

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

## Кваліфікаційна робота магістра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"  
освітня програма "Обладнання хімічних виробництв  
і підприємств будівельних матеріалів"

Тема роботи: Цех підготовки сировини у виробництві цегли.  
Розробити та модернізувати валкову дробарку для  
подрібнення глини

Виконав:  
студент групи ХМ.м-21/1  
Кулак Олег Олександрович

\_\_\_\_\_  
підпис

Залікова книжка  
№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота магістра  
захищена на засіданні ЕК  
з оцінкою \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:  
канд. техн. наук, доцент  
Михайловський Я.Е.

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

## ЗМІСТ

	С.
<b>ВСТУП</b>	<b>4</b>
<b>1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	<b>6</b>
1.1 Основи технологічного процесу	6
1.2 Характеристика та вимоги до сировини та кінцевої продукції	10
1.3 Модернізація системи керування валкової дробарки	12
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	<b>14</b>
2.1 Опис технологічної лінії підготовки сировини у виробництві цегли	14
2.2 Теоретичні основи процесу подрібнення	18
2.3 Опис конструкції проектного апарата	22
2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата	26
2.5 Вибір допоміжного обладнання	34
<b>3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b>	<b>42</b>
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	42
3.2 Розрахунки на міцність та стійкість	43
<b>4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА</b>	<b>52</b>
4.1 Обґрунтування компоновки основного та допоміжного обладнання	52
4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання	54
<b>5 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ</b>	<b>59</b>
5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу	59
5.2 Розроблення системи автоматизованого керування роботою обладнання	63

<b>6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ</b>	<b>71</b>
6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів	71
6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактора	77
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b>	<b>84</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	

## ВСТУП

Промисловість будівельних матеріалів має величезне значення для розвитку будівельного сектору та загальної інфраструктури будь-якої країни. Розглянемо ключові напрямки технічного прогресу в даній сфері [1]:

1. Вдосконалення технологічних процесів:

- створення нових технологій для виробництва будівельних матеріалів з меншими витратами енергії;
- оптимізація процесів виробництва для зменшення матеріальних і трудових витрат.

2. Розробка нових видів матеріалів:

- дослідження та впровадження нових матеріалів з покращеними характеристиками, що відповідають сучасним вимогам будівництва;
- розробка екологічно чистих та стійких до зовнішніх факторів матеріалів.

3. Маловідходні та безвідходні технології:

- впровадження процесів, які мінімізують відходи виробництва та сприяють використанню матеріалів на 100 %;
- розвиток технологій переробки вторинних матеріалів для виробництва нових будівельних компонентів.

4. Використання вторинних продуктів:

- активне застосування вторинних продуктів в будівельних процесах для зменшення впливу на довкілля та оптимізації використання ресурсів;
- розробка технологій, що сприяють вторинному використанню будівельних матеріалів.

Ці напрямки спрямовані на створення більш сталих, ефективних та екологічно чистих технологій у виробництві будівельних матеріалів. Це, у свою чергу, сприятиме підвищенню якості будівельних робіт, зменшенню витрат та позитивно вплине на екологічну стійкість будівництва.

Різноманітність умов експлуатації будівель і технічні вимоги до матеріалів, використовуваних у будівництві, є вельми важливими у зв'язку з різнобарвністю сучасних технологічних виробничих процесів та специфікою будівельних

об'єктів. Це визначає величезний спектр властивостей, які матеріали повинні мати, щоб відповідати вимогам ефективності та довговічності. Основні вимоги до будівельних матеріалів визначаються різними умовами експлуатації та технологічними вимогами. Специфічні параметри технологічних процесів, такі як температурні режими, можуть вимагати від матеріалів властивостей, що характеризують їхню міцність при нормальних чи високих температурах. Особливо важливою є характеристика жаро- та вогнестійкості матеріалу у високотемпературних умовах експлуатації [2].

Крім того, вимоги до властивостей матеріалів розповсюджуються на їхню стійкість до різних факторів, таких як вплив солей, кислот, лугів та інших хімічних речовин. У металургійних процесах, наприклад, важливою є шлакостійкість для забезпечення тривалого та ефективного функціонування. Поширення матеріалів на проникність або непроникність стосується їхньої здатності взаємодіяти з рідинами, газами, теплом, холодом, а також з електричним та радіоактивним випромінюванням. Ці властивості є ключовими для забезпечення ефективності та безпеки будівельних конструкцій [3].

Нарешті, матеріали, використовувані для оздоблення приміщень та облаштування садів і парків, повинні володіти довговічністю та високою міцністю, забезпечуючи при цьому естетичний вигляд та комфорт. Такий комплекс вимог визначає важливість розробки та впровадження різноманітних матеріалів з властивостями, що відповідають найвищим стандартам якості та безпеки у будівництві та техніці [4].

Таким чином, в даній кваліфікаційній роботі [5] досліджено цех підготовки сировини у виробництві цегли, спроектовано валкову дробарку для подрібнення глини, а також запропоновано модернізувати систему автоматизації її продуктивності шляхом введення в контур керування ПД-регулятора і оптимізації його параметрів налаштування.

## 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

### 1.1 Основи технологічного процесу [2, 3]

Існує різноманіття цеглин, проте вони можуть бути узагальнені до двох основних видів. Найстаріший з них – це червона, або керамічна цегла, яка виготовляється із застосуванням глиняної сировини. Її більш «молодший родич» – цегла біла, або силікатна, виготовлена за допомогою силікатних матеріалів, таких як пісок, вапно та сода.

Цегла виготовлена з глини є давнім матеріалом, який використовується для будівництва протягом тисяч років. Вона володіє характерним червоним або темно-червоним кольором, який може варіюватися в залежності від вмісту оксидів у глині. Цей вид цегли має властивості високої міцності та довговічності, а також добре утримує тепло та вологу, роблячи його популярним в будівництві.

З іншого боку, біла цегла, виготовлена із силікатів, вражає своєю світло-сірою або білою текстурою. Цей тип цегли виготовляється за допомогою високо-температурного обпалювання суміші піску, вапна і соди. Її властивості включають меншу вагу та невелику теплопровідність порівняно з червоною цеглою. Біла цегла також володіє хорошою стійкістю до корозії та має високий рівень звукоізоляції, зробивши її бажаною для різноманітних будівельних застосувань.

Отже, вибір між червоною і білою цеглою залежить від конкретних вимог конструкції, естетичних уподобань та функціональних характеристик, необхідних для задоволення конкретних потреб будівлі.

Виробництво силікатної цегли є технологічною процедурою, що використовує метод напівсухого пресування для створення цегляних блоків. Цей процес розпочинається зі суміші кварцового піску, повітряного вапна і води. Сформовані блоки потім направляються в автоклав, спеціальний пристрій для подальшої обробки. У внутрішній камері автоклаву цегла піддається інтенсивній обробці насиченою водяною парою. Температура в цьому процесі зазвичай утримується в діапазоні від 170 до 200°C, а тиск пари може досягати значень від 8 до 12 атмосфер.

Під впливом високої температури та тиску пари, силікатна цегла зазнає хімічних та фізичних змін. Цей процес відбувається під контрольованими умовами, що сприяють формуванню стійкої та міцної структури цегли. При цьому вода випаровується, що призводить до зменшення об'єму цегли та утворення компактної і стійкої продукції. Отже, процес виробництва силікатної цегли через напівсухе пресування та подальшу обробку в автоклаві забезпечує високу якість та стійкість матеріалу, зробивши його популярним в будівельній індустрії.

Виробництво керамічної цегли передбачає застосування двох основних технологічних підходів: пластичне формування та напівсухе пресування. Кожен з цих методів має свої унікальні характеристики та переваги, роблячи їх важливими аспектами виробництва керамічної цегли.

При застосуванні першого методу глина піддається пластичному формуванню, що означає, що вона стає легко формованою і може бути литою в різні форми за допомогою формуючих пристроїв. Цей метод передбачає створення виробу з глини шляхом ручного чи механічного нанесення формувального матеріалу на вихідну глину. Після цього форми піддаються висушуванню та подальшому обпалюванню у печі.

Напівсухе пресування включає в себе використання глини, яка не є повністю рідкою, але досить м'якою для того, щоб бути стиснутою під великим тиском у спеціальних пресах. Цей метод виробництва дозволяє швидше формувати цеглину та зменшує час сушіння перед обпаленням. Після формування, цегла направляється до печі для обпалювання, де вона набуває своїх кінцевих механічних та структурних властивостей.

Такі різні методи виробництва надають можливість вибору виробникам керамічної цегли в залежності від їхніх конкретних потреб, обумовлюючи якість, швидкість та вартість виробництва.

Існує два можливих напрямки для подолання проблеми виробництва високоякісної цегли в нашій країні. Перший варіант полягає в імпорті та використанні зарубіжної дробильної техніки, виготовленої провідними компаніями з Англії, Німеччини, Італії, США, Швеції чи Японії. Переваги такого підходу полягають у використанні передових технологій, високій якості та ефективності іноземного

обладнання. Однак його головним недоліком є великі витрати на придбання та обслуговування техніки. Крім того, виникає загроза втрати ринкової частки для вітчизняних виробників дробильного обладнання, які можуть зазнати конкурентного тиску з боку зарубіжних компаній.

Другий шлях вирішення проблеми передбачає інвестиції в дослідження та розвиток вітчизняних технологій виробництва дробильного обладнання. Це вимагатиме зусиль та інвестицій у вдосконалення та модернізацію існуючих технологій. Однак цей підхід може забезпечити довгострокову стійкість українському виробництву, зберігаючи контроль над ринком та сприяючи розвитку власних технологічних рішень.

Обрання оптимального шляху вирішення проблеми виробництва цегли важливо здійснювати на основі балансу між витратами, якісними характеристиками обладнання та стратегічними перспективами вітчизняного виробництва.

У доповнення до розглянутого вище сценарію, варто розглянути альтернативний шлях вирішення проблеми виробництва високоякісної цегли всередині країни. Цей підхід передбачає розробку нового покоління дробильного обладнання прямо на внутрішньому ринку, зорієнтованого на досягнення надійності, продуктивності, зручності обслуговування та конкурентоспроможності. Реалізація цього шляху потребує значних інвестицій в галузь та зміни стратегії підприємств щодо вкладення коштів і розподілу ресурсів на розвиток передових технологій.

Однією з головних переваг такого підходу є сприяння українським виробникам, які зможуть створювати дробильне обладнання, що відповідає специфіці національного ринку. Це також може призвести до створення більш доступних рішень для оснащення вітчизняних асфальтобетонних і цегляних заводів. Подальша перевага полягає в можливості збереження і розширення експорту власного виробництва обладнання, зміцнюючи позиції українських компаній на міжнародному ринку.

Аналіз сучасного стану вітчизняної дробильно-сортувальної техніки розкриває потребу в суттєвих змінах для досягнення великого підвищення обсягів виробництва високоякісної керамічної цегли при одночасному зниженні витрат на виробництво. Це вказує на необхідність істотної модернізації всіх аспектів вітчиз-



зняного технологічного обладнання ліній дроблення глини, з особливим акцентом на дробильні установки, які є основною ланкою виробничого процесу. Зміни вимагатимуть комплексного підходу, включаючи технічні інновації, оптимізацію виробничих процесів та впровадження сучасних технологій. Модернізація дробильних установок вирішить необхідність підвищення їх продуктивності, ефективності та зменшення витрат енергії. Однак це вимагатиме значних інвестицій і високого рівня інженерної експертизи.

Основні напрями модернізації можуть включати в себе впровадження передових методів дроблення, застосування нових матеріалів для виготовлення робочих частин обладнання, а також використання автоматизації та систем штучного інтелекту для оптимізації робочих процесів. Крім того, важливо розглядати екологічні аспекти, такі як зменшення викидів та оптимізація використання ресурсів.

Модернізація дробильно-сортувальної техніки буде ключовим етапом у покращенні конкурентоспроможності та стійкості вітчизняного виробництва високоякісної керамічної цегли на ринках.

Світовий досвід в галузі виробництва будівельних матеріалів підкреслює, що одним із ключових напрямків для значного підвищення технічного рівня вітчизняних установок є впровадження систем управління, базованих на мікропроцесорній техніці. Це дозволяє автоматизувати робочі процеси, покращує точність та ефективність виробництва, а також забезпечує можливість автоматичного пуску і зупинки машин в заданій послідовності.

Системи управління на основі мікропроцесорної техніки забезпечують багатofункціональний підхід до автоматизації виробничих процесів. Вони дозволяють відстежувати стан вузлів і агрегатів, проводити діагностику неполадок, контролювати ключові параметри та регулювати робочі процеси в реальному часі. Це сприяє оптимальному використанню обладнання, підвищенню продуктивності та зниженню ризику виникнення непередбачених ситуацій.

Однак важливо відзначити, що впровадження таких технологічних змін вимагає не лише технічних знань, але і значних інвестицій у вдосконалення інфраструктури підприємств. Крім того, школи обслуговування та технічної підтримки

мікропроцесорних систем мають бути належним чином розвинуті для забезпечення ефективного функціонування цих технологій.

В цілому, використання систем управління на базі мікропроцесорної техніки представляє собою перспективний шлях до модернізації і підвищення технічного рівня вітчизняних установок, сприяючи їхній конкурентоспроможності на міжнародному ринку будівельних матеріалів.

## **1.2 Характеристика та вимоги до сировини та кінцевої продукції [4]**

Для виробництва керамічної цегли використовуються два основних типи сировинних матеріалів: пластична сировина, зазвичай представлена глиною, та охолоджені матеріали, які включають кварцовий пісок, бій виробів, шлаки, дегідратовану глину та інші компоненти. Ці матеріали взаємодіють під час виробництва, створюючи витриману, міцну та якісну продукцію.

Пластична сировина, зазвичай глина, є основним компонентом, який надає цеглі пластичність та формованість. Глина містить різні мінерали і домішки, які впливають на кінцеві властивості цеглини, такі як колір, текстура і міцність.

Глина для виробництва керамічної цегли транспортується на підприємство шляхом залізничного транспорту та розміщується в відкритому глиносховищі котловинного типу. Глиносховище представляє собою котлован із шириною від 30 до 40 метрів та глибиною, відповідною здатності багатоковшового екскаватора. Довжина котловану визначається за розрахунковим методом та може відрізнятись на кожному конкретному підприємстві.

Процес експлуатації глиносховища має свою характерну сезонність. У літній період відбувається наповнення глиною, а восени відбувається утеплення тирсою, щоб забезпечити оптимальні умови зберігання. Взимку, глину відпрацьовують за допомогою багатоковшового екскаватора з нижнім вичерпуванням. Цей цикл дозволяє забезпечити стабільне та ефективне використання глини як основного сировинного матеріалу для виробництва цегли.

Під час зберігання глини спостерігається явище виморожування, яке є наслідком багаторазових циклів заморожування і відтавання. Процес полягає в тому,

що вода, замерзаючи в найдрібніших капілярах глиняних частинок, збільшує свій обсяг на 8–10 %. Це призводить до руйнування зв'язків між частинками глини та розривання габаритних блоків глини на менші частинки. У результаті цього процесу збільшується питома поверхня глини, що сприяє більш повному завершенню процесів набухання. Також збільшується кількість зв'язаної води, що призводить до вищої міцності (зчеплення) глиняного тіста. У кінцевому результаті ці процеси поліпшують формувальні та сушильні властивості глини, що є важливим для виробництва керамічної цегли.

Охолоджені матеріали, такі як кварцовий пісок, бій виробів і шлаки, вводяться для покращення теплових та механічних характеристик цегли. Кварцовий пісок, наприклад, може додати масу та міцність, а бій виробів може бути використаний як рецикльований матеріал для зменшення відходів.

Ця комбінація пластичної сировини та охолоджених матеріалів є ключовою для досягнення оптимальних характеристик у виробництві керамічної цегли.

Кінцевим продуктом усіх зазначених процесів є отримання будівельного матеріалу у вигляді керамічної цегли

Основні характеристики та вимоги до керамічної цегли:

1. Геометричні розміри: відповідно до стандартів, керамічна цегла має визначені габарити для забезпечення правильної укладки та конструктивної міцності стін.
2. Міцність: стискна міцність визначає, наскільки великий тиск цегла може витримати без руйнування; згинна міцність є важливою для опору згинанню та витриманню навантажень.
3. Водопоглинання: вимірює кількість води, яку цегла може увібрати, впливає на її морозостійкість та теплоізоляційні властивості.
4. Морозостійкість: кількість циклів, які цегла може витримати без пошкоджень.
5. Стійкість до вигорання: може визначати, наскільки добре цегла утримує колір під впливом сонячних променів.

6. Геометрична точність: прямокутність, паралельність сторін, рівномірність кутів – забезпечують легку укладку та естетичний вигляд готової конструкції.
7. Стандарти якості та безпеки: цегла повинна відповідати визначеним національним чи міжнародним стандартам.
8. Теплоізоляційні властивості: коефіцієнт теплопровідності важливий для оцінки ефективності утеплення.

Ці вимоги визначають якість та придатність керамічної цегли для будівельних проектів. Їх використання дозволяє забезпечити довговічність, надійність та естетичний вигляд будівельних конструкцій.

### **1.3 Модернізація системи керування валкової дробарки**

Регулювання гранулометричного складу вихідного продукту валкової дробарки може бути здійснене двома основними методами: регулювання відстані між валками та регулювання частоти обертання валків. У зв'язку з великим досвідом в галузі дроблення, як вітчизняним, так і зарубіжним, перевага найчастіше віддається методу регулювання відстані між валками [2].

Регулювання відстані між валками надає більше гнучкості у виборі розміру частинок вихідного продукту. Точність регулювання дозволяє досягти бажаних параметрів гранулометричного складу. Важливою перевагою є те, що регулювання відстані між валками не впливає на частоту обертання, що дозволяє підтримувати високу продуктивність обладнання.

Також зміна відстані між валками може здійснюватися з меншим впливом на споживання енергії порівняно з постійним збільшенням частоти обертання, що дозволяє краще адаптувати процес дроблення до властивостей конкретної сировини.

Модернізація системи автоматизованого керування валковою дробаркою є важливим етапом для підвищення стійкості та ефективності процесів дроблення. Для цього важливо правильно вибрати регулятор, провести його налаштування та забезпечити систему необхідними запасами стійкості і якістю регулювання.

Система автоматизованого керування валковою дробаркою повинна забезпечувати ряд ключових функцій і можливостей для ефективності, стійкості та безпеки процесу дроблення [2]:

- автоматичне керування основними елементами дробарки, включаючи валки, конвеєри, живильники і т. д.;
- інтеграція з іншими системами виробництва та автоматизованими лініями;
- можливість точного і ефективного регулювання гранулометричного складу вихідного продукту за допомогою валків та інших параметрів;
- підтримання стабільності роботи системи під час різних умов експлуатації та впливів;
- контроль та відстеження ключових параметрів процесу, таких як тиск, температура, швидкість валків тощо;
- захист обладнання від перевантажень, збоїв живлення, перегріву та інших критичних станів.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Опис технологічної лінії підготовки сировини у виробництві цегли

Проаналізуємо принцип роботи цеху підготовки сировини у виробництві цегли, технологічну схему якого представлено на рис. 2.1.

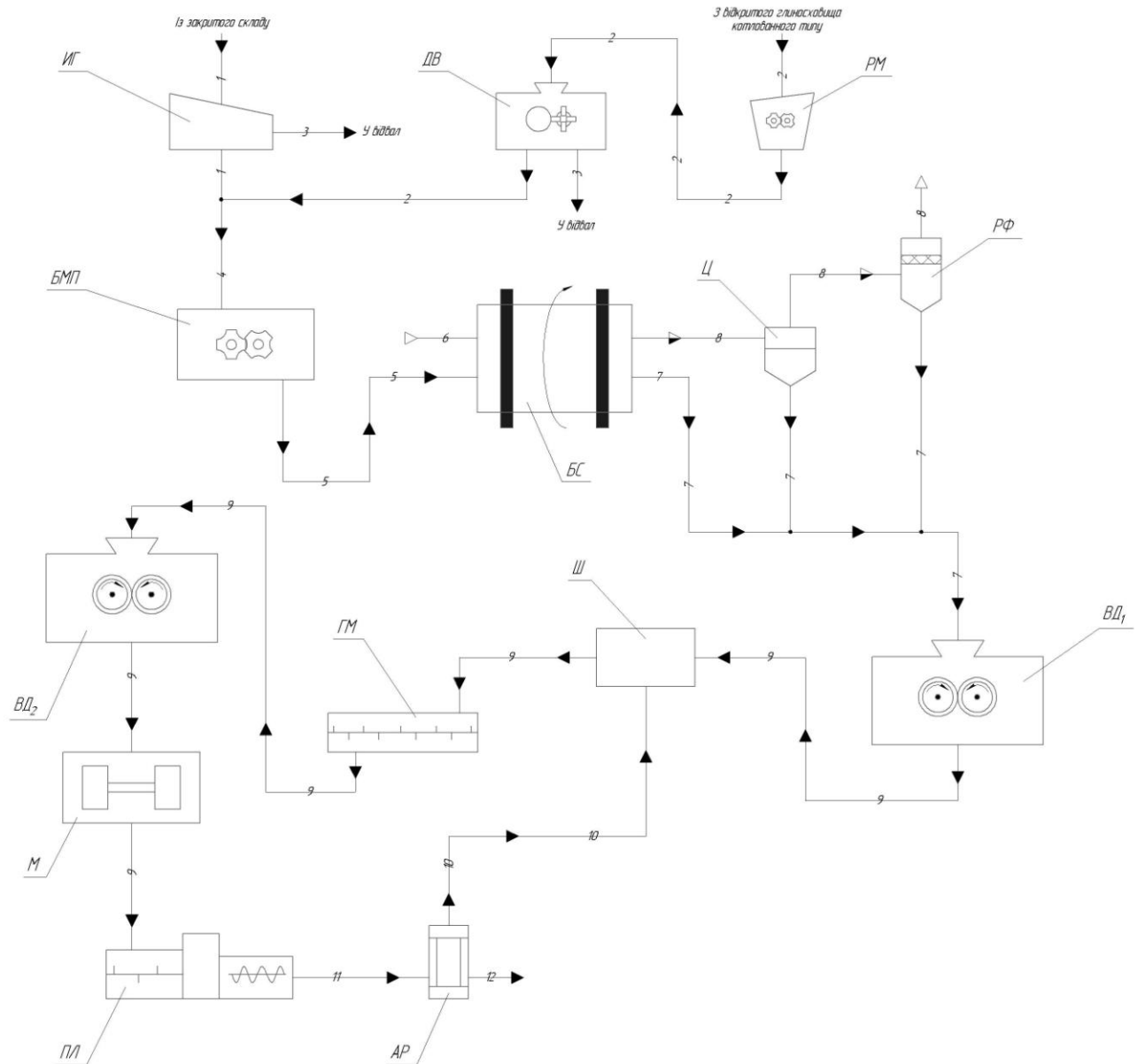


Рисунок 2.1 – Технологічна схема цеху підготовки сировини у виробництві цегли

Глину, видобуту з глибоких земельних резервуарів, перевозять до приймального бункера за допомогою екскаватора та автомобільного транспорту. На цьому етапі використовується розрихлювальна машина РМ, що відіграє важливу роль у підготовці сировини до подальшого виробництва керамічної цегли. Розрихлювальна машина використовується для руйнування структури глини, щоб усереднити її компонентний склад і вологість. В основі цього процесу – ротори, які обертаються над живильником. Завдяки зубцям ці ротори здатні роздроблювати грудки глини на більш дрібні частки. Під час цього руйнівного процесу глина проходить через спеціальну решітку, що дозволяє вибрати більш дрібні фракції і вилучити непотрібні домішки.

