Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)

кафедра металургійного обладнання
(повна назва кафедри)

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

На тему Аналіз режимів роботи та удосконалення конструкції приводу валкового брикет-пресу

Виконав: магістрант групи 8.1333

Виприжкін П.О.
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма
Металургійне обладнання
(шифр і назва)

Керівник Гречаний О.М.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2024 року

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти магістр
(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Спеціалізація
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Металургійне обладнання
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою А.О. Власов

_____

“____”_____20___ року

Завдання
до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Виприжкіна Павла Олександровича
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Аналіз режимів роботи та удосконалення конструкції приводу валкового брикет-пресу
керівник кваліфікаційної роботи Ph.D., доцент Гречаний О.М.,
затверджені наказом вищого навчального закладу від “28“ лютого 2024 року № 359-с.
2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи 09 грудня 2024 року.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи техніко-економічні показники роботи валкового брикет-пресу
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд науково-технічних рішень підвищення надійності обладнання для брикетування шихтового дріб’язку та обґрунтування обраного напрямку роботи; 2. Розрахункова частина; 3. Дослідно-експериментальна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека в галузі. Загальні висновки та рекомендації
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень): 1. Валковий брикет-прес з приводом – 1А1; 2. Валковий брикет-прес – 1А1; 3. Редуктор ГТ-1300-К – 1А1; 4. Деталювання – 4А2 5. Розробка схеми контролю навантаження на приводному валу брикет-преса – 1А1; 6. Результати дослідження роботи валкового брикет-преса методами імітаційного моделювання – 1А1.

6. Консультанти кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Гречаний О.М., Ph.D., доцент		
2	Гречаний О.М., Ph.D., доцент		
3	Гречаний О.М., Ph.D., доцент		
4	Гречаний О.М., Ph.D., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційої роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на кваліфікаційну роботу	29.05.2024 – 25.06.2024	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань кваліфікаційної роботи	01.09.2024 – 17.09.2024	
3	Виконання теоретичної частини кваліфікаційної роботи	18.09.2024 – 18.10.2024	
4	Виконання графічної частини кваліфікаційної роботи	19.10.2024 – 19.11.2024	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	20.11.2024 – 30.11.2024	
6	Перевірка кваліфікаційної роботи консультантами	01.12.2024 – 03.12.20243	
7	Попередній захист	09.12.2023	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист	Згідно з графіком	

Здобувач _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційої роботи _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Виприжкін П.О. Аналіз режимів роботи та удосконалення конструкції приводу валкового брикет-пресу.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальність 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник О.М. Гречаний. Запорізький національний університет, інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра металургійного обладнання, 2024.

Проаналізовані наявні технічні рішення спрямовані на виготовлення різних типів брикетів. Запропонований варіант модернізації приводу валкового брикет-пресу. Проведено аналіз зміни характеристики відкритої передачі приводу брикет-пресу від запропонованого впровадження. Проаналізова робота опор валків пресу в найважчому режимі роботи..

Ключові слова: БРИКЕТ, БРИКЕТ-ПРЕС, МОДУЛЬ, КРУТНИЙ МОМЕНТ, ВАЛЬНИЦЯ

ABSTRACT

Vypryzhkin P. O. Analysis of Operating Modes and Improvement of the Design of the Roller Briquette Press.

Qualification final work for obtaining a higher education degree of a master's degree in specialty 133 - Industrial engineering, scientific adviser O.M. Hrechanyi. Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2024.

The analyzed available technical solutions are aimed at the production of various types of briquettes. The proposed option of modernization of the roller briquette press drive. An analysis of the change in the characteristics of the open transmission of the briquette press drive from the proposed implementation was carried out. Analytical work of press roll supports in the most difficult mode of operation.

Keywords: BRIQUETTE, BRIQUETTE-PRESS, MODULE, TORQUE, ROLLER

Зміст

Вступ 7
1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ БРИКЕТУВАННЯ ШИХТОВОГО ДРІБ'ЯЗКУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ 9
1.1 Принцип дії да призначення валкового брикет-пресу 9
1.2 Аналіз вимог до виробництва брикетів 13
1.2.1 Вимоги до фізико-механічних властивостей брикетів 13
1.2.2 Вимоги до зв'язувальних речовин 16
1.3 Огляд технічних рішень спрямованих на модернізацію обладнання для виготовлення брикетів та обґрунтування обраного напрямку досліджень 24
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА 40
2.1 Розрахунок потужності пресування 40
2.2 Розрахунок найбільш навантажених деталей приводу 45
2.2.1 Розрахунок відкритої зубчатої передачі 45
2.2.2 Розрахунок веденого вала 50
2.2.3 Розрахунок та вибір вальниць брикет-пресу 55
2.2.4 Перевірка шпоночного з'єднання 56
3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА 59
3.1 Обладнання для контролю навантажень на привод валкового пресу 59
3.2 Порівняльний аналіз дослідження відкритої зубчатої передачі модулем 20 мм та 28 мм в програмі «APM Trans» 62
3.3 Імітаційне моделювання роботи роликової сферичної вальниці 72
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ 80
4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища 80
4.1.1 Характеристика механізації і автоматизації обраних технологічних процесів 80
4.1.2 Аналіз потенційних і шкідливих факторів виробничого середовища 81
4.2 Розробка заходів захисту від впливу шкідливих факторів 83

4.3 Технічні рішення по гігієні праці та виробничій санітарії 84
4.3.1 Опалення й мікроклімат 84
4.3.2 Природне й штучне освітлення цеху 85
4.3.3 Побутові й допоміжні приміщення 86
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ 88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ 89
СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ 94
ДОДАТКИ 95

Вступ

В умовах сучасного виробництва основна увага приділяється питанням енергетичної ефективності та оптимізації технологічних процесів, шляхом модернізації існуючого обладнання, а інколи і впровадження принципово нових конструктивних рішень. В таких умовах на допомогу інженерам-конструкторам приходить можливість моделювання та поетапного покращення моделей в різних програмних комплексах на кшталт SolidWorks та Autodesk AutoCAD Inventor.

Збільшення виробництва металу та покращення його якості є одним з найважливіших завдань. Особливо прискорюється виробництво кольорових металів, набагато збільшується випуск титану і його застосування в машинобудуванні, будівництві й у побуті. Щоб забезпечити ріст виплавки сталі необхідно розширити застосування процесів оґрудкуванняя руд і продуктів їхньої переробки.

Руди, що не відповідають вимогам металургійного переділу, через низький вміст металу або присутності шкідливих домішок повинні бути попередньо доведені до кондицій. Методи, які використаються для підготовки, можуть бути механічними, хімічними й термічними.

У найпростіших випадках, коли доводиться мати справу з великими шматками руди, підготовка зводиться до зміни її фізичного стану шляхом дроблення. У випадку бідних руд підготовка здійснюється видаленням з них значної частини порожньої породи й шкідливих домішок й одержанням концентратів. Процес такої підготовки відомий за назвою збагачення. Для рудного дріб'язку, порошкових руд, концентратів й інших дрібних продуктів підготовка полягає в оґрудкуванні. В кольоровій металургії там де, як правило, відбувається оґрудкування моношихтових матеріалів на перший план виходять пресові огрудковувачі, а саме брикет-преси, які дозволяють якісно та швидко дрібнозернисту шихту спресовувати у міцні брикети, таким чином зменшуючи технологічні відходи результату подрібнення.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження роботи валкового брикет-пресу для виготовлення брикетів з шихтового дріб'язку.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз раніше проведених досліджень в питаннях удосконалення конструкції обладнання для брикетування шихтових матеріалів;
- визначити навантаження, що діють на елементи приводу валкового брикет-пресу;
- визначити оптимальне обладнання для контролю навантажень на привод брикет-пресу;
- виконати імітаційне моделювання роботи валкового брикет-пресу з метою обґрунтування правильності прийнятих рішень.

Предмет дослідження – конструктивні параметри валкового брикет-пресу.

Об'єкт дослідження – привод валкового брикет-пресу.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на: Міжнародній науково-практичній конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету «Інженерні інновації та розбудова національної економіки». Запоріжжя: ЗНУ, 2024 р. Опубліковано тези доповіді.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи включає 107 сторінок, у тому числі 89 сторінок основного тексту, 24 рисунки, 30 таблиць, 50 найменувань використаних джерел на 5 сторінках, 12 додатків.

Робота виконана на кафедрі металургійного обладнання, інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні, Запорізького національного університету.

1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ БРИКЕТУВАННЯ ШИХТОВОГО ДРІБ'ЯЗКУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ

1.1 Принцип дії да призначення валкового брикет-пресу

Сучасна техніка підготовки сировини, брикетування й зміцнення брикетів передбачає різне встаткування, вибір якого обумовлено фізико-хімічними властивостями вихідної сировини, вимогами до якості брикету.

Брикетування – процес обробки сипучих матеріалів пресуванням й одержання шматків правильної й одноманітної в плині всього процесу форми брикетів. Форма брикетів досить різноманітна: горіх, куля, яйце, циліндр, конус, крапля, подушка, таблетка, паралелепіпед, шестигранна призма. Маса брикетів може досягати 2 кг. Перший валковий прес був винайдений в 1865 році. Він став прототипом різних конструкцій, широко застосовуваних у цей час.

Брикетуванню піддають окислені нікелеві руди, мідну, цинкові, шихту для виробництва силуміну, кадмію, сурми, вторсолей для електролізу алюмінію. Також на сьогодні є актуальним розвиток процесу стосовно до вугільного дріб'язку.

Брикетування – найменш енергоємний і найдешевший спосіб оґрудкування.

Для сушіння й попереднього нагрівання сировини застосовують різного типу реактори киплячого шару, шахтні, тунельні, обертові печі, інше встаткування: для зміцнення брикетів – автоклави, карбонізатори, закриті транспортні засоби, що обігрівають, складські приміщення зі спеціальними умовами й інше встаткування.

Загальні тенденції при проєктуванні й будівництві нових пресів наступні:

– підвищення продуктивності при мінімальній металоємності, габаритах і масі [1];

– підвищення питомих тисків з метою економії сполучних матеріалів, поліпшення якості брикетів і можливості застосування нових процесів без використання сполучних матеріалів (наприклад, гаряче брикетування) [2-4];

– максимальне збільшення термінів служби формувальних деталей [5,6];

– створення живильників, що забезпечують рівномірний розподіл сировини по всій робочій ширині поверхні валків, з метою збільшення термінів служби формувального інструмента й одержання рівноміцних брикетів [7].

На рисунку 1.1 представлена кінематична схема валкового брикет-преса. Привод складається з електродвигуна 1, ремінної передачі 2, редуктора 3, муфти 4, відкритої циліндричної зубчастої передачі 5, преса 6.

Литі заготівлі бандажів одержують із легованої сталі, а на заводі їх тільки шліфують. Припустимий зазор між бандажами в робочому стані не повинен перевищувати 1–1,5мм.

Пресс має бандажі з удосконаленою формою осередків у вигляді кульового сектора. Осередки чергуються із гладкими ринвами. При обертанні валків матеріал попадає між осередком і ринвою де й відбувається його двостороннє обтиснення.

Брикетний прес дозволяє одержувати брикети з комплексної сировини – глинозем, вугілля, нафтококс, кварцит. Здозована й зволожена шихта зі змішувача надходить у бункер преса й з вологістю 11–17% іде по точках бункера преса й потім на бандаж преса.

