Розрахунок фрикційної передачі**

Використання фрикційної пари «бандаж–ролик» можливе за умови відсутності пробуксовування роликів по бандажах. Необхідно забезпечити виконання умови:

$$F_{\text{зч}} > F_{\text{тер}}.$$

де:  $F_{\text{зч}}$  – сила зчеплення роликів із бандажами;

$$F_{\text{зч}} = \frac{N_{\text{зч}} \cdot f}{K_{\text{зч}}} = \frac{57,6 \cdot 0,25}{1,05} = 13,7 \text{ кН}$$

$N_{\text{зч}}$  – сила тиску бандажів на приводні опорні ролики визначається залежно від розташування валка у барабані. Для конструктивних схем зі зміщенням валка від вертикальної осі барабана на  $25\text{--}30^\circ$  у напрямку його обертання приймаємо:

$$N_{\text{сц}} = (0,7 \div 0,8) P_{\Sigma} = 0,8 \cdot 72 = 57,6 \text{ кН}$$

$f$  – коефіцієнт зчеплення роликів із бандажами при використанні металевих роликів:  $f_{\text{сц}} = 0,20 \div 0,25$ .

$K_{\text{зч}}$  – Коефіцієнт запасу зчеплення:  $K_{\text{зч}} = 1,05 \div 1,15$ .

$F_{\text{тр}}$  – тягове зусилля приводних роликів.

$$F_{\text{тр}} = \frac{N_{\text{дв}} \cdot \eta}{V_{\text{б}}} = \frac{90 \cdot 0,95}{8,8} = 9,71 \text{ кН}$$

$V_{\text{б}}$  – лінійна швидкість бандаж:  $V_{\text{б}} = \omega \cdot R_{\text{б}} = 10 \cdot 0,88 = 8,8 \text{ м/с}$ .

$R_{\text{б}}$  – Радіус бандаж:  $R_{\text{б}} = D_{\text{б}} / 2 = 1,76 / 2 = 0,88 \text{ м}$ .

Перевірка умови:  $13,7 > 9,71$ .

Умова виконується, пробуксовування роликів не відбуватиметься.

### Визначення навантаження на роlikоопори

Визначаються навантаження:

- на приводну роlikоопору:  $P_{\text{пр.}} = P_{\Sigma} \cdot \cos 15^{\circ} = 72 \cdot 0,96 = 69 \text{ кН}$
- на не приводну роlikоопору:  $P_{\text{н.п.}} = P_{\Sigma} \cdot \cos 60^{\circ} = 72 \cdot 0,5 = 36 \text{ кН}$

Розрахунок навантажень виконується з урахуванням маси барабана, маси валка, маси матеріалу, дії притискного зусилля.

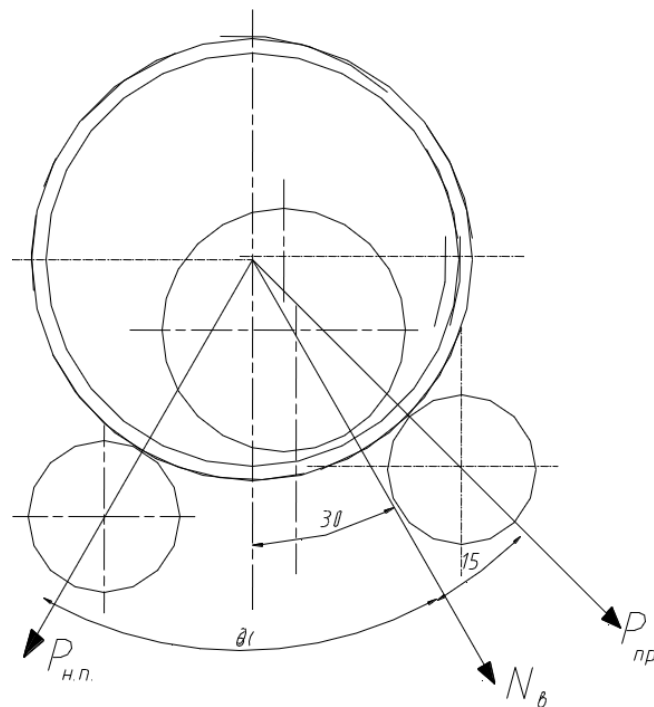


Рисунок 3.3 – Схема навантажень роlikоопор

## Розрахунок приводного валу

Вихідні дані:

$$P_{\text{пр}} = 14535 \text{ Н} = 14,6 \text{ кН};$$

$$P_{\text{пр}} = 69 \text{ кН};$$

$$P_1 = P_2 = P_{\text{пр}} / 2 = 69 / 2 = 34,5 \text{ кН};$$

$$AB = 0,26 \text{ м};$$

$$BC = DE = 0,48 \text{ м};$$

$$CD = 0,57 \text{ м}.$$

Розрахункова схема проміжного валу наведена на рис. 3.4.

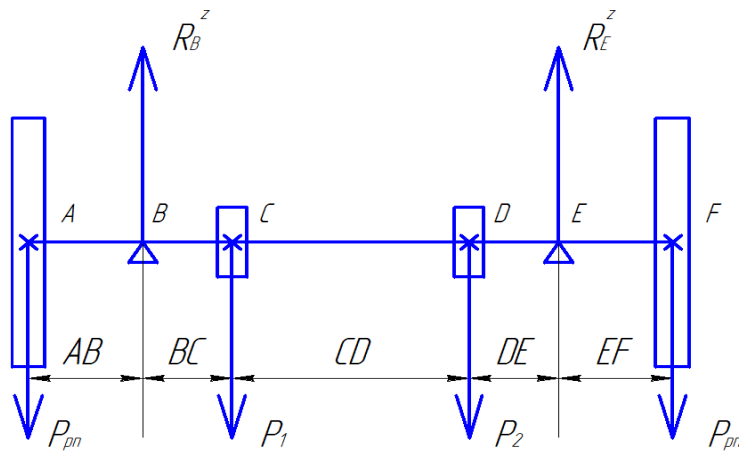


Рисунок 3.4 – Розрахункова схема проміжного валу

Оскільки величина консольного навантаження клинопасової передачі на приводний вал розташована під кутом відносно навантажень від барабана, сили  $P_1$  та  $P_2$  розкладають на складові.

Розрахунок виконується у двох площинах: ZX та YX.

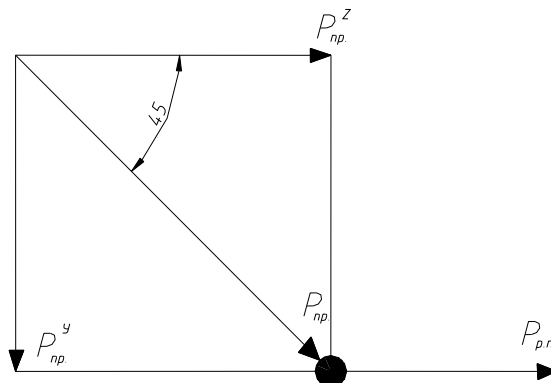


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема у двох площинах

Визначення реакцій опор та згинальних моментів у площині ZX

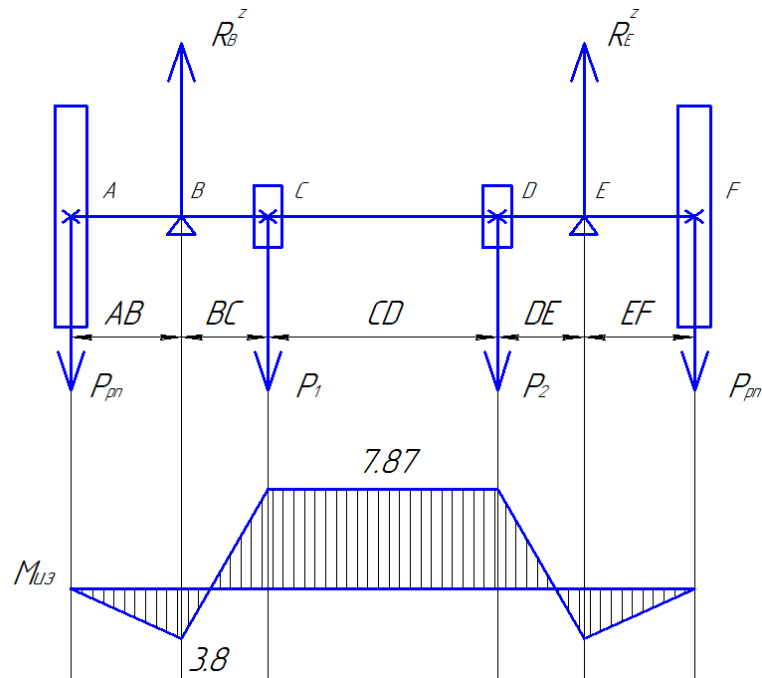


Рисунок 3.6 – Епюри згинальних моментів у площині ZX

Визначаємо реакцію опори у точці В.