Отримана розрихлена глина потім спрямовується на транспортуючі пристрої, які переносять її до наступних етапів виробництва. Цей процес не лише спрощує обробку глини, а й дозволяє забезпечити однорідність у складі та вологості, що є ключовим елементом виробництва високоякісної керамічної цегли.

Після проходження через глинозрихлювач, глина подається до дезінтеграторних вальців ДВ, де відбувається виділення кам'янистих включень. Цей етап процесу виготовлення керамічної цегли спрямований на поліпшення якості сировини. Дезінтеграторні вальці складаються з двох валків різного діаметру, які встановлені з певним зазором між ними. Важливо відзначити, що один з валків має ребристу поверхню, тоді як інший – гладку. Ця конфігурація дозволяє досягти оптимального ефекту дезінтеграції глини.

Ребристий валок обертається з більшою швидкістю, ніж його гладкий партнер, завдяки чому відбувається ефективно дроблення глини, що просочується між цими валками. Процес дезінтеграції забезпечує подрібнення глиняних часток та виділення кам'янистих включень. Унаслідок цього глина, після проходження між валками, руйнується і рухається униз. Кам'яністі включення, які були виділені в процесі, видаляються через спеціальний отвір у корпусі вальців і спрямовуються у відвал, тим самим ефективно очищаючи глину від зайвих складових.

Автосамосвали, завантажені піском і шлаком з захищеного складу із залізничними естакадами, постачають свій вантаж до прийомних бункерів. Це відбувається за допомогою системи стрічкового живильника-конвеєра, яка направляє ма-

теріали на інерційний грохот ИГ. Важливим етапом цього процесу є видалення кам'янистих включень розміром понад 10 мм. Після просіювання продукт подається у витратні бункери, далі проходить через систему вагових дозаторів і змішується з обробленою глиною. Отримана глиниста сировина спрямовується в бігуни грубого дроблення БМП, де вона піддається подальшій обробці.

Такий комплексний процес, що включає в себе різноманітні етапи та системи, спрямований на забезпечення оптимальної якості і складу сировини для виробництва керамічної цегли. Кожен етап призначений для видалення непотрібних компонентів та покращення характеристик сировини, щоб забезпечити ефективність та високу якість кінцевого продукту.

Внаслідок процесу дроблення, фракційна маса глини може пройти різноманітні стадії в залежності від її вологості. У випадку, коли вологість глини перевищує 16 %, матеріал направляється в барабанну сушарку БС з виносною топкою для подальшого підсушування до вологості не більше 16 %. Температура теплового агента, що подається в сушильний барабан, коливається в межах 600–800°C, а температура на виході становить 100–120°C. Процес сушіння гліни відбувається прямоютоком, де матеріал і нагріте повітря рухаються в одному напрямку, забезпечуючи уникнення перегріву гліни та втрати її пластичних властивостей. Відпрацьовані гази проходять через циклон Ц і рукавний фільтр РФ, де відокремлюються дрібні частинки матеріалу. Ці частинки збираються гвинтовим конвеєром, змішуються з підсушеною глиною з барабана і направляються до валкової дробарки середнього дроблення ВД<sub>1</sub>. У випадку, коли вологість вихідної глини не перевищує 16 %, маса направляється безпосередньо до валкової дробарки середнього дроблення ВД<sub>1</sub>.

Після механічної обробки у валковій дробарці маса, переміщуючись через систему стрічкових конвеєрів, подається на вилежування в механізоване сховище – шихтозапасник Ш. Вилежування маси триває принаймні 3 дні, під час якого відбувається не лише набрякання, але й релаксація напружень у глині, що виникали під час механічної обробки. Цей процес сприяє поліпшенню формувальних та сушильних властивостей глини, а також збільшує міцність виготовлених виробів на 20–30 %.



Із шихтозапасника сировини, використовуючи мостовий кран із грейферним захватом та стрічковий конвеєр, проводиться подача маси в глиномішалку ГМ, оснащену фільтруючою решіткою. На цьому етапі відбувається проминання глиняної маси із одночасним водяним зрошенням, з метою створення суцільного глиняного тіста з вологістю в межах 18–22 %. Така вологість є оптимальною для формування виробів.

Процес відбувається в глиномішалці, де поперечний переріз корпусу забезпечено масивною решіткою на вихідному кінці. Лопаті вала проковзуються через цю решітку, продавлюючи глину. Це не лише додає додаткової обробки глині, але й одночасно утримує забруднюючі включення. Результатом цієї технологічної операції стає збільшення рухливості глиняної маси та міцності висушених зразків у 1,5–2 рази. Такий інтегрований підхід сприяє покращенню якості виготовлення виробів і забезпечує їх високу стійкість.

Остаточна переробка глиняної маси завершується у вальцях тонкого помелу  $ВД_2$  і барабанному млині  $M$ . У млині проводиться тонке подрібнення маси. Метою тонкого подрібнення є остаточне руйнування водостійких оболонок, що цементують окремі зерна глиностворюючих мінералів, часткове руйнування самих зерен і звільнення в кінцевому рахунку молекулярних зв'язків, за рахунок яких глина буде гідратуватися, приєднуючи до себе велику кількість зв'язаної води. Барабанні млини є найбільш ефективною машиною для тонкого подрібнення. У процесі такої обробки одні і ті ж шматочки глини піддаються багаторазовому стираючому впливу, що і забезпечує тонке подрібнення маси.

Далі, за допомогою стрічкового конвеєра, маса переноситься до витратного бункера, відтак подається у змішувач преса стрічкового вакуумного пластичного формування ПЛ через живильник. Після проходження через прес, маса виходить у формі суцільної стрічки і піддається розрізанню різальним апаратом на окремі частини з зазначеними розмірами. Отримані блоки транспортуються до автомата багатоструменевого різання і укладання АР, де брусок розчленовується на шматки заданих розмірів. Вироби нижчої якості, отримані в результаті процесу формування, повторно спрямовуються до шихтозапасника Ш.

## 2.2 Теоретичні основи процесу подрібнення [6–10]

Процес подрібнення або дроблення матеріалів є ключовим етапом в хімічній промисловості, оскільки він дозволяє розкрити цільові речовини, збільшуючи їх поверхню фазового контакту та покращуючи доступність для діючих мас. Цей процес зазвичай використовується для обробки твердих матеріалів та порід з метою отримання бажаних фізичних та хімічних характеристик. Тут важливі кілька ключових аспектів. По-перше, це розкриття цільових речовин, адже подрібнення дозволяє розірвати структуру твердих матеріалів та порід, що містять цільові речовини, і вивільнити їх для подальшого використання.

По-друге, збільшення поверхні фазового контакту. Дроблення збільшує поверхню матеріалу, що взаємодіє з діючими масами, що поліпшує ефективність процесу реакції чи інших хімічних перетворень.

По-третє, ефективність та економія ресурсів. Подрібнення може зменшити кількість використовуваних матеріалів, оскільки тонкодисперсні матеріали часто вимагають меншої кількості для досягнення бажаних результатів.

Загальною метою подрібнення в хімічній промисловості є оптимізація процесів виробництва та отримання матеріалів і продуктів з покращеними властивостями. Досягнення цих цілей можливе завдяки правильному вибору методів подрібнення та оптимізації умов процесу.

Піддаються дробленню різноманітні природні матеріали, сировина, напівфабрикати та готова продукція. Залежно від різноманітності твердих матеріалів, які піддаються дробленню, та розміру та типу подрібнювачів, хімічна промисловість виходить за рамки своїх аналогів в інших галузях. Широкий спектр твердих матеріалів, які підлягають дробленню, відзначається значною різноманітністю – від природних ресурсів до напівфабрикатів і кінцевої продукції.

У хімічній промисловості використовуються різні типи подрібнювачів, які підібрані відповідно до конкретних властивостей та характеристик матеріалів, щоб забезпечити ефективне і якісне дроблення. Цей процес не лише полегшує доступ до внутрішніх компонентів сировини, але й створює тонкодисперсний мате-

ріал, що відкриває нові перспективи для подальшого використання в різних хімічних технологіях.

Розмаїття і складність матеріалів, що піддаються дробленню, зумовлює вибір оптимального підходу до подрібнення в кожному конкретному випадку. Це свідчить про унікальність та несуперечливий внесок хімічної промисловості у сферу технологій дроблення.

У галузі хімічних технологій використовуються всі можливі методи подрібнення, починаючи від великого масштабу, коли розмір отриманих шматків матеріалу досягає 250–300 мм, і завершуючи колоїдним розмелюванням, коли розмір частинок зменшується до мікронів. Цей широкий спектр методів подрібнення визначається конкретними вимогами та характеристиками оброблюваних матеріалів, а також потребами виробництва.

Широкий асортимент розроблених дробарок включає в себе щоківі, конусні, валкові, молоткові дробарки, а також барабанні, кульові, стрижневі, жорнові, вібраційні, струменеві, колоїдні млини і безліч інших спеціальних типів подрібнювачів. Кожен з цих типів відзначається унікальним принципом роботи та придатністю для конкретних завдань у виробництві.

Щоківі дробарки використовуються для первинного дроблення великих матеріалів, конусні та валкові – для подальшого редуційного подрібнення, а молоткові дробарки важливі для обробки матеріалів з високою ступенем твердості. Барабанні млини забезпечують роботу з великими обсягами сировини, вібраційні млини використовуються для створення тонкого порошку, а колоїдні млини важливі для отримання колоїдних розчинів.

Різноманіття цих дробарок визначається необхідністю виробництва, різноманітністю оброблюваних матеріалів та специфічними вимогами до кінцевого продукту, що підкреслює важливість та адаптабельність дробильного обладнання у хімічній промисловості.

Процес подрібнення, який використовується для обробки природної сировини, такої як глина, вимагає значних енергетичних витрат і часто пов'язаний із зносом робочих елементів машин, що призводить до втрат металу. Сировину добувають у кар'єрах за допомогою різноманітних машин і пристосувань, після чого

вона транспортується у вагонах або спеціальних машинах до хімічних комбінатів та переробних заводів.

Природна сировина, така як глина, в початковому вигляді представлена шматками різної форми і розміру, а також різною твердістю. Це ускладнює процес обробки, оскільки перед подачею в зону контакту її необхідно подрібнити, щоб забезпечити її подальшу обробку в хімічних процесах.

Для вирішення цього завдання використовуються різні типи машин для грубого, середнього та тонкого подрібнення. Машини для грубого помелу призначені для ініціального роздроблення великих шматків сировини. Машини середнього подрібнення використовуються для подальшого зменшення розміру часток, а тонкодисперсні машини використовуються для досягнення необхідних розмірів частинок перед введенням матеріалу в хімічні процеси.

Необхідність у використанні різних машин та ступінь подрібнення визначаються конкретними характеристиками сировини та вимогами до кінцевого продукту, а також ефективністю та енергоефективністю процесу подрібнення.

Відношення розмірів шматків до і після подрібнення називають ступенем подрібнення. Розрізняють лінійну та об'ємну ступінь подрібнення. Розмір шматків зазвичай визначається отвором сита, через яке проходить сипучий матеріал. Як ми бачимо, процес подрібнення характеризується розміром вихідного матеріалу, що надходить на подрібнення, розміром і зерновим складом продукту подрібнення і ступенем подрібнення. Крупність кожного шматка суміші характеризується його лінійними розмірами: довжиною  $l$ , шириною  $b$  і товщиною  $c$ , а також діаметром  $d$ . Він може дорівнювати середньоарифметичному значенню довжини, ширини і товщини шматка, тобто

$$d = \frac{(l+b+c)}{3}, \quad (2.1)$$

середньгеометричному значенню цих величин, тобто

$$d = \sqrt[3]{l \cdot b \cdot c}, \quad (2.2)$$

або діаметру кола, описаного навколо ширини і товщини шматка

$$d = \sqrt{b^2 + c^2} . \quad (2.3)$$

Крупність маси матеріалу, що надходить на подрібнення, залежить від процентного вмісту в ній шматків різного розміру, тобто від її зернового складу. Зерновий склад маси може визначатися по її поверхні шляхом використання планограм і фотопланограм, за якими визначається сумарна площа, яку займають шматки різної крупності. При цьому відносна площа ( $y$  %), яку займають шматки певного розміру, приймається рівною відносному вмісту шматків тієї ж крупності в масі матеріалу. Тоді крупність вихідної маси буде характеризуватися середньозваженим розміром.

Крупність кускового і порошкоподібного матеріалів із зазначенням лінійного розміру найбільшого і найменшого шматків може бути охарактеризована одним із таких способів:

1. Нижня (+d) і верхня (–d) межа крупності. Верхня межа крупності (–d) означає «не крупніше d», а нижня межа крупності (+d) означає «не дрібніше d». При цьому вказуються розміри найбільшого і найменшого шматків, а характеристика записується в такий спосіб: (+d<sub>n</sub> –d<sub>n</sub>).

2. Фракційний склад матеріалу, виражений в частках або у відсотках.

3. Питома поверхня матеріалу, тобто поверхня частинок, яка припадає на одиницю маси або одиницю об'єму матеріалу, м<sup>2</sup>/кг або м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

До фізико-механічних властивостей сипучих матеріалів відносяться: насипна щільність і кут природного укосу.

Насипна щільність сипучого матеріалу  $\rho_H$  – це відношення маси сипучого тіла до об'єму, який воно займає. Це значення пов'язано із щільністю матеріалу твердих частинок  $\rho_M$  залежністю

$$\rho_H = \rho_M \cdot (1 - \varepsilon), \quad (2.4)$$

де  $\varepsilon$  – порізність, яка дорівнює відношенню об'єму порожнеч до всього об'єму сипучого тіла. Порізність показує наскільки щільно матеріал заповнює даний об'єм.

У промислових умовах матеріал може перебувати як під власною вагою, так і під навантаженням. Для кускових і зернистих матеріалів порізність мало залежить від ущільнювального навантаження  $\sigma_y$ . Для порошкоподібних матеріалів ця залежність істотна і її слід враховувати при визначенні насипної щільності.

Насипна щільність вологого матеріалу:

$$\rho_H = \rho_M \cdot (1 - \varepsilon) \cdot (1 + W), \quad (2.5)$$

де  $W$  – вологість, яка представляє собою відношення маси води, яка міститься в сипучому тілі, до маси сухого тіла.

Кут природного укосу  $\varphi_H$  – це кут у вертикальній площині перетину конуса, сформований при висипанні матеріалу на горизонтальну площину, між твірною конуса і його підставою. Зазвичай це значення знаходиться в межах 30–40 °.

### 2.3 Опис конструкції проектного апарата

Подрібнення у валкових дробарках відбувається головним чином за допомогою процесу розчавлювання матеріалу між двома обертовими робочими поверхнями. Цей метод базується на тому, що одна або обидві з цих поверхонь рухаються, таким чином, руйнування матеріалу відбувається лише при їх зближенні. Процес здійснюється завдяки обертовим валкам, які обертаються назустріч один одному, або валку, що обертається поруч з колосниковою решіткою, під дією стискаючих навантажень.

У процесі роботи валкових дробарок, матеріал подається між валками чи валком і колосниковою решіткою, де йому доводиться пройти певний зазор. Під впливом тиску матеріал стикається з обертовими поверхнями, що призводить до його розчавлювання на менші частинки. Цей метод особливо ефективний для об-

робки матеріалів, таких як глина чи інші подібні субстанції, де стискаючий тиск може впливати на їхню структуру, роблячи їх більш придатними для наступних етапів виробництва, таких як формування та сушіння.

Дробарки відрізняються за своєю конструкцією в залежності від розташування робочих елементів і способу створення сил для роздавлювання матеріалу. Одна з особливостей конструкції дробарок полягає у розташуванні робочих елементів та механізмі, що забезпечує зусилля для роздавлювання сировини. У ряді моделей ці зусилля створюються за допомогою пружин, що забезпечує ефективний механізм роздавлювання. У інших дробарках цей процес базується на використанні відцентрових сил, які виникають внаслідок руху робочих елементів. Таке різноманіття підходів у конструкції визначає ефективність і функціональні можливості кожного типу дробарки.

У контексті нашого застосування, валкова дробарка використовується для проведення процедури середнього подрібнення сировини для виробництва цегли. Важливо зазначити, що ця сировина перед подачею в валкову дробарку вже пройшла попередню обробку в бігунах. Цей етап попереднього перероблення створює оптимальні умови для подальшого середнього подрібнення в процесі валкової дробарки, що визначає високу якість та однорідність готової цегельної маси.

Дробарки з поверхнею гладкого валка стали широко використовуваними в наш час, здобувши визнання завдяки своїй ефективності та універсальності. Такі дробарки ідеально підходять для проведення середнього і дрібного подрібнення твердих порід. Завдяки гладкій поверхні валків, вони ефективно подрібнюють матеріали, забезпечуючи високу якість обробки.

У той час як дробарки із рифленими або зубчастими валками знаходять своє застосування у випадках, коли потрібно здійснювати крупне і середнє подрібнення більш крихких і м'яких порід. Ці типи валкових дробарок забезпечують ефективну обробку матеріалів, які можуть бути менш стійкими до дроблення. Враховуючи ці особливості, важливо правильно вибрати тип дробарки залежно від характеристик подрібнюваного матеріалу, забезпечуючи оптимальні умови для ефективності та якості процесу подрібнення.

Валкові дробарки представлені різноманітністю конструкцій, включаючи одно-, дво-, трьох- і чотирьохвалкові моделі. Зокрема, двовалкові дробарки (див. рис. 2.2) є найбільш поширеними і ефективними в промисловості. У двовалковій дробарці валки обертаються назустріч одне одному, захоплюючи і дроблячи матеріал, який потрапив між ними. Цей процес супроводжується роздавлюванням матеріалу та частковим стиранням його поверхні. За необхідності підвищення стирання для більш ефективного подрібнення певних матеріалів, валкам може бути надана різна окружна швидкість, що сприяє оптимізації процесу.

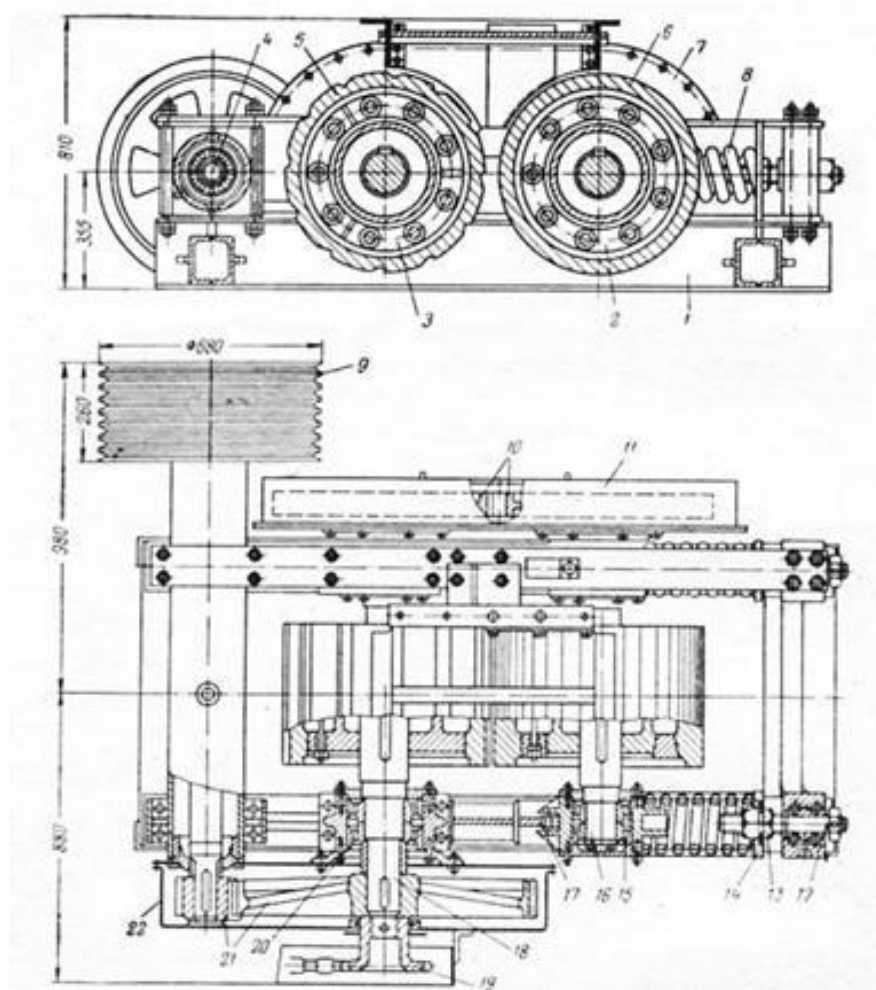


Рисунок 2.2 – Схема двовалкової дробарки з гладкими валками: 1 – рама; 2, 3 – валки; 4 – вал контрпривода; 5, 6 – змінний бандаж валків; 7 – кришка дробарки з лійкою для завантаження; 8 – пружина; 9 – шків контрпривода; 10 – зубчата пара; 11 – захисний кожух; 12 – упорна шпилька; 13 – гайки для регулювання; 14 – шайба; 15 – підшипник; 16 – вісь валка; 17 – змінна прокладка; 18 – вісь нерухомого валка; 20 – нерухомий підшипник; 21 – зубчата пара; 22 – кожух



Корпуси підшипників одного з валків є гнучкими, оскільки вони підтримуються пружинами і мають можливість переміщення. Це особливість, яка може стати важливою при обробці дуже міцних і труднодробимих предметів. Якщо в процесі подрібнення потрапляється об'єкт із підвищеною міцністю, один валок може тимчасово відійти від іншого, пропустивши цей предмет, а потім, завдяки дії пружин, повернутися в початкове положення. Така конструкція надає додаткової гнучкості і пристосованості дробарки до різноманітних умов обробки.