Валковий прес дає брикети типу «Хвиля». Отримані брикети подаються на ґрати гуркоту для відсівання дріб'язку. Відсіяний дріб'язок елеватором подається в бункер валкового преса. З гуркоту брикети надходять на стрічковий конвеєр і далі до конвеєрного сушила.

Перевантаження брикетів зі стрічкового транспортера на конвеєрне сушило виконується за допомогою електровібраційного живильника. Для

підвищення міцності брикетів і зменшення вологості в сухих брикетах до 1% їх висушують у тонельних конвеєрних пічах-сушилах.

Брикети рівномірним шаром завантажують на стрічку сушила. Швидкість руху стрічки регулюється залежно від товщини шару брикетів. Гаряча газоповітряна суміш, проходячи через шар брикетів, висушує їх. Максимальна температура в печі – 100°С.

Рециркуляційні вентилятори бічних стінок сушила проганяють гарячу газоповітряну суміш під стрічку конвеєра, гріючи шар брикетів і висушуючи їх.

Висушені брикети зі стрічки сушила попадають на віброживильники розвантаження, а потім на похилий стрічковий транспортер, що подає їх на транспортери електропічної ділянки.

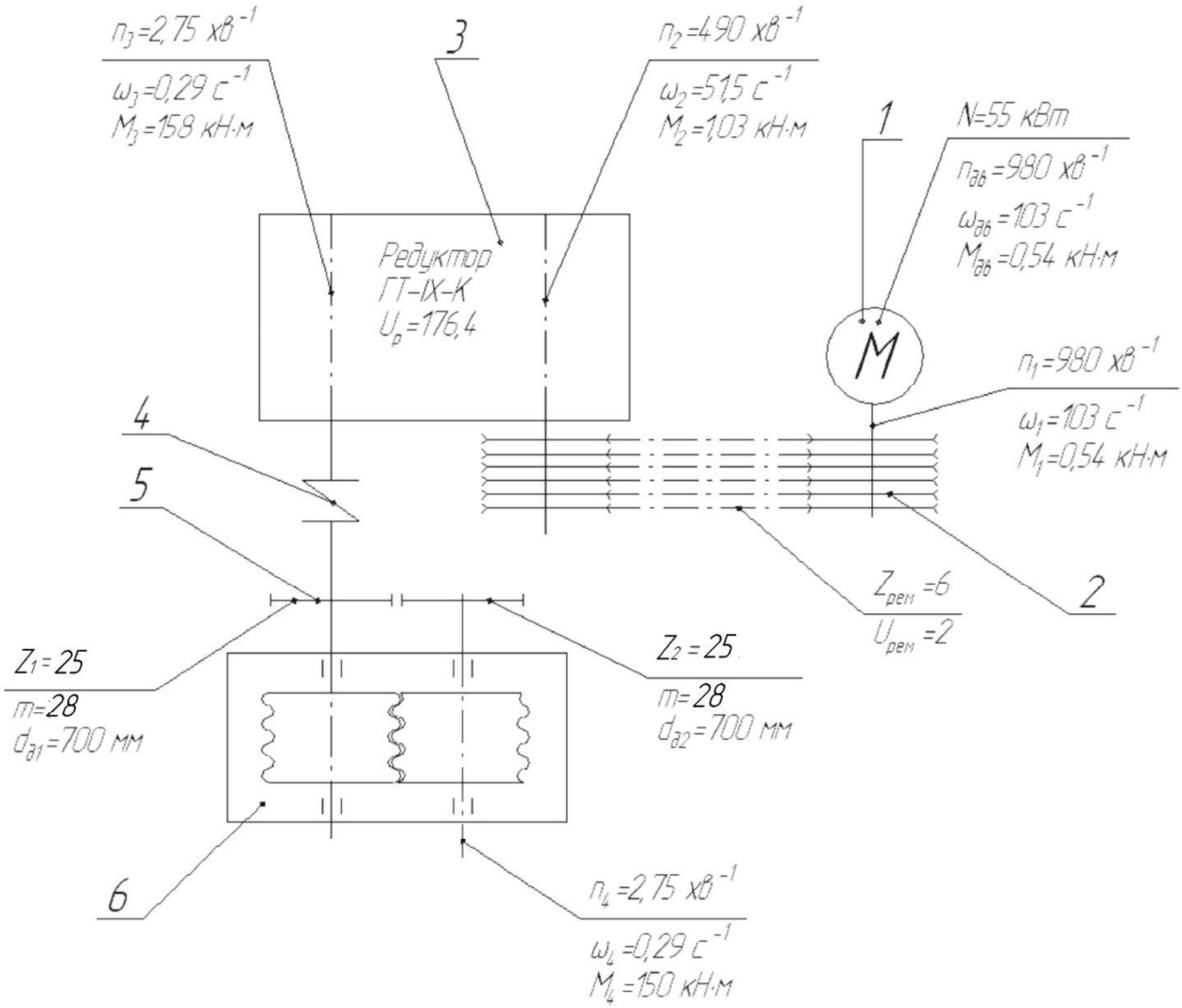


Рисунок 1.1 – Кінематична схема валкового преса (позиції приведено в тексті)

Весь процес ущільнення брикетів ділиться на три стадії. У першій стадії відбувається переорієнтація часток, у другій – зменшення відносної швидкості руху часток, а в третьої – пластичні зміни матеріалу і його ущільнення.

Залежно від технології пресування й вимог до неї, у конструкції даного типу валкового преса застосовані теорія й принципи прокатки. Це дозволило визначити величину вальців у бандажі при зміні тиску, величину зазору між валками, умови поверхневого тертя, ступінь стискальності пресуємого матеріалу, граничну частоту обертання валків і вплив розміру часток пресуємого матеріалу на продуктивність преса.

У результаті цього конструкція преса визначається діаметром і шириною робочої поверхні валків, зазором між валками, конструкцією осередків у бандажі, якістю поверхні валків, що забезпечують одержання безперервного листового брикету, зусиллям у момент прокатки, системою завантаження матеріалу на пресування.

Прийнята залежність між питомим тиском пресування й міцністю брикетів існує до певної межі. При брикетуванні зі зв’язуючими речовинами дуже високі тиски приводять до видавлювання останніх на поверхню, що викликає залипання преса й злипання самих брикетів у процесі їхнього транспортування.

Міцність брикетів визначається характером і тривалістю прикладення тиску, тобто конструкцією пресового встаткування.

Використання преса із двостороннім прикладенням тиску забезпечує більше високу й рівномірну щільність брикетів. Більше рівномірні по щільності брикети виходять із більш липкої шихти при можливо меншій їхній товщині, тому в конструкції преса глибина осередків у бандажах зменшена.

При вдосконаленні пресів необхідно враховувати фактор усадки матеріалів при пресуванні. Пресове встаткування повинне бути близьким для матеріалів по пластичних деформаціях і пружному розширенні брикетів.

Виконання цих умов сприяє одержанню брикетів високої механічної міцності, високої водо- й атмосферостійкості, однорідними по розмірах і формі, оптимальної реакційної здатності.

1.2 Аналіз вимог до виробництва брикетів

1.2.1 Вимоги до фізико-механічних властивостей брикетів

До рудних й руднотопливних брикетів для потреб кольорової й чорної металургії пред'являються вимоги не тільки по хімічному й гранулометричному складу, як це має місце при оцінці руд або концентратів, але й по фізико-механічних властивостях.

Нижче приводяться основні вимоги, прийняті до різних рудних й руднотопливних брикетів, складені на основі досвіду їхнього застосування в різних металургійних печах:

1. Брикети повинні мати достатню механічну міцність, щоб протистояти навантаженням, що виникають при їхній видачі із преса (скидання), транспортуванню й засипанню в металургійну піч. При цьому вони не повинні утворювати великої кількості дріб'язку.
2. Брикети повинні володіти водостійкістю й атмосферостійкістю, особливо у випадку тривалого транспортування до споживача.
3. Брикети повинні мати високу термостійкість в окисному або відбудовному середовищах, залежно від їхнього призначення, тобто зберігати форму при температурі до 1000°С та не утворювати дріб'язку. Деякі дослідники рекомендують визначати термостійкість брикетів шляхом нагрівання їх протягом трьох хвилин при температурі до 1500ºС.
4. Доменні брикети повинні мати досить високу пористість, мартенівські – по можливості мінімальну (не більше 5–10%).
5. Брикети не повинні містити шкідливих речовин (луг, вільний хлор, сильні кислоти й ін.), що руйнують мурування печі й погіршують якість виплавлюваного металу.
6. Брикети із хромистого залізняку для виплавки ферохрома повинні містити не менш 40% окису хрому при співвідношенні змісту окису хрому до закису заліза не менш 2,5.

7. При виробництві рафінованого ферохрома доцільно мати брикети з основним або нейтральним зв'язком, а при виробництві вуглецевого ферохрома – з кислим або нейтральним.
8. Брикети, призначені для ряду особливих металургійних виробництв, наприклад для деяких високотемпературних відбудовних процесів, повинні витримувати так званий «термічний удар», тобто зберігати форму і не утворювати великої кількості дріб'язку при влученні в зону високих температур (до 1500 °С і більше).
9. За формою, габаритами і вагою брикети повинні відповідати вимогам даного виробництва. Ці показники можуть регулюватися вибором способу пресування, форми й габаритів осередків на бандажах валкових пресів.
10. До рудно-паливних брикетів, які використовуються для виплавки силікомарганця, пред'являється ряд додаткових вимог – підвищений електричний опір й оптимальна реакційна здатність [8,9].

По хімічному складу до брикетів пред'являються всілякі вимоги відповідно до їх призначення, так для мартенівського металургійного процесу:

Вміст, %:

заліза, не менш 6264

кремнезему, не більше 6–8

інших шлакоутворюючих, не більше 3

вологи (включаючи й гідратну, яка повинна бути не

більше 0,5%), не більше …….....2

фосфору, не більше 0,03

сірки..... 0,03

при використанні в доменному виробництві:

Вміст заліза, %:

у брикетах з бурого залізняку ..... …...40–45

у брикетах із червоного залізняку

(гематити й мартити). .....…....5–58

у брикетах з магнетиту ..... ……55–60

У кольоровій металургії до брикетів пред'являються спеціальні вимоги відповідно до їх призначення, тобто залежно від способу їхнього переділу [10].

Брикети для електроплавління. При однократному скиданні брикетів на цементну підлогу з висоти 2 м кількість пилу, що утвориться, або дріб'язку не повинне перевищувати 5%; при високих температурах брикети не повинні руйнуватися до плавлення. Опір брикетів стиску повинне бути не нижче 2,5 МПа.

Брикети для доменної плавки. Опір брикетів, стиску повинне бути вище 5,8 МПа. Брикети повинні бути термічно стійкими, тобто зберігати міцність при температурах до 900°С, вологостійкими, досить стійкими в атмосфері перегрітого до 150°С пари, пористими й газопроникними.

Брикети для мартенівського процесу. Повинні мати опір стиску не нижче 5 МПа. Утворювати при дворазовому скиданні з висоти 2 м на металеву плиту не більше 10% дріб'язку (–5 мм), при нагріванні до 1500°С у плин трьох хвилин не розвалюватися на шматки, мати пористість не вище 5–10%.