$$\sum M_B = 0:$$

$$-P_{\text{п.н.}} \cdot AB + P_1 \cdot BC \cdot \cos 45^\circ + P_2 \cdot (BC + CD) \cdot \cos 45^\circ - R_E^Z \cdot (BC + CD + DE) + P_{\text{п.н.}} \cdot (BC + CD + DE + EF) = 0$$

$$R_E^Z$$

$$= \frac{-P_{\text{п.н.}} \cdot AB + P_1 \cdot BC \cdot \cos 45^\circ + P_2 \cdot (BC + CD) \cdot \cos 45^\circ + P_{\text{п.н.}} \cdot (BC + CD + DE + EF)}{(BC + CD + DE)}$$

$$= \frac{-14.6 \cdot 0.26 + 34.5 \cdot 0.48 \cdot 0.7071 + 34.5 \cdot 1.05 \cdot 0.7071 + 14.5 \cdot 1.79}{1.53}$$

$$= 38.9 \text{ кН}$$

Після цього визначаємо реакцію опори у точці Е.

$$\sum F_z: P_{\text{п.н.}} - R_E^Z + P_1 \cdot \cos 45^\circ + P_2 \cdot \cos 45^\circ - R_B^Z + P_{\text{п.н.}} = 0$$

$$R_B^Z = P_{\text{п.н.}} - R_E^Z + P_1 \cdot \cos 45^\circ + P_2 \cdot \cos 45^\circ + P_{\text{п.н.}} =$$

$$= 14.6 - 38.9 + 34.5 \cdot 0.7071 + 34.5 \cdot 0.7071 + 14.6 = 38.9 \text{ кН}$$

За результатами розрахунків визначаються:

- згинальний момент у точці В

$$M_B^z = M_E^x = -P_{p.l.} \cdot AB = -14,6 \cdot 0,26 = -3,8 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

- згинальний момент у точці С.

$$M_C^z = M_D^x = -P_{p.l.} \cdot (AB + BC) + R_B^z \cdot BC = -14,6 \cdot (0,26 + 0,48) + 38,9 \cdot 0,48 = 7,87 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

На основі отриманих значень будуються епюри згинальних моментів у площині ZX.

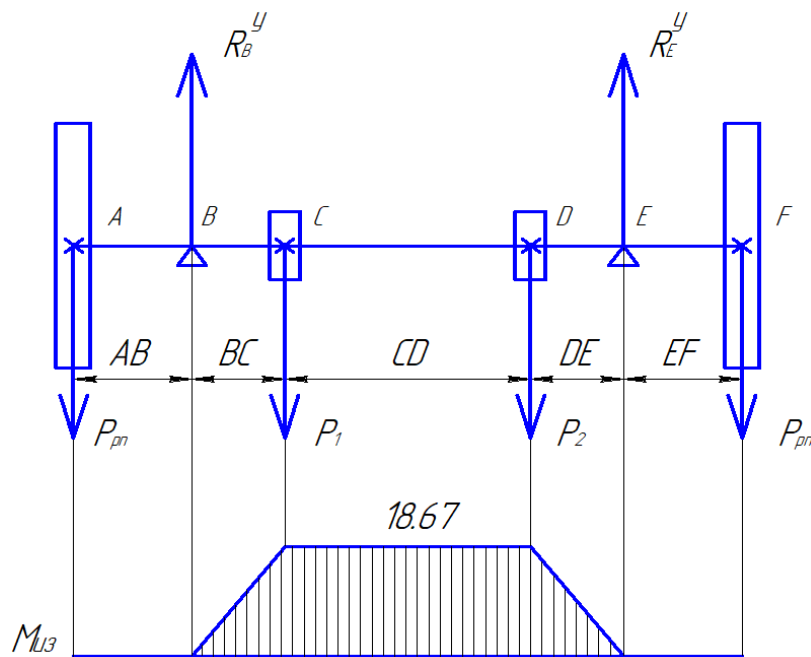


Рисунок 3.7 – Епюри згинальних моментів у площині YX

*Визначення реакцій опор та згинальних моментів у площині YX*

Навантаження на вал від фрикційної передачі є симетричним відносно опор, тому реакції опор визначаються за спрощеною схемою.

$$R_B^y = R_E^y = \frac{2 \cdot P \cdot \cos 45^\circ}{2} = -\frac{2 \cdot 34,5 \cdot 0,7071}{2} = 24,4 \text{ кН}$$

Після визначення реакцій опор розраховують:

- згинальні моменти у точках С і D

$$M_C^y = M_D^y = R_B^y \cdot BC = R_D^y \cdot CD = 38,9 \cdot 0,48 = 18,67 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

- згинальні моменти у площині YX.

$$M_{крA} = M_{крC} = M_{крF} = M_{крD} = \frac{N_{дв}}{\omega_{рол.}} = \frac{45000 + 45000}{40} = 2250 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\approx 2,25 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

### Визначення крутних моментів

Для приводного валу визначають крутні моменти та будують відповідні епюри.

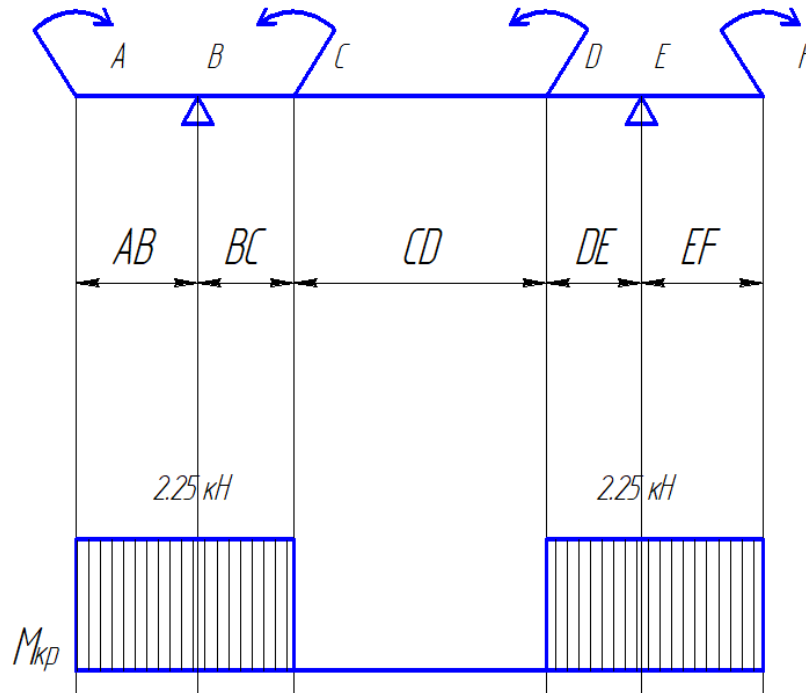


Рисунок 3.8 – Епюри крутних моментів

На основі отриманих результатів визначають:

- еквівалентні навантаження на опорах валу

$$R_B = R_E = \sqrt{(R_B^z)^2 + (R_B^y)^2} = \sqrt{38,9^2 + 24,4^2} = 45,9 \text{ кН}$$

- максимальні еквівалентні згинальні моменти у найбільш небезпечних перерізах

$$M_{\Sigma 3rD} = \gamma M_{\Sigma 3rC} = \sqrt{(M_D^z)^2 + (M_D^y)^2} = \sqrt{(7,87)^2 + (18,67)^2} = 20,26 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

- еквівалентний момент

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{M_{\Sigma 3r}^2 + M_{\text{кр}}^2} = \sqrt{20,26^2 + 2,25^2} = 20,38 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Діаметр приводного валу визначають за умовою міцності:

$$d = \sqrt[3]{\frac{W}{0,1}} = \sqrt[3]{\frac{203800}{0,1}} = 126,78 \text{ мм}$$

де:  $W$  – сумарний момент опору;

$$W = \frac{M_{\text{екв}}}{[\sigma]} = \frac{20,38 \cdot 10^6}{100} = 203800 \text{ мм}^3$$

$[\sigma] = 100 \text{ Н/мм}^2$  – допустиме напруження при згині для сталі 45.

З урахуванням можливого збільшення навантаження на вал роlikоопори внаслідок потрапляння під валок недробимих включень приймаємо  $d_{\text{валу}} = 140 \text{ мм}$ .

### **Розрахунок та вибір підшипників**

Еквівалентне навантаження на підшипник визначається за формулою:

$$P_e = (x \cdot V \cdot F + y \cdot F_o) \cdot k_b \cdot k_T = (1 \cdot 1 \cdot 45900 + 0) \cdot 1,3 \cdot 1 = 59670 \text{ Н}$$

де:  $V = 1$  – коефіцієнт, що враховує тип кільця, яке обертається;

$k_b = 1,3$  – коефіцієнт запасу;

$k_T = 1$  – температурний коефіцієнт;

$F$  – радіальна сила;

$F_o$  – осьова сила.

Динамічна вантажопідйомність підшипника визначається з урахуванням ресурсу роботи:

$$C = P_e \cdot L^{0,33} = 59670 \cdot 10800^{0,33} = 678234 \text{ Н}.$$

де:  $L = 3600 \cdot 3 = 10800 \text{ год.}$  – час відпрацювання підшипника;

3600 год – кількість годин роботи підшипника на рік;

3 роки – розрахунковий строк експлуатації.