У деяких випадках використовують конструкції, де обидва валки оснащені пружинами, щоб забезпечити ще більшу ефективність при обробці матеріалів із значною кількістю труднодробимих включень. Це особливо корисно в ситуаціях, коли початковий матеріал містить багато міцних частинок або об'єктів, які можуть стати перешкодою для стандартного процесу подрібнення.

Сила стиснення пружини або її жорсткість можуть бути налаштовані за допомогою гайки 13 та шпильки 12. Регулювання ширини вихідної щілини, а відтак і розміру подрібнення матеріалу, виконується за допомогою прокладок 17 необхідної товщини. Ці прокладки розташовані між корпусом рухомого підшипника і упорною стінкою з іншого боку валка.

Цей механізм надає великий діапазон можливостей для налаштування процесу дроблення валкової дробарки. Незалежне контролювання сили стиснення пружини та ширини щілини дозволяє точно регулювати параметри дроблення, забезпечуючи ефективну обробку матеріалів різної міцності та текстури. Такий підхід до регулювання гарантує оптимальні умови для подрібнення, що важливо в роботі з різноманітними видами сировини.

Обертання шківів дробарки забезпечується роботою електродвигуна, який, у свою чергу, передає рух через одноступеневий редуктор, що закритий захисним кожухом 22. Отримане обертання передається першому валку 3, корпуси підшипників якого тісно закріплені на рамі 1 дробарки.

Підшипники 15 другого гладкого валка 2 оснащені амортизаційними пружинами, які дозволяють їм переміщатися і стискати пружини, щоб регулювати зазор між валками. Цей механізм важливий для того, щоб в разі потрапляння недро-

бимого предмету зберегти цілісність обладнання, дозволяючи валкам відхилятися відносно один до одного.

Передача руху від першого (ведучого) валка до другого (відомого) валка відбувається за допомогою шестерень із подовженими зубцями, які знаходяться в масляній ванні та захищені кожухом. Ця конструкція дозволяє регулювати міжцентрову відстань між валками валків, що є ключовим аспектом управління процесом дроблення для оптимального подрібнення матеріалу.

## 2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата

Вихідними даними для розрахунку є продуктивність виготовлення цегли, яка складає 50000 шт./добу. Найбільший розмір шматка глини, що надходить в дробарку після бігунів дорівнює 20 мм. Розмір шматків глини після подрібнення у валковій дробарці становить 5 мм. Початкову вологість кар'єрної глини прийняти на рівні 15 %.

Визначаємо годинну потребу по глині:

$$G = \frac{n_{um} \cdot m}{t \cdot \eta} \cdot (1 + \varphi_n), \quad (2.6)$$

де  $n_{um}$  – кількість цегли, виробленої на добу, шт./добу;

$m$  – маса цегли, кг;

$t$  – робочий час на добу, год.;

$\eta$  – коефіцієнт, що враховує неминучі втрати матеріалу в процесі переробки;

$\varphi_n$  – початкова вологість кар'єрної глини.

Тоді необхідна потреба виробництва в сировинній глині складе:

$$G = \frac{50000 \cdot 3,6}{24 \cdot 0,95} \cdot (1 + 0,15) = 9079 \text{ кг/год} \approx 9,08 \text{ т/год.}$$

У нашому випадку необхідно забезпечити ступінь подрібнення матеріалу  $i = 20 / 0,7 = 28,6$ .

Знаючи початковий розмір шматка і ступінь подрібнення матеріалу (глини) отримуємо, що для переробки шматка глини 20 мм в фракцію 0,7 мм необхідно три стадії подрібнення матеріалу зі ступенем подрібнення на кожній стадії приблизно рівній  $\sqrt[3]{28,6} = 3,06$ . Для першої стадії подрібнення глини вибираємо валкову дробарку з гладкими валками. Згідно [4], ступінь подрібнення для такої дробарки становить  $i = 3 - 5$ .

Основними параметрами валкової дробарки є: ширина вихідної щілини, кут захоплення  $\alpha$ , діаметр  $D$  і довжина  $L$  валків, частота їх обертання  $n$  і споживана потужність  $N$ .

Задану продуктивність може забезпечити валкова дробарка ДГ 400 × 250, технічні характеристики якої наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики дробарки ДГ 400 × 250 (з гладкими валками)

Параметр	Значення
Продуктивність, т/год	7,5–16
Діаметр валка, мм	400
Довжина валка, мм	250
Ступінь подрібнення	3–5
Межі регулювання зазору між валками, мм	2–12
Максимальний розмір шматка, що надходить у вальці, мм	20
Потужність електродвигуна, кВт	2×4,5

Кутом захоплення  $\alpha$  називають кут, утворений дотичними, проведеними через точки дотику шматка матеріалу з поверхнею валків. У момент захоплення шматків матеріалу діаметром  $d$  в точках дотику його з валками виникають сили нормального тиску  $P$ , що діє на матеріал під кутом  $\alpha/2$  (рис. 2.3).

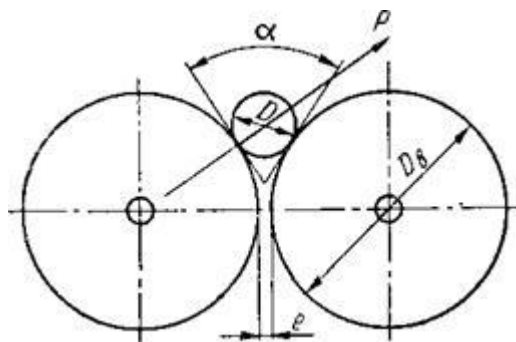


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема валкової дробарки

Сила  $P$  розкладається на складові сили  $P \cdot \cos \alpha / 2$  і виштовхуючу  $P \cdot \sin \alpha / 2$ . З іншого боку під прямим кутом до сили  $P$  діє сила тертя  $F = P \cdot f$ , яка розкладається на силу  $P \cdot f \cdot \sin \alpha / 2$  і втягуючу матеріал  $P \cdot f \cdot \cos \alpha / 2$ .

Очевидно, що для нормальної роботи валкової дробарки необхідно, щоб було дотримано умову:

$$2 \cdot P \cdot \sin \alpha / 2 \leq 2 \cdot P \cdot f \cdot \cos \alpha / 2. \quad (2.7)$$

Розділивши обидві частини нерівності на  $2 \cdot P \cdot \cos \alpha / 2$ , отримуємо:

$$\operatorname{tg} \alpha / 2 \leq f, \quad (2.8)$$

де  $f = \operatorname{tg} \varphi$  ( $\varphi$  – кут тертя), тоді  $\operatorname{tg} \alpha / 2 \leq \operatorname{tg} \varphi$  або  $\alpha \leq 2 \cdot \varphi$ .

Отже, для нормальної роботи валків необхідно, щоб кут захоплення був менше подвійного кута тертя. Величина коефіцієнта тертя  $f$  шматків глини об поверхню сталевого валка в середньому дорівнює 0,3. Для зазначеного значення  $f$  граничний кут  $\beta = \alpha / 2$  становить  $18^\circ$  [3]. Тому приймаємо  $\alpha = 36^\circ$ .

Із рис. 2.3 видно, що

$$\frac{D}{2} + \frac{d'}{2} = \left( \frac{D}{2} + \frac{d}{2} \right) \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \quad (2.9)$$

або

$$D + d' = (D + d) \cdot \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (2.10)$$

Розділивши рівняння (2.10) на  $d$ , отримуємо:

$$\frac{D}{d} + \frac{d'}{d} = \left( \frac{D}{d} + 1 \right) \cdot \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (2.11)$$

Приймаємо за даними практики  $d'/d = 1/4$  (тобто ступінь подрібнення  $d/d' = 4$ ), отримуємо

$$\frac{D}{d} \cdot \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) = \cos \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{4}, \quad (2.12)$$

звідки

$$d = \frac{D \cdot \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right)}{\cos \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{4}}. \quad (2.13)$$

Таким чином, співвідношення  $D/d$  при дробленні шматків кар'єрних глини становить:

$$\frac{D}{d} = \frac{\cos \frac{36}{2} - \frac{1}{4}}{1 - \cos \frac{36}{2}} = 17,75.$$

Для забезпечення надійного захоплення матеріалу валками дробарки отримані значення збільшують від 20 до 25 %. Зазвичай для гладких дробарок співвідношення  $D/d$  приймають рівним 20.

Ці умови задовольняє обрана нами дробарка ДГ 400 × 250, оскільки:

$$D = 20 \cdot d = 20 \cdot 20 = 400 \text{ мм.}$$

Частоту обертання валків з урахуванням дії на матеріал, що знаходиться на обертовому циліндрі, відцентрової сили, визначаємо за емпіричною формулою Л. Б. Левенсона:

$$n_{\max} \leq 102,5 \cdot \frac{\sqrt{f}}{\rho_H \cdot d \cdot D}, \quad (2.14)$$

де  $\rho_H = 1400 \text{ кг/м}^3$  – насипна щільність вихідної глини.

$$n_{\max} \leq 102,5 \cdot \frac{\sqrt{0,3}}{1400 \cdot 0,020 \cdot 0,400} \leq 5 \text{ с}^{-1}.$$

Практично, з метою зменшення зносу поверхні валків, частоту їх обертання приймають рівною  $n_{\text{ср}} = (0,4 - 0,7) \cdot n_{\max}$ .

$$n_{\text{ср}} = 0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ с}^{-1}.$$

При цьому окружна швидкість складе:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n_{\text{ср}}, \quad (2.15)$$

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 2,5 = 15,7 \text{ с}^{-1}.$$

Зусилля в деталях валкової дробарки визначаються навантаженням, яке створюється пружинами запобіжного пристрою. Це навантаження залежить від багатьох факторів і може бути обчислене лише наближено.

Припустимо, що середнє сумарне зусилля між валками при дробленні матеріалу одно  $P_{cp}$ . Площа, на якій буде діяти це зусилля:

$$F = L \cdot l, \quad (2.16)$$

де  $L$  – довжина валків, м;

$l$  – довжина дуги на ділянці подрібнення матеріалу, м.

$$l = R \cdot \alpha, \quad (2.17)$$

де  $R$  – радіус валка, м;

$\alpha$  – кут дуги, рад.

$$l = 0,2 \cdot 0,628 = 0,125 \text{ м.}$$

$$F = 0,25 \cdot 0,125 = 0,031 \text{ м}^2.$$

Середнє сумарне зусилля дроблення:

$$P_{cp} = \sigma_{сж} \cdot F \cdot \mu, \quad (2.18)$$

де  $\sigma_{сж}$  – межа міцності глини при стисненні,  $\sigma_{сж} = 60$  МПа;

$\mu$  – коефіцієнт розпушення матеріалу.

Формула (2.18) при дробленні глини приймає наступний вигляд:

$$P_{cp} \approx 0,1 \cdot \sigma_{сж} \cdot L \cdot D, \quad (2.19)$$

$$P_{cp} = 0,1 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 0,25 \cdot 0,4 = 600000 \text{ Н} \approx 0,6 \text{ МН.}$$

Тобто сила натискання пружин рухомого валка повинна забезпечувати отримане значення.

Потужність електродвигуна валкової дробарки з урахуванням витрат потужності на подолання всіх опорів при роботі машини визначаємо за такою залежністю:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{\eta}, \quad (2.20)$$

де  $N_1$  – потужність, що витрачається на дроблення матеріалу, Вт;

$N_2$  – потужність, що витрачається на подолання тертя об валок, Вт;

$N_3$  – потужність, що витрачається на подолання тертя в цапфах валків, Вт;

$\eta$  – ККД передачі,  $\eta = 0,95 - 0,99$ .

Потужність, що витрачається на дроблення матеріалу:

$$N_1 = P_{\text{спГ}} \cdot S \cdot n_{\text{сп}}, \quad (2.21)$$

де  $P_{\text{спГ}}$  – середнє значення сили нормального тиску, Н;

$S$  – сумарний шлях, який проходить точка докладання зусиль натискання обох валків на матеріал, м.

$$P_{\text{спГ}} = P_{\text{сп}} \cdot \cos \frac{\beta}{2}, \quad (2.22)$$

$$P_{\text{спГ}} = 0,6 \cdot \cos \frac{18}{2} = 0,59 \text{ МН.}$$

$$S = 2 \cdot R \cdot \left( 1 - \cos \frac{\beta}{2} \right), \quad (2.23)$$

$$S = 2 \cdot 0,2 \cdot \left( 1 - \cos \frac{18}{2} \right) = 0,004 \text{ м.}$$

$$N_1 = 590000 \cdot 0,004 \cdot 2,5 = 5900 \text{ Вт.}$$



Потужність, що витрачається на подолання тертя матеріалу об валок:

$$N_2 = f \cdot N_1, \quad (2.24)$$

$$N_2 = 0,3 \cdot 5900 = 1770 \text{ Вт.}$$

Потужність, що витрачається на подолання тертя в цапфах валків:

$$N_3 = \pi \cdot d_u \cdot 2 \cdot G_p \cdot f_{np} \cdot n_{cp}, \quad (2.25)$$

де  $d_u$  – діаметр цапфи валків, м;

$f_{np}$  – приведений до валу коефіцієнт тертя кочення,  $f_{np} = 0,001$  ;

$G_p$  – результуюча сила від сили нормального тиску  $P_{cp\Gamma}$  (вважаємо, що вона спрямована горизонтально) і сили тяжіння валка  $G_B$ , Н.

$$G_p = \sqrt{P_{cp\Gamma}^2 + G_B^2}, \quad (2.26)$$

$$G_p = \sqrt{590000^2 + 25000^2} = 590530 \text{ Н.}$$

$$N_3 = 3,14 \cdot 0,1 \cdot 2 \cdot 590530 \cdot 0,001 \cdot 2,5 = 930 \text{ Вт.}$$

Таким чином, потужність електродвигуна валкової дробарки складе:

$$N_{\text{дв}} = \frac{5900 + 1770 + 930}{0,97} = 8866 \text{ Вт} \approx 8,9 \text{ кВт.}$$

Необхідна потужність забезпечується двома електродвигунами по 4,5 кВт (див. табл. 2.1).

## 2.5 Вибір допоміжного обладнання

**Розрахунок барабанної сушарки [11].** Барабанна атмосферна сушарка (рис. 2.4) – апарат безперервної дії, який призначений для сушіння сипучих матеріалів (в даному випадку шматків глини) нагрітим повітрям.

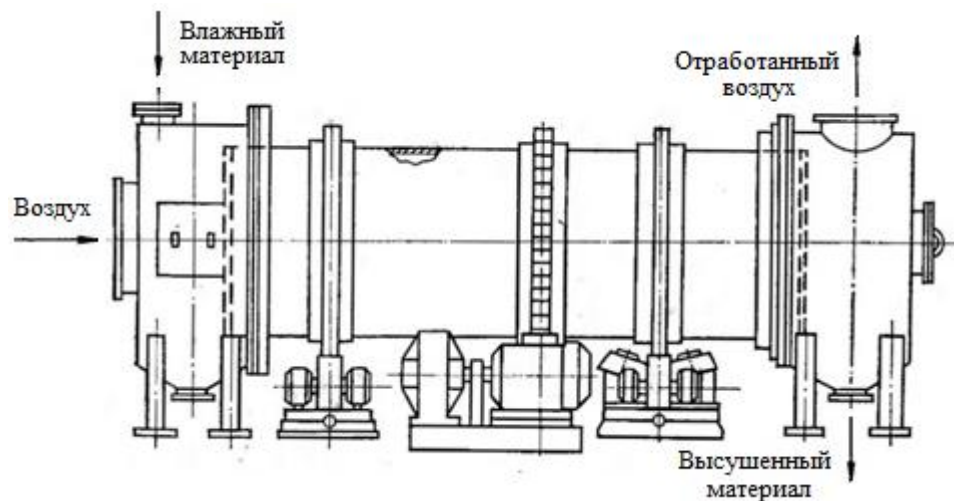


Рисунок 2.4 – Схема барабанної атмосферної сушарки

Конструктивно такий апарат являє собою зварений циліндр – барабан, встановлений з нахилом до горизонту на  $4-6^\circ$  і спирається за допомогою бандажів на ролики. Барабан приводиться в обертання електродвигуном через зубчасту передачу і редуктор. Число обертів барабана зазвичай не перевищує  $5-8$  об/хв.; становище його в осьовому напрямку фіксується упорними роликами.

Вибираємо сушарку барабанного типу з прямою схемою руху матеріалу і теплоносія (рис. 2.5).

Для початку визначимо середньорічні параметри повітря в регіоні: в цілому клімат міста є помірно континентальним з прохолодною зимою і теплим літом. Середньорічна температура повітря становить  $t_{B0} = 6,6^\circ\text{C}$ , а відносна вологість повітря в середньому за рік становить  $\varphi_{B0} = 78\%$ .

Приймаємо коефіцієнт заповнення барабана  $\psi = 0,15$ . За діаграмою Рамзина (рис. 2.6) параметри повітря перед калорифером складають: точка А на діаграмі ( $X_0 = 0,005$  кг/кг;  $I_0 = 20$  кДж/кг). Тоді параметри повітря в калорифері: точка В ( $t_{BH} = 150^\circ\text{C}$ ,  $X_B = 0,005$  кг/кг,  $I_B = 170$  кДж/кг).

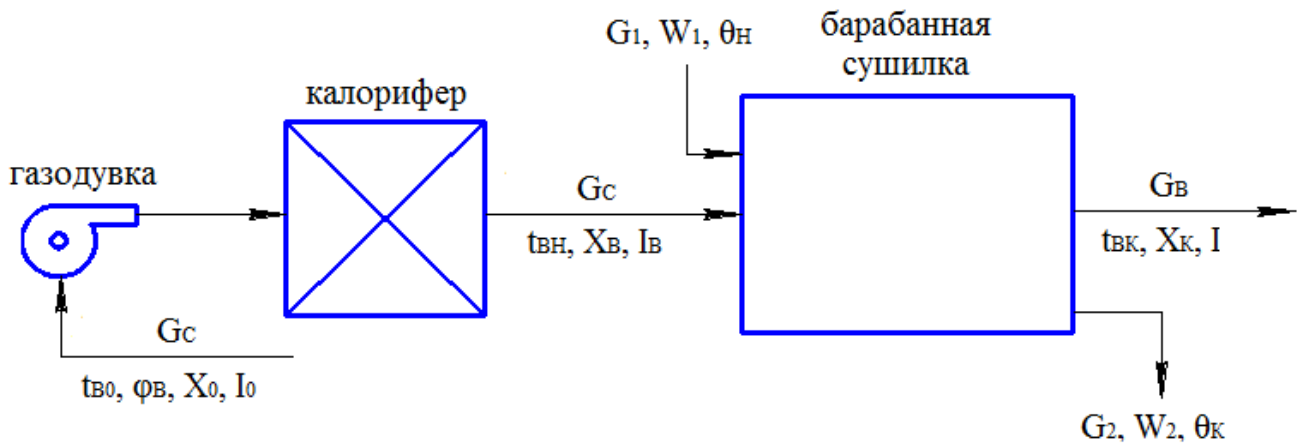


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема сушильної установки

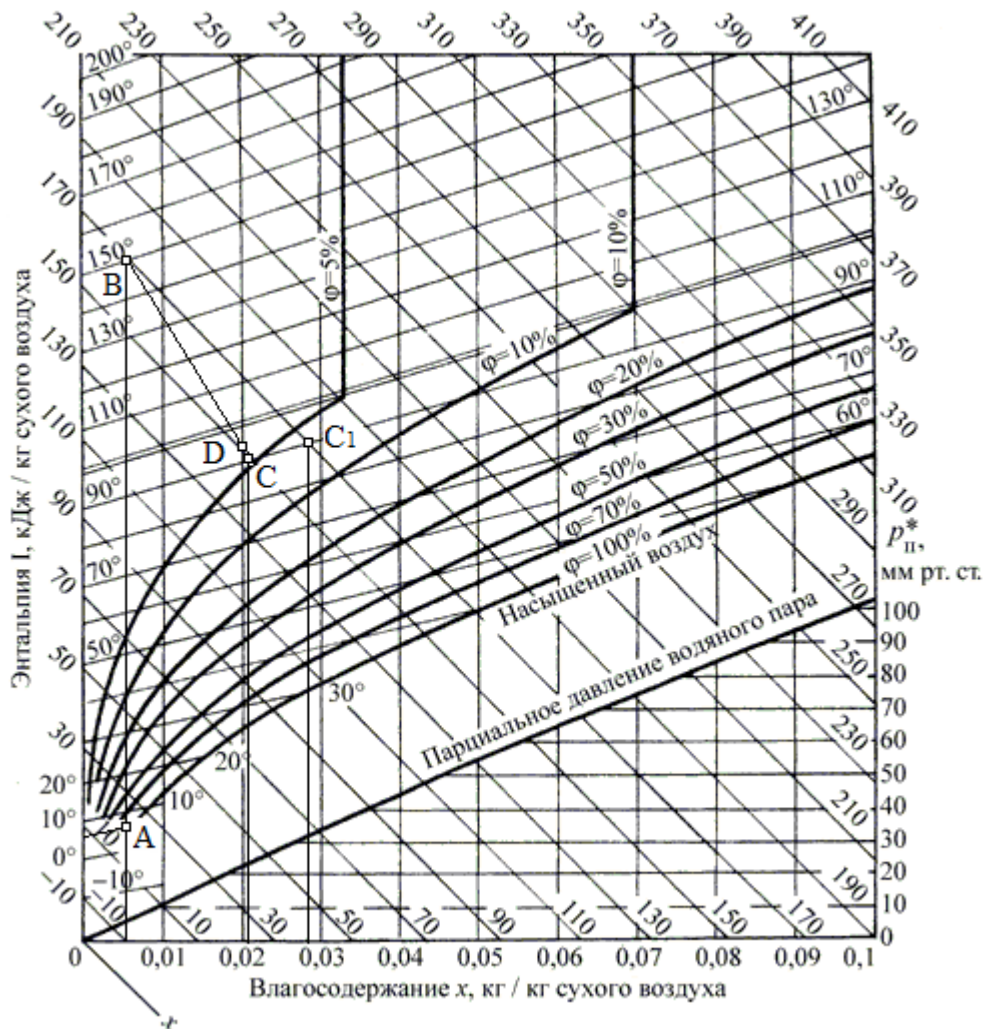


Рисунок 2.6 – Діаграма Рамзина (схема реального процесу сушіння)

Для початку визначимо середньорічні параметри повітря в регіоні: в цілому клімат міста є помірно континентальним з прохолодною зимою і теплим літом.