Відновлюваність – можливість брикетів з тією або іншою швидкістю віддавати пов'язаний із залізом кисень газу–відновлювачу. Чим вище відновлюваність, тим при кращих техніко-економічних показниках проходить доменна плавка. Це пояснюється тим, що легко відновлюваний агломерат за рівний проміжок часу віддасть доменному газу більшу кількість кисню й на частку прямого відновлення за допомогою твердого вуглецю залишиться менше кисню, що знижує питому витрату коксу (на 1 т. виплавлюваного чавуну).

Результати дослідження кінетики, механізму й температурно–теплових умов відновлення рудних і руднотопливних брикетів є основою для розробки технології промислових процесів. Відновлення брикетів здійснюється на різних стендах залежно від характеру їхнього використання.

Пористість брикетів впливає на їх відновлюваність, газопроникність і міцність. Вона визначається відношенням обсягу всіх пор у брикеті до його загального обсягу, вираженим у відсотках. Загальна пористість визначається по

різниці істинної й гаданої щільностей. Під істинною щільністю брикету мається на увазі його маса в обсязі 1 $см^3$ при відсутності пористості; гаданою щільністю називається маса пористого брикету в одиниці об'єму.

Величина істинної щільності визначається пікнометричним методом, а гаданої – зважуванням зразків, покритих плівкою парафіну, що перешкоджає проникненню в пори брикету рідини, що змочує поверхню [10].

1.2.2 Вимоги до зв’язувальних речовин

У цей час процеси брикетування концентратів залізних руд, деяких руд (концентратів) кольорових металів і руднотопливних шихт здійснюють із введенням і без введення зв'язувальних речовин [11].

Без введення сполучних брикетують руди й відходи промисловості, до складу яких входять компоненти, що володіють сполучною здатністю, або руди, що піддають дуже тонкому здрібнюванню з наступним пресуванням при високих тисках. У практиці брикетування руд і руднотопливних шихт найбільше застосування знаходять неорганічні (мінеральні) зв'язувальні речовини.

Розроблено й випробувані нові способи брикетування руд із введенням зв'язувальних речовин органічного походження, а також методи брикетування при порівняно низьких тисках, без введення в шихту зв'язувальних речовин.

Отримано й випробувано в промислових умовах кілька нових комбінованих зв'язувальних речовин (сульфіт–целюлозні луги й глина, аминопек й ін.), при використанні яких заощаджується дефіцитна частина основної сполуки й підвищується якість отриманих брикетів.

При використанні деяких видів зв'язувальних речовин для руднотопливного, і рудного брикетування застосування різних наповнювачів, пластифікаторів, поверхньоактивних речовин і т.д. може помітно прискорити хід процесу цементації й поліпшити якість отриманих брикетів.

Зв'язувальні речовини для брикетування руд (концентратів) чорних і кольорових металів повинні задовольняти наступним основним вимогам:

1) мати високу цементуючу здатність зі швидким схоплюванням;

2) не бути баластом у брикетах;

3) бути, по можливості, дешевими й недефіцитними;

4) не бути складними в застосуванні;

5) забезпечувати достатню механічну міцність, вологостійкість та термостійкість брикетів;

6) не створювати шкідливих умов праці для обслуговуючого персоналу, тобто відповідати санітарно–гігієнічним вимогам;

7) не вносити шкідливих домішок (золи, сірки, фосфору й т.д.) у таких кількостях, які відіб'ються на якості виплавлюваного металу;

8) не знижувати значно зміст металу в брикетах;

9) не погіршувати якості брикетів під впливом високих температур (до 1600°С) як у відбудовному, так і в окисному середовищах;

10) не знижувати відновлюваність руди в брикетах;

11) не погіршувати умов плавки брикетів, зокрема, не збільшувати витрату флюсів.

Нижче описуються властивості найпоширеніших зв'язувальних речовин умови їхнього готування й особливості технологічного використання для огрудкування руд (концентратів) у кольоровій і чорній металургії.

Спосіб брикетування руд із чавунної – стружкою запропонований Н. А. Ярхо для криворізьких гематитових руд.

Стружка й руда за участю електроліту (солі й вологи) утворять гальванопари, у результаті дії яких залізо розчиняється (руйнується) з утворенням продуктів корозії [12]. Швидкість корозії залежить від ряду наступних факторів – потенціалу й електропровідності руди, перенапруги водню на катодних ділянках, температури, величини зерен руди та кількості кисню в повітрі, кількості й концентрації: електролітів, состава стружки й ін. При утворенні гальванопар стружка виконує роль анода, а руда – катода. Завдяки гарній електропровідності руди при утворенні гальванопар стружка–руда утвориться більша катодна поверхня, що сприяє розчиненню стружки.

Найбільшою електропровідністю володіють магнітні залізняки, тому при їхньому брикетуванні продукти корозії добре цементують руду й виходять міцні брикети. При брикетуванні неелектропровідних гідратних руд корозійні процеси протікають менш інтенсивно внаслідок наявності в самій стружці домішок (продукти корозії, локалізуючись біля стружки, не пронизують всієї руди й майже не цементують її).

При однаковому змісті стружки в шихті міцність брикетів тим більше чим дрібніше стружка, тому що в цьому випадку утвориться більше число корозійних центрів, а , отже, руда краще пронизується продуктами корозії.

Великий вплив на корозійні процеси робить кисень повітря, роль якого в процесах корозії двояка. З одного боку, він, з'єднуючись із воднем, що виділяється на катодних ділянках, деполяризує їх, зменшує перенапругу й тим самим прискорює процес, іншої – кисень, у міру переходу заліза в розчин закисного заліза, гальмує подальший його перехід в іонну форму. Однак, окисляючи двовалентне залізо в тривалентне, кисень сприяє подальшому розчиненню заліза. Великий вплив на швидкість корозії й цементацію брикетів роблять вологість і склад шихти, тривалість додатка тиску, умови зберігання й ін.

Сульфітні луги є масовими відходами целюлозно-паперової промисловості. Вони виходять як побічний продукт при переробці здрібненої деревини на сульфітну целюлозу по сульфітному методу. Після розпарювання сульфітного лугу до твердого стану (80–86% сухої речовини) виходить сполучний, називаний целюлозний пек, або цельпек. Основними частинами сухої речовини лугів є лигно–сульфановий комплекс (60–65%) цукор (~20%), зола та інші речовини (15–20%). Луги містять невеликі кількості сірчаної й сірчистої кислот, органічні кислоти (мурашина й оцтова), фурфурол й ін. Луги, що представляють собою рідини чорно–бурих кольорів, використовують як сировину для виробництва етилового спирту; у спирт переробляється близько 60–75% цукру, що втримується у твердій частині лугів. При цьому виходить вторинний відхід–сульфітно–спиртова барда (с.с.б.), що – після часткового або

повного випарювання до змісту твердого залишку близько 80–90% може бути використана як сполучна речовина. Розпарювання сульфітно-спиртової барди може вироблятися за допомогою пару–теплоносія або димових газів.

Різними дослідженнями встановлено, що якість і фізико–хімічні властивості сполучень на базі сульфітно–спиртовій барди залежать головним чином від властивостей перероблюємої деревени, що, і технології одержання сполучного. У зв'язку із цим концентрати сульфітно–спиртової барди мають різні фізико–хімічні властивості, у тому числі адгезійні й когезійні [13].

Розчинне скло виходить із силікатної брили і являє собою натрієвий Na2O·nSiO2 або калілієвий K2O·nSiO2 сілікат різного складу. Водні розчини розчинного скла називаються рідким склом. По зовнішньому вигляду тверде скло представляє собою прозорі брили, офарбовані в блакитний, зеленкуватий, синюватий або жовтий кольори. На практиці використовується головним чином натрієве скло. Процес зміцнення брикетів з рідким склом заключається в утворенні при тісному контакті силікатів лугів с рудним дріб'язком або колосниковим пилом залізнистого силіката, який і являється цементуючою речовиною.

Склад розчинного скла коливається в широких межах і визначається відношенням кремнезему Si2 до окису натрію Na2O.

Каустичний магнезит (MgO) являє собою продукт випалу природного магнезиту (MgCO3).

Виробництво каустичного магнезиту складається із двох послідовних операцій – випалу магнезиту і його подрібнення в дуже тонкий порошок.

Каустичний магнезит використовується в промисловості як в'язкий будівельний матеріал (повітряний цемент).

Каустичний порошок – основна складова частина магнезіальних цементів. Він має здатність при обробці розчинами хлористих магнію, цинку й натрію, сульфатів магнію й заліза затвердівати на повітрі в брилеподібну масу й утворювати міцний цемент.

Процеси твердіння зазначеного цементу здійснюються в такий спосіб:

1) гідратація окису магнію MgO+H2ПРО=Mg(ВІН)2;

2) одночасне утворення при змочуванні розчином солей з'єднань типу оксихлорида магнію (3MgO·MgC12·6H2O);

3) утворення насичених розчинів і виділення з них колоїдного холодцю – гелю, що володіє здатністю швидко схоплюватися;

4) поступова рекристалізація гелю, що утворився, тобто перетворення холодцю в кристалічні зростки, що обумовлюють подальше твердіння цементу.

Затверділий магнезіальний цемент являє собою твердий розчин гідрату окису й оксихлоридів магнію. Технологія виробництва рудних брикетів з каустичним магнезитом аналогічна технології брикетування й цементації брикетів з гашеним вапном. Відразу після пресування рудні брикети мають дуже низьку механічну міцність, тому для закріплення вимагають тривалого вилежування або спеціальної обробки (наприклад, гідротермальної або термічної).

Таброн виходить безпосередньо з кам'яних і бурих вугіль легким гідруванням. Сировиною для одержання таброна можуть служити вугілля з підвищеним виходом летучих речовин (газові, бурі, жирні й ін.) [14].

Як каталізатор використають промисловий алюмомолібденовий каталізатор окісний (MoO3+A12ПРО3).

При гідруванні без застосування каталізатора початковий тиск водню становить 100—150 атм; у випадку використання каталізатора в кількості 5—10% тиск знижується до 60—80 атм. і нижче. Гідрування роблять при 350—370°С у плин 2—2,5 ч.

Кам'яновугільні пеки – тверді речовини, що є залишковими продуктами перегонки кам'яновугільної смоли при 360—380°С на коксохімічних і газових заводах [15].

Кам'яновугільна смола, також використовувана в якості сполучного, являє собою чорно–буру грузлу рідину, що містить до 10% вільного вуглецю й ряд коштовних ароматичних і гетероциклічних з'єднань. Крім того, смола містить деяку кількість неграничних вуглеводів жирного й гідроароматичного рядів.

При звичайному режимі коксування вихід смоли становить 2–4,5%.

Смола після зневоднювання розділяється на ряд фракцій з наступними виходами, % від безводної смоли:

Легка фракція (до 170°С)	до 0,5
Фенольна фракція (170– 200°С)	2–6
Нафталінова (200–240°С)	8–12
Поглинальна (240–270°С)	5–9
Антраценова (270–350°С)	21–24
Пек (понад 350°С)	55–60

Пек є сумішшю високомолекулярних органічних сполук. У твердому стані він являє собою аморфну масу чорних кольорів, у рідкому – грузлу рідину темного, майже чорних кольорів, зі специфічним запахом.