За результатами розрахунків за DIN 22324 обираємо роlikовий радіальний підшипник із короткими роliками: Підшипник 3624, який має такі параметри:  $d = 120 \text{ мм}$ ;  $D = 260 \text{ мм}$ ;  $B = 86 \text{ мм}$ ;  $C = 760000 \text{ Н}$ .



Рисунок 3.9 – Роликовий радіальний підшипник  
із короткими роликами за DIN 22324

### Вибір шпонки

Для валу діаметром:  $d_{\text{валу}} = 115 \text{ мм}$  за DIN 6885 приймаємо призматичну шпонку зі сталі 45.

Основні параметри шпонки:

- ширина:  $b = 32 \text{ мм}$ ;
- висота:  $h = 18 \text{ мм}$ ;
- глибина паза шківів:  $t_1 = 7,4 \text{ мм}$ ;
- глибина паза вала:  $t = 11 \text{ мм}$ ;
- довжина шпонки:  $l = 140 \text{ мм}$ .

Виконуємо перевірку шпонки на зминання.

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{2 \cdot M_{\text{кр}}}{l \cdot d_{\text{валу}} \cdot k} \leq [\sigma_{\text{зм}}] = 80 \dots 150 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{2 \cdot 1125000}{140 \cdot 115 \cdot 7,4} = 18 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\text{зм}}]$$

За результатами перевірки прийнята шпонка задовольняє умову міцності на зминання.

### Розрахунок валу валка барабанно-валкового млина

Вихідні дані:  $N_{\text{в}} = 72 \text{ кН}$ ;

$$P_1 = P_2 = N_{\text{в}} / 2 = 72 / 2 = 36 \text{ кН};$$

$$AB = 0,44 \text{ м}; \quad BC = 0,58 \text{ м}; \quad CD = 0,44 \text{ м}.$$

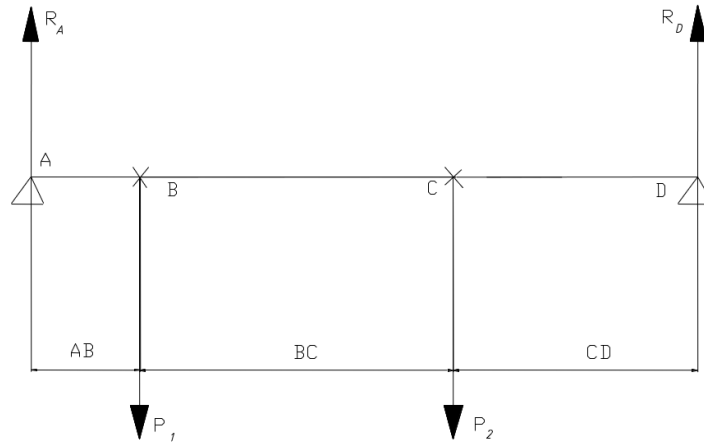


Рисунок 3.10 – Розрахункова схема валу валка

Визначимо реакції опор, згинальні моменти, побудуємо епюри згинальних моментів.

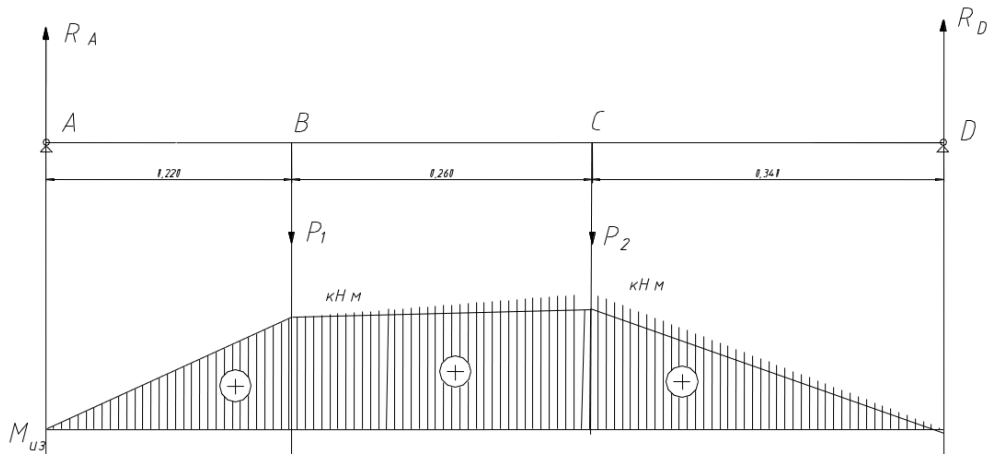


Рисунок 3.11 – Схема до визначення згинальних моментів

Реакція опори у т. D

$$\sum M_A = 0:$$

$$P_1 \cdot AB + P_2 \cdot (AB + BC) - R_D \cdot (AB + BC + CD) = 0$$

$$R_D = \frac{P_1 \cdot AB + P_2 \cdot (AB + BC)}{(AB + BC + CD)} = \frac{36 \cdot 0,44 + 36 \cdot (0,44 + 0,58)}{0,44 + 0,58 + 0,44} = 36 \text{ кН}$$

Реакція опори у т. A

$$\sum F: -R_A + P_1 + P_2 - R_D = 0$$

$$R_A = -R_D + P_1 + P_2 = -36 + 36 + 36 = 36 \text{ кН}$$

Після цього визначимо згинальний момент у точці B та у точці C.

$$M_B = M_C = P_1 \cdot CD = 36 \cdot 0,44 = 15,84 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Діаметр валу визначають за умовою міцності:

$$d = \sqrt[3]{\frac{W}{0,1}} = \sqrt[3]{\frac{158400}{0,1}} = 116,5 \text{ мм}$$

де:  $W$  – сумарний момент опору;

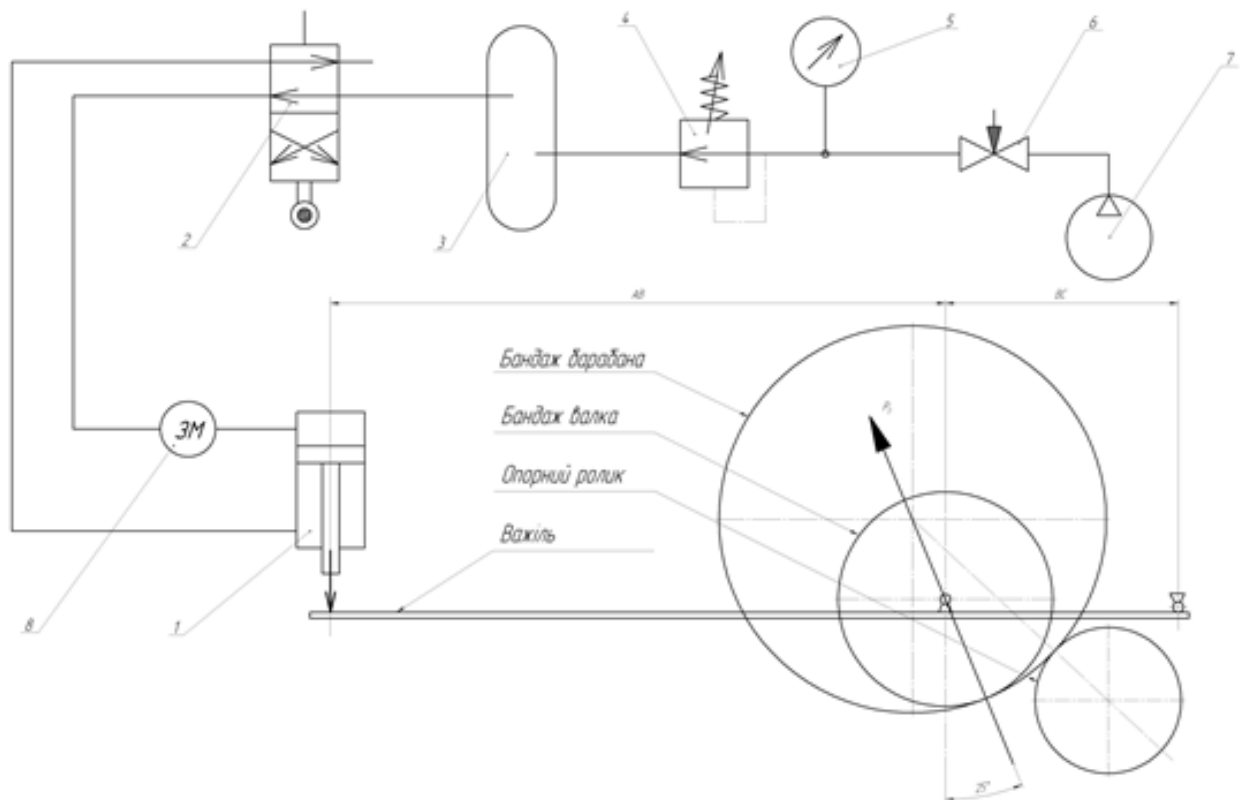
$$W = \frac{M_{\text{екв}}}{[\sigma]} = \frac{15,84 \cdot 10^6}{100} = 158400 \text{ мм}^3$$

$[\sigma] = 100 \text{ Н/мм}^2$  – допустиме напруження при згині для сталі 45.

З урахуванням можливого збільшення навантаження внаслідок потрапляння недробимих включень під валок приймаємо  $d_{\text{валу}} = 120 \text{ мм}$ .