Середньорічна температура повітря становить  $t_{B0} = 6,6^\circ\text{C}$ , а відносна вологість повітря в середньому за рік становить  $\varphi_{B0} = 78\%$ .

Приймаємо коефіцієнт заповнення барабана  $\psi = 0,15$ . За діаграмою Рамзина (рис. 2.6) параметри повітря перед калорифером складають: точка А на діаграмі ( $X_0 = 0,005$  кг/кг;  $I_0 = 20$  кДж/кг). Тоді параметри повітря в калорифері: точка В ( $t_{BH} = 150^\circ\text{C}$ ,  $X_B = 0,005$  кг/кг,  $I_B = 170$  кДж/кг).

Параметрами точки  $C_1$  є: постійна ентальпія  $I_B = 170$  кДж/кг і кінцева температура повітря, яка за практичними даними дорівнює  $t_{BK} = 90^\circ\text{C}$ .

При теоретичному процесі сушіння питома теплота визначається з наступного рівняння:

$$q_T = \frac{I_B - I_0}{X_{\text{ВЫХ}} - X_0}, \quad (2.27)$$

де  $X_{\text{ВЫХ}}$  – вміст вологи в повітрі на виході з сушарки при теоретичному процесі, кг/кг. За діаграмою Рамзина  $X_{\text{ВЫХ}} = 0,028$  кг/кг (точка  $C_1$  на рис. 2.6).

$$q_T = \frac{170 \cdot 10^3 - 20 \cdot 10^3}{0,028 - 0,005} = 6,5 \cdot 10^6 \text{ (Дж/кг)}.$$

У реальній сушарці кінцевий вміст вологи  $X_K$  буде меншим за  $X_{\text{ВЫХ}}$ . Його значення визначаємо наступним чином.

З рівняння лінії реального процесу сушіння

$$I = I_B - \Delta q (X - X_0), \quad (2.28)$$

приймавши любе значення  $X$ , меншим за  $X_{\text{ВЫХ}}$ , визначаємо  $I$ , попередньо розраховувавши витрату випаровуваної вологи  $W$ , і поправку  $\Delta q$  для реального процесу сушіння.

Витрата випаровуваної вологи:

$$W = G_1 \cdot (\omega_H - \omega_K), \quad (2.29)$$

$$W = 9079 \cdot (0,25 - 0,16) = 1634 \text{ (кг/год)}.$$

Питома теплота на нагрівання матеріалу при температурі матеріалу на виході з сушарки:

$$q_{MAT} = \frac{G_1 \cdot c_M \cdot (\theta_K - \theta_H)}{W}, \quad (2.30)$$

де  $c_M$  – питома теплоємність глини,  $c_M = 880 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ .

$$q_{MAT} = \frac{9079 \cdot 880 \cdot (60 - 25)}{1634} = 3,4 \cdot 10^5 \text{ (Дж/кг)}.$$

З огляду на те, що втрати тепла складають 10 %, отримуємо:

$$q_{ПОТ} = 0,10 \cdot q_T = 0,10 \cdot 6,5 \cdot 10^6 = 6,5 \cdot 10^5 \text{ (Дж/кг)}.$$

Різниця температур в теоретичній і реальній сушарках:

$$\Delta q = q_{MAT} + q_{ПОТ} - c_{\omega} \cdot t_{B0}, \quad (2.31)$$

$$\Delta q = 3,4 \cdot 10^5 + 6,5 \cdot 10^5 - 4190 \cdot 6,6 = 9,6 \cdot 10^5 \text{ (Дж/кг)}.$$

Прийнявши значення  $X=0,02 \text{ кг/кг}$ , за рівнянням (2.28) розраховуємо:

$$I = 170 \cdot 10^3 - 9,6 \cdot 10^5 \cdot (0,02 - 0,005) = 152 \cdot 10^3 \text{ (Дж/кг)}.$$

Виходячи з діаграми Рамзина (рис. 2.6), визначаємо вміст вологи в повітрі на виході з сушарки. Для цього проведемо лінію через дві точки:

- точка В має координати ( $X_B = 0,005 \text{ кг/кг}$ ;  $I_B = 170 \text{ кДж/кг}$ );

- точка D має координати ( $X = 0,02$  кг/кг;  $I = 152$  кДж/кг), до перетину з ізотермою  $t_{BK} = 90^\circ\text{C}$ . Відповідно знаходимо вміст вологи в повітрі, яке залишає барабанну сушарку:  $X_K = 0,021$  кг/кг (точка C на рис. 2.6).

Витрата сухого теплоносія в сушарці:

$$G_C = \frac{W}{X_K - X_0}, \quad (2.32)$$

$$G_C = \frac{1634}{0,021 - 0,005} = 102125 \text{ (кг/год.)}.$$

Витрата вологого теплоносія на виході з сушарки:

$$V_B = v_{уд} \cdot G_C, \quad (2.33)$$

$$\text{де } v_{уд} = \frac{R_B \cdot T}{P - \phi_s \cdot p_{нас}} = \frac{287 \cdot (273 + 90)}{10^5 - 0,78 \cdot 3,22 \cdot 10^4} = 1,4 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

$$V_B = 1,4 \cdot 102125 = 142975 \text{ (м}^3\text{/год.)}.$$

Приймаємо швидкість повітря на виході з сушарки:  $\omega_r = 8$  м/с при розмірі частинок  $\delta_{ч} = 20$  мм і насипній щільності матеріалу  $\rho_n = 1400$  кг/м<sup>3</sup>.

Внутрішній діаметр сушильного барабана:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_B}{\pi \cdot (1 - \psi) \cdot \omega_r}}, \quad (2.34)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 142975}{3,14 \cdot (1 - 0,15) \cdot 8 \cdot 3600}} = 2,73 \text{ (м)}.$$

Прийнявши товщину футеровки  $\delta_{\Phi} = 0,10$  м, розраховуємо зовнішній діаметр сушарки:

$$D_H = D + 2 \cdot \delta_{\Phi}, \quad (2.35)$$

$$D_H = 2,73 + 2 \cdot 0,10 = 2,93(\text{м}).$$

Вибираємо сушильний барабанний апарат із зовнішнім діаметром 3000 мм:

- СБ 3-18 – довжина барабана  $L = 18000$  мм;

- СБ 3-20 – довжина барабана  $L = 20000$  мм.

Приймаємо тепло напруженість барабана за вологою  $A = 6,5$  кг/(м<sup>3</sup>·год), тоді необхідний внутрішній об'єм барабана буде дорівнювати:

$$V_B = \frac{W}{A}, \quad (2.36)$$

$$V_B = \frac{1634}{11,8} = 138(\text{м}^3).$$

При цьому довжина барабана складе:

$$L = \frac{4 \cdot V_B}{\pi \cdot D_B^2}, \quad (2.37)$$

$$L = \frac{4 \cdot 138}{3,14 \cdot 3,0^2} = 19,53(\text{м}).$$

Остаточо вибираємо сушарку СБ 3-20.

**Розрахунок та вибір циклону [12].** Циклонні апарати (рис. 2.7) внаслідок дешевизни і простоти пристрою і експлуатації, відносно невеликого опору і високої продуктивності є найбільш поширеним типом механічного пиловловлювача.

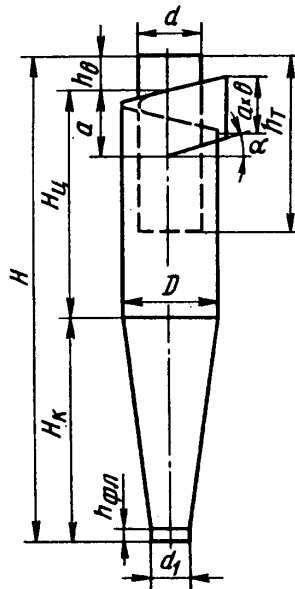


Рисунок 2.7 – Схема циклону НПОГАЗ типу ЦН

Циклонні пиловловлювачі мають наступні переваги перед іншими апаратами: відсутність рухомих частин; надійна робота при температурі до  $500^{\circ}\text{C}$  без конструктивних змін; можливість роботи циклонів при високому тиску; стабільна величина гідравлічного опору; простота виготовлення і можливість ремонту; підвищення концентрації пилу не призводить до зниження фракційної ефективності апарату. До недоліків можна віднести низьку ефективність при уловлюванні частинок розміром  $< 5$  мкм.

Розраховуємо площу перетину циклону:

$$F = \frac{V}{v_0}, \quad (2.38)$$

де  $v_0$  – оптимальна швидкість газового потоку в циклоні, приймаємо  $v_0 = 4,5$  м/с.

$$F = \frac{142975}{3600 \cdot 4,5} = 8,8 \text{ м}^2.$$



Для забезпечення заданої продуктивності по газу слід паралельно встановити два циклони. Діаметр такого циклону складе:

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{F}{2}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{8,8}{2}} = 2,37 \text{ м.} \quad (2.39)$$

З ряду типорозмірів вибираємо циклон СДК-ЦН-33-2400 діаметром 2,4 м.

Розраховуємо дійсну швидкість повітря в циклоні:

$$v_0' = \frac{1,27 \cdot V}{D^2} = \frac{1,27 \cdot 19,86}{2,4^2} = 4,38 \text{ м/с.} \quad (2.40)$$

Розраховуємо відхилення дійсної швидкості газу в циклоні від оптимальної:

$$\frac{v_0 - v_0'}{v_0} \cdot 100\% = \frac{4,5 - 4,38}{4,5} \cdot 100\% = 2,7\% \text{ м/с.} \quad (2.41)$$

## 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Вибір конструкційних матеріалів [13]

При виборі конструкційних матеріалів для виготовлення окремих елементів валкової дробарки, основними критеріями є:

1. Корозійна стійкість. Матеріали повинні мати високу стійкість до корозії, оскільки дробарка часто експлуатується в умовах, де може бути взаємодія з агресивними середовищами. Це особливо важливо для забезпечення тривалого терміну служби обладнання.
2. Механічні властивості. Висока міцність та витривалість матеріалу необхідні для витримання механічних навантажень та ударів, які виникають в процесі подрібнення матеріалів.
3. Технологічні властивості. Матеріали повинні бути легкими у виготовленні, обробці та монтажі, щоб забезпечити ефективний виробничий процес та зменшити витрати ресурсів.
4. Економічні фактори. Низька вартість матеріалу є ключовою, оскільки це може значно вплинути на загальні витрати на виробництво та експлуатацію дробарки. Також важливо уникати матеріалів, які можуть бути дефіцитними або мають високі витрати на постачання.

Отже, врахування цих критеріїв дозволяє вибрати матеріали, які забезпечать необхідні технічні та експлуатаційні характеристики валкової дробарки, забезпечуючи її ефективну та надійну роботу в різних умовах експлуатації.

Для виготовлення відповідальних деталей валкової дробарки та рами обираємо сталь конструкційну низьколеговану 09Г2С. Із урахуванням того, що перероблювана сировина не є корозійно активною, вибір сталі 09Г2С забезпечує високу стійкість матеріалу до корозії, що сприяє тривалому терміну служби обладнання.

Даний тип сталі відзначається високою міцністю, що робить його відмінним вибором для деталей, що піддаються механічному зносу та навантаженням.

Сталь 09Г2С досить легко піддається обробці, зварюванню та іншим технологічним операціям, що сприяє ефективному виробничому процесу та полегшує виготовлення відповідальних деталей. Сталь 09Г2С є відносно доступним матері-

алом, що може сприяти зниженню витрат на виробництво, що є важливим фактором у виборі конструкційних матеріалів.

Вибір сірого чавуну марки СЧ 20 для виготовлення корпусів підшипників та коліс пасової передачі методом лиття є розумним рішенням з урахуванням ряду факторів. Сірий чавун має високу текучість, що полегшує процес лиття та дозволяє отримувати складні форми деталей. Сірий чавун є відносно дешевим матеріалом, що сприяє зниженню витрат на виробництво, особливо при великих обсягах виробництва. Властивості сірого чавуну, такі як добра текучість і низькі температурні витрати, роблять його ідеальним матеріалом для лиття великих і складних виробів. Загалом, використання сірого чавуну для вказаних деталей дозволяє поєднати ефективність виробництва з задовільними експлуатаційними характеристиками матеріалу.

Для виготовлення валів надзвичайно широке використання знайшли сталі конструкційної підвищеної якості, такі як сталь 30, сталь 40 і сталь 45, відповідно. Зазначені сталі використовуються для виготовлення валів, які виконують важливі функції в різноманітних промислових галузях. Вироби зі сталей марок 30, 40 і 45 широко застосовуються в промисловому виробництві, їхня висока міцність та відмінна здатність до опірності зносу роблять їх переважним вибором для виготовлення деталей навіть у важких умовах експлуатації.

### 3.2 Розрахунки на міцність та стійкість [13, 14]

Приводний вал дробарки працює у важких умовах. На нього впливають статичні і динамічні навантаження, особливо при дробленні твердих порід. Діючими силами є (рис. 3.1) крутний момент  $M_K$ , окружне зусилля від натягу ременя  $P_H$ , яке в залежності від розташування електродвигуна з редуктором може створювати деформацію вигину в одній площині або в двох (вертикальній і горизонтальній) силами  $P_{HV}$  і  $P_{HG}$  дроблення матеріалу  $P_{DP}$ , спрямоване в горизонтальній площині. Силу  $P_{DV}$  у вертикальній площині, від тертя вальця за матеріалом, при розрахунку до уваги не беремо. Вона становить не більше 5 % і дорівнює різниці між силою, що утримує матеріал від виштовхування і виштовхувальною силою.

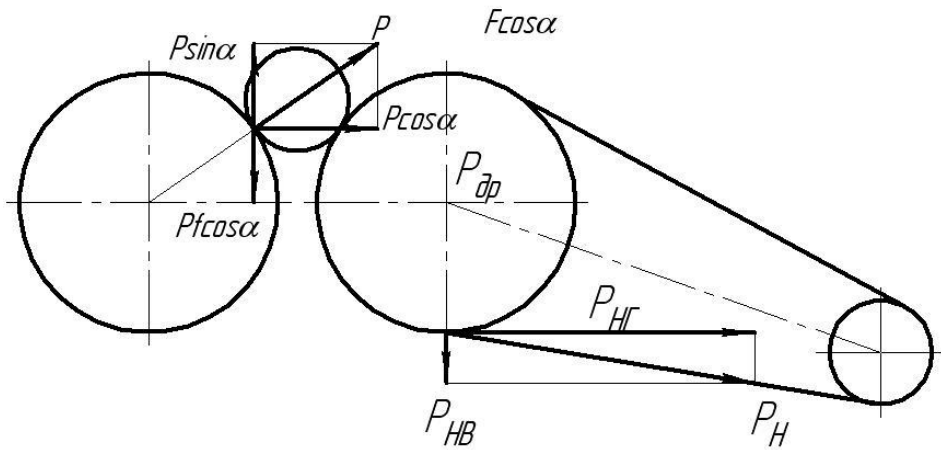


Рисунок 3.1 – Схема навантаження приводного вала

Таким чином, отримаємо наступну рівність:

$$P_{dp} \cdot f \cdot \cos \alpha - P_{dp} \sin \alpha = P_{dp} \cdot (0,45 \cos 20^\circ - \sin 20^\circ) = 0,04 \cdot P_{dp}, \quad (3.1)$$

Натяг ременя у вертикальній площині може бути дуже малим і його слід приймати при розрахунку тільки в тому випадку, коли кут нахилу ременя до горизонту буде більше  $30^\circ$ .

Для визначення реактивних сил в опорах А і Б складаємо рівняння суми моментів сил:

$$\sum M_B = 0; \sum M_A = 0; \sum R_A = 0; \sum R_B = 0; l_2 = l_4 \quad (3.2)$$

$$\sum M_A = 0; P_{HG} \cdot (l - l_1) + \frac{P_y}{2} (l_3 + l_2) - R_B \cdot (l_2 + l_3 + l_4) - P_3 \cdot l_1 = 0 \quad (3.3)$$

$$R_B = \frac{P_{HG} \cdot (l - l_1) + \frac{P_y}{2} (l_3 + l_2) - P_3 \cdot l_1}{l_2 + l_3 + l_4} \quad (3.4)$$

$$\sum M_B = 0; \sum R_A = 0; R_A = \frac{P_B \cdot (l - l_5) + \frac{P_y}{2} (l_3 + l_2) - P_{HG} \cdot l_5}{l_2 + l_3 + l_4} \quad (3.5)$$

Небезпечним перетином будуть  $x - x$  і  $y - y$  місця кріплення валка на валу шпонкою. Розраховуємо вал на кручення і вигин, по максимальним навантаженням. Для цього будуємо епюри згинальних і крутних моментів (рис. 3.2) і перевіряємо виконання умов міцності на вигин і кручення.

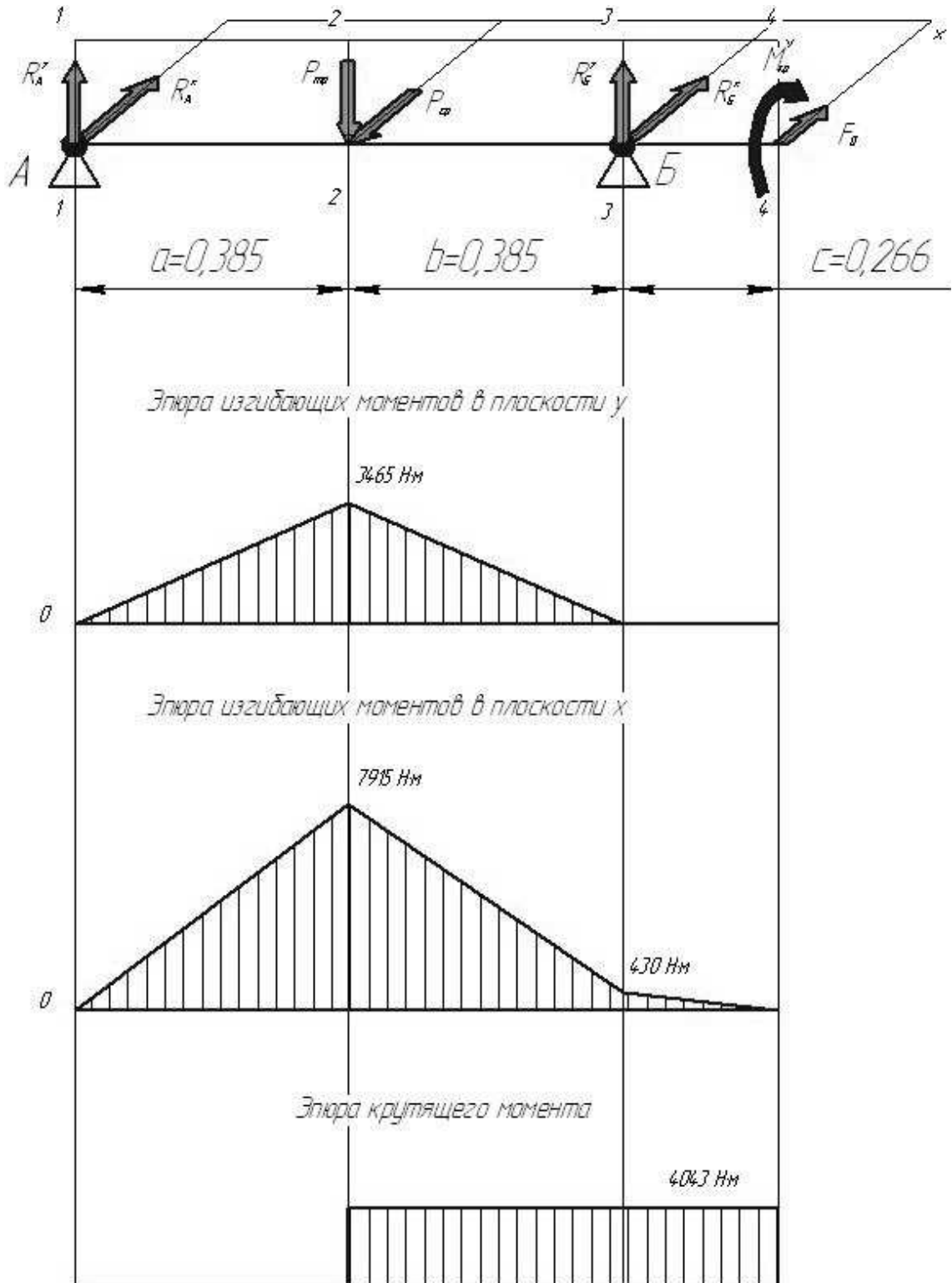


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема приводного вала дробарки з епюрами згинальних і крутних моментів

Визначаємо еквівалентний згинальний момент для найбільш навантаженого перерізу вала:

$$M_{\sigma} = \sqrt{3465^2 + 7915^2} = 8640 \text{ Н}\cdot\text{м.} \quad (3.6)$$

Тоді напруги вигину в перерізі вала 2 – 2:

$$\sigma = \frac{8640}{0,1 \cdot 0,14^3} = 31,48 \cdot 10^6 \text{ Па или } 31,48 \text{ МПа.} \quad (3.7)$$

Тоді умова міцності вала в найбільш навантаженому перерізі складе:

$$\sigma_{\sigma} = \sqrt{31,48^2 + 4 \cdot 7,37^2} = 34,76 \text{ МПа} < 213 \text{ МПа.} \quad (3.8)$$

Отже, умова міцності вала виконується.