До складу пеків входять переважно вуглеводні, феноли й основи. Вони представлені високомолекулярними з'єднаннями з конденсованими ядрами. Пеки містять і значні кількості вільного аморфного вуглецю, що відрізняється від бітумів своєю повною нерозчинністю в органічних розчинниках.

У СНД випускаються чотири марки товарних сортів кам'яновугільного пеку – м'який, середній, твердий і для виробництва пластмас.

Середній і твердий пеки мають наступні характеристики:

Величина пенетрації * при температурі, °С:

45	1,5 – 9
65	4 – 23
Індекс пенетрації	Від 1,2 до – 2,3
Коефіцієнт пластичності	2,55 – 2,66
Дуктильність ** при 25°С	0
Когезія, кгс/см2	6
Зміст асфальтенів, %....	38,7
Коксове число, %	39,55–50,04

* Пенетрація – ступінь проникнення в сполучні тіла голки;

** Дуктильність (розтяжність) – здатність сполучних витягатися в нитку при певній температурі.

Якість пеку як сполучного залежить від групового складу його компонентів, що представляють фракції , які можуть бути отримані при розчиненні пеку в бензолі й петролейному ефірі. До фракції відносяться речовини, нерозчинні в цих розчинниках і котрі мають досить слабку спічну й сполучну здатності, тому що в них зосереджена зола й вільний вуглець. До фракції відносяться речовини, нерозчинні в петролейному ефірі, але розчинні в бензолі. До фракції відноситься група речовин, розчинних в обох розчинниках. При співвідношенні фракції й приблизно 1:1 сполучна здатність пеку максимальна.

Цементи давно використовувалися для огрудкування залізних руд і колосникового пилу. Ще в 1900 р. Л. Юзбашев застосував у якості сполучення для брикетування рудного дріб'язку портландцемент.

Залежно від сорту й марки портландцементу й фізичних властивостей руд, що піддають огрудкуванню, витрата сполучних коливається від 3,5 до 6% (по масі). Кращі результати виходять при використанні портландцементів разом з гідравлічними цементами. Задовільні результати виходять тільки при брикетуванні зернистих кристалічних руд; глинисті й охристі руди необхідно попередньо обпалювати.

В 1936 р. П.П.Казакевич проводив дослідження із брикетування колосникового пилу з портландцементом, що являє собою гідравлічну в'язку речовину – продукт тонкого помолу клінкера. Клінкер виходить рівномірним випалом до спікання дозованих штучних сумішей матеріалів, що містять вуглекисле вапно й глину або природні мергелі. Іноді глина може бути замінена іншими матеріалами (доменні шлаки, трепел й ін.). В останні роки цементи обмежено застосовують при брикетуванні руд і колосникового пилу.

Встановлено, що звичайні цементи [16,17] мало придатні для огрудкування залізних руд (концентратів) і колошникового пилу внаслідок високого змісту

кремнезему, тривалості процесу схоплювання брикетів і дуже повільного їхнього зміцнення при зберіганні на повітрі.

Серед відомих типів цементів найбільш перспективним для брикетування руд є бокситовий цемент, що містить близько 8% Si2. Крім того, цей цемент містить глинозем, завдяки чому підвищується цінність шлаків як у металургійному переділі, так і при наступному його використанні в цементній промисловості. Однак бокситовий цемент не може знайти широкого застосування, тому що він дорогий [18-20].

Різного виду емульсії використовуються в обмежених кількостях для зменшення витрати дорогих і дефіцитних зв'язувальних речовин [21]. Крім того, емульсії легше змішуються із брикетуємим або гранулюємим матеріалом. Економічно використання емульсій при брикетуванні не завжди виправдано, тому їх застосовують тільки в тих випадках, коли це дає значну економію основних зв'язувальних речовин. Водні бітумні емульсії давно вже знайшли широке застосування при будівництві доріг, стабілізації ґрунтів, у гідротехнічних роботах, у якості ізоляційних й антикорозійних матеріалів. У практиці ж брикетування вугіль їх застосовують рідко, в основному в лабораторних дослідженнях і для підвищення вологостійкості брикетів. Якість плівок, утворених бітумними емульсіями, залежить від природи бітуму. У якості емульгаторів для одержання бітумних емульсій використовують різні речовини. Найбільш ефективний метод одержання бітумних емульсій полягає в диспергуванні складових частин емульсії у високошвидкісних машинах — диспергаторах. У цьому випадку розплавлений бітум (до 160–180°С) і водяний розчин емульгатора одночасно вводять у диспергатор, і після обробки одержують тонко дисперсну емульсію. При цьому необхідно підтримувати оптимальної pH дисперсійного середовища (11–12), при якій виходять найбільш стійкі, тонкодисперсні й однорідні по властивостях емульсії.

У процесі емульгування кожна частка бітуму обволікається адсорбційною плівкою эмульгатора.За результатами досліджень витрата основного сполучника при використанні водних емульсій може бути знижений на 25–40% .

В останні роки емульсії почали застосовувати для брикетування залізних руд і руд деяких кольорових металів.

Нафтові бітуми являють собою суміш вуглеводів й їхніх похідних [22].

Сировиною для виробництва нафтових бітумів служать нафтові мазути, нафтові й кислі гудрони й крекінг-залишки [23].

Залежно від способів перегонки зазначених продуктів бітуми підрозділяються на залишкові, продувні й крекінгові.

Залежно від фізико–механічних властивостей нафтебітуми діляться на п'ять марок; для брикетування застосовуються тільки бітуми марок БН–III, БН–IV і БН–V.

1.3 Огляд технічних рішень спрямованих на модернізацію обладнання для виготовлення брикетів та обґрунтування обраного напрямку досліджень

По характеру робочого преса ці преси можуть бути періодичної й безперервної дії; по конструкції ці преси столові, штемпельні, важільні, валкові, стрічково–вакуумні, кільцеві. За принципом пресування розрізняють преси з однобічним і двостороннім обтисненням матеріалу; по температурі пресуємого матеріалу – преси холодного й гарячого (до 1050 ºС) брикетування. При холодному брикетуванні до складу шихти вводять перераховані вище зв'язувальні речовини.

Найпоширеніші валкові преси [24-26]. На поверхні валків виконані осередки у вигляді різних симетричних напівформ брикетів. Підготовлена до пресування шихта подається в простір між валками, заповнюючи осередку, які при обертанні валків точно збігаються один з одним, здійснюючи в такий спосіб пресування шихти. За зоною контакту осередків готові брикети випадають із осередків.

При виконанні напівформ на двох валках забезпечується двосторонній стиск матеріалу. Застосовують конструкцію з осередками тільки на одному валку

(другий валок гладкий або жолобчастий). У таких пресах відбувається однобічне обтиснення матеріалу.

Рідше застосовують валки цільні, частіше – складові із суцільними кільцевими бандажами або з окремих сегментів. Осередки розташовані лінійно (у кожному ряді вони розміщені на одній лінії, паралельній осі обертання) або в шаховому порядку. Число рядів осередків – від одного до дев'яти, число пар валків – одна або дві.

Для привода преса характерна наявність синхронізуючої зубчастої передачі, відкритої або закритої. Застосування закритого роздавального редуктора з універсальними шпинделями підвищує надійність преса. Відомі конструкції з роздільними приводами кожного валка, причому синхронізуюча передача зв'язує редуктори цих приводів.

Притиснення валків забезпечується або твердістю станини при стаціонарній установці робочих валків, або рухливою установкою одного з валків з гідравлічним або пружинним притисненням. Розроблено конструкції безстаниних пресів. У них несучими елементами є корпуси підшипників робочих валків, з'єднані між собою за допомогою колон і чотирьох гідравлічних циліндрів у єдиний вузол, установлений на фундаментній рамі.

При пресуванні ущільнення матеріалу досягає 75%, тому розроблені різні живильники – підпресовщики, конструкція яких визначається властивостями й станом шихти. Найбільше поширення одержав конічний гвинтовий живильник підпрессовщик (рис.1.2). Застосування гвинта зі змінним зменшуваним кроком поліпшує підпресування.

Теоретичні розрахунки показують, що за допомогою гвинтового підпресовщика можна створити тиск підпресування 0,007–0,7 МПа. Застосовують також відцентрові з натискною пружиною (рис.1.3), гладковалкові відцентрові (рис.1.4), черв'ячні (рис.1.5), універсальні (рис.1.6), вібраційні ущільнювачі шихти.

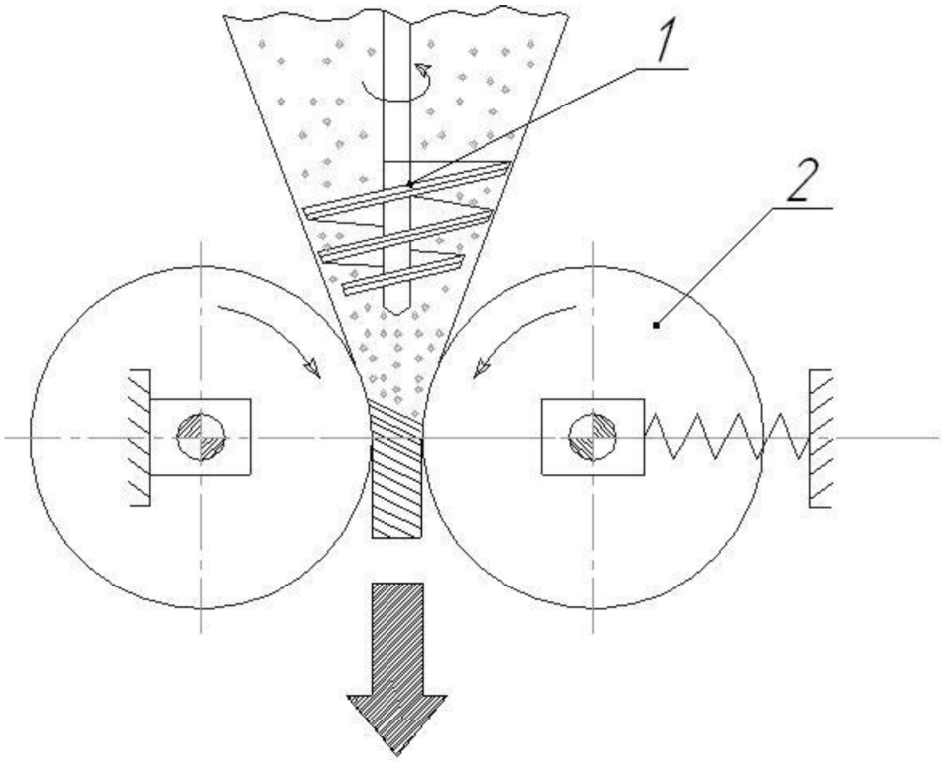


Рисунок 1.2 – Вертикальний шнековий підпресовщик: 1 – шнек, 2 – валки преса

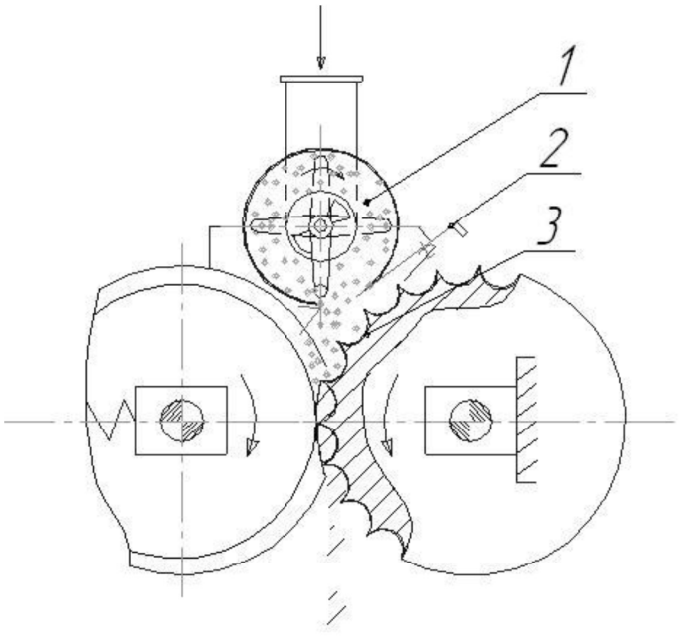


Рисунок 1.3 – Центробіжний живильник з нажимною пружиною: 1 – центробіжний живильник, 2 – нажимна пружина, 3 – валки преса