### Розрахунок пневмосистеми притискання валка

Вихідні дані:  $P_B = 72 \text{ кН}$ ;  $AB = 1,75 \text{ м}$ ;  $BC = 0,85 \text{ м}$ .



1 – пневмоциліндр; 2 – пневморозподілювач; 3 – ресивер; 4 – регулятор тиску;  
5 – манометр; 6 – вентиль; 7 – компресор; 8 – система змащування

Рисунок 3.12 – Схема притискання валка.

Робоче навантаження на шток пневмоциліндра визначається з урахуванням кількості пневмоциліндрів.

$$P_1 = \frac{P_B \cdot \cos 25^\circ \cdot \frac{BC}{AB}}{n} = \frac{72 \cdot 0,9 \cdot \frac{0,85}{1,75}}{3} \approx 10,5 \text{ кН}$$

Площа поршня пневмоциліндра визначається за формулою:

$$S_{\text{цил}} = \frac{P_1}{P_{\text{сист}}} = \frac{10500}{500000} = 0,021 \text{ м}^2$$

де:  $P_1$  – навантаження на шток;

$P_{\text{сист}}$  – тиск повітря у пневмосистемі.

За результатами розрахунку визначаємо діаметр пневмоциліндра.

$$D_{\text{цил}} = \sqrt{\frac{S_{\text{цил}} \cdot \pi}{4}} = \sqrt{\frac{0,021 \cdot 3,14}{4}} = 0,128 \text{ м}$$

Приймаємо пневмоциліндр діаметром 140 мм.

Необхідний хід поршня визначають виходячи з того, що зміна товщини шару матеріалу під валком не перевищує 30 мм.

$$S_n = h \cdot \frac{L}{l} = h \cdot \frac{AB}{BC} = 60 \cdot \frac{1,75}{0,85} = 123,5 \text{ мм}$$

де:  $\frac{L}{l}$  – співвідношення плечей механізму притискання;

$h$  – товщина шару під валком.

Приймаємо хід пневмоциліндра – 130 мм.

Основні параметри обраного пневмоциліндра:

- діаметр – 140 мм;
- хід штока – 130 мм.

Виконані розрахунки підтверджують працездатність конструкції приводного механізму та вузлів барабанно-валкового млина.

### 3.3 Технічне обслуговування машини

Система технічного обслуговування та ремонту (СТОР) технологічного обладнання підприємств промисловості будівельних матеріалів спрямована на вирішення одного з основних завдань забезпечення ефективного

функціонування обладнання – підтримання високої експлуатаційної надійності машин та агрегатів при мінімальних витратах трудових, матеріальних і енергетичних ресурсів.

Система технічного обслуговування та ремонту передбачає комплекс профілактичних, організаційних та технічних заходів, спрямованих на:

- забезпечення постійного контролю технічного стану обладнання;
- своєчасне виявлення дефектів;
- попередження аварійних відмов;
- відновлення працездатності вузлів і деталей;
- недопущення експлуатації обладнання в умовах прогресуючого зношування.

СТОР також передбачає:

- завчасне виготовлення запасних деталей і вузлів;
- планування ремонтних робіт;
- визначення потреби у трудових та матеріальних ресурсах;
- встановлення нормативів трудомісткості для всіх видів ремонтів;
- формування структури ремонтного циклу;
- розроблення переліків типових та спеціалізованих ремонтних операцій.

Основою системи технічного обслуговування та ремонту є поєднання:

- технічного обслуговування обладнання;
- планово-попереджувальних ремонтів.

Для технологічного обладнання виробництва стінових блоків із цементовмісної суміші система планово-попереджувальних ремонтів має особливе значення, оскільки обладнання працює:

- в умовах абразивного зношування;
- при значних динамічних навантаженнях;
- під впливом вібрацій;
- в умовах запиленого виробничого середовища.

До основних напрямків удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту належать:

- підвищення якості технічного обслуговування обладнання;
- посилення відповідальності експлуатаційного, чергового та ремонтного персоналу за забезпечення стабільної та ритмічної роботи технологічних агрегатів;
- розроблення та впровадження заходів з модернізації обладнання;
- раціональна централізація поточних і капітальних ремонтів обладнання з метою оптимального співвідношення між обсягами робіт, що виконуються ремонтними службами підприємства та спеціалізованими ремонтними організаціями;
- підвищення ефективності планування ремонтних робіт;
- застосування економіко-математичних методів під час планування ремонтів та оцінювання ефективності ремонтного виробництва;
- впровадження системи гарантійних ремонтів;
- максимальне використання вузлового та агрегатного методів ремонту;
- застосування сучасних технологій відновлення деталей, що забезпечують:
  - підвищення зносостійкості;
  - збільшення міцності;
  - підвищення довговічності вузлів;
- систематичний аналіз причин позапланових простоїв обладнання;
- дослідження причин передчасного зношування вузлів та деталей машин;
- розроблення технічних заходів щодо усунення причин аварійних зупинок обладнання;
- підвищення рівня робіт із модернізації машин та агрегатів;
- удосконалення системи обліку трудових і матеріальних витрат на ремонти;
- централізація та спеціалізація виробництва запасних частин;
- розроблення та впровадження типових технологічних процесів ремонту обладнання;
- підвищення рівня технічного оснащення ремонтного персоналу засобами механізації трудомістких операцій;

- впровадження спеціалізованого ремонтного інструменту, пристроїв та оснащення для виконання ремонтно-відновлювальних і монтажних робіт;
- підвищення кваліфікації ремонтного персоналу;
- удосконалення системи спеціалізації працівників ремонтних служб;
- підвищення ефективності системи оплати праці ремонтного персоналу.

### **Організація ремонту на підприємстві**

Організація технічного обслуговування та ремонту технологічного обладнання є одним із найважливіших напрямків забезпечення стабільної роботи підприємств промисловості будівельних матеріалів. Раціонально організована система ремонтного обслуговування дозволяє підтримувати обладнання у працездатному стані, зменшувати аварійні простої та забезпечувати безперервність технологічного процесу виробництва стінових блоків із цементовмісної суміші.

Залежно від виробничої потужності підприємства, структури ремонтної бази, кількості технологічного обладнання та особливостей організації виробництва адміністрація підприємства обирає найбільш доцільний метод організації ремонтів.

На підприємствах промисловості будівельних матеріалів застосовують такі методи організації ремонту:

- централізований;
- децентралізований;
- змішаний.

#### *Централізований метод організації ремонту*

При централізованому методі всі види ремонтних, монтажних та налагоджувальних робіт виконуються силами ремонтно-механічного цеху підприємства.

У ремонтно-механічному цеху створюються спеціалізовані ремонтні бригади, за якими закріплюються окремі виробничі ділянки та технологічне обладнання.

До функцій ремонтних бригад належать: виконання технічного обслуговування, виконання поточних ремонтів, виконання капітальних ремонтів, монтаж нового обладнання, участь у модернізації машин та агрегатів.

Централізований метод ремонту найбільш доцільний на невеликих підприємствах, при наявності великої кількості однотипного обладнання та при компактному розміщенні виробничих дільниць.

Основними перевагами централізованого методу є:

- високий рівень спеціалізації ремонтного персоналу;
- можливість ефективного використання ремонтного оснащення;
- централізований контроль якості ремонту;
- спрощення управління ремонтними роботами.

До недоліків централізованого методу належать:

- зниження оперативності усунення несправностей;
- збільшення часу простою обладнання;
- значне навантаження на ремонтно-механічний цех.

*Децентралізований метод організації ремонту*

При децентралізованому методі всі види технічного обслуговування та планових ремонтів виконуються ремонтним персоналом виробничих цехів під керівництвом цехового механіка.

У цьому випадку ремонтно-механічний цех виконує:

- виготовлення запасних частин;
- виготовлення нестандартного обладнання;
- виготовлення спеціального оснащення;
- відновлення складних деталей;
- капітальний ремонт унікального обладнання;
- ремонт великих конвеєрних ліній.

Децентралізований метод ремонту доцільно використовувати на великих підприємствах при значній кількості різнотипного обладнання та при територіально розосереджених виробничих дільницях.

Перевагами децентралізованого методу є:

- висока оперативність ремонтних робіт;
- скорочення часу простою обладнання;
- можливість швидкого реагування на аварійні ситуації;
- краща обізнаність персоналу зі станом обладнання.

Недоліками децентралізованого методу є:

- необхідність збільшення чисельності ремонтного персоналу;
- дублювання ремонтного оснащення;
- ускладнення контролю якості ремонтів.

#### *Змішаний метод організації ремонту*

При змішаному методі організації ремонту технічне обслуговування та поточні ремонти виконуються ремонтними бригадами виробничих цехів під керівництвом механіка цеху.

Капітальні ремонти при цьому виконуються силами ремонтно-механічного цеху або із залученням спеціалізованих ремонтних організацій.

Для виробництва стінових блоків із цементовмісної суміші найбільш доцільним є саме змішаний метод організації ремонтної служби.

Даний метод забезпечує:

- скорочення простоїв технологічного обладнання;
- підвищення оперативності ремонту;
- раціональне використання ремонтного персоналу;
- ефективне використання ремонтного оснащення;
- підвищення надійності роботи технологічної лінії.