Розрахунок підшипників. Для початку визначаємо сили, що діють на вал з боку пасової передачі: окружна сила  $F_t = 3054H$ ; осьова сила  $F_a = 782H$ ; радіальна сила  $F_r = 1147H$ ; момент від сили  $F_a$ :  $M_{Fa} = F_a \cdot d_1 / 2 = 782 \cdot 43,35 / 2 = 16,9 \cdot 10^3 H \cdot \text{мм}$ .

На вал дробарки діє додаткова сила  $F_m = 125 \cdot \sqrt{T_2} = 125 \cdot \sqrt{66,2} = 1017 H$ .

Оскільки напрямок сили невідомий (залежить від випадкових неточностей монтажу), то приймаємо її напрямком таким, щоб вона збільшувала напруги і деформації від сили  $F_t$  (найгірший випадок).

Визначаємо реакції опор.

У площині ХОУ:

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow -M_{Fa} + F_r \cdot 55 - R_B \cdot 110 = 0;$$

$$R_B = \frac{F_r \cdot 55 - M_{Fa}}{110} = \frac{1147 \cdot 55 - 16,9 \cdot 10^3}{110} = 420H;$$

$$\Sigma M_B = 0 \Rightarrow F_r \cdot 55 + M_{Fa} - R_A \cdot 110 = 0;$$

$$R_A = \frac{F_r \cdot 55 + M_{Fa}}{110} = \frac{1147 \cdot 55 + 16,9 \cdot 10^3}{110} = 727H.$$

Перевірка:

$$\Sigma F_y = -R_B + F_r - R_A = -420 + 1147 - 727 = 0.$$

$$M_{1-1}^{слева} = R_B \cdot 55 = 420 \cdot 55 = 23,1 \cdot 10^3 \text{ H} \cdot \text{мм};$$

$$M_{1-1}^{справа} = R_B \cdot 55 + M_{F_A} = 420 \cdot 55 + 16,9 \cdot 10^3 = 40 \cdot 10^3 \text{ H} \cdot \text{мм}.$$

У площині XOZ:

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow F_m \cdot 71 + F_t \cdot 55 - R_B \cdot 110 = 0;$$

$$R_B = \frac{F_m \cdot 71 + F_t \cdot 55}{110} = \frac{1017 \cdot 71 + 3054 \cdot 55}{110} = 2183 \text{ H};$$

$$\Sigma M_B = 0 \Rightarrow F_t \cdot 55 + R_A \cdot 110 - F_m \cdot 181 = 0;$$

$$R_A = \frac{F_m \cdot 181 - F_t \cdot 55}{110} = \frac{1017 \cdot 181 - 3054 \cdot 55}{110} = 146 \text{ H}.$$

Перевірка:

$$\Sigma F_z = R_B - F_t - R_A + F_m = 2183 - 3054 - 146 + 1017 = 0.$$

$$M_{1-1} = R_B \cdot 55 = 2183 \cdot 55 = 120,1 \cdot 10^3 \text{ H} \cdot \text{мм};$$

$$M_A = F_m \cdot 71 = 1017 \cdot 71 = 72,2 \cdot 10^3 \text{ H} \cdot \text{мм}.$$

Попередньо приймаємо радіальні шарикопідшипники легкої серії 207, для яких  $C_r = 20,1 \text{ кН}$ ;  $C_{0r} = 13,9 \text{ кН}$ .

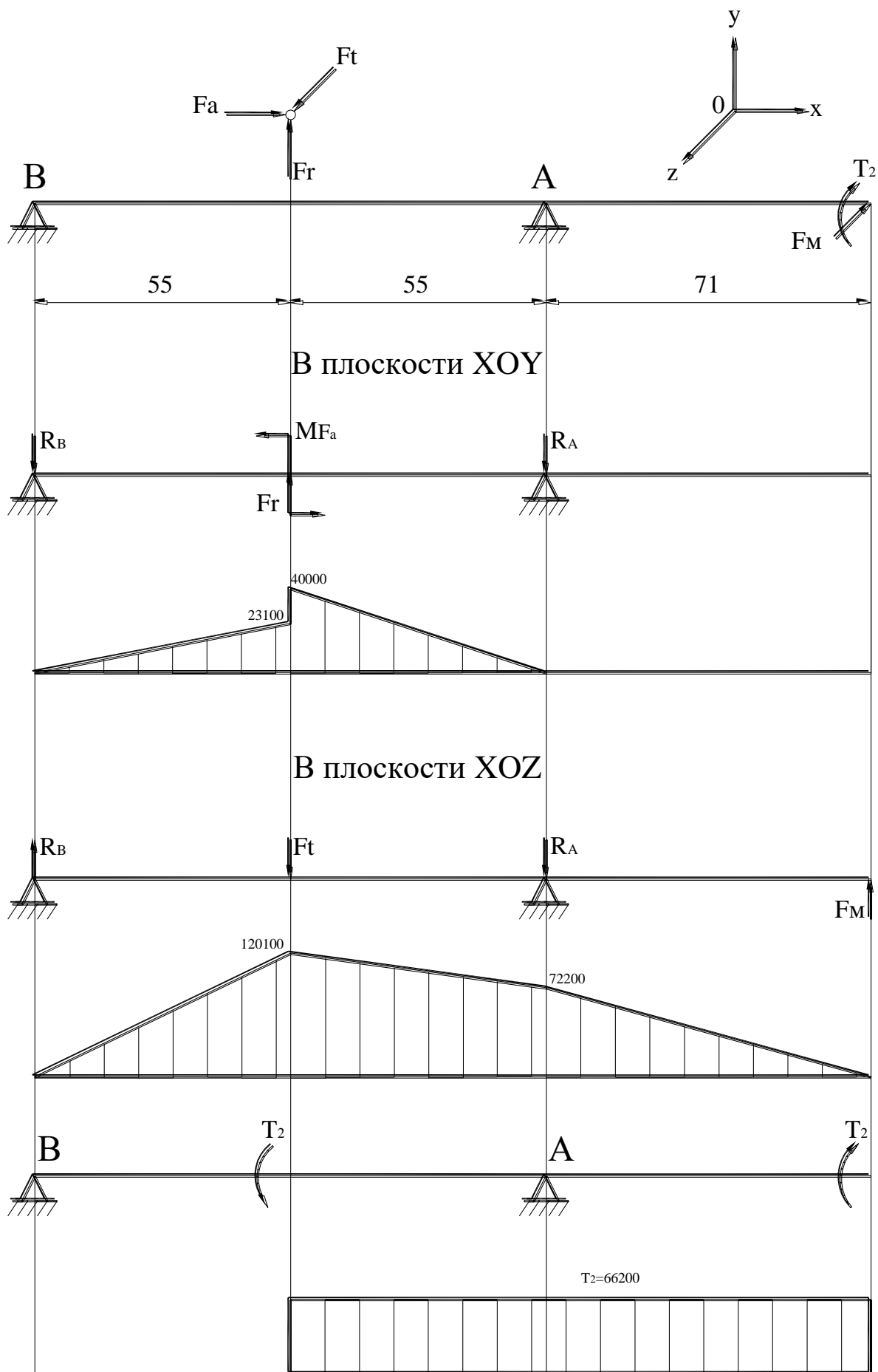


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема



Визначаємо сили, що діють на підшипники

- опори А:  $F_{rA} = \sqrt{727^2 + 146^2} = 742H$ ;  $F_{aA} = 782H$ ;

- опори В:  $F_{rB} = \sqrt{420^2 + 2183^2} = 2223H$ .

Попередньо визначаємо для опори А

$$\frac{F_{aA}}{C_{0r}} = \frac{782}{13,9 \cdot 10^3} = 0,056, \text{ тоді за [33, с. 335, табл. 16.5] } Y = 1,71; e = 0,26.$$

Тоді:

$$\frac{F_{aA}}{F_{rA}} = \frac{782}{742} = 1,05 > e = 0,26, \text{ значить } X = 0,56; Y = 1,71.$$

Визначаємо еквівалентне динамічне навантаження за [33, с. 335]  $K_\sigma = 1,3$ ;

$K_T = 1,0$ .

$$P_r = (X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a) \cdot K_\sigma \cdot K_T;$$

$$P_{rA} = (0,56 \cdot 1 \cdot 742 + 1,71 \cdot 782) \cdot 1,3 \cdot 1,0 = 2279H;$$

$$P_{rB} = 2223 \cdot 1,3 \cdot 1,0 = 2890H.$$

Далі розраховуємо тільки підшипник опори В, як більш навантажений.

При  $L_{hE} = K_{HE} \cdot L_h = 0,25 \cdot 36000 = 9000$  годин знаходимо

$$L_E = 60 \cdot 10^{-6} \cdot n_2 \cdot L_{hE} = 60 \cdot 10^{-6} \cdot 720 \cdot 9000 = 388,8 \text{ млн.об.}$$

Необхідна динамічна вантажопідйомність:

$$C = P_{rB} \cdot \sqrt[3]{L_E} = 2890 \cdot \sqrt[3]{388,8} = 21,09кН > C_r = 20,1кН - \text{підшипник не підходить.}$$

Остаточно приймаємо підшипник середньої серії 307 (  $C_r = 26,2кН$  ;  $C_{0r} = 17,9кН$  ), довговічність яких становить:

$$L_E = \left( \frac{C_r}{P_{rB}} \right)^3 = \left( \frac{26,2 \cdot 10^3}{2890} \right)^3 = 745,1 \text{ млн. об.}$$

або

$$L_{hE} = \frac{L_E}{60 \cdot 10^{-6} \cdot n_2 \cdot K_{HE}} = \frac{745,1}{60 \cdot 10^{-6} \cdot 720 \cdot 0,25} = 68991 \text{ ч} > t_{\Sigma} = 36000 \text{ год.}$$

Розрахунок шпонкового з'єднання. Для забезпечення передачі крутного моменту від шківів пасової передачі на вал дробарки застосуємо шпонкові з'єднання з призматичною шпонкою. Для з'єднання хвостовика вала з маточиною колеса пасової передачі застосуємо шпонку типорозміру  $28 \times 16 \times 100$ . Глибина паза 8 мм.

Ескіз шпонкового з'єднання наведено на рис. 3.4.

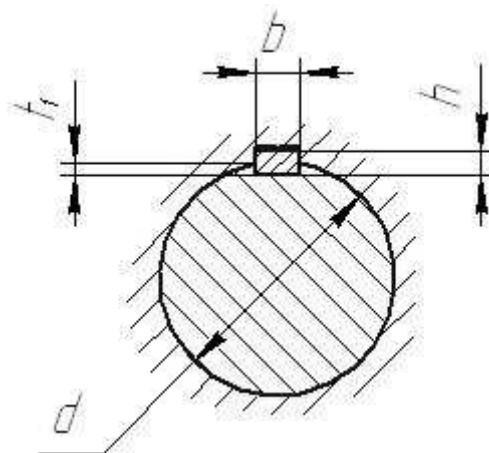


Рисунок 3.4 – Ескіз шпонкового з'єднання

У якості матеріалу для виготовлення шпонки приймемо Сталь 40Х.

Розрахуємо умову застосовності шпонки при заданих навантаженнях на умову зминання за формулою:

$$\sigma_{CM} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot (h - t_1) \cdot (l - b)} \leq [\sigma_{CM}], \quad (3.9)$$

де  $T$  – розрахунковий крутний момент сил на валу, який становить 4043 Н·м.

$$\sigma_{CM} = \frac{2 \cdot 4043}{0,12 \cdot (0,016 - 0,008) \cdot (0,1 - 0,028)} = 117 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа.}$$

Умова виконується, отже, шпонку вибрано правильно.

## 4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА

### 4.1 Обґрунтування компонування основного та допоміжного обладнання [15]

Оптимальне розміщення обладнання, будівель, споруд, трубопроводів і комунікацій у просторі вимагає уважного компонування, яке є ключовим етапом проектування і передбачає узгодження та оптимізацію багатьох факторів. Одним із важливих аспектів є технічна грамотність компонування, яке передбачає не лише ефективне розташування обладнання, але й його логічну взаємодію. Також важливо враховувати економічні аспекти, оскільки правильне розташування може сприяти зменшенню витрат на експлуатацію та підтримання об'єкта.

Рациональне розміщення устаткування, будівель і споруд передбачає таку компоновку об'єкта, яка одночасно враховує ряд ключових аспектів:

- забезпечення логічного та ефективного порядку виробничих процесів, щоб уникнути зайвих пересувань матеріалів та забезпечити оптимальну робочу послідовність;
- максимальне скорочення довжини комунікаційних мереж для зменшення витрат на їх будівництво та підтримання;
- зменшення обсягу займаної площі та території об'єкта шляхом оптимізації розмірів будівель і споруд;
- забезпечення безпечного та надійного використання об'єкта, а також комфорту для персоналу під час експлуатації;
- створення умов для легкості та доступності ремонтних робіт, включаючи зручний доступ до устаткування та комунікацій;
- максимальне використання блокових конструкцій та технологій для спрощення процесу зведення та прискорення виробничих термінів.

Основними документами, які визначають орієнтири для компонування, є:

1. Технологічна схема, яка визначає послідовність та зв'язки між основними етапами технологічного процесу, що дозволяє врахувати потреби в розміщенні обладнання та комунікацій для оптимального перебігу виробничих операцій.

2. Специфікація технологічного обладнання – надає детальну інформацію про параметри, розміри, вимоги до монтажу та експлуатації кожного конкретного технологічного блоку чи машини, що важливо для визначення їхнього оптимального розташування.
3. Технологічні завдання на розробку всіх суміжних частин проекту. Вони визначають вимоги до інженерно-технічних систем, комунікацій, пожежної та безпекової систем, енергозабезпечення тощо. Ці завдання взаємодіють з технічними та організаційними аспектами компонування.

Компонування, засноване на цих документах, дозволяє враховувати технічні, технологічні та економічні аспекти, щоб створити ефективний та функціональний об'єкт. Крім того, це забезпечує відповідність всіх елементів об'єкта вимогам та стандартам, що регулюють його експлуатацію.

Ефективне компонування та планування обладнання лінії виробництва цегли з усіма її цехами можна значно прискорити, якщо провести заздалегідь комплексне планування окремих ділянок цеху. Процес виконання цих робіт включає кілька ключових етапів:

1. Аналіз вихідних даних та вимог. Збір та аналіз вихідних даних, таких як технічні вимоги, обсяг виробництва, характеристики обладнання, технологічні вимоги, територіальні особливості та інші фактори, що впливають на компонування.
2. Компонування окремих ділянок цеху. Розробка компонування для кожного окремого цеху або відділення, з урахуванням оптимального розташування обладнання, проміжних зон, складських приміщень та комунікацій.
3. Планування простору та комунікацій. Визначення оптимального розміщення всіх елементів виробничого цеху, включаючи прохідні шляхи, евакуаційні виходи, системи електропостачання, вентиляції, опалення та інші інженерні комунікації.
4. Розробка технічних схем та проектів. Створення технічних схем та проектів для кожного цеху, включаючи розташування обладнання, розміщення робочих зон, систем вентиляції, освітлення та ін.

5. Оцінка ефективності та оптимізація. Перевірка розроблених компонувань та планів на ефективність та оптимізацію, з урахуванням економічних та технічних показників.
6. Розробка загального плану виробничого об'єкта. Синтез всіх окремих компонувань у єдиний, загальний план виробництва, забезпечуючи логічний та ефективний потік матеріалів та виробничих процесів.

Оглядаючи усі аспекти вище викладеного, для оптимального виконання технологічного процесу переробки глини визначено вибір закритого варіанта компонування. Цей варіант має свої раціональні обґрунтування. Будівля ангарного типу забезпечить необхідний рівень ізоляції та захисту від зовнішніх атмосферних впливів, що має велике значення у виробничих процесах, пов'язаних зі зберіганням, підготовкою та обробкою глини.

Такий підхід до компонування надасть декілька переваг. По-перше, він забезпечить стабільні умови для зберігання глини, запобігаючи її вологопоглинанню та забрудненню. По-друге, будівля ангарного типу забезпечить достатній рівень простору для розташування обладнання та виробничих зон, що сприятиме оптимізації робочого процесу. По-третє, вона створить комфортні умови для робітників та збереже якість глини, зменшуючи вплив негативних зовнішніх факторів.

Отже, обрана концепція закритого компонування вказує на важливість створення спеціалізованого приміщення для цеху підготовки глини з метою максимізації ефективності виробничого процесу та забезпечення найвищої якості продукції.

#### **4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання [16, 17]**

Монтаж валкової дробарки є важливим етапом встановлення обладнання для ефективного функціонування у виробничому процесі. Перед монтажем слід перевірити всі компоненти валкової дробарки на наявність пошкоджень чи дефектів. Далі слід переконатися, що площа для встановлення дробарки чиста, рівна і готова для роботи.

Щодо розміщення фундаменту – треба встановити міцний та стійкий фундамент, що відповідає ваговим і динамічним навантаженням валкової дробарки. Слід дотримуватися точного плану монтажу та розміщення дробарки на фундаменті.

Закріплення валків треба проводити у відповідності до інструкцій виробника, враховуючи правильне вирівнювання та зазори. Далі встановлюємо та під'єднуємо елементи приводу та передачі, такі як шестерені, ланцюги чи ремені, відповідно до схеми обладнання.

Після зазначених процедур слід провести необхідні виправлення зазорів між валками та їх вирівнювання для забезпечення оптимального контакту.

Електромонтаж та автоматизація:

- здійснюємо правильне підключення електродвигунів та інших електричних компонентів;
- якщо валкова дробарка обладнана автоматичними системами, слід їх налаштувати для оптимальної продуктивності та безпеки.

Далі запускаємо валкову дробарку на холостому ході для перевірки її роботи, робочих параметрів та виявлення можливих проблем. Треба виконати усі необхідні коригування та настройки для оптимального функціонування обладнання.

Усі параметри, проведені роботи, технічні характеристики та результати випробувань фіксуються у відповідній документації.

Таким чином, монтаж валкової дробарки вимагає уважності та точності в роботі, а також дотримання інструкцій виробника для забезпечення ефективної та безпечної експлуатації обладнання.

У процесі роботи валкових дробарок варто звертати увагу на аспекти, пов'язані з нерівномірним ступенем зношування поверхні валків. Суттєвим фактором є те, що діаметр центральної частини валка зазнає більш значущого ступеня зменшення, ніж діаметр його зовнішньої оболонки. Важливо контролювати розрив у діаметрах, який не повинен перевищувати 2 мм. У випадку, коли ця величина перевищує встановлені межі, рекомендується провести демонтаж та шліфування валків для відновлення вирівнювання їх діаметрів. Мінімально припустимий

діаметр валка після шліфування складає 180 мм. Після цього етапу рекомендується провести процедуру поверхневого загартування (твердість поверхні валків повинна знаходитися в межах 53–60 HRCE) та повторно провести шліфування для ефективного видалення окалини. Цей комплекс заходів сприяє забезпеченню оптимальних параметрів дроблення та збереженню довговічності та надійності валкових дробарок у процесі їх експлуатації.

Налаштування натягу ременів є важливим моментом для ефективного передавання руху:

1. Розбираємо конструкцію, знімаючи захисний кожух для отримання доступу до елементів регулювання.
2. Розкручуємо чотири болти, що кріплять підмоторну плиту до електродвигуна, забезпечуючи можливість її переміщення.
3. Регулювання положення електродвигуна по спеціальних рейках підмоторної плити виконується за допомогою регулювальних болтів. Прогин одного ременя в середині гілки при дії сили  $F = 5,9$  Н повинен становити 7,2 мм.
4. Після досягнення необхідного прогину, підтягніть чотири болти кріплення підмоторної плити, надійно фіксуючи електродвигун у встановленому положенні.
5. Аналогічно регулюється напруження в ременях другої клинопасової передачі, враховуючи ті ж принципи налаштування.
6. Після завершення процедури налаштування, знову слід встановити захисний кожух на своє місце.

В умовах інтенсивної експлуатації працюють ковзаючі підшипники, а також весь механізм амортизації цих підшипників. Тому, при кожному ремонті важливо ретельно оцінювати стан з'єднань та амортизаційних пристроїв, і за необхідності, здійснювати заміну зношених компонентів. Розглянемо послідовність кроків заміни ковзаючих підшипників:

1. Акуратно видаляємо завантажувальний бункер, розслабивши і знявши всі кріплення.



2. Розібравши бункер, знімаємо кожух для отримання доступу до вузлів підшипників.
3. Розкручуємо і знімаємо верхні напрямні, забезпечивши вільний доступ до обраного вузла.
4. Слід зменшити натяг приводних ременів, розібравши їх і відокремивши від механізмів приводу.
5. Далі обережно демонтуємо валок разом із валом та корпусами, враховуючи правильне роз'єднання всіх компонентів.
6. Відкручуємо і виймаємо відомий шків, надаючи доступ для подальшого демонтажу підшипників.
7. Розкручуємо болти, які кріплять кришку корпусу, та знімаємо корпус разом із підшипником.
8. Заповнюємо корпус мастилом, забезпечивши ефективне змащення всередині.

У табл. 4.1 подано інвентаризацію можливих відмов та відповідні методи виправлення для дробарки. Важливо відзначити, що всі процедури з усунення несправностей повинні проводитися лише при відключенні електропостачання з метою забезпечення безпеки та ефективності виконання робіт.