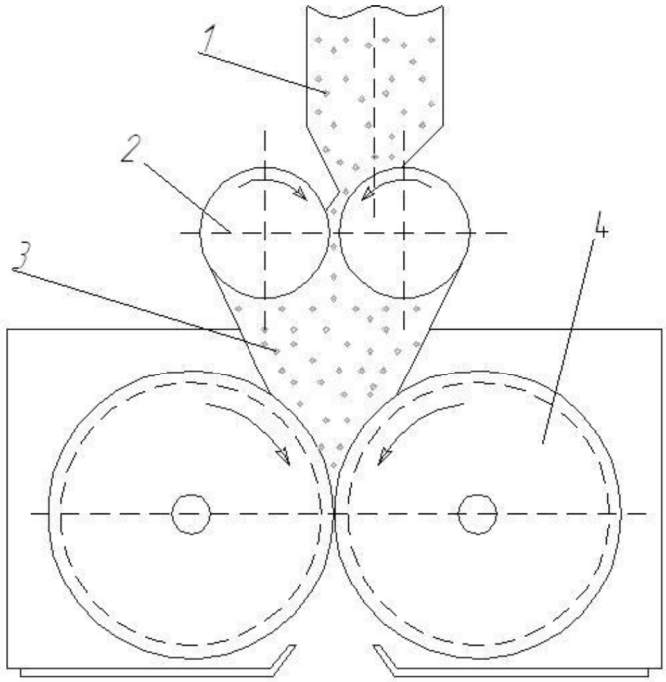


Рисунок 1.4 – Ущільнювач з двома гладкими валками: 1 – завантажувальний бункер, 2 – гладенькі валки, 3 – завантажувальна воронка пресу, 4 – валки

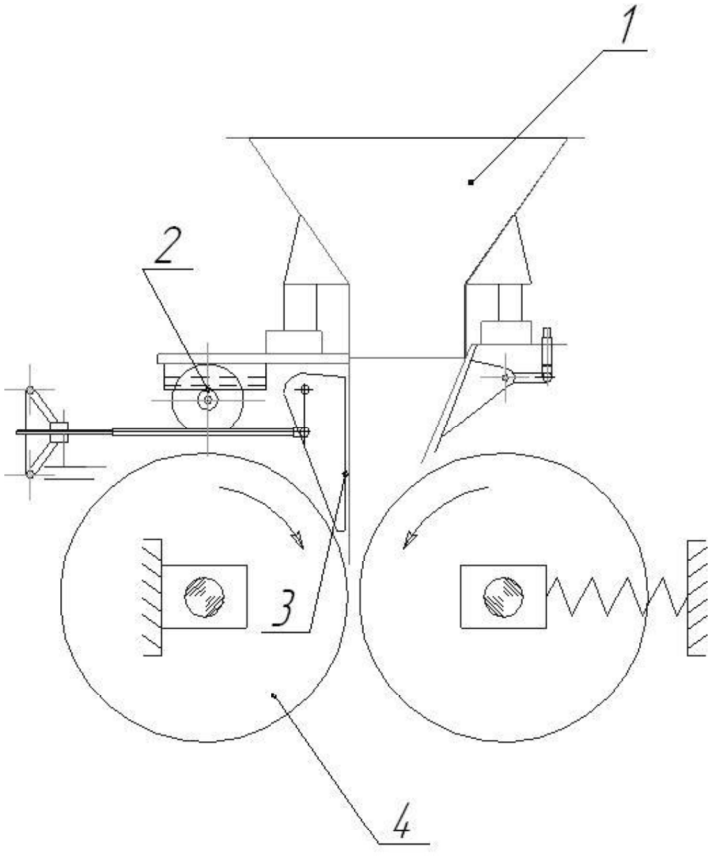


Рисунок 1.5 – Черв’ячний ущільнюючий пристрій: 1 – завантажувальна вирва, 2 – черв’ячна передача, 3 – рухлива ущільнююча щока, 4 - валки

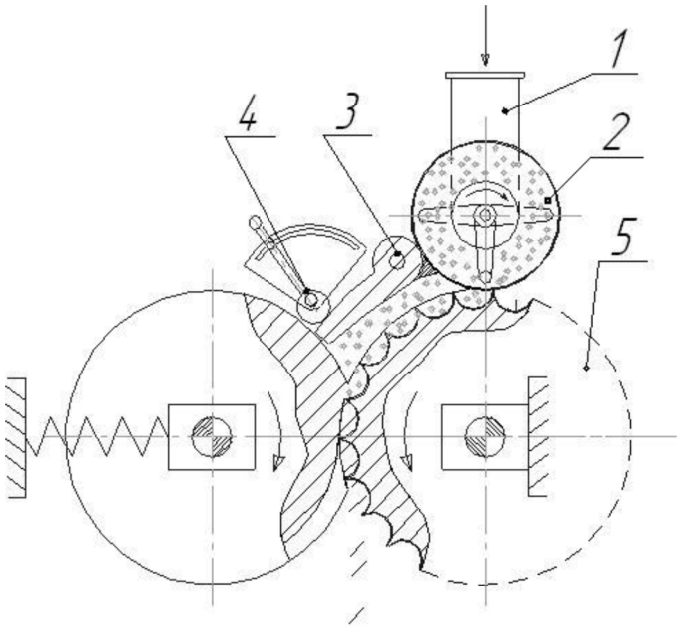


Рисунок 1.6 – Універсальний ущільнювач шихти: 1 – завантажувальна вирва, 2 – центробіжний живильник, 3 – щокове ущільнення, 4 – ексцентрик, 5 - валки

Для виготовлення бандажів валків застосовують низьковуглецеву сталь із цементацією на глибину не менш 1,5 мм. с наступним загартуванням до твердості HRC 55–64. Також застосовують абразивостійкі леговані сталі 40 ХМЛ, Х12Ф1Л, а для пресів гарячого брикетування жаро– і абразивостійкі сталі. Наробіток бандажів становить не менш 30 тис. т. брикетів при холодному брикетуванні й 20 тис. т. – при гарячому.

Найбільші з валкових брикетних пресів мають діаметр валків 1400 мм., ширину валків до 1500 мм. окружну швидкість валків до 1 м/с частоту обертання 4–40 об/хв, продуктивність до 200 т/ч при обсязі брикету 200 см^3. і його щільності 2,5 т/м^3. Потужність привода досягає 670 кВт., маса пресів – до 80 т.

Припустимий зазор між валками – не більше 1,0–1,5 мм.

У сучасних валкових пресах тиск пресування досягає 160 МПа., номінальне зусилля преса 10 МН.

Основним фактором, що визначає умови захвата матеріалу у валкових пресах, є діаметр валків: чим він більше, тим вище тиск пресування. Однак при

цьому росте необхідна потужність привода, зусилля преса, витрата енергії, зношування валків.

Широке використання модифікацій валкових брикетних пресів для підготовки сировини викликані їхньою високою продуктивністю, економічністю енергії, низькими експлуатаційними витратами, порівняно невеликими габаритами, можливістю огрудкування абразивних матеріалів при дуже високих температурах, більших механічних навантаженнях і можливістю одержання брикетів необхідних розмірів, форм.

Валковий прес дозволяє одержати брикети з комплексної сировини, що складаєтья з декількох компонентів. При гарячому брикетуванні надійний в експлуатації.

Основними перевагами валкових пресів є:

– безперервність процесу;

– відсутність динамічних навантажень;

– порівняно мале зношування робочих поверхонь;

– невисока витрата енергії;

– більша продуктивність.

Практичне використання валкових пресів показало, що одним з недоліків є утворення асиметричних брикетів, що виникає в результаті взаємного зсуву напівформ, а міцність зв'язку матеріалу по лінії з'єднання цих брикетів коливається в межах 10–20% міцності іншої маси.

Недолік пресування за принципом прокатки полягає в невеликій тривалості прикладення тиску й дії на брикет руйнуючих зусиль у зоні пружного розширення.

Для підвищення залишкової міцності брикету прагнуть збільшити час знаходження матеріалу під тиском, обмежуючи частоту обертання валків.

Недоліком є й те, що існуючі дозатори й підпресовщики не забезпечують рівномірність об'ємного дозування й розподілу матеріалів по робочій ширині валків, що сприяє підвищеному зношуванню їхньої середньої частини й передчасному виходу з ладу.

Аналіз роботи валкового брикет-преса показав, що найбільш «вузькими» місцями преса є редуктор, відкрита зубчаста передача, бандажі. При потраплянні нерівномірних фракції шихтових материалів в осередки бандажів, змінюється міжосьова відстань відкритої зубчатої передачі, котра призводить до виходу зубів з зачеплення, їхнього зносу та поломці. Відмова в роботі зазначених вузлів приводить до аварійних зупинок процесу брикетування. Також у даному устаткуванні встановлений триступінчастий редуктор типу ГТ, який сприймає великі навантаження й передає значний крутний момент. Оскільки редуктор даного типу сприймає значні зусилля, деталі якого з великою періодичністю виходять із ладу вимагає заміни . Недоліком даного редуктора є великі габаритні розміри та дорогий ремонт.

У вітчизняній практиці рішення з модернізації валкових брикет-пресів в основному направлені не на підвищення надійності вузлів преса, а на збільшення його продуктивності. Так автори [27] пропонують винахід, що належить до галузі чорної металургії й гірничорудної промисловості, зокрема до конструкцій валкових брикетних пресів, і може бути використаним при виробництві брикетів з дрібнофракційних сировинних матеріалів і відходів металургійного виробництва, вугільного дріб'язку й інших матеріалів.

Відомі валкові брикетні преси, у яких на робочій поверхні валків виконані формотворні комірки симетричної форми, що складаються із двох півформ, розташованих на валках, що спрягаються. Комірки можуть мати найрізноманітніші форми – подушкоподібну, овальну, каплеподібну та ін. Недоліком відомих пресів з формотворними комірками симетричної форми є необхідність застосування ряду допоміжних пристроїв для суміщення півкомірок і запобігання розбіжності півформ як у радіальному, так і в осьовому напрямку. При відносному зміщенні формотворних комірок має місце утворення асиметричних брикетів, що може привести до їхнього руйнування на дві половинки.