#### **Вибір методу проведення ремонту**

Після визначення структури ремонтної служби для кожної машини обирається метод проведення ремонту.

Під методом проведення ремонту розуміють форму організації ремонтних робіт при розбиранні машини; дефектуванні деталей; відновленні вузлів; складанні обладнання; випробуванні після ремонту.

Вибір методу проведення ремонту залежить від конструктивних особливостей обладнання, умов роботи машини, типу ремонтного виробництва,

забезпеченості запасними частинами, наявності оборотного фонду вузлів, технічних можливостей ремонтної бази.

У ремонтному виробництві застосовують:

- індивідуальний метод;
- знеособлений метод;
- змішаний метод.

#### *Індивідуальний метод ремонту*

Для індивідуального методу характерним є встановлення після ремонту тих самих деталей та вузлів на машину, з якої вони були демонтовані. При такому методі ремонту машина перебуває у ремонті до моменту завершення відновлення всіх демонтованих деталей.

Основними особливостями індивідуального методу є значна тривалість ремонту, високий рівень точності складання, збереження індивідуального припрацювання деталей, можливість точного контролю технічного стану вузлів.

Індивідуальний метод застосовується для унікального обладнання; для складних машин; для технологічних агрегатів із нестандартними вузлами.

До переваг індивідуального методу належать:

- висока якість складання;
- підвищена надійність роботи обладнання;
- можливість детального контролю стану деталей.

Недоліками методу є:

- значна тривалість простою обладнання;
- висока трудомісткість;
- збільшення вартості ремонту.

#### *Знеособлений метод ремонту*

Знеособлений метод передбачає ремонт машини шляхом її складання з раніше відремонтованих вузлів чи агрегатів оборотного фонду або нових деталей.

Даний метод дозволяє значно скоротити тривалість ремонту; знизити трудомісткість робіт; підвищити продуктивність ремонтної служби; зменшити вартість ремонту; підвищити ефективність використання обладнання.

Основним недоліком знеособленого методу є необхідність створення значного оборотного фонду вузлів, агрегатів, запасних частин.

#### *Змішаний метод ремонту*

При змішаному методі ремонту одночасно використовуються елементи індивідуального та знеособленого методів. У більшості випадків співвідношення між методами становить 50 % на 50 %.

Для даного виробництва приймається індивідуальний метод ремонту барабанно-валкового млина як найбільш доцільний та надійний.

### **Технологічний процес ремонту машин**

У загальному вигляді технологічний процес ремонту машин охоплює розроблення технології ремонту та визначення раціональної послідовності виконання операцій, технологічних прийомів і переходів; підготовку специфікацій деталей до складальних технологічних карт; нормування трудових витрат; формування технічних завдань на проєктування спеціальних пристроїв та допоміжного оснащення; вибір засобів і методів контролю якості виконуваних робіт.

Розроблення технологічного процесу в повному обсязі зазвичай здійснюють під час ремонту великогабаритного та унікального обладнання. У більшості випадків виконують технологічну підготовку ремонту, яка переважно полягає у створенні схеми послідовності виконання технологічних операцій.

#### **Розроблення комплексу підготовчих робіт під час капітального ремонту**

Під час проведення капітального ремонту технологічного обладнання значна увага приділяється комплексу підготовчих заходів, особливо у випадках, коли ремонтні роботи виконуються безпосередньо на місці експлуатації машини.

У загальному вигляді підготовка до капітального ремонту включає такі організаційно-технічні заходи:

- складання попередньої дефектної відомості;
- уточнення потреби у запасних частинах;
- підготовку технічної документації;
- розроблення проєкту виконання робіт.

У проєкті виконання робіт передбачаються способи організації ремонтних операцій, вибір засобів механізації ремонтного процесу, визначення потреби у вантажопідіймальному оснащенні, інструменті та спеціальних пристроях.

Після очищення та знежирення всі деталі підлягають дефектуванню. Основною метою дефектування є визначення їх технічного стану та розподіл на придатні, такі, що потребують відновлення, та непридатні до використання.

Контроль якості виконання ремонту обладнання на підприємстві здійснюють головний механік, начальник ремонтно-механічного цеху та механік виробничого підрозділу.

Розбирання виконується у суворій відповідності до вимог технологічного процесу.

### **3.4 Експлуатація та технічне обслуговування барабанно-валкового млина**

Барабанно-валковий млин є машиною періодичної дії, призначеною для механічної обробки шлаково-цементної суміші перед формуванням стінових блоків методом пресування. Конструктивна схема машини визначається її основними робочими органами – барабаном та валком, що забезпечують інтенсивний механічний вплив на матеріал.

Барабан і валок утворюють фрикційну пару, у зоні контакту якої відбувається:

- ущільнення суміші;
- механічна обробка матеріалу;
- інтенсивне тертя між частинками;
- найбільш інтенсивне зношування робочих поверхонь.

Під час роботи шар матеріалу защемлюється між валком та внутрішньою поверхнею барабана і залучається в обертальний рух.

Для запобігання передчасному зношуванню барабана у його внутрішній частині жорстко закріплюється розмельне кільце (доріжка), яке перебуває у постійному контакті із шлаковою сумішшю та із притиснутим валком.

Барабан працює із надкритичною швидкістю обертання, що забезпечує надійне притискання частинок матеріалу до поверхні розмельного кільця, рівномірний розподіл суміші по всьому периметру барабана.

Привод барабанно-валкового млина складається з електродвигуна, клинопасової передачі, фрикційної передачі.

Опорою барабана служать роlikоопори, які сприймають навантаження від барабана, валка та від шару оброблюваного матеріалу.

Притискне зусилля до валка прикладається за допомогою пневмоциліндра.

Під час обертання барабана шлакова суміш під дією відцентрових сил притискається до поверхні розмельного кільця та розподіляється товстим рівномірним шаром.

Матеріал, затиснутий між валком і барабаном, піддається ущільненню, інтенсивному тертю і розтиранню.

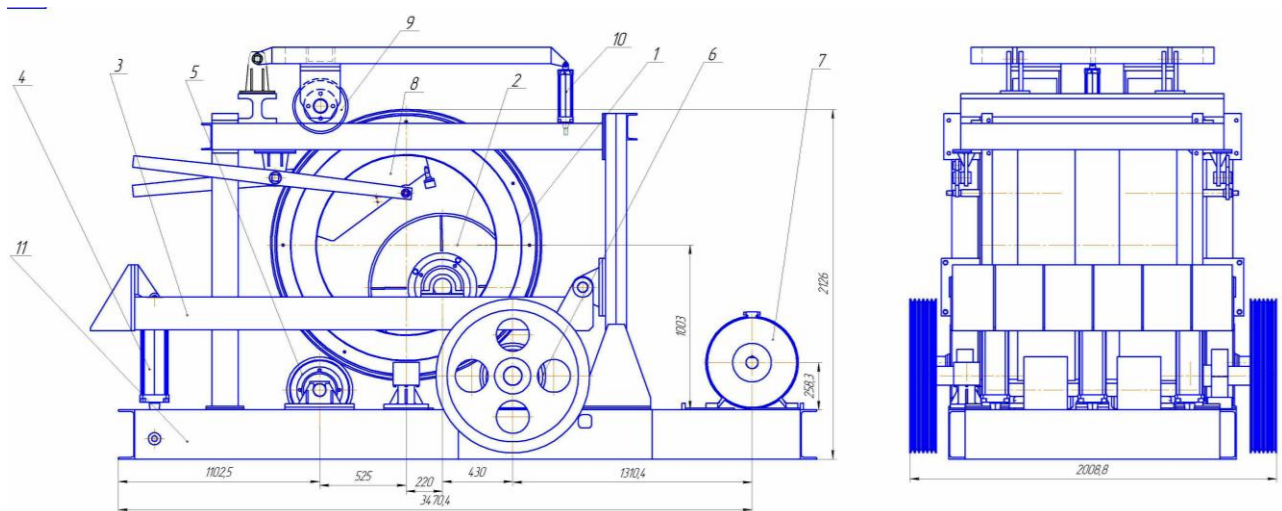
Після кожного проходження валка ущільнений шар матеріалу піддається розпушуванню за допомогою ножа-розпушувача, що забезпечує необхідну кількість циклів впливу на суміш. Ніж-розпушувач перебуває у постійному контакті з матеріалом упродовж усього робочого циклу.

Вивантаження обробленої суміші здійснюється ножем-знімачем, який після завершення процесу обробки підводиться до поверхні розмельного кільця. Під дією відцентрової сили та сили різання ножа, суміш відкидається у бункер-завантажувач. Підведення ножа до поверхні кільця виконується за допомогою ручного привода.

Час підведення ножа залежить від тривалості циклу вивантаження та часу помелу бетонної суміші.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика барабанно-валкового млина

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| Продуктивність                 | 6,5 т/год |
| Частота обертання барабана     | 60 об/хв  |
| Зусилля притискання валка      | 48 кН     |
| Встановлена потужність привода | 90 кВт    |



1 – барабан, 2 – валок, 3 – рама валка, 4 – пневмоциліндр притискання валка, 5 – опорні ролики, 6 – вал приводного ролика, 7 – двигун, 8 – ніж, 9 – ролик притискання барабана, 10 – пневмоциліндр притискання ролика, 11 – рама.