У крайньому випадку, коли валкова дробарка стає непридатною для подальшого використання або внаслідок серйозних несправностей, стає необхідністю проведення утилізації. Цей процес передбачає повне розбирання машини та розділення її компонентів для подальшої переробки як металобрухту.

Під час утилізації, важливо враховувати, що до складу виробу входять різні матеріали, включаючи кольоровий метал (зазвичай мідь), який використовується для виготовлення обмоток електродвигуна та пускача. Ці матеріали можуть бути відокремлені та направлені на переробку в якості вторинної сировини.

Важливо зауважити, що після завершення терміну служби, в дробарці відсутні складові частини, які можуть становити потенційну небезпеку для життя, здоров'я людей та навколишнього середовища. Але правильний підхід до утилізації сприяє екологічно відповідному видаленню та використанню ресурсів.

Таблиця 4.1 – Перелік можливих несправностей валкової дробарки

Зовнішній прояв несправності	Імовірна причина	Метод ремонту
Електродвигун не запускається і гуде	Електродвигун працює на двох фазах	Перевірити наявність фаз електроживлення
	Електродвигун вийшов з ладу	Замінити електродвигун
Припинення процесу дроблення	Неправильний напрямок обертання двигунів	Перевірити напрямок обертання двигунів; у разі невідповідності переключити фази електроживлення
	Переповнення розвантажувальної воронки; у граничному стані – заклинювання валків	Відкрити шиберну засувку; при необхідності припинити дроблення і очистити розвантажувальну воронку
Зниження продуктивності	Ослаблення натягу приводних ременів	Натягнути ремені
	Обрив приводного ремня	Замінити ремінь
	Налипання на валки дробарки вологого або пластичного матеріалу	Очистити валки, висушити матеріал перед дробленням
	Неправильний напрямок обертання одного з електродвигунів	Перевірити напрямок обертання електродвигунів
	Вихід із ладу одного з електродвигунів	Замінити електродвигун
Збільшення шуму, у тому числі на холостому ході дробарки	Ослаблення кріплення елементів дробарки	Перевірити затягування болтів кріплення; при необхідності підтягнути
	Вихід із ладу підшипників	Замінити підшипники

## 5 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

### 5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу [18, 19]

Цех підготовки глини для виробництва цегли вирізняється високим рівнем автоматизації, завдяки застосуванню передових інновацій. Управління доволі складним технологічним процесом здійснюється за допомогою сучасних контролерів, що призводить до підвищення надійності, точності та, що найважливіше, якості вироблюваної продукції. Впровадження автоматизованих систем значно зменшує витрати на автоматизацію, оптимізує технологічні процеси та різко зменшує участь робітників у виробничих операціях, спрямовуючи їхню увагу на більш високорівневі та стратегічні завдання. Такий підхід сприяє покращенню ефективності виробництва та забезпечує стабільно високий стандарт якості продукції.

Усі контролери тісно інтегровані в єдину систему, що відкриває можливості здійснення управління виробничими процесами з використанням персонального комп'ютера. Така інтеграція створює зручні умови для моніторингу та керування всіма параметрами виробництва, надаючи операторам доступ до даних зі зручного інтерфейсу персонального комп'ютера.

Система дозволяє отримувати в режимі реального часу всю необхідну інформацію про виробничі процеси, стан обладнання, та інші важливі параметри. Усі ці дані можна візуалізувати та аналізувати безпосередньо на екрані ПК, що спрощує взаємодію з виробничим обладнанням та дозволяє оперативно приймати рішення для оптимізації продукційних процесів. Такий інтегрований підхід до системи управління дозволяє не лише підвищити ефективність виробництва, але й зробити процес управління більш прозорим та легко керованим.

Пультове управління обладнанням в основному використовує рідкокристалічні монітори, обладнані сенсорним управлінням. Ці монітори відображають актуальну інформацію про стан функціонування виробничої дільниці. Окрім того, з цих пультів можливе ручне управління окремими параметрами установок. Спеці-

алізовані пультові панелі також дозволяють операторам вручну керувати певними установками, надаючи їм більше гнучкості та контролю над виробничим середовищем.

Внаслідок використання високоякісних датчиків, таких як індуктивні, фотодатчики, ємнісні, датчики температури, тиску і розрідження, а також застосування підібраних електродвигунів та вдосконаленого комутаторного та захисного обладнання, вдається суттєво скоротити витрати на електроенергію, витратні матеріали та газ. Це, у свою чергу, позитивно впливає на собівартість виробленого продукту та підвищує його якість.

Використання сучасних технологій у виробничому процесі дозволяє ефективно контролювати та оптимізувати витрати ресурсів. Впровадження передових елементів у системі автоматизації сприяє зниженню споживання електроенергії та матеріалів, що сприяє економічній вигоді та покращенню екологічних показників підприємства.

Схема автоматизації валкової дробарки представлена на рис. 5.1. Робочим органом валкової дробарки є циліндричні валки, які встановлені на горизонтальній осі та обертаються назустріч один до одного. Ці валки взаємодіють із пластинчастим живильником, дроблячи та роздавлюючи матеріал, що надходить. Під впливом руху валків та їх зближення, поданий матеріал піддається процесу дроблення та часткового стирання. Такий механізм забезпечує ефективність обробки матеріалу, призначеного для подальшого використання.

Система управління рівнем наповнення камери дроблення використовує два радіоактивні датчики, розташовані на різних висотах усередині камери. Це дозволяє широко варіювати продуктивність пристрою від максимальної, коли камера наповнена повністю, до мінімальної, коли рівень наповнення найнижчий. Система регулювання забезпечує середню продуктивність, при цьому дробарка автоматично припиняє завантаження матеріалу до камери, коли вона досягає максимального рівня заповнення. Цей механізм досягається відключенням приводного двигуна пластинчастого живильника, який відбувається при досягненні верхнього рівня наповнення.

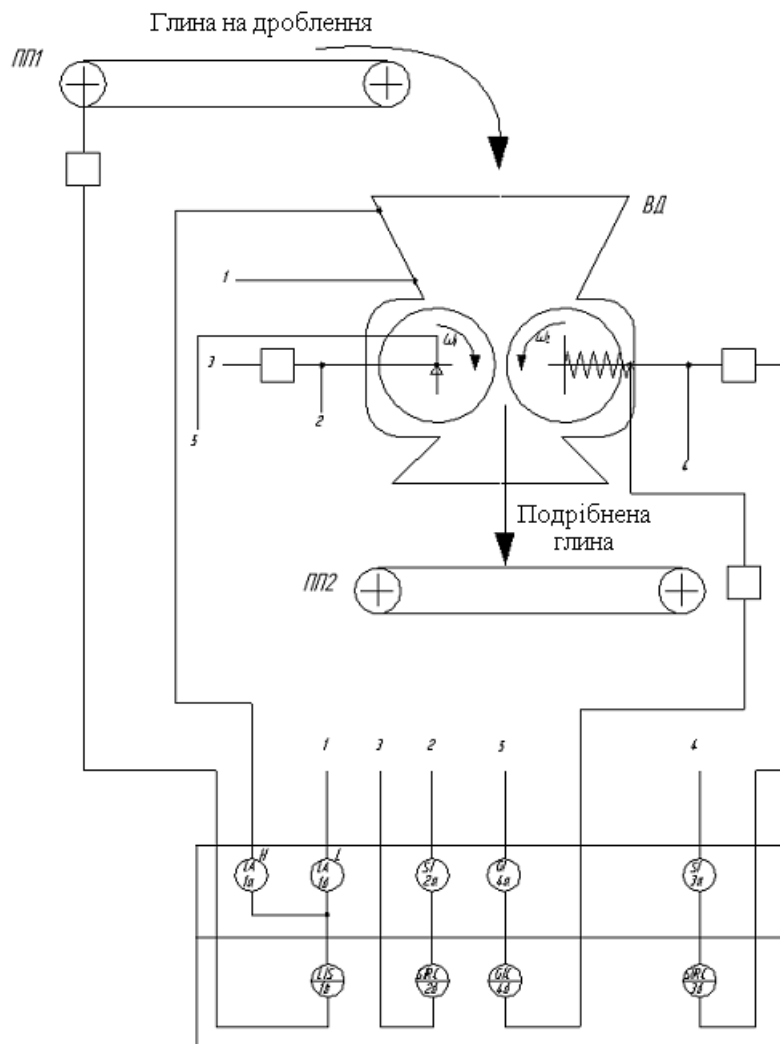


Рисунок 5.1 – Схема автоматизації валкової дробарки

Після зменшення рівня заповнення до мінімального рівня, привід повторно активується, розпочинаючи новий цикл дроблення матеріалу. Ця автоматизована система забезпечує ефективне управління процесом та підтримує середню продуктивність, максимізуючи ефективність використання обладнання.

Роботу валкових дробарок можна визначити як високоорганізовану та динамічну систему. Це впливає з різноманітності та складності процесів, які відбуваються в їхньому робочому середовищі. Дробарки відзначаються великою різноманітністю фізичних і технологічних процесів, які призводять до подрібнення матеріалів. Складний характер цих процесів визначається взаємодією рухомих частин, властивостями подрібнюваного матеріалу та особливостями конструкції самої дробарки.

Такий підхід до розгляду робочого процесу дробарок дозволяє краще зрозуміти важливі аспекти їхньої діяльності та визначити фактори, які впливають на ефективність та результативність цих пристроїв.

Для глибшого розуміння структурної організації валкової дробарки як об'єкта керування важливо розглянути різноманітні фактори, що впливають на її продуктивність. Два основні чинники, які відіграють вирішальне значення для роботи дробарки, це зміна відстані між валками та зміна міцності матеріалу, який піддається дробленню.

Збільшення відстані між валками може призвести до зниження ефективності дроблення, оскільки матеріал буде менше стискатися і роздавлюватися між валками. Це може вплинути на якість продукту та збільшити енергоспоживання. Зменшення відстані між валками може призвести до збільшення стискаючих сил, що сприяє більш ефективному дробленню, але може також вимагати більше енергії та впливати на знос валків.

Дроблення матеріалів із високою міцністю може вимагати більше зусиль та енергії, але при цьому може забезпечити більш однорідний та якісний продукт. Для матеріалів, які легко руйнуються, може вистачити менше зусиль для дроблення, але це також може впливати на швидкість зносу обладнання та потребу в постійному підтриманні.

З метою ефективної експлуатації ділянки заготівлі сировини у проміжних бункерах, де зберігаються шлак, пісок і глина, а також в бункері з глинистою сировиною, важливо постійно контролювати рівень матеріалів. Відсутність робочого матеріалу може призвести до автоматичної зупинки ділянки, що потенційно негативно позначиться на всьому виробничому процесі виготовлення цегли. Для цього в кожному бункері встановлені ємнісні датчики, які чутливо реагують на рівень матеріалу та подають сигнали про його спустошення. Коли датчик визначає мінімальний рівень, відбувається активація звукової сигнальної сирени для інформування оператора ділянки. Вибір ємнісного датчика CA18FOTO1 для цього контуру регулювання визначений його можливістю безконтактного визначення рівня рідких і сипучих матеріалів.

Для сигналізації про досягнення мінімального рівня в бункерах ефективно використовується звукосигнальний маячок. Цей маячок розташований на підставці і обладнаний обертовим відбивачем, на якому встановлена сирена. Його живлення здійснюється за допомогою стабільного 24-вольтового джерела енергії, що значно підвищує рівень безпеки в порівнянні з аналогічними пристроями, які живляться від загальної мережі.

Використання такого низьковольтного живлення забезпечує високий рівень безпеки у виробничому середовищі. Це особливо важливо, оскільки дозволяє уникнути можливих ризиків та забезпечує стабільну та ефективну роботу звукового сигналізатора, надаючи операторам ділянки невідкладне та чітке сповіщення про стан бункерів та рівень матеріалів.

У процесі розробки валкової дробарки для системи автоматизованого контролю були вибрані деякі ключові компоненти для забезпечення ефективності та точності роботи. Серед цих компонентів використовуються:

- датчик частоти обертання ДЧВ-2 від Дельта відповідає за точний контроль швидкості обертання валків дробарки, забезпечуючи стабільність і ефективність роботи обладнання;
- рівнемір радіохвильовий УР 203Ex15 використовується для вимірювання рівня матеріалу або інших параметрів у важкодоступних місцях, забезпечуючи точний та безконтактний моніторинг;
- безконтактний магніострикційний первинний перетворювач лінійного переміщення МК4D відповідає за точне вимірювання переміщення деяких елементів системи, що сприяє точності та стабільності управління дробаркою.

## **5.2 Розробка системи автоматизованого керування**

Для автоматизації математичних розрахунків широко використовуються такі інструменти, як Reduce, MathCAD, MATLAB та інші. Ці засоби надають можливість розробникам ефективно працювати зі складними математичними завданнями, роз-

виваючи при цьому аналітичне мислення. Використання зазначених програм сприяє не лише підвищенню продуктивності, але й розвитку творчого та критичного мислення. У випадку, якщо визначені показники якості повністю відповідають поставленим завданням, подальше їх покращення часто супроводжується зниженням точності системи. Таким чином, при проектуванні необхідно шукати компромісні рішення, що важко досліджувати та вимагає великих зусиль від проектувальника.

Пакет Simulink системи MATLAB значно спрощує роботу проектувальника, надаючи можливість синтезу та аналізу розроблених систем. Крім того, ця система дозволяє отримувати прямі показники якості регулювання. На рис. 5.2 наведено структурну схему системи автоматичного керування валкової дробарки у позначеннях Simulink. Такий підхід не лише раціоналізує процес дослідження системи, а й забезпечує збільшення продуктивності при проектуванні.

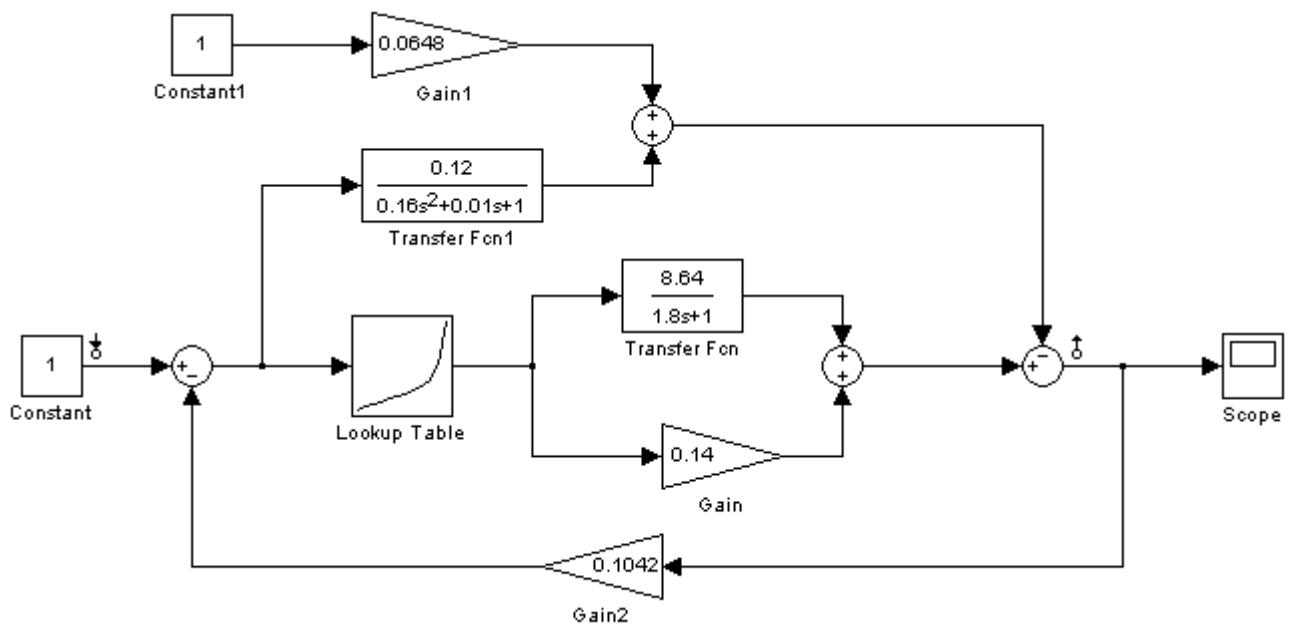


Рисунок 5.2 – Система автоматичного керування валкової дробарки

Завдання аналізу лінійних систем автоматичного керування охоплює ряд етапів, які спрямовані на визначення властивостей системи в цілому. Цей аналіз включає в себе ретельне вивчення характеристик системи, визначення показників її стійкості та якості, а також врахування властивостей ланок, які входять у її склад.



На першому етапі проводиться дослідження структури системи. Це включає аналіз ланок та їхніх взаємозв'язків, визначення математичних моделей кожної ланки, а також розгляд інтерфейсів та взаємодії між ними. Далі важливим етапом є визначення показників стійкості системи. Аналізуються власні числа матриць стійкості, функції передачі та інші параметри, які впливають на стабільність системи. Паралельно із цим проводиться оцінка показників якості системи. Це може включати в себе розрахунок часів переходу, амплітудні та фазові характеристики, а також інші параметри, які оцінюють ефективність та точність роботи системи.

Загальна мета аналізу полягає в забезпеченні оптимального функціонування системи керування, придатного для вирішення конкретних завдань і вимог, які висуваються до автоматизованого процесу.

Для здійснення аналізу системи автоматичного керування слід визначити стійкість та показники якості системи. Визначення власних чисел матриці стійкості дозволяє визначити, чи всі власні числа мають від'ємні частини. Запас стійкості вказує на те, наскільки система віддалена від границі нестійкості. Вимірюється він, наприклад, як відстань до найближчого полюса від критичної точки на комплексній площині.

Розрахунок часів переходу вказує на швидкість реакції системи на зміни вхідного сигналу. Амплітудні та фазові характеристики відображають амплітудну та фазову відповідь системи на різні частоти. Інші показники можуть включати ефективність роботи системи, точність слідування по вхідному сигналу та інші характеристики.

Граничні показники стійкості і якості встановлюються відповідно до конкретних вимог і завдань системи. Порівняння визначених характеристик із заданими граничними значеннями допомагає визначити, чи відповідає система поставленим вимогам.

Такий підхід дозволяє забезпечити оптимальну ефективність та надійність системи автоматичного керування відповідно до конкретних потреб та очікувань.

Система автоматичного керування валкової дробарки без використання регулятора проявляє такі показники якості регулювання: сталі значення вихідної

величини становить 0,514, вказуючи на стабільний робочий режим системи при відсутності значущих коливань у вихідній величині; перерегулювання складає 17,2 %, що свідчить про відносно велику амплітуду перерегулювання відносно вихідного значення; час перехідного процесу дорівнює 79,9 секунд, що вказує на час, необхідний для системи для досягнення стійкого стану після входження в неї зовнішнього впливу; значення часу нарощування складає 2,18 секунди, що вказує на час, необхідний для системи для досягнення значущого наростання вихідної величини після зміни вхідного сигналу.

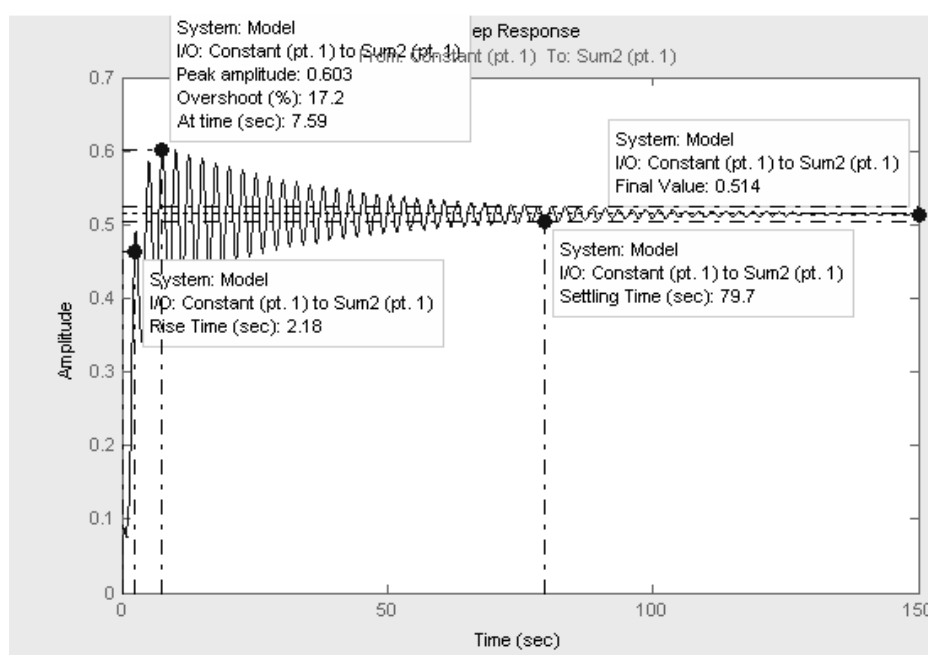


Рисунок 5.3 – Перехідний процес системи автоматичного керування валкової дробарки

У пакеті Simulink, з метою визначення стійкості системи з використанням зворотного зв'язку (у замкнутій системі) за критерієм Найквіста, необхідно провести розмикання ланцюга зворотного зв'язку. Іншими словами, систему слід перетворити у відкриту. Це досягається видаленням одного зі зв'язків у замкненому контурі зворотного зв'язку.

Цей процес дозволяє здійснювати аналіз стійкості системи відкритої петлі, що є ключовим етапом при оцінці її поведінки. Зняття зворотного зв'язку у Simulink є ефективним засобом для вивчення впливу цього компонента на стій-

кість системи та ідентифікації можливих проблем. Відсутність зворотного зв'язку в розімкнутій системі надає можливість детально досліджувати імпульсні відгуки, частотні характеристики та інші параметри, що сприяє глибшому розумінню поведінки системи.