Найбільш близьким до пристрою, що заявляється, за технічною суттю і результатом, що досягається, є відомий валковий брикетний прес, що містить

привід і встановлені в підшипникових опорах зустрічно обертові валки, робочі поверхні яких виконані у вигляді поперемінних рядів кільцевих жолобів і кільцевих виступів з комірками, відділеними одна від одної гребенями, при цьому гребені з комірками одного валка входять у кільцеві жолоби іншого.

Недоліком відомого пристрою є те, що порожнини на лінії центрів валків, у яких формується брикет, не повністю замкнені, тому що між валками завжди є зазор (0,5-1,0 мм), що забезпечує вільне (без затирань і заклинювань) обертання. Цей зазор може збільшуватися за рахунок пружної деформації елементів преса, вибирання різних технологічних і виконавчих зазорів у вузлах преса, які необхідні для здійснення збирання й визначаються класом точності виготовлення й прийнятою системою допусків. Формування брикету в неповністю замкненому калібрі приводить до втрат матеріалу при брикетуванні у вигляді просипу, а також у результаті утворення облою на поверхні брикету, який обсипається в процесі транспортування.

Задача, вирішувана винаходом, полягає в удосконаленні конструкції валкового преса.

Вирішення поставленої задачі забезпечується тим, що у валковому брикетному пресі, що включає привід і зустрічно обертові валки, робочі поверхні яких виконані у вигляді поперемінних рядів кільцевих жолобів і кільцевих виступів з комірками, відділеними одна від одної гребенями, при цьому гребені із комірками одного валка входять у кільцеві жолоби іншого, центри радіусів, що описують контури комірок і кільцевих жолобів, зміщені відносно один одного на відстань s = 1,0-4,0 мм із утворенням на лінії центрів валків замкнених порожнин для формування брикетів.

Технічний результат, що досягається в результаті реалізації запропонованого пристрою, полягає в скороченні втрат матеріалу при брикетуванні у вигляді просипу й облою за рахунок утворення замкненої порожнини для формування брикету на осі центрів валків.

Порівняння конструкції валкового брикетного преса, що заявляється, з відомим валковим пресом, показує, що вона відрізняється тим, що центри

радіусів, що описують контури комірок і кільцевих жолобів робочих поверхонь валків, зміщені відносно один одного на відстань s = 1,0-4,0 мм із утворенням на лінії центрів валків замкнених порожнин для формування брикетів.

На робочій поверхні валків 1 (рис. 1.7) брикетного преса виконані поперемінні ряди кільцевих жолобів 2 і кільцевих виступів з комірками 3, відділеними одна від одної гребенями. Гребені з комірками одного валка входять у кільцеві жолоби іншого. Радіус R1, що описує контур комірок на 50 гребенях, виконаний із центра О1. Радіус R2, що описує контур западин кільцевих жолобів, виконаний із центра О2. Центр О1 зміщений щодо центра О2 на відстань s = 1,0-4,0 мм.

При збиранні конструкції валкового брикетного преса, що заявляється, встановлюють валки в прес таким чином, що гребені з комірками одного валка входять у кільцеві жолоби іншого, при цьому між валками забезпечують зазор h = 0,5-1,0 мм, який гарантує їхнє вільне (без затирань) обертання. При обертанні валків гребені з комірками входять у кільцеві жолоби й на лінії центрів валків утворюють порожнину, у якій відбувається ущільнення матеріалу й формування брикетів, при цьому за рахунок зміщення на відстань s центрів радіусів, що описують контури комірок і жолобів, усувається можливість витікання матеріалу в зазор між валками.

Суть винаходу полягає в наступному. Для утворення на лінії центрів валків замкненої порожнини для формування брикетів центри радіусів, що описують контури комірок і жолобів, виконаних на робочій поверхні валків, зміщені на відстань s = 1,0-4,0 мм відносно один одного.

Діапазон зміщення центрів радіусів, що описують контури комірок і жолобів відносно один одного, що заявляється, вибраний з наступних міркувань. Випробування конструкції валкового 5 брикетного преса, що заявляється, показало, що при величині зміщення центрів радіусів менше 1,0 мм перекриття стінок комірок і жолобів незначне і перебуває в зоні полів допусків і відхилень розмірів валків преса, при цьому не забезпечується одержання повністю замкнених порожнин на лінії центрів валків. Збільшення зміщення центрів

радіусів на величину більше 4,0 мм недоцільно, тому що практично вже не впливає на втрати матеріалу при брикетуванні, а суміщення робочих поверхонь валків при збиранні преса ускладнюється, зростають вимоги до точності виготовлення.

Отже, при зміщенні центрів радіусів, що описують контури комірок і кільцевих жолобів робочих поверхонь валків відносно один одного на відстань s = 1,0-4,0 мм, досягається перекриття їх стінок, що дозволяє скоротити втрати матеріалу при брикетуванні у вигляді росипу й облою на поверхні брикетів.

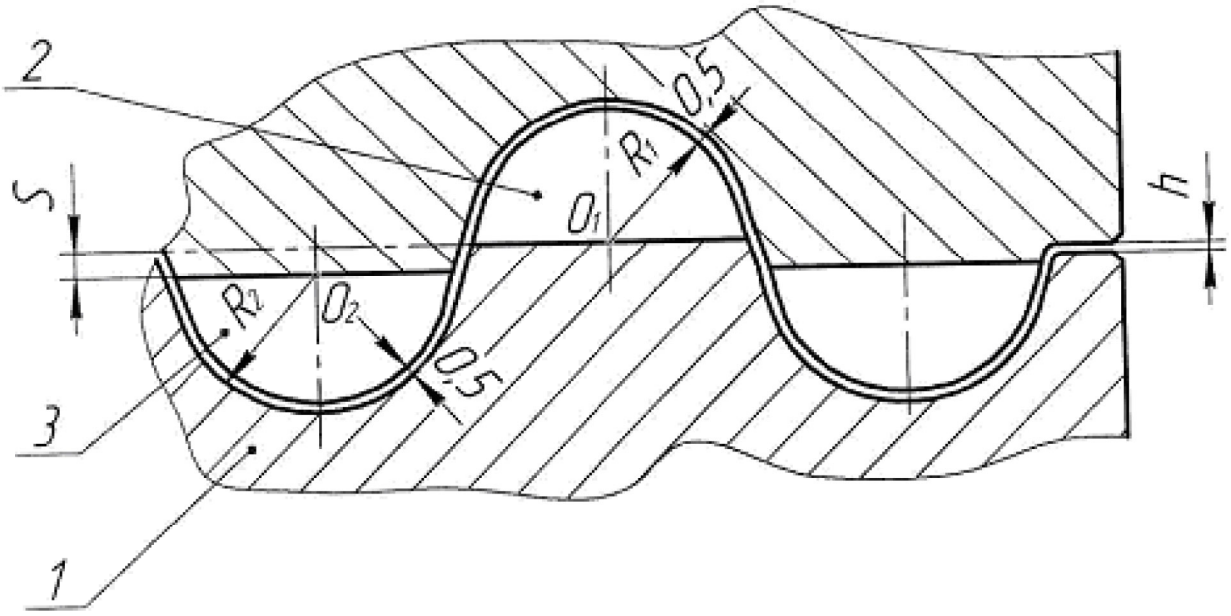


Рисунок 1.7 – Валки брикет-преса (позиції наведено в тексті) [27]

Роботою [28] пропонується конструкція валкових пресів для брикетування дрібнофракційних сировинних матеріалів і промислових відходів, і може бути використаний при виробництві брикетів для доменного, сталеплавильного та феросплавного виробництв, а також паливних та інших брикетів. Запропонована конструкція валкового преса відрізняється тим, що вальниці (подушки) нерухомого валка жорстко закріплені безпосередньо на рамі, вальниці рухомого валка з'єднані з рамою за допомогою шарнірів, а у своїй верхній частині вальниці

шарнірно з'єднані з механізмами притиску валків, при цьому осі шарнірів вальниць рухомого валка і вісь його обертання розташовані в одній вертикальній площині.

На рисунку 1.8 показаний загальний вид запропонованої конструкції валкового преса. Валковий прес містить два зустрічно обертових валки - нерухомий 1 і рухомий 2, змонтовані у вальницях 3 і 4, встановлених на загальній рамі 5 і з'єднаних між собою механізмами притиску валків 6. Вальниці 3 нерухомого валка 1 жорстко закріплені на рамі 5, а вальниці 4 рухомого валка 2 з'єднані з рамою за допомогою шарнірів 7. У верхній частині вальниці 3 і 4 з'єднані між собою механізмами притиску валків 6, установленими на шарнірних осях 8 і 9, при цьому осі шарнірів 7, 8 і вісь обертання рухомого валка 2, розташовані в одній вертикальній площині. Механізм притиску валків 6 складається з набору тарілчастих пружин у металевому корпусі.

За допомогою механізму притиску валків 6 встановлюють задане зусилля пресування (попереднім затягуванням тарілчастих пружин). При перевищенні заданого зусилля пресування, зокрема, при попаданні до міжвалкового простору сторонніх предметів, рухомий валок 2 з вальницями 4 за рахунок шарнірних кріплень 7 і 8 відхиляється від вертикалі, в результаті чого зазор між валками збільшується. Величина зазору, що утвориться, визначається конструкцією й характеристиками механізму притиску валків 6. Після зниження зусилля пресування величина зазору між валками автоматично відновлюється.

Завдяки конструктивному виконанню запропонованого авторами [28] преса, рама виходить спрощеною й полегшеною, та знижує його металоємність і габарити.

Шарнірні кріплення вальниць 4 рухомого валка 2 при розташуванні шарнірів 7 і 8 в одній вертикальній площині з віссю обертання валка 2 забезпечують мінімальне порушення конфігурації зони пресування шихти при повороті рухомих опор і зміні зазору між валками.