Рисунок 3.13 – Карта мащення

Таблиця 3.2 – Карта мащення

| Назва та позиція на схемі | Кіль-ть | Деталь що змащується | Метод змащування | Режим змащування        | Марка мастила   |
|---------------------------|---------|----------------------|------------------|-------------------------|-----------------|
| Електродвигун<br>7        | 2       | Підшипник            | Прес-маслянка    | Заміна 1 раз в 3 місяці | Мастило жирове  |
| Валок<br>2                | 4       | Підшипник            | Прес-маслянка    | Заміна 1 раз в 3 місяці | Прес солідол. С |
| Вал                       | 2       | Підшипник            | Прес-            | 1 раз у                 | Прес            |

|   |  |  |          |       |               |
|---|--|--|----------|-------|---------------|
| 6 |  |  | маслянка | місяц | солідол.<br>С |
|---|--|--|----------|-------|---------------|

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **4.1 Аналіз основних потенційних шкідливих і небезпечних факторів**

#### **Шум і вібрація**

На підприємствах будівельної індустрії значна кількість технологічних процесів супроводжується утворенням підвищених рівнів шуму та вібрації. Вібрацією вважають механічні коливання елементів машин, технологічного обладнання, інженерних комунікацій та будівельних конструкцій, що виникають унаслідок роботи обертових вузлів, дії інерційних навантажень, пульсацій робочого середовища та процесів вібропресування.

Дані шкідливості нормуються такими нормативними документами:

- ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму;
- ДСН 3.3.6.039-99 Санітарні норми виробничої вібрації;
- Закон України «Про охорону праці».

Тривалий вплив виробничого шуму та вібрації негативно впливає на центральну нервову систему, серцево-судинну систему та опорно-руховий апарат. Наслідками можуть бути підвищена втомлюваність, головний біль, порушення координації рухів, больові відчуття у суглобах та зниження працездатності. За значних рівнів вібрації можливий розвиток професійного захворювання – вібраційної хвороби.

Основним джерелом вібрації в даному виробництві є вібропрес. Підвищені рівні шуму та вібрації можуть виникати через недостатнє балансування обертових деталей, зношення підшипникових вузлів, порушення правил експлуатації обладнання або неефективність засобів вібро- та шумозахисту.

Зниження шуму досягається шляхом якісного монтажу обладнання, динамічного балансування вузлів, своєчасного проведення технічного обслуговування та планово-попереджувальних ремонтів. Необхідно регулярно контролювати стан підшипників, усувати биття та люфти в механічних з'єднаннях.

Для захисту від повітряного шуму застосовують звукоізоляційні та звукопоглинальні конструкції: перегородки, екрани, кожухи, облицювання та інші інженерні рішення. Для зменшення вібрації використовують віброізоляцію та вібродемпфування. У конструкції вібропреса застосовуються гумометалеві амортизатори, які забезпечують ефективне поглинання коливань та підвищують експлуатаційну надійність обладнання.

### **Забезпечення оптимальних мікрокліматичних умов**

Умови праці персоналу значною мірою залежать від параметрів мікроклімату виробничого середовища. Основними показниками є температура повітря, відносна вологість та швидкість руху повітря.

Параметри мікроклімату повинні відповідати:

- ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень;
- ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.

Для підтримання нормативних санітарно-гігієнічних умов передбачається організація повітрообміну за допомогою вентиляції. Вентиляційна система забезпечує видалення надлишкового тепла, пилу та шкідливих домішок із робочої зони. Концентрація пилу та інших шкідливих речовин не повинна перевищувати встановлених гранично допустимих концентрацій..

### **Розрахунок освітлення виробничого цеху**

Розрахунок штучного освітлення виконується відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 та ДСТУ EN 12464-1. Для визначення необхідної кількості світильників використовується метод коефіцієнта використання світлового потоку.

Вихідні дані: довжина приміщення – 40 м; ширина – 20 м; висота – 6 м; нормована освітленість – 300 лк.

Знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{L \cdot S}{h \cdot (L + S)} = \frac{40 \cdot 20}{6(40 + 20)} = 2.22$$

Визначаємо величину світлового потоку:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot A \cdot K_3 \cdot K_H}{n \cdot N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 20 \cdot 40 \cdot 1.5 \cdot 1.15}{2 \cdot 20 \cdot 0.44} = 23522 \text{ лм}$$

де:  $A$  – освітлювана площа,  $\text{м}^2$ ;

$K_3$  - коефіцієнт запасу,  $K_3 = 1.5$ ;

$K_H$  - коефіцієнт нерівномірного освітлення,  $K_H = 1.15$ ;

$n$  – кількість ламп у світильнику,  $n = 2$

$N$  – кількість світильників,  $N = 20$  шт;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку, 44%

Вибираємо газорозрядну лампу: ЛД - 65 потужністю 65 кВт,  $\Phi = 4650$  лм

Розраховуємо необхідну кількість світильників за формулою:

$$N = \frac{E_H \cdot A \cdot K_3 \cdot K_H}{\Phi \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 20 \cdot 40 \cdot 1.5 \cdot 1.15}{4650 \cdot 0.44} = 200 \text{ шт}$$

Таблиця 4.1 Розрахунок штучного освітлення виробничого приміщення  
методом коефіцієнта використання світлового потоку

| Параметр                                     | Значення |
|----------------------------------------------|----------|
| Ширина приміщення, $S$ , м                   | 20,00    |
| Довжина приміщення, $l$ , м                  | 40,00    |
| Показники відображення стелі $P_n$ , %       | 50,00    |
| Показники відбиття стін $P_c$ , %            | 30,00    |
| Нормована освітленість, $E_H$ , лк           | 300,00   |
| Індекс приміщення $I$                        | 2,22     |
| Висота підвіски світильника, м $h$           | 6,00     |
| Коеф використання світлового потоку, $q$ , % | 44,00    |
| Освітлювана площа, $\text{м}^2$ , $A$        | 800      |
| Коеф запасу $K_3$                            | 1,50     |
| Коеф нерівномірності освітлення $K_H$        | 1,15     |
| Величина світлового потоку, лм, $\Phi$       | 23522    |
| Кількість ламп у світильнику, $n$            | 2,00     |
| Кількість світильників, $N$                  | 20       |

## **4.2 Охорона праці.**

До експлуатації, технічного обслуговування та ремонту обладнання допускаються працівники, які пройшли відповідне навчання, інструктажі та перевірку знань з охорони праці.

Робоче місце повинно утримуватися в належному санітарному стані та бути забезпечене нормативним рівнем освітленості. Усі металеві неструмовідні частини електрообладнання повинні бути заземлені.

Під час виконання ремонтних робіт обладнання необхідно відключати від електромережі із застосуванням попереджувальних плакатів «Не вмикати! Працюють люди». Забороняється виконувати регулювання, підтягування кріплень та ремонт під час роботи обладнання.

Під час роботи з електроінструментом необхідно використовувати справні засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавички, килимки та інші захисні засоби відповідно до вимог чинних нормативних документів:

- Закон України «Про охорону праці» - базовий нормативний акт, що визначає обов'язки роботодавця щодо створення безпечних і нешкідливих умов праці.
- НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» - для робіт з електрообладнанням, електроприводами, шафами керування та заземленням.
- ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» - для нормування освітленості робочої зони.
- ДСН 3.3.6.037-99 - для контролю виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
- чинні правила та інструкції підприємства з охорони праці, пожежної безпеки, електробезпеки та безпечної експлуатації вантажопідіймальних механізмів.

## **Технічні та організаційні рішення з охорони праці під час монтажу, експлуатації та ремонту обладнання**

Під час виконання всіх операцій, пов'язаних із виробництвом стінових блоків, обслуговуванням пресувального обладнання, транспортуванням сировини, монтажем вузлів, ремонтом приводів, електрообладнання та допоміжних механізмів, необхідно суворо дотримуватися вимог охорони праці. Умови праці повинні бути організовані таким чином, щоб мінімізувати вплив небезпечних і шкідливих виробничих факторів на працівників.

До експлуатації, технічного обслуговування та ремонту обладнання допускаються тільки працівники відповідної кваліфікації. Персонал повинен знати будову обладнання, принцип роботи приводів, правила безпечного поводження з електроустановками, порядок зупинки машини у разі аварійної ситуації та вимоги інструкцій з охорони праці. Перед початком роботи працівники проходять інструктаж, перевірку знань і, за потреби, медичний огляд.

Робоче місце має постійно підтримуватися у чистоті та порядку. Не допускається накопичення залишків суміші, пилу, мастильних матеріалів, інструменту або сторонніх предметів у зоні обслуговування обладнання. Захаращення проходів і робочих майданчиків підвищує ризик травмування, ускладнює евакуацію та перешкоджає оперативному доступу до органів керування.

Освітленість робочої зони повинна бути достатньою для безпечного виконання технологічних операцій, огляду рухомих частин, контролю показань приладів, візуальної перевірки стану вузлів і своєчасного виявлення дефектів. Значення освітленості приймається не нижче 150 лк, а в разі виконання точних ремонтних робіт - відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 та ДСТУ EN 12464-1.

Рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати допустимі санітарні норми. Для постійних робочих місць орієнтовне допустиме значення не повинно перевищувати 80 дБА, якщо інше не встановлено результатами гігієнічної оцінки умов праці. Джерелами шуму є електродвигуни, приводи,

редуктори, вібропрес, пневмосистеми, транспортувальні механізми та ударна взаємодія елементів обладнання.

Рами електродвигунів, металеві корпуси обладнання, пульти керування, шафи автоматики та інші металеві частини, які можуть опинитися під напругою у разі пошкодження ізоляції, повинні бути приєднані до системи захисного заземлення. Справність заземлення необхідно періодично перевіряти відповідно до експлуатаційної документації та вимог електробезпеки.

Під час проведення профілактичних оглядів, ремонтів, налагодження або очищення пультів керування обладнання має бути повністю відключене від електроживлення. На пускових пристроях необхідно вивішувати попереджувальний плакат: «Не вмикати - працюють люди». Таке блокування запобігає випадковому пуску машини під час перебування персоналу у небезпечній зоні.

У процесі експлуатації необхідно постійно контролювати стан електрообладнання та електропроводки. Забороняється експлуатація кабелів із пошкодженою ізоляцією, несправних пускових пристроїв, відкритих контактних з'єднань, незафіксованих кабельних вводів або обладнання з ознаками перегрівання.

У разі появи надмірної вібрації, стороннього шуму, биття робочих органів, запаху перегрітого електрообладнання або різкого підвищення температури підшипникових вузлів роботу машини необхідно негайно припинити. Подальше включення допускається лише після встановлення причини несправності та її повного усунення.

Для переміщення монтажних частин обладнання використовуються вантажопідіймальні механізми необхідної вантажопідйомності. У вихідному тексті прийнято, що вантажопідйомність крана для перенесення монтажних частин має бути не менше 5 т. Це значення залишено без зміни. Стропування виконується відповідно до затверджених схем, із застосуванням справних канатів, траверс, гаків та інших вантажозахоплювальних пристроїв.

Під час роботи з електроінструментом необхідно застосовувати справний і перевірений інструмент, а також засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавички, діелектричне взуття або калоші, гумові килимки, ізолювальні підставки. Електроінструмент має підключатися через справні штепсельні з'єднання з наявним захисним провідником.

Для огляду внутрішньої частини камер тепловологісної обробки, закритих порожнин машин, бункерів та інших аналогічних місць необхідно застосовувати переносне освітлення безпечної напруги. Це знижує ризик ураження електричним струмом у середовищах із підвищеною вологістю або обмеженим простором.

Категорично забороняється:

- починати або продовжувати роботу у разі виявлення несправностей, поломок, нехарактерного шуму або підвищеної вібрації;
- працювати зі знятими, пошкодженими або ненадійно закріпленими огороженнями рухомих частин машин;
- проводити розбирання, ремонт, монтаж або демонтаж обладнання без відключення електроживлення;
- допускати до роботи осіб, які не мають відповідної кваліфікації, дозволу або інструктажу;
- виконувати регулювання, підтягування болтових з'єднань або ремонтні операції під час роботи обладнання;
- захищувати робочу зону біля обладнання, проходи, підходи до пультів керування та евакуаційні маршрути;
- самовільно вносити зміни у схеми блокування, аварійного вимкнення, сигналізації або захисних пристроїв.

Для безпечної роботи обладнання електропроводку необхідно прокладати у захисних трубах, коробах або кабельних каналах, які запобігають механічному пошкодженню кабелів, впливу вологи, пилу та випадковому контакту персоналу з електричними частинами.

## **Вимоги щодо застосування машин**

До експлуатації у виробничому процесі допускаються лише машини та механізми, які відповідають вимогам охорони праці, мають технічну документацію, справні огороження, робочі блокування, пускові пристрої та захисне заземлення. Використання машин без перевірки технічного стану або з простроченим технічним оглядом не допускається.

Забороняється застосування несправних машин, обладнання з пошкодженими огороженнями, відсутніми попереджувальними написами, несправними органами керування, неефективними блокуваннями або відключеними системами аварійної зупинки.

До експлуатації, ремонту та обслуговування обладнання допускаються працівники, які мають необхідну кваліфікацію та знають правила безпечної роботи з приводом і електроустановкою. Особлива увага приділяється персоналу, який обслуговує пресове, вібропресове, транспортувальне та вантажопідіймальне обладнання.

У період експлуатації потрібно систематично перевіряти стан електрообладнання і електропроводки, не допускати їх механічних пошкоджень, перегрівання, порушення ізоляції, забруднення струмопровідних частин пилом або цементовмісними матеріалами.

Забороняється працювати зі знятими або пошкодженими огороженнями. Огороження повинні надійно закривати небезпечні зони: обертові вали, муфти, ремінні передачі, приводні ролики, зони руху пресових елементів, механізми подачі та вивантаження.

Не допускається залучення до ремонтних робіт осіб, які не мають відповідного допуску, не пройшли інструктаж або не ознайомлені з технологією безпечного виконання робіт. Самовільне втручання у роботу блокувальних пристроїв, аварійних систем і засобів захисту категорично забороняється.

Шляхи переміщення машин, проходи біля технологічної лінії, підходи до щитів керування, електрошаф, аварійних вимикачів та засобів пожежогасіння

повинні залишатися вільними. Захаращення цих зон створює додаткові ризики травмування і ускладнює евакуацію персоналу.

### **Розрахунок стропування обладнання під час монтажу та ремонту**

Під час монтажу, демонтажу та ремонту обладнання застосовуються стропи, канати та вантажозахоплювальні пристрої, які повинні забезпечувати безпечне переміщення вузлів вібропреса або іншого технологічного обладнання. Розрахункова частина, наведена у вихідному матеріалі, залишена без зміни.

Таблиця 4.2 – Вихідні параметри стропування:

| Найменування параметра                                    | Значення |
|-----------------------------------------------------------|----------|
| n - кількість віток стропа                                | 4        |
| Q - маса вантажу, кг                                      | 1 100,00 |
| $\alpha$ - кут нахилу вітки стропа, град                  | 45,00    |
| K <sub>н</sub> - коефіцієнт нерівномірності натягу каната | 0,75     |
| S - зусилля у вітці стропа, кН                            | 5,082    |
| S <sub>p</sub> - розривне зусилля каната, кН              | 25,413   |
| K <sub>з</sub> - коефіцієнт запасу                        | 5        |

Зусилля у вітці стропа визначають за розрахунковою формулою з урахуванням маси вантажу, кількості віток, кута нахилу та коефіцієнта нерівномірності натягу.

$$S = \frac{Q}{n \cdot \cos \alpha \cdot k_H} = \frac{1100 \cdot 9.8}{4 \cdot 0.707 \cdot 0.75} = 5.082 \text{ кН}$$

$$S_p = S \cdot k_z = 5,082 \cdot 5 = 25\,413 \text{ кН}$$

За даними розрахунку прийнято канат типу 6×36+1 о.с. з розрахунковим діаметром  $d_k = 7,4$  мм і розривним зусиллям  $S_p = 29,1$  кН.

З конструктивних міркувань та для забезпечення додаткового запасу міцності остаточно прийнято діаметр каната  $d_k = 10$  мм. Таке рішення підвищує надійність стропування, зменшує ризик пошкодження каната під час монтажу та забезпечує безпечне виконання вантажопідіймальних операцій.

Перед виконанням стропування необхідно перевірити цілісність каната, відсутність обривів дротин, деформацій, корозії, роздавлювання або перегинів.

Стропування має виконувати працівник, який пройшов навчання та має право на виконання таких робіт.

### **Улаштування та розрахунок повторного заземлення нульового проводу електроустановки**

Заземлення - це навмисне електричне з'єднання із землею металевих частин обладнання, які за нормальних умов експлуатації не перебувають під напругою, але можуть опинитися під напругою у разі пошкодження ізоляції, замикання фази на корпус або іншої аварійної ситуації.

Принцип дії захисного заземлення полягає у зниженні напруги дотику до безпечних значень для людини. У разі аварійного замикання струм має пройти шляхом із найменшим опором через заземлювальний пристрій, а не через тіло працівника.

Призначення повторного заземлення нульового проводу полягає у підвищенні рівня електробезпеки при обриві проводу, пошкодженні ізоляції або замиканні фази на корпус обладнання. Розділ приведено у відповідність до вимог НПАОП 40.1-1.21-98 та сучасних принципів захисту від ураження електричним струмом.

У вихідних даних прийнято максимально допустиме значення опору повторного заземлення  $R_z \leq 10 \text{ Ом}$ . Це значення у розрахунку залишено без зміни.