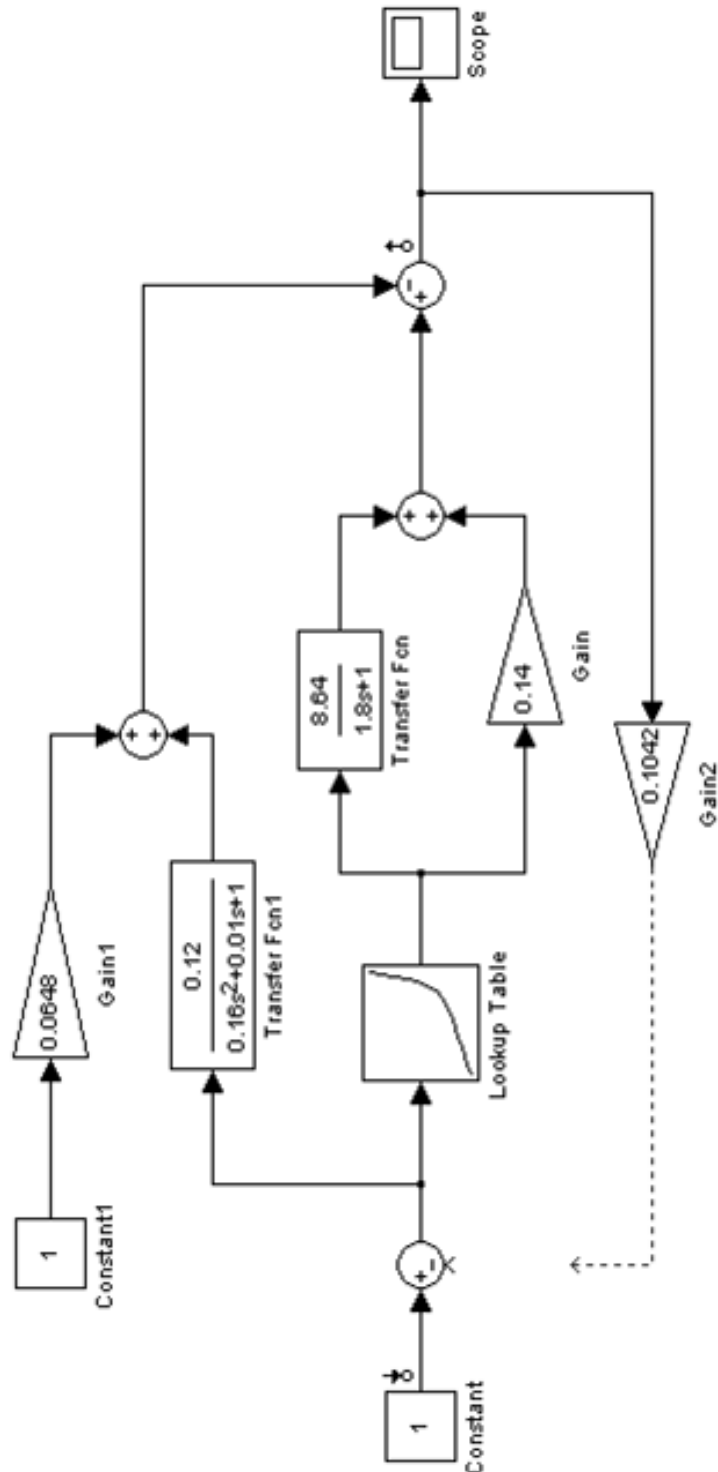


Рисунок 5.4 – Система автоматичного керування валкової дробарки в розімкненому вигляді

Для формування системи автоматичного керування з визначеними замовником параметрами, необхідно відібрати регулятор, введення якого гарантує оптимальні характеристики якості та стійкості системи. Вибір правильного регулятора визначається його здатністю оптимізувати процеси регулювання, забезпечуючи відповідність вимогам та очікуванням замовника.

У процесі вибору регулятора розглядаються його характеристики, такі як тип, параметри, ідентифікаційні здатності та здатність до впливу на систему. Важливо враховувати, що правильно підібраний регулятор забезпечить оптимальну компенсацію перешкод та швидке досягнення стабільної роботи системи.

Послідовно включимо в систему різні типи регуляторів для оцінки їхнього впливу на процес автоматичного керування. Спробуємо введення П-регулятора, ПД-регулятора, ПІ-регулятора і ПІД-регулятора для аналізу та порівняння їхніх характеристик.

*П-регулятор (пропорційний регулятор):* збільшимо чутливість системи до вхідного сигналу, використовуючи тільки пропорційний член, а також виконаємо аналіз та визначимо, як система реагує на зміни вхідного сигналу.

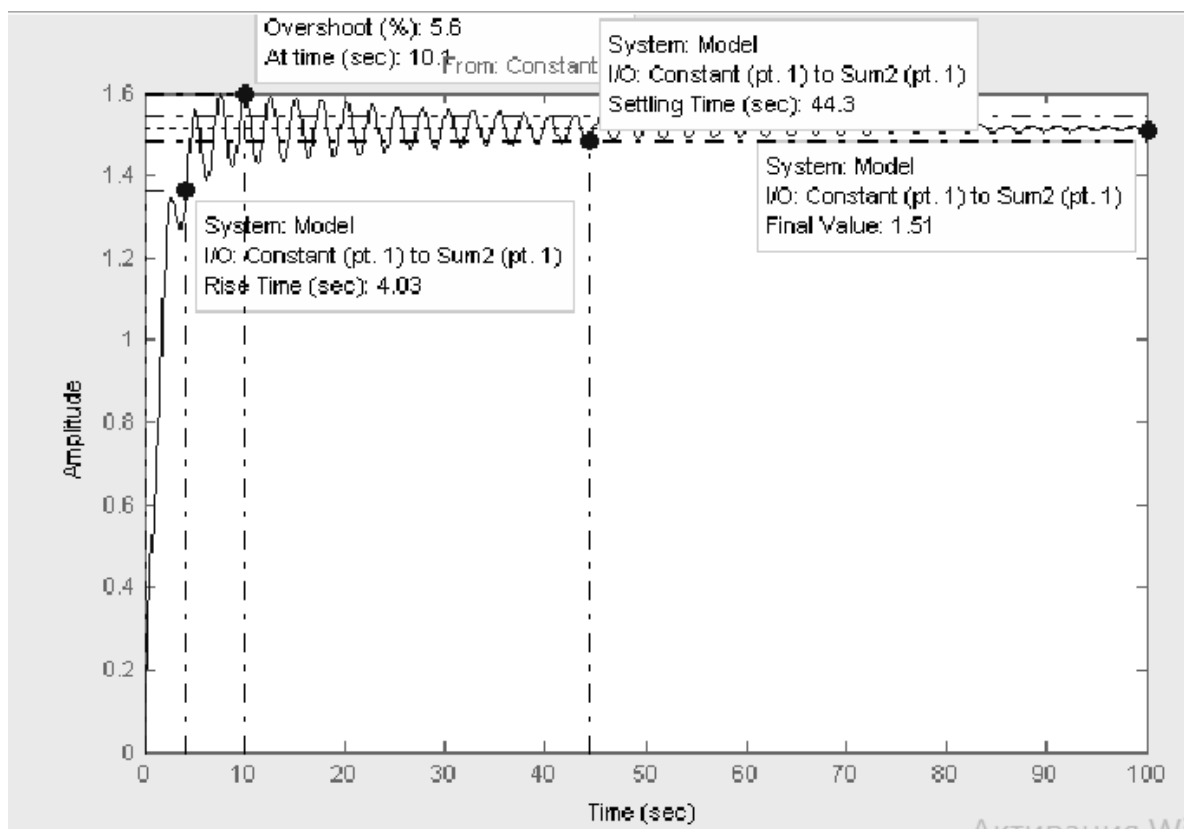


Рисунок 5.5 – Перехідна характеристика системи з П-регулятором

*ПД-регулятор (пропорційний-диференційний регулятор):* додамо диференційний член для управління швидкістю зміни вихідної величини та вивчимо, як це впливає на підвищення стійкості та час перехідного процесу.

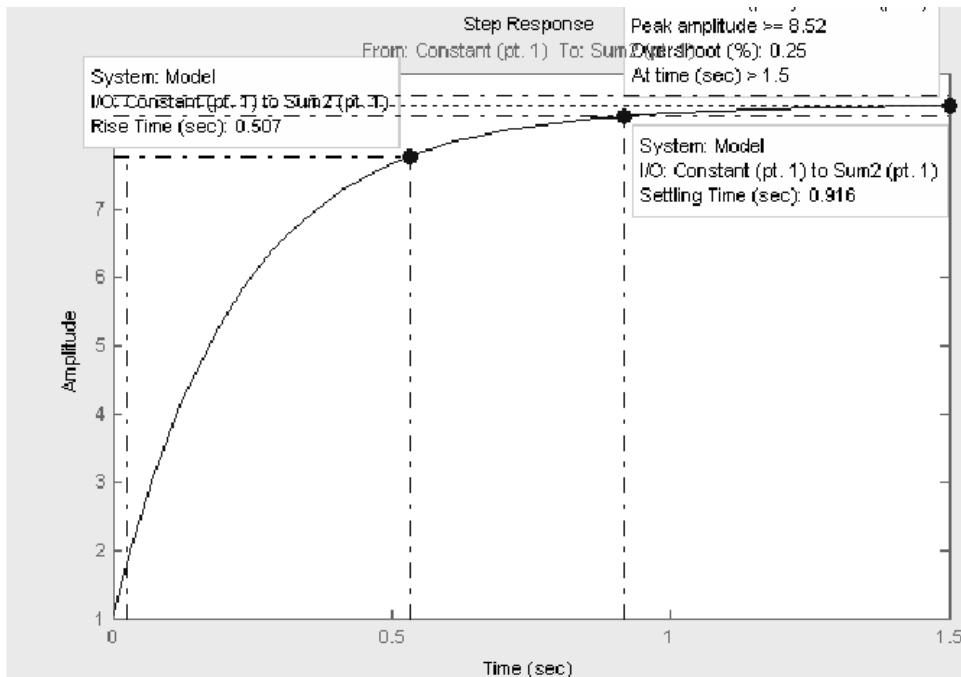


Рисунок 5.6 – Перехідна характеристика системи з ПД-регулятором

*ПІ-регулятор (пропорційний-інтегральний регулятор):* додамо інтегральний член для компенсації сталої помилки регулювання та проаналізуємо, як це впливає на точність системи та вирішення проблеми сталої помилки.

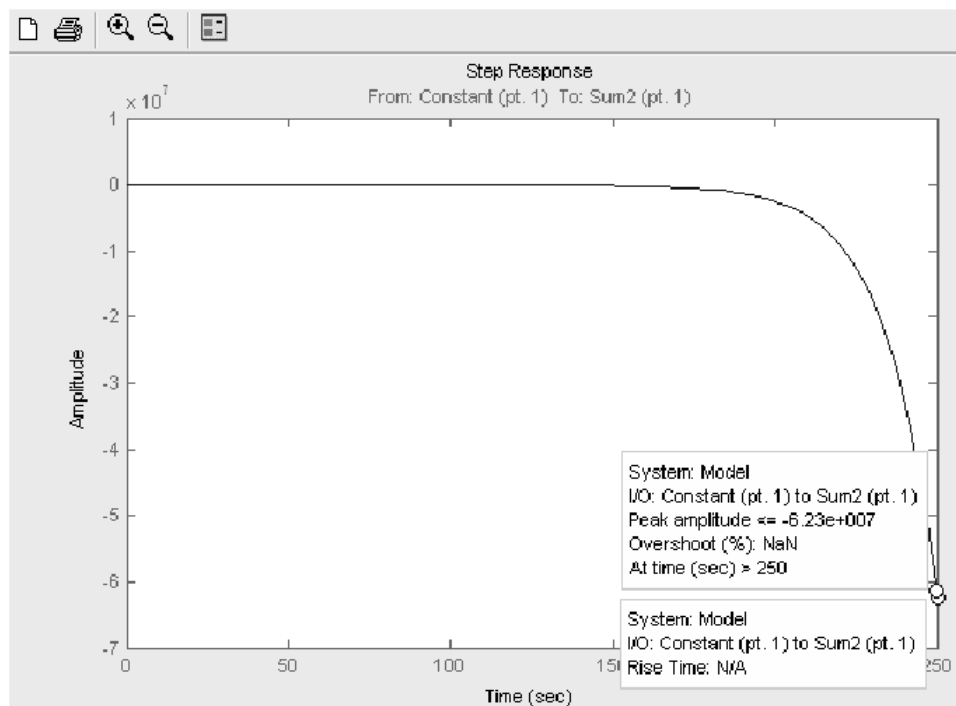


Рисунок 5.7 – Перехідна характеристика системи з ПІ-регулятором

*ПД-регулятор (пропорційний-інтегральний-диференційний регулятор):* додамо і диференційний, і інтегральний члени для комплексного підходу та здійснимо повний аналіз системи, враховуючи пропорційні, інтегральні та диференційні впливи.

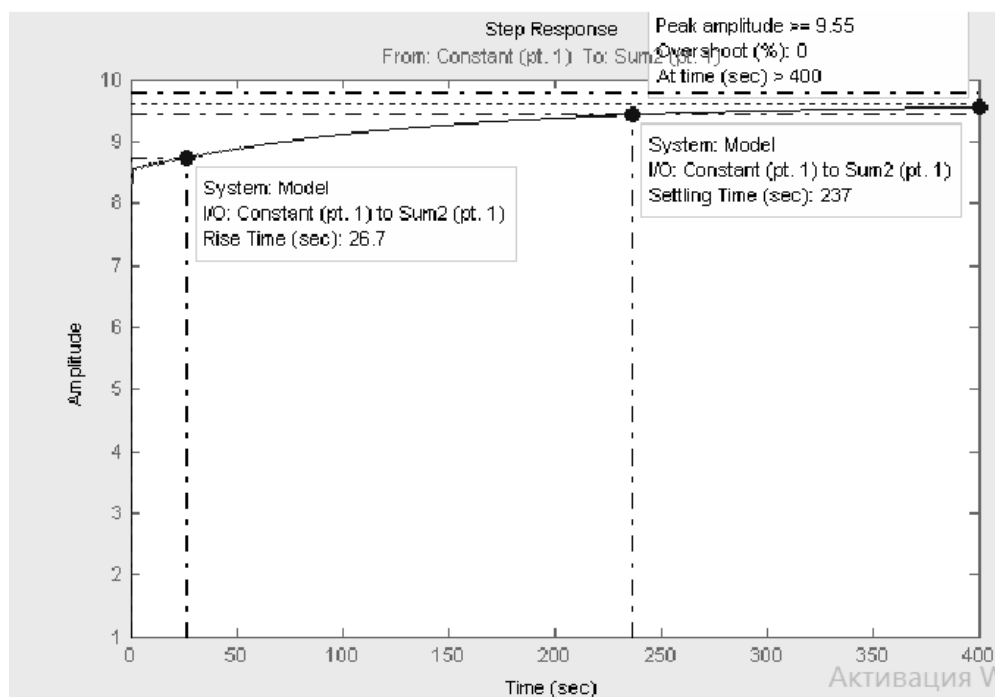


Рисунок 5.8 – Перехідна характеристика системи з ПД-регулятором

Такий послідовний аналіз дозволить зрозуміти, як кожен тип регулятора впливає на систему і вибрати той, який найбільше відповідає вимогам вашого конкретного завдання. Як бачимо з графіків (рис. 5.5–5.8) обрання ПД-регулятора для даної системи автоматичного керування є найбільш розумним рішенням. Додавання диференційного члена в регулятор дозволяє підвищити швидкодію системи і покращити її стійкість. Запаси стійкості, що прагнуть до нескінченності, свідчать про високу стабільність системи, що є важливим параметром для багатьох динамічних процесів.

Процеси регулювання можуть бути досить ефективними за використання ПД-регулятора, оскільки він дозволяє підтримувати високу швидкодію реакції системи на зміни вхідного сигналу. Важливо зберігати баланс між швидкістю реакції і стійкістю системи, щоб уникнути перевищення та непрогнозованих коливань.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

### 6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів [20, 21]

Виробництво керамічної цегли тісно пов'язано з рядом потенційних небезпек і шкідливостей для здоров'я працівників та навколишнього середовища. Під час обробки сировини та випалювання цегли виробництво може створювати значну кількість пилу. Пил містить частки, які можуть бути вдихнуті працівниками, що може призвести до респіраторних проблем. Викиди від випалювання також можуть містити різні хімічні речовини.

Виробництво цегли також пов'язане із високими температурами випалювання. Це може створювати термічні ризики для працівників. Застосування хімічних реагентів у процесі виробництва, таких як глазурування або інші хімічні обробки, може створювати ризики взаємодії з цими речовинами.

Процеси формування цегли та інші процеси можуть призводити до ризиків механічних травм, а використання електроустаткування у виробництві також може створювати ризики для працівників.

Обробка та утилізація відходів від виробництва керамічної цегли може потребувати особливого уваги для запобігання негативному впливу на навколишнє середовище. Для зменшення ризиків, важливо вживати заходи безпеки, надавати працівникам необхідну захисну екіпіровку та проводити регулярні навчання щодо безпеки на робочому місці. Використання сучасних технологій та систем управління безпекою також може допомогти зменшити ризики. Крім того, важливо виконувати всі законодавчі вимоги та стандарти з охорони праці та охорони навколишнього середовища.

Сучасні дробильні установки, з точки зору санітарно-гігієнічних стандартів, не завжди відповідають встановленим вимогам, призначеним для забезпечення нормальних умов праці обслуговуючого персоналу. Тому, вибираючи методи установки та експлуатації обладнання, дуже важливо звертати увагу на цей аспект. Зазвичай, оцінка здійснюється за допомогою комплексу заходів, охоплюючи різні аспекти.

Один із ключових аспектів оцінки є рівень шуму, який може виникати під час роботи дробильного устаткування. Шум, як відомо, може негативно впливати на здоров'я працівників, спричиняючи стрес і втомлюваність. Одним з можливих заходів для зниження рівня шуму є встановлення звукоізоляційних покриттів або використання спеціальних конструкцій для зменшення вибухів та резонансів.

Шум, що виникає внаслідок подрібнення матеріалу, може бути різним за своєю інтенсивністю та частотою. Наприклад, порівняно з навколишнім середовищем, такі звуки, як розмовна мова, автосирена, шум двигуна легкового автомобіля, гучна музика, шум від руху трамвая та шум у звичайній квартирі, мають відмінні рівні інтенсивності, варіюючись від 30 до 100 децибел (дБ).

Розглядаючи вищеописаний контекст, можна зазначити, що контроль та управління рівнем шуму є важливою складовою безпеки та комфортності працівників. Для зменшення впливу шуму можуть застосовуватися різні заходи, такі як використання звукоізоляційних матеріалів, впровадження амортизаційних систем чи вибір оптимальних режимів роботи обладнання.

Отже, розуміння та керування рівнем шуму під час процесу подрібнення матеріалу важливо не лише з точки зору виробничої безпеки, але і для забезпечення комфортних умов праці персоналу.

Шум має вплив на всі системи організму людини, викликаючи різноманітні фізіологічні та психологічні реакції. Під впливом шуму спостерігається пригнічення центральної нервової системи, зміна швидкості дихання і пульсу, а також можливі порушення обміну речовин. Послідовно можуть розвиватися серцево-судинні захворювання, гіпертонічна хвороба та інші негативні впливи. Професійний шум може стати причиною ряду захворювань, спричиняючи негативні наслідки для здоров'я.

Звуковий тиск на рівні 30–35 дБ є нормальним для людини і не викликає неприємностей. Однак з підвищенням цього рівня до 40–70 дБ, що часто спостерігається в умовах проживання, виникає значне навантаження на нервову систему. Тривалий вплив такого шуму може викликати погіршення самопочуття та стати причиною розвитку неврозів.



Шум на рівні понад 75 дБ може призводити до професійної приглухуватості, що характеризується втратою слуху. Умови роботи з високим шумом, особливо при рівнях звукового тиску вище 140 дБ, можуть викликати серйозні проблеми зі слухом. Вплив шуму на великих рівнях, таких як більше 160 дБ, може призвести до розриву барабанних перетинок, контузії та, в крайньому випадку, смерті. Таким чином, контроль та управління рівнем шуму в робочих умовах є надзвичайно важливими для забезпечення безпеки та здоров'я працівників.

Вплив шуму, який веде до пошкодження слухового аналізатора, проявляється у повільно прогресуючому зниженні слухових функцій. У деяких осіб серйозна втрата слуху може виникнути вже протягом перших місяців експозиції до шуму, тоді як в інших вона може розвиватися поступово протягом тривалого періоду роботи на виробництві. Навіть зниження слуху на 10 дБ майже непомітно, але при зменшенні на 20 дБ може серйозно впливати на здатність особи сприймати оточуючі звуки. Це вже може викликати значні труднощі в розпізнаванні важливих звукових сигналів і призводити до ослаблення розбірливості мови.

Таким чином, важливо визначити та враховувати індивідуальні особливості реакції людини на шум, а також вчасно вживати заходів для запобігання можливим втратам слуху. Ефективне управління та контроль рівня шуму є ключовими для забезпечення безпеки та здоров'я працівників у виробничому середовищі.

Вібрації також можуть бути проблемою при експлуатації дробильного обладнання. Вони можуть викликати дискомфорт для працівників і призводити до механічних пошкоджень обладнання. Щоб знизити вплив вібрацій, можна застосовувати амортизатори та спеціальні конструкції, що абсорбують вібрації.

Вібрації – це малі механічні коливання, що виникають в пружних тілах або тілах, під впливом змінного фізичного поля. Вплив вібрацій на людину можна класифікувати за різними критеріями, що охоплюють способи передачі коливань, напрямок дії вібрацій та їхню тимчасову характеристику.

Щодо способів передачі коливань, важливо розрізнити прямий контакт із джерелом вібрацій та передачу через повітря чи інші посередники. Також слід враховувати напрямок дії вібрацій – чи вони впливають вертикально, горизонта-

льно чи в обидва напрямки одночасно. З точки зору тимчасової характеристики вібрацій, важливо розрізняти стаціонарні та нестаціонарні коливання, а також враховувати періодичність чи неперіодичність змін в часі.