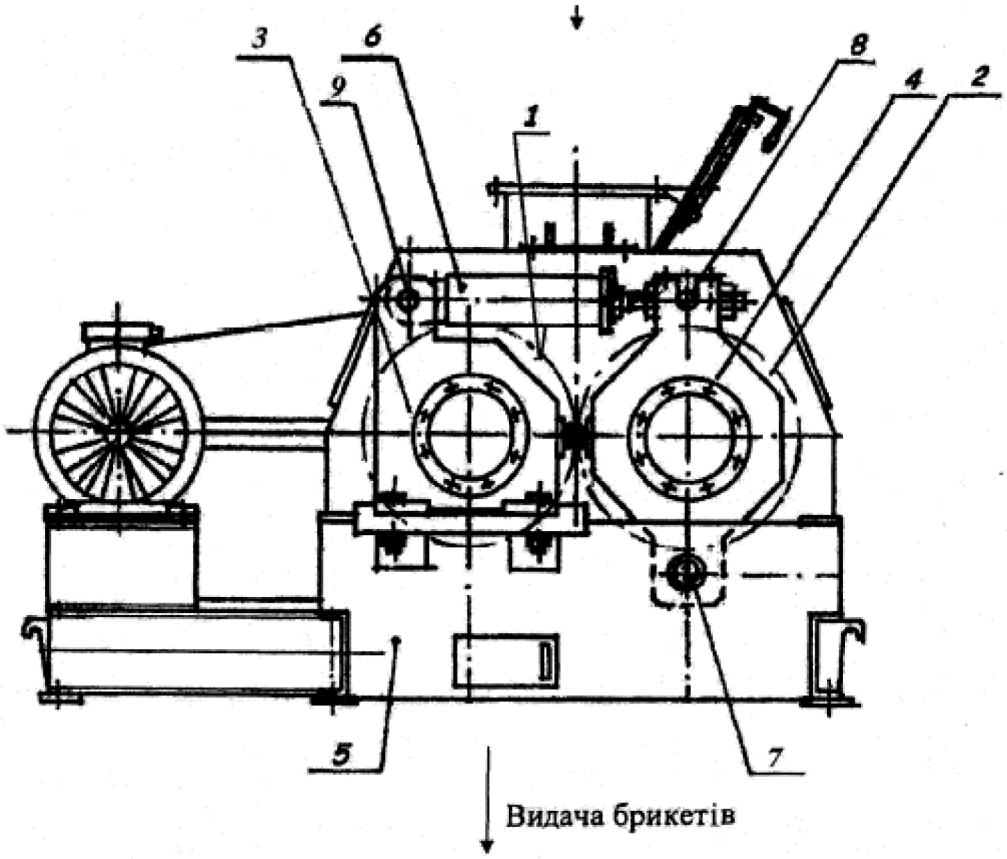


Рисунок 1.8 – Брикет-прес (позиції наведено в тексті) [28]

Для реального виробничого процесу брикетування характерні періодичні відхилення від технологічного режиму (за рахунок зміни вологості матеріалу, розміру його часток, нерівномірного розподілу сполучного та ін.). У результаті зміни силових характеристик процесу зусилля пресування може перевищити задані значення зусилля притиску валків, що призведе до відхилення підшипникових опор рухомого валка й збільшення зазору між валками.

При випробуванні запропонованої конструкції преса, встановлено, що коливання зазору між валками, обумовлені відхиленнями від технологічного режиму, можуть досягати 5-7 мм, а при попаданні великих включень матеріалу, що пресується, і сторонніх предметів - 15-20 мм [28].

Шарнірні кріплення вальниць рухомого валка і їх розміщення в одній вертикальній площині з віссю його обертання дозволяють здійснити практично горизонтальне переміщення валка з мінімальним порушенням умов деформації шихти, стабільності процесу і якості брикетів.

Відсутність верхньої основи й бічних кронштейнів рами забезпечує простоту демонтажу механізму притиску валків і вальниць з установленими в них валками, дає можливість незалежного обслуговування кожного валка окремо, що в значній мірі знижує трудомісткість і тривалість операції по їх ремонту і заміні.

Найбільш приближенно, стосовно виробництва титанових брикетів, вирішення проблеми підвищення енергоефективності валкового брикет-преса, запропоновано патентом на корисну модель [29], з достатньо точним описом її роботи на прикладі вугільного шламу. Корисна модель відноситься до області машинобудування і може бути використана при брикетуванні різних матеріалів, зокрема вугільних шламів.

Запропонований валковий прес забезпечує збільшення міцності брикетів за рахунок того, що опорний та пресувальний валки мають різні приводи й обертаються з різними швидкостями, що приводить до появи зсувних зусиль при брикетуванні.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення валкового преса, у якому за рахунок конструктивних і технологічних особливостей забезпечується підвищення міцності брикетів. Поставлена задача вирішується також тим, що у валковому пресі що вміщує раму, завантажувальний пристрій, опорний, пресувальний й ущільнювальний валки з зубчасто-жолобчастим профілем, опорний і пресувальний валки розміщені в горизонтальній площині на рамі і мають можливість зустрічного обертання, ущільнювальний валок розташований над опорним і пресувальним валками у зоні подачі матеріалу з завантажувального пристрою і має можливість переміщення у вертикальній площині, відповідно до корисної моделі, опорний і пресувальний валки мають різні приводи.

Відповідно до корисної моделі [29], ущільнювальний валок має привод від опорного валка, опорний і пресувальний валки мають можливість переміщення в горизонтальній площині за допомогою підпружинених притискачів. Рама має

ґрати з роздільним виходом у вікна для брикетів і дрібняку. Привод має пристрій натягу ременями з регульованим зусиллям.

На кресленні (рис.1.9) зображений приклад конкретної реалізації валкового преса для брикетування [29], що містить опорний валок 1 і пресувальний валок 2, які розміщені в горизонтальній площині на рамі 3. Над опорним валком 1 розташований ущільнювальний валок 4, завантажувальний пристрій 5. Поверхні опорного валка 1, пресувального валка 2 та ущільнювального валка 4 мають зубчасто-жолобчастий профіль, тобто мають коміркову структуру, де жолоба утворять комірки, а зубці – межу між комірками. Запропонований спосіб брикетування на валковому пресі полягає в тому, що виконують ущільнення опорним валком 1 і ущільнювальним валком 4 та пресування опорним валком 1 і пресувальним валком 2, причому опорний валок 1 і пресувальний валок 2 виконані з можливістю обертання з різними швидкостями.

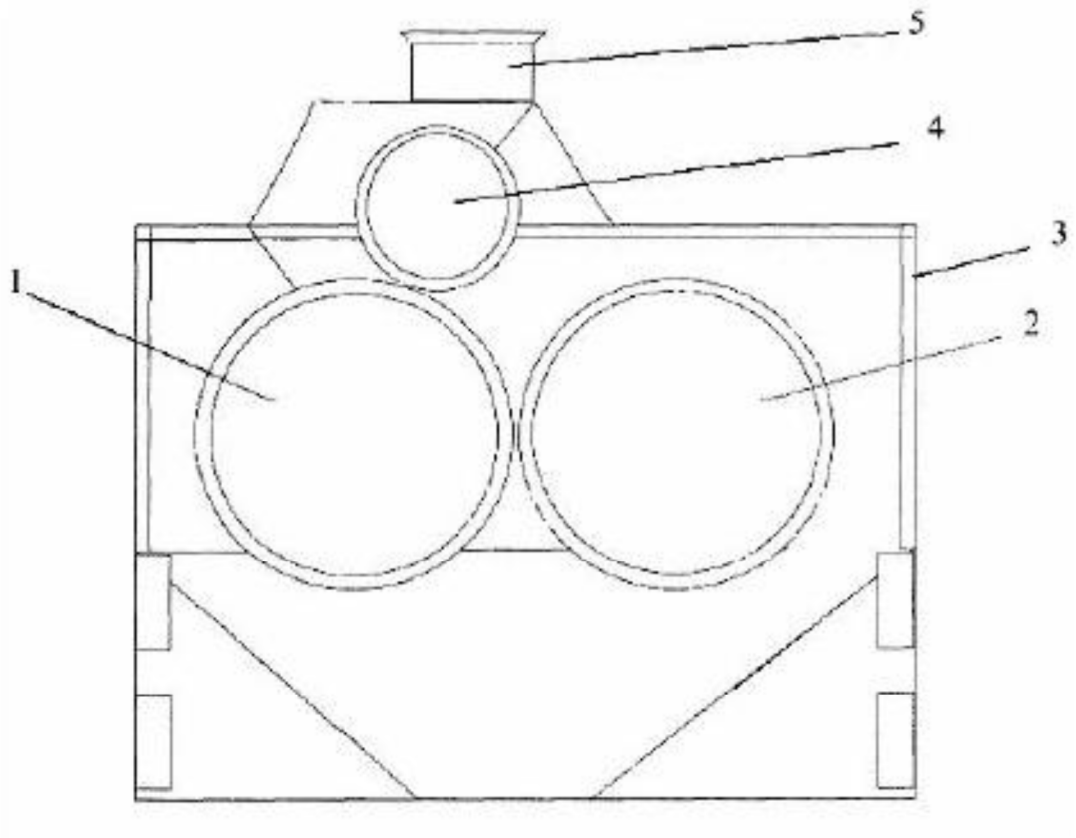


Рисунок 1.9 – Приклад реалізації корисної моделі брикет преса (позиції наведено в тексті) [29]

Вугільний шлам, густина якого приблизно дорівнює 0,6 т/м^3, надходить у валковий прес зверху через завантажувальний пристрій 5. Завдяки обертанню ущільнювального валка 4 через щілину між ним і шиберною заслонкою (на кресленні не зазначена) завжди надходить та кількість вугільного шламу, обсяг якого відповідає висоті кріплення заслонки. Зісковзнувши з ущільнювального валка 4, вугільний шлам падає на опорний валок 1 з висоти, приблизно рівної 200 мм і заповнює його комірки, піднімаючись над їх краями. Вугільний шлам стискується в просторі, що звужується, між ущільнювальним валком 4 і опорним валком 1. Зусилля, необхідне для стиску вугільного шламу між валками, створюють притиски ущільнювального валка 4.

Після ущільнення вугільний шлам повинний мати густину близько 0,9 т/м^3. Зміна густини шламу досягається за рахунок виходу з нього газів при більш щільному укладанні зерен вугільного шламу. Далі вугільний шлам переноситься опорним валком 1 у зону заповнення комірок пресувального валка 2 - зону формування брикетів. Відбувається додаткове ущільнення і зсув усе більш глибоких шарів шламу. Коли вугільний шлам заповнює комірку пресувального валка 2, закінчується формування і починається пресування брикетів. Подальше зближення поверхонь валків приводить до зміни укладання зерен суміші, із брикету видавлюється практично вся газова складова суміші. Далі, у місці найбільшого зближення формуючих поверхонь відбувається пружне деформування зерен брикету. Різні лінійні швидкості опорного валка 1 і брикету на пресувальному валку 2 забезпечують додаткове ущільнення вугільного шламу в брикетах. Під час віддалення опорного валка 1 від пресувального валка 2 пружна r деформація зерен забезпечує самовидалення брикету з пресувального валка 2. Брикет скочується у вікно для виходу з преса.

Якщо вугільний шлам подається у валковий прес нерівномірно -циклічно, то під дією вібрації і гравітації нижні шари вугільного шламу встигнуть злежатися, ущільнитися. При цьому в прес через щілину під шиберною заслонкою буде спочатку циклу надходити більш щільний вугільний шлам. Якщо ущільнення буде значним, то при проходженні вугільного шламу під

ущільнювальним валком 4, виникне зусилля, більше сили попереднього стиску пружин притискачів ущільнювального валка 4. Пружини будуть деформуватися до встановлення рівноваги. Ущільнювальний валок 4 зміститься вгору, зменшуючи відстань до шиберноїзаслінки (на кресленні не зазначена). Відповідно новому положенню ущільнювального валка 4 у прес буде надходити менша кількість вугільного шламу. Аналогічно притиски пресувального валка 2 забезпечують його видхід при надходженні більш щільної суміші в зону пресування. Таким чином, запропонований валковий прес вирішує задачу підвищення міцності брикетів за рахунок конструктивних і технологічних особливостей.

Проаналізувавши вищезгадані технічні рішення можна зробити висновок, що вони направлені на покращення технологічного процесу виготовлення брикетів, а саме збілшення продуктивності та покращення фізико-механічних властивостей власне брикетів.