Вихідні дані для розрахунку:

| Параметр                                                                          | Значення |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|
| $R_z$ - допустимий опір заземлення, Ом                                            | 10,000   |
| $\rho$ - питомий опір ґрунту, Ом·м                                                | 100,000  |
| $l_v$ - довжина вертикального електрода, м                                        | 1,700    |
| $d_v$ - діаметр вертикального електрода, м                                        | 0,065    |
| $d_g$ - діаметр горизонтального електрода, м                                      | 0,010    |
| $R'_v$ - опір розтікання одиночного вертикального електрода, Ом                   | 39,681   |
| $R_v$ - опір розтікання всіх вертикальних електродів, Ом                          | 10,9     |
| $R'_g$ - опір розтікання горизонтального електрода, Ом                            | 25,884   |
| $R_g$ - опір горизонтального електрода з урахуванням коефіцієнта використання, Ом | 34,5     |

Розрахунок передбачає визначення опору розтікання струму одиночного вертикального електрода, опору групи вертикальних електродів, довжини горизонтального електрода та сумарного опору заземлювального пристрою.

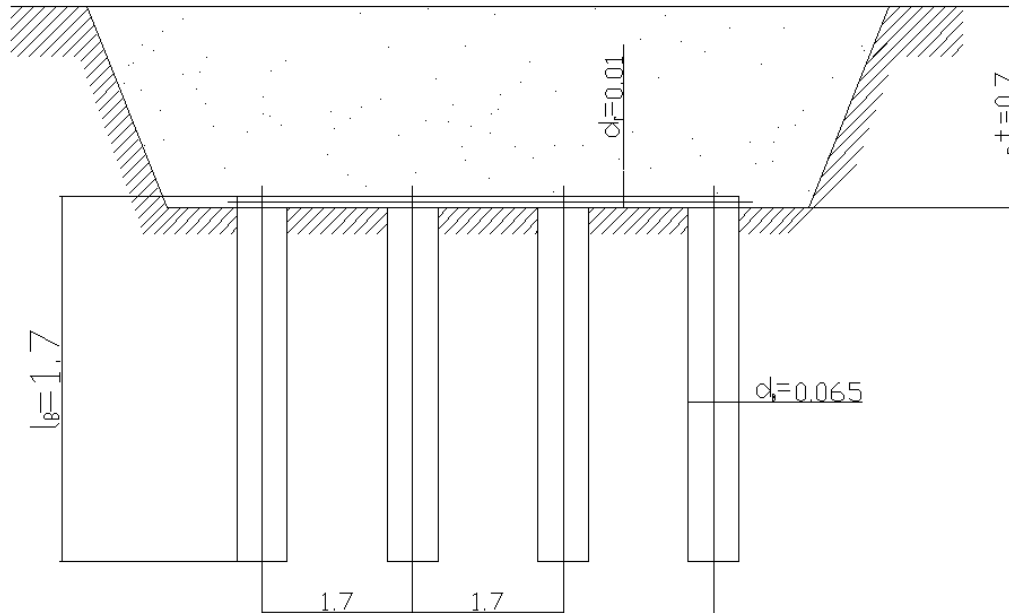


Рисунок 4.1 – схема розташування електродів

Опір розтіканню струму одиночного вертикального електрода

$$R'_B = 0.336 \cdot \frac{\rho}{l_B} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot l_B}{d_B} + 0.5 \cdot \lg \frac{4 \cdot t + l_B}{4 \cdot t - l_B} \right) =$$

$$= 0.336 \cdot \frac{100}{1.7} \left( \lg \frac{2 \cdot 1.7}{0.065} + 0.5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 1.55 + 1.7}{4 \cdot 1.55 - 1.7} \right) = 39,681 \text{ Ом}$$

де:  $l_B$  – довжина труби, м

$d_B$  – діаметр труби, м

$\rho$  – ґрунтовий опір, Ом м

$t$  – глибина середньої точки залягання вертикального електрода:

$$t = \frac{l_B}{2} + t_0 = \frac{1.7}{2} + 0.7 = 1.55 \text{ м}$$

Опір розтікання струму з урахуванням розрахункового коефіцієнта його використання:

$$R_B = \frac{R'_B}{n \cdot \eta} = \frac{39,681}{4 \cdot 0,91} = 10,9 \text{ Ом}$$

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

$\eta = 0.91$  – коефіцієнт використання вертикальних електродів;

Довжина горизонтального електрода  $l_{\Gamma}$  приймається при вертикальному розташуванні електродів у ряд, згідно з формулою:

$$l_{\Gamma} = 1.05 \cdot (n - 1) \cdot a = 1,05 \cdot (4 - 1) \cdot 1,6 = 5,04 \text{ ,м}$$

$$R'_{\Gamma} = 0.336 \cdot \frac{\rho}{i_{\Gamma}} \cdot \lg \frac{i_{\Gamma}^2}{d_{\Gamma} \cdot t_0} = 0.336 \cdot \frac{100}{5,04} \cdot \lg \frac{5,04^2}{0,01 \cdot 0,7} = 25,884, \text{Ом}$$

$$R_{\Gamma} = \frac{R'_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma}} = \frac{25,884}{0,75} = 34,512 \text{ ,Ом}$$

Сумарний опір заземлення

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{R_B + R_{\Gamma}} = \frac{10,9 \cdot 34,5}{10,9 + 34,5} = 8,29 \text{ ,Ом}$$

За результатами розрахунку сумарний опір заземлення становить  $R_3 = 8,29$  Ом. Це значення менше допустимого  $R_3 \leq 10$  Ом, тому прийнята схема повторного заземлення нульового проводу відповідає вимогам електробезпеки.

Таблиця 4.3 - Розрахунок повторного заземлення нульового дроту

| Параметр                                                                               | Значення |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| $R_z$ - опір допустимий, Ом                                                            | 10,000   |
| $r$ - питомий опір, Ом*м                                                               | 100,000  |
| $l_v$ - довжина вертикального електрода, м                                             | 1,700    |
| $d_v$ - діаметр вертикального електрода, м                                             | 0,065    |
| $d_h$ - діаметр горизонтального електрода, м                                           | 0,010    |
| $R'_{vv}$ - опір розтіканню одиночного вертикального електрода, Ом                     | 39,681   |
| $R_v$ - опір розтіканню всіх вертикальних електродів, Ом                               | 10,9     |
| $R'_{hh}$ - опір розтіканню горизонтального електрода, Ом                              | 25,884   |
| $R_h$ - опір розтіканню горизонтального електрода з урахуванням коеф. використання, Ом | 34,5     |
| $R'_{zz}$ - сумарний опір заземлення, Ом                                               | 8,29     |

### **4.3 Пожежна безпека**

Категорію приміщень і будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою визначають відповідно до чинного законодавства України та ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва». Виробництво шлакоблоків належить до категорії Д, оскільки пов'язане з використанням переважно негорючих матеріалів у холодному стані.

Пожежна безпека забезпечується застосуванням конструкцій необхідного ступеня вогнестійкості, систем пожежного водопостачання, первинних засобів пожежогасіння та дотриманням протипожежних розривів між будівлями.

Евакуаційні шляхи та виходи повинні відповідати вимогам чинних ДБН щодо пожежної безпеки. Кількість евакуаційних виходів має бути не меншою двох, а всі проходи, коридори та сходові клітки повинні забезпечувати безпечне та безперешкодне переміщення людей у разі виникнення пожежі

## **ВИСНОВКИ**

У результаті виконання роботи проаналізовано технологію виробництва порожнистих шлакобетонних стінових блоків та обґрунтовано доцільність застосування пресувального способу формування виробів. Виконано вибір основних сировинних компонентів, визначено склад бетонної суміші та розраховано матеріальний баланс виробництва.

Розроблено технологічну схему підприємства, підібрано основне технологічне обладнання та проаналізовано процеси механічної обробки бетонних сумішей. Проведений аналіз показав, що використання пресувальної технології забезпечує високу продуктивність, стабільну якість продукції та раціональне використання матеріальних ресурсів. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані під час проєктування та модернізації підприємств будівельної індустрії, що спеціалізуються на випуску ефективних стінових матеріалів.

## Перелік використаних джерел

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ : Мінрегіон України, 2022. 31 с.
2. ДБН В.2.6-162:2010. Конструкції будинків і споруд. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 118 с.
3. ДСТУ Б EN 771-3:2016. Камені стінові. Вироби стінові бетонні з щільним та легким заповнювачами. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 34 с.
4. ДСТУ Б EN 197-1:2015. Цемент. Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 42 с.
5. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 28 с.
6. ДСТУ EN 1008:2022. Вода для замішування бетону. Технічні умови для відбирання проб, випробування та оцінювання придатності води для бетону. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 32 с.
7. ДСТУ EN 15167-1:2019. Шлак мелений гранульований доменний для використання в бетоні, будівельному та цементному розчинах. Частина 1. Визначення, технічні умови та критерії відповідності. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 24 с.
8. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Будівельне матеріалознавство : підручник. Рівне : НУВГП, 2009. 448 с.
9. Комар А. Г. Будівельні матеріали і вироби : підручник. Київ : Вища школа, 2005. 760 с.
10. Рунова Р. Ф., Шейнич Л. О., Пушкарьова Є. К. та ін. Технологія сучасних будівельних матеріалів : підручник. Київ : КНУБА, 2012. 568 с.
11. Санницький М. А., Позняк О. Р. Будівельні матеріали : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 256 с.
12. Mehta P. K., Monteiro P. J. M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4th ed. New York : McGraw-Hill Education, 2014. 704 p.

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