У залежності від методу передачі коливань особі, вібрацію можна розподілити на дві основні категорії: загальну та локальну. Загальна вібрація передається через опорні поверхні тіла особи, будь то сидяча чи стояча поза. З іншого боку, локальна вібрація передається через руки особи, що може виникати при взаємодії з віброуючими об'єктами. Локальна вібрація також може включати в себе вплив на ноги особи, яка сидить, особливо на передпліччя, що знаходиться в контакті з віброуючими поверхнями робочих столів. Цей тип вібрації, хоч і передається обмеженим обсягом тіла, також відноситься до локальної категорії.

Розрізнення між цими двома видами вібрації дозволяє більш детально вивчати та розуміти вплив коливань на організм людини та розробляти ефективні заходи для зменшення їхнього негативного впливу в робочих умовах.

Вібрація представляє собою важливий фактор, який характеризується високою біологічною активністю та викликає різноманітні реакції в організмі людини. Інтенсивність цих реакцій визначається, переважно, енергетичним впливом та біомеханічними властивостями людського тіла, яке функціонує як складна коливальна система. Слід зауважити, що між рівнем впливу вібрації та реакціями організму відсутня лінійна залежність. Це явище пояснюється взаємодією з резонансним ефектом.

Збільшення частоти коливань понад 0,7 Гц може призвести до резонансних коливань в органах людини. Резонанс тіла чи окремих органів виникає, коли внутрішні частоти коливань співпадають із частотами зовнішніх сил. Для голови, коли людина сидить, область резонансу при вертикальних вібраціях знаходиться в інтервалі 20–30 Гц, а при горизонтальних – в межах 1,5–2 Гц. Ці відомості підкреслюють необхідність урахування і вивчення різноманітних фізіологічних аспектів впливу вібрації на людський організм для забезпечення ефективної охорони праці та безпеки працівників.

Резонанс має особливе важливе значення у відношенні до органів зору, враховуючи його вплив на зорове сприйняття. Розлад у функціонуванні органів зору проявляється в частотному діапазоні від 60 до 90 Гц, що відповідає резонансу очних яблук. Зазначимо, що для органів, розташованих у грудній клітці та черевній порожнині, резонансними є частоти 3–3,5 Гц. Щодо всього тіла у положенні сидячи, резонанс спостерігається на частотах 4–6 Гц.

Необхідно відзначити, що ці фізіологічні аспекти резонансу важливі для розуміння впливу вібрації на різні системи організму та врахування їх при розробці заходів з охорони праці. Такий підхід сприяє не лише збереженню зорового здоров'я, але і загальному підтриманню фізичного благополуччя працівників у вибраних умовах роботи.

Професійна вібраційна патологія належить до одних з найбільш поширених захворювань серед робочих і визначається як друга за частотою (після пилових) серед професійних захворювань. При розгляді впливу вібрації на стан здоров'я, слід відзначити, що частота виникнення захворювань залежить від дози впливу, тоді як особливості клінічних проявів формуються під впливом спектру вібрацій.

У робітників, які працюють в умовах вібраційного впливу, часто спостерігаються такі порушення як запаморочення, розлад координації рухів та симптоми заколисування. Клінічні прояви включають в себе звуження та випадання окремих ділянок полів зору, зниження гостроти зору, яке іноді може сягати 40 %. Однак важливо відзначити, що ці патологічні явища є суб'єктивними і можуть включати потемніння в очах, що відображає вплив вібрацій на зорову функцію.

При роботі дробарок великі горизонтальні динамічні навантаження передаються на фундаменти, що стає особливо небезпечним для будівельних конструкцій, особливо якщо обладнання розташоване на великих висотах. Отже, для фундаментів дробарок зазвичай використовують монолітний залізобетон. Незважаючи на це, в окремих випадках вони можуть відчувати неприпустимі вібрації.

Важливим напрямком використання віброізоляції є установка модернізованого (з більшою потужністю) обладнання на існуючі фундаменти, розраховані для застарілих машин. Цей підхід дозволяє уникнути розбирання старого фундаменту

та будівництва нового. Дослідження показали, що застосування віброізоляції не тільки не впливає на ефективність та продуктивність дробарок, але й допомагає зменшити негативний вплив вібрацій на будівельні конструкції.

Пилоутворення є ще однією проблемою, яку слід враховувати. Пил може бути шкідливим для здоров'я працівників та може спричинити загрозу пожежі. Застосування систем відсмоктування пилу та установка фільтрів може ефективно зменшити пилоутворення.

В ході експлуатації дробильного обладнання однією з ключових проблем є забезпечення захисту обслуговуючого персоналу від негативних впливів пилу. Термін "пил" визначає фізичний стан речовини, описуючи його роздробленість на дрібні частки. Ці частки, знаходячись у підвішеному стані, утворюють дисперсійну систему, де тверді частинки є дисперсною фазою, а повітря виступає дисперсійним середовищем.

Основні аспекти розв'язання цієї проблеми включають вдосконалення систем відведення пилу, застосування ефективних систем вентиляції та фільтрації повітря. Крім того, важливим є впровадження стратегій для попередження виникнення пилових вибухів та максимального зниження ризиків для здоров'я працівників. Забезпечення безпеки праці вимагає постійного вдосконалення технологій та розробки новітніх методів контролю за рівнем пилу на робочому місці.

Промисловий пил формується внаслідок різноманітних технологічних процесів, включаючи дроблення, розмелювання та транспортування будівельних матеріалів. Він виникає також при напрацюванні сухого ґрунту, готуванні бетону та розчину, складанні фарб для малярних робіт, використанні піскоструминного очищення фасадів, застосуванні пеку. Цей вид забруднення є значущим виробничим фактором, який вимагає систематичного контролю та впровадження заходів з мінімізації його впливу на робоче середовище та здоров'я працівників.

Вміст пилу у повітрі вимірюється в міліграмах на  $1 \text{ м}^3$  повітря і є важливим параметром для оцінки якості робочого середовища. Найбільш небезпечним є дрібний пил з розмірами частинок до 10 мкм, оскільки він, проникаючи в легені, може викликати різні форми пневмоконіозу, такі як силікоз і азбестоз. Цей вид

пилу має тенденцію не залишатися у верхніх дихальних шляхах, що робить його особливо шкідливим для здоров'я.

Пил більшого розміру, який може бути затриманий на слизових оболонках верхніх дихальних шляхів, призводить до подразнень і може спричинити розвиток хронічних катаральних захворювань бронхів. Таким чином, контроль різних фракцій пилу є важливим аспектом забезпечення безпеки працівників у пилонебезпечних областях.

Безпосереднім результатом тривалого перебування в зоні підвищеного пилового навантаження може бути виникнення захворювань шкіри, вух і очей, що підкреслює необхідність ефективних заходів з протипилової захисту та превентивних заходів для збереження здоров'я працівників.

## **6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактора**

Система захисного заземлення виходить за межі приміщення, де встановлене обладнання. Для цього створюється спеціальна інфраструктура, включаючи траншею, яка вирубується поблизу будівлі. Траншея має оптимальну глибину від 0,6 до 0,8 метра.

У цій траншеї встановлюються захисні заземлювачі, розташовані на відстані від 1 до 3 метрів один від одного. Заземлювачі часто виготовляються у вигляді труб, що мають діаметр від 3 до 5 см і довжину від 2 до 3 метрів. Ця система створює надійний і неперервний шлях для відведення струму в землю, забезпечуючи безпеку обладнання та працівників.

У вихідних розрахунках враховуємо, що захисні заземлювачі розташовані в поглибленому стані і аранжовані в один ряд (глибина закладання  $t = 80$  см). Це означає, що траншея для заземлювачів вирубується таким чином, щоб всі захисні елементи були розташовані поруч один з одним у лінійному порядку.

Даний підхід до розташування заземлювачів має важливе значення для створення ефективної системи заземлення, забезпечуючи надійне відведення струму в землю. Такий розподіл заземлювачів сприяє утворенню стійкого і низькорезистивного шляху для струму, що є ключовим для забезпечення ефективної захисту від перенапруг та інших електричних небезпек.

Для нашого випадку використовуємо у якості заземлювача трубу довжиною 200 см, діаметром 5 см та з шириною сполучної смуги 5 см.

Відповідно до вимог ПУЕ визначаємо допустиме опір розтікання струму в заземленні  $R_3$ . Для мереж з напругою до 1000 В можна взяти  $R_3 = 4\text{Ом}$ .

Визначаємо питомий опір ґрунту, яке рекомендується для розрахунків  $\rho_{\text{ТАБЛ}} = 2000\text{Ом}\cdot\text{см}$ .

Визначаємо підвищувальні коефіцієнти для труб вертикальних заземлювачів  $K_{\text{П.Т.}}$  і для сполучної смуги  $K_{\text{П.С.}}$ , які враховують зміну опору ґрунту в різні пори року залежно від наявності опадів.  $K_{\text{П.Т.}} = 1,4\dots 1,6$ ,  $K_{\text{П.С.}} = 2,5\dots 4$ . Приймаємо  $K_{\text{П.Т.}} = 1,5$ ,  $K_{\text{П.С.}} = 3$ .

Визначення питомого розрахункового опору ґрунту для вертикальних електродів (труб або стрижнів) враховує несприятливі умови за допомогою підвищувального коефіцієнта. Цей процес включає в себе оцінку того, як ряд факторів може вплинути на ефективність заземлення.

Питомий розрахунковий опір ґрунту визначається з урахуванням таких чинників, як вологість ґрунту, його склад, температура і глибина занурення електродів. Підвищувальний коефіцієнт враховує ті умови, які можуть призвести до збільшення опору ґрунту в порівнянні з ідеальними умовами.

Цей підвищувальний коефіцієнт важливий для коректного розрахунку ефективності системи заземлення і дозволяє враховувати змінні умови довкілля, що можуть впливати на опір ґрунту і, відповідно, на надійність заземлення.

$$\rho_{\text{РОЗР.Т.}} = \rho_{\text{ТАБЛ}} \cdot K_{\text{П.Т.}}, \quad (6.1)$$

$$\rho_{\text{РОЗР.Т.}} = 2000 \cdot 1,5 = 3000\text{Ом}\cdot\text{см}.$$

Для визначення питомого розрахункового опору ґрунту для горизонтального заземлювача (сполучної смуги) використовують різні методи, але основні враховують взаємодію структури з навколишнім ґрунтом. Зазвичай використовують ме-

тод кінцевих елементів або аналогічні числові методи для моделювання взаємодії ґрунту із сполучною смугою. Для горизонтального заземлювача важливими є ширина та глибина сполучної смуги, а також її розташування від поверхні ґрунту.

Розрахунки включають в себе властивості ґрунту, такі як його електропровідність, вологість, та інші параметри, які можуть впливати на опір. Застосовують рівняння електричного опору для розрахунку питомого опору ґрунту для горизонтального заземлювача. Це може включати в себе інтегрування величини опору вздовж довжини сполучної смуги.

Також може бути важливим врахувати підвищувальний коефіцієнт, щоб врахувати невизначеності та несприятливі умови.

$$\rho_{\text{розр.п.}} = \rho_{\text{табл.}} \cdot K_{\text{п.с.}}, \quad (6.2)$$

$$\rho_{\text{розр.п.}} = 2000 \cdot 3 = 6000 \text{ Ом} \cdot \text{см}.$$

Визначення відстані від поверхні землі до середини вертикального заземлювача є важливим етапом для правильного розрахунку ефективності заземлення. Цей параметр, відомий як глибина заземлення, може впливати на опір ґрунту і, отже, на ефективність заземлення.

Різні типи ґрунту мають різні характеристики, що впливають на ефективність заземлення. З'ясуйте, який тип ґрунту переважає на місці розташування заземлювача. Фактори, такі як вологість ґрунту та рівень солей, також можуть впливати на ефективність заземлення.

Для вертикального заземлювача оптимальна глибина визначається з урахуванням глибини замерзання ґрунту, рівня водостоку та інших чинників. Зазвичай, чим глибше заземлення, тим менший опір ґрунту. Деякі країни чи організації можуть мати встановлені стандарти для глибини заземлення, які слід враховувати при розрахунках.

Визначте, чи є конкретні вимоги стосовно глибини заземлення відповідно до електробезпеки.

Враховуючи ці фактори, можна визначити оптимальну глибину заземлення для вертикального заземлювача в конкретних умовах.

$$t = h_3 + \frac{l_T}{2}, \quad (6.3)$$

де  $h_3 = 80\text{см}$  – глибина занурення труб;

$l_T = 200\text{см}$  – довжина вертикального заземлювача.

$$t = 80 + \frac{200}{2} = 180\text{см}.$$

Опір розтікання струму для вертикального заземлювача може бути розрахований з урахуванням кількох факторів, таких як геометричні параметри заземлювача та властивості ґрунту. Для одиночного вертикального заземлювача, розташованого нижче поверхні землі, можна використовувати спрощені формули. Один з підходів до розрахунку опору розтікання струму для вертикального заземлювача полягає у використанні рівнянь, що базуються на геометричних та електрофізичних властивостях системи.

$$R_T = 0,366 \cdot \frac{\rho_{\text{розр.т.}}}{l_T} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot l_T}{d} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot t + l_T}{4 \cdot t - l_T} \right), \quad (6.4)$$

$$R_T = 0,366 \cdot \frac{3000}{200} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot 200}{5} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 180 + 200}{4 \cdot 180 - 200} \right) = 11,13 \text{ Ом}.$$

Визначаємо відстань між вертикальними заземлювачами зі співвідношення  $c = L_T / l_T$ . Для стаціонарних заглиблених заземлювачів це співвідношення береться таким:  $c = 1$ .

$$L_T = l_T \cdot c, \quad (6.5)$$



$$L_T = 200 \cdot 1 = 200 \text{ см}.$$

Кількість вертикальних заземлювачів визначається з урахуванням різних факторів, таких як геологічні властивості ґрунту, потужність струму, який повинен бути розведений, і параметри самого заземлювача. Один із підходів до визначення кількості заземлювачів полягає у розрахунку досягнутого опору ґрунту з урахуванням розмірів і глибини занурення кожного заземлювача.

$$n_T = \frac{R_T}{R_3} \text{ (ціле число)}, \quad (6.6)$$

$$n_T = \frac{11,13}{4} = 2,78 \approx 3.$$

Визначаємо коефіцієнт екранування труб при кількості труб  $n_T$ :  $\eta_{E.T.} = 0,78$ .

Визначення необхідної кількості вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта екранування включає додаткові розрахунки для врахування впливу екрануючих заземлювачів на загальний опір ґрунту.

Коефіцієнт екранування (коефіцієнт взаємодії) показує, як кожен заземлювач впливає на інші. Він залежить від геометричних параметрів заземлювачів та їх розташування.

$$n_{T.E.} = \frac{R_T}{R_3 \cdot \eta_{E.T.}}, \quad (6.7)$$

$$n_{T.E.} = \frac{11,13}{4 \cdot 0,78} = 3,57 \approx 4.$$

Для визначення розрахункового опору розтікання струму при заданій кількості вертикальних заземлювачів, вам слід використовувати наступну формулу:

$$R_{\text{РОЗР.П.Т.Е.}} = \frac{R_T}{n_{\text{Т.Е.}} \cdot \eta_{\text{Е.Т.}}}, \quad (6.8)$$

$$R_{\text{РОЗР.П.Т.Е.}} = \frac{11,13}{4 \cdot 0,78} = 3,57 \text{ Ом}.$$

Для визначення довжини сполучної смуги можна скористатися наступною формулою:

$$L_{3.C.} = 1,05 \cdot L_T \cdot (n_{\text{Т.Е.}} - 1), \quad (6.9)$$

$$L_{3.C.} = 1,05 \cdot 200 \cdot (4 - 1) = 630 \text{ см}.$$

Опір розтікання струму в сполучній смузі можна визначити за допомогою наступної формули:

$$R_{3.C.} = 0,366 \cdot \frac{\rho_{\text{РОЗР.П.}}}{L_{3.C.}} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_{3.C.}^2}{h_3 \cdot b_C}, \quad (6.10)$$

де  $h_3 = 80 \text{ см}$  – глибина закладення вертикальних заземлювачів;

$b_C = 5 \text{ см}$  – ширина сполучної смуги.

$$R_{3.C.} = 0,366 \cdot \frac{6000}{630} \cdot \lg \frac{2 \cdot 630^2}{80 \cdot 5} = 11,49 \text{ Ом}.$$

Визначаємо коефіцієнт екранування для сполучної смуги:  $\eta_{\text{Е.З.С.}} = 0,77$ .

Коефіцієнт екранування враховує вплив навколишнього середовища, архітектурних елементів та інших факторів, що можуть впливати на розподіл електричного струму в сполучній смузі. Для визначення розрахункового опору для роз-

тікання електричного струму в сполучній смузі з урахуванням коефіцієнта екранування, використовують наступну формулу:

$$R_{\text{ПОЗР.С.}} = \frac{R_{3.С.}}{n_{\text{Е.С.}} \cdot \eta_{\text{Е.З.С.}}}, \quad (6.11)$$

де  $n_{\text{Е.С.}} = 1$ .

$$R_{\text{ПОЗР.С.}} = \frac{11,49}{1 \cdot 0,77} = 14,92 \text{ Ом}.$$

Визначаємо загальний розрахунковий теоретичний опір розтікання струму від вертикальних заземлювачів і сполучної смуги:

$$R_{\text{ЗАГ.ПОЗР.}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{ПОЗР.П.Т.Е.}}} + \frac{1}{R_{\text{ПОЗР.С.}}}}, \quad (6.12)$$

$$R_{\text{ЗАГ.ПОЗР.}} = \frac{1}{\frac{1}{3,57} + \frac{1}{14,92}} = 2,88 \text{ Ом}.$$

Таким чином, обрана система захисного заземлення для валкової дробарки є ефективною, оскільки  $R_{\text{ПОЗР.П.Т.Е.}} = 3,57 \text{ Ом} > R_{\text{ЗАГ.ПОЗР.}} = 2,88 \text{ Ом}$ .

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Хімічна технологія кераміки : підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія»/ І.С. Суббота, Л.М. Спасьонова, В.Ю. Тобілко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 178 с.
2. Зорохович В.С. Виробництво цегли. Комплексна механізація і автоматизація / В.С. Зорохович, Е.Д. Шукурорів. – Київ : Буддат, 2008. – 231.
3. Гасан Ю.Г., Пащенко Т.М. Будівельні матеріали [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://lib.iitta.gov.ua/10436/1/%D0%91%D1%83%D0%B4%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%862013.pdf>
4. Будівельне матеріалознавство : Навчальний посібник // Т.М. Пащенко, З.І.Світла – К. : Аграрна освіта, 2009. – 434 с.
5. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітньої програми «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : для студ. денної, заочної та дистанційної форм навчання / В.І. Склабінський, Я.Е. Михайловський, Р.О. Острога, М.С. Скиданенко. – Суми : СумДУ, 2019. – 53 с.
6. Врагов А.П., Михайловський Я.Є, Якушко С.І. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв. – Суми: видавництво СумДУ, 2008. – 170 с.
7. Коваленко І.А., Малиновський В.В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв. – Київ: Воля, 2006. – 253 с.
8. Теплові й масообмінні процеси та обладнання хімічних і нафтогазопереробних виробництв у системах "газ (пара) – рідина" : підручник / Я.Е. Михайловський, А.Є. Артюхов, М.П. Юхименко, Н.О. Артюхова ; за заг. ред. Я.Е. Михайловського. – Суми : СумДУ, 2021. – 391 с.
9. Поперечний А.М., Черевко О.І., Гаркуша В.Б., Кирпиченко Н.В., Ласкіна Н.А. Процеси і апарати харчових виробництв. – К.: «Центр учбової літератури», 2007. – 304 с.

- 10.Онищук О.О., Кормош Ж.О. Процеси та апарати хімічних виробництв: курс лекцій. – Луцьк: Вежа-Друк, 2020. – 155 с.
- 11.Процеси та обладнання хімічних технологій. Базові принципи теорії тепло-масообміну: практикум з кредитного модуля : навч. посіб. / уклад.: С.В. Гулієнко, Я.В. Гробовенко. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 120 с.
- 12.Шалугін В.С., Шмандрій В.М. Процеси та апарати промислових технологій. – К.: «Центр учбових технологій», 2007. – 392 с.
- 13.Конструювання і розрахунок елементів тонкостінних посудин та апаратів, які знаходяться під зовнішніми навантаженнями: навч. посіб. для студ. / І.А. Андреев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ, 2018. – 121 с.
- 14.Андреев, І. Роз'ємні міцно-щільні з'єднання: навчальний посібник для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Ігор Андреев ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 138 с.
- 15.Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Проектування хімічних підприємств та основи САПР» / Укл.: О.О. Ляпощенко, В.М. Маренок. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 81 с.
- 16.Обладнання заготівельних та котельно-зварювальних ділянок ремонтно-механічних цехів хімічних виробництв : навч. посіб. / С.М. Яхненко, М.С. Скиданенко, Є.М. Піддубний. – Суми : СумДУ, 2022. – 170 с.
- 17.Виготовлення обладнання хімічних виробництв : підруч. [для студ. закл. вищ. освіти]. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022. – 233 с.
- 18.САПР технологічних ліній та комплексів хімічних і нафтогазопереробних виробництв / О. О. Ляпощенко, О. Є. Старинський // Дистанційний курс. – Суми : СумДУ, 2020. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://elearning.sumdu.edu.ua/s/4b-z0x>
- 19.Промислові прилади та засоби автоматизації: Довідник / В.Я. Баранов, Т.Х. Безповська, В.А. Бек та ін.. Київ : Вид-во «Віста», 2017. – 847 с.
- 20.НПАОП 26.0-1.07-75. Правила техніки безпеки й виробничої санітарії при виробництві цегли й вапна [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=46994](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=46994)

21. Охорона праці на цегельному заводі [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://ua-referat.com/%D0%9E%D1%85%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B0\\_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96\\_%D0%BD%D0%B0\\_%D1%86%D0%B5%D0%B3%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%83\\_%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%96](https://ua-referat.com/%D0%9E%D1%85%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B0_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96_%D0%BD%D0%B0_%D1%86%D0%B5%D0%B3%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%83_%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%96)