Для вирішення поставленої задачі покращення роботоздатності валкового брикет-преса, пропонується з метою підвищення надійності та довговічності приводу виконати наступне - з метою поліпшення виробничих характеристик відкритої передачі виконати зміну модуля,а саме змінити модуль зубів з 20 мм на 28 мм, та ширину зубчатого вінця з 210 мм на 230 мм, що зменше зусилля в зачепленні і збільше міжремонтний період.

Для захисту відкритої зубчастої передачі від впливу агресивного середовища, що виражається в швидкому абразивному зношуванні й поломці зубів, виготовити захисний кожух таким чином, щоб фракції шихтових матеріалів не попадали на зуби відкритої передачі. Також виконати заміну матеріалу зубчастої передачі зі зміною режиму термообробки, а саме замінити матеріал відкритої зубчастої передачі виготовленої зі сталі 45 термообробка – поліпшення, на сталь 20Х з ржимом термообробки – цементація, азотування.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок потужності пресування

Розрахунок потужності ведуть, виходячи із припущення про лінійну залежність тиску пресування й розпірного зусилля від висоти осередків над лінією центрів (у межах зони обтиснення): максимальний тиск p і максимальне розпірне зусилля P – мають місце на лінії центрів; нульовий тиск p_i й нульове розпірне зусилля P_i перебувають у точках на верхній границі зони обтиснення.

Для розрахунку обираємо найбільш несприятливий режим роботи пресу, а саме заповнення зони обтиснення п'ятьма осередками кожного ряду, із зусиллям пресування 100 МПа (рис.2.1).

Розпірне зусилля і-тому плечі знаходимо з виразу:

$$P_i = p_i \cdot A_i \cdot q_i \cdot \cos\alpha_i, \qquad (2.1)$$

де p_i – тиск пресування на і-тому плечі;

A_i – площа перетину брикету, перпендикулярна лінії центрів;

q_i – число осередків на і-тому горизонті;

α_i – кут між радіусом розглянутої точки й лінією центрів.

Розрахуємо потужність привода, якщо захват шихти здійснюється п'ятьма осередками.

Виходячи зі схеми зусиль розпірне зусилля P_1=100 МПа; P_2=79,4 МПа; P_3=59,58 МПа; P_4=20,45 МПа; P_5=2,33 МПа.

Площа осередків

$$A_1 = \pi \cdot r \cdot l, \text{ м}^2 \qquad (2.2)$$

$$A_1 = 3{,}14 \cdot 0{,}020 \cdot 0{,}034 = 0{,}00225 \text{м}^2;$$

кут $\alpha_1 = 6{,}42^{\circ}; \alpha_2 = 12{,}84^{\circ}; \alpha_3 = 19{,}26^{\circ}; \alpha_4 = 25{,}68^{\circ}; \alpha_3 = 32{,}1^{\circ}$

Тоді

$$P_1 = 10130000 \cdot 0{,}00225 \cdot 7 \cdot \cos 0 = 159547{,}5\text{Н}.$$

$$P_2 = 8043220 \cdot 0{,}00225 \cdot 7 \cdot \cos 6{,}42 = 125886{,}3\text{Н}.$$

$$P_3 = 6035454 \cdot 0{,}00225 \cdot 7 \cdot \cos 12.84 = 92681{,}4\text{Н}.$$

$$P_4 = 2071585 \cdot 0{,}00225 \cdot 7 \cdot \cos 19{,}26 = 30801{,}3\text{Н}.$$

$$P_5 = 236029 \cdot 0{,}00225 \cdot 7 \cdot \cos 25{,}68 = 3350{,}3\text{Н}.$$

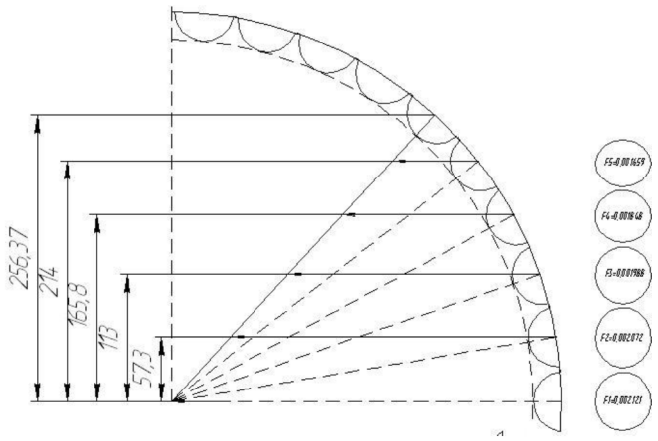


Рисунок 2.1 – Схема дій розпорних зусиль на валок при захваті шихти п'ятьма осередками

Момент M_1 технологічного опору шихти пресуванню для подолання розпірних зусиль на одному валку знайдемо по формулі:

$$M_1 = 2 \cdot z \cdot \sum_{1}^{i} P_i \cdot h_i, \qquad (2.3)$$

де 2 – число валків у парі;

z – число пар валків;

i – число одночасно, пресуємих горизонтів, що пресують осередків;

h_i– плече розпірного зусилля щодо осі валка на і-тому горизонті.

Визначимо M_1:

$$M_1 = 2 \cdot 1 \cdot \left[\left(159548 \cdot 0{,}04335 + 125886{,}3 \cdot 0{,}08505 + 92681{,}4 \cdot 0{,}1275\right) + \left(30801{,}3 \cdot 0{,}1674 + 3350{,}3 \cdot 0{,}2055\right) \right] = 70532{,}2 \text{Н} \cdot \text{м}$$

Момент M_2 від сил тертя у вальницях валків визначимо, зневажаючи силою ваги валків, що набагато менша розпірних зусиль:

$$M_2 = 2 \cdot z \cdot f \cdot r \cdot \sum_1^i \frac{P_i}{\cos \alpha}, \text{Нм} \qquad (2.4)$$

де f – наведений коефіцієнт тертя у вальницях валків, f=0,03

r – середній радіус вальниці. r = 250 мм.

$$M_2 = 2 \cdot 1 \cdot 0{,}03 \cdot 0{,}25 \cdot \left[\frac{159548}{\cos 0} + \frac{125886{,}3}{\cos 6{,}42} + \frac{92681{,}4}{\cos 12{,}84} + \frac{30801{,}3}{\cos 19{,}26} + \frac{3350{,}3}{\cos 25{,}68} \right] =$$

$$= 6264{,}5 \text{Н} \cdot \text{м}$$

Остаточна потужність привода преса розраховується по формулі:

$$N = \frac{(M_1 + M_2) \cdot \omega}{1000 \cdot \eta} \cdot k, \text{кВт} \qquad (2.5)$$

де k – коефіцієнт запасу потужності (1,2 – 1,5);

η – ККД привода:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 = 0{,}95 \cdot 0{,}96 \cdot 0{,}99 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}99 = 0{,}85, \qquad (2.6)$$

де η_1 – ККД клиноремінної передачі;

η_2 – ККД редуктора;

η_3 – ККД муфти;

η_4 – ККД відкритої зубчастої передачі;

η_5 – ККД вальниць.

Тоді потужність дорівнює:

$$N = \frac{(70532{,}2 + 6264{,}5)\cdot 0{,}29}{1000\cdot 0{,}85}\cdot 1{,}4 = 36{,}68\text{кВт}$$

Оскільки максимально допустимий радіус зносу осередків бандажа дорівнює 25 мм, звісно змінюється площа, що производить до зміни потужності на приводному валу преса. Тому потужність на приводному валу необхідно розрахувати для максимальної площі осередків:

$$A_2 = 3{,}14 \cdot 0{,}025 \cdot 0{,}034 = 0{,}002669\text{м}^2;$$

кут $\alpha_1 = 6{,}42^{\circ}; \alpha_2 = 12{,}84^{\circ}; \alpha_3 = 19{,}26^{\circ}; \alpha_4 = 25{,}68^{\circ}; \alpha_3 = 32{,}1^{\circ}$

$$P = 10130000 \cdot 0{,}00267 \cdot 7 \cdot \cos 0 = 189329{,}7\text{Н}$$

$$P_2 = 8043220 \cdot 0{,}00267 \cdot 7 \cdot \cos 6{,}42 = 149385\text{Н}$$

$$P_3 = 6035454 \cdot 0{,}00267 \cdot 7 \cdot \cos 12{,}84 = 109981{,}9\text{Н}$$

$$P_4 = 2071585 \cdot 0{,}00267 \cdot 7 \cdot \cos 19{,}26 = 36551\text{Н}$$

$$P_5 = 236029 \cdot 0{,}00267 \cdot 7 \cdot \cos 25{,}68 = 3975{,}7\text{Н}$$

Тоді момент технологічного опору шихти пресуванню для подолання розпірних зусиль на одному валку дорівнює:

$$M_1 = 2 \cdot 1 \cdot ((189329{,}7 \cdot 0{,}04335 + 149385 \cdot 0{,}08505 + 109981{,}9 \cdot 0{,}1275) + (36551 \cdot 0{,}1674 + 3975{,}7 \cdot 0{,}2055)) = 83881 \text{Н} \cdot \text{м}$$

Момент від сил тертя у вальницях валків:

$$M_2 = 2 \cdot 1 \cdot 0{,}03 \cdot 0{,}25 \cdot \left[\frac{189329{,}7}{\cos 0} + \frac{149385}{\cos 6{,}42} + \frac{109981{,}9}{\cos 12{,}84} + \frac{36551}{\cos 19{,}26} + \frac{3975{,}7}{\cos 25{,}68} \right] = 7433{,}8 \text{Н} \cdot \text{м}$$

Остаточно потужність:

$$N = \frac{(83881 + 7433{,}8) \cdot 0{,}29}{1000 \cdot 0{,}85} \cdot 1{,}4 = 43{,}61 \text{кВт}$$

0

Загальне передавальне число приводу:

$$U_{пр} = U_{рем} \cdot U_р, \qquad (2.7)$$

де $U_{рем}$ – передавальне число ремінної передачі, $U_{рем}$=2;

$U_р$ – передавальне число редуктора, $U_р$=176,4;

$$U_{пр} = 2 \cdot 176{,}4 = 352{,}8.$$

Потужність на валу електроприводу преса:

$$N_{дв.} = \frac{N_{прив}}{\eta_{рем} \cdot \eta_р}, \qquad (2.8)$$

де $N_{прив}$ – потужність на валу преса, $N_{прив}$=43,61 кВт

$\eta_{рем}$ – ККД пасової передачі, $\eta_{рем}$=0,95;

$\eta_{Р}$ – ККД редуктора, $\eta_{Р}$=0,87;

$$N_{дв.} = \frac{43,61}{0,95 \cdot 0,87} = 52,76 кВт.$$

Вибираем електродвигун тип 4АС250М6У3 потужністю 55 кВт, частота обертання n=980 хв$^{-1}$.

2.2 Розрахунок найбільш навантажених деталей приводу

2.2.1 Розрахунок відкритої зубчатої передачі

Для розрахунку відкритої зубчатої передачі скористаємося методиками наведеними в [30-32].

Зачеплення евольвентне циліндричне з прямими зубами без зміщення визначимо ділильний діаметр шестерні:

$$d_{д1} = m \cdot Z_1, мм \qquad (2.9)$$

де Z_1 – число зубів шестерні, Z_1=35;

m – модуль, m=20 мм;

$$d_{д1} = 20 \cdot 35 = 700мм$$

Визначимо ділильний діаметр колеса:

$$d_{д2} = m \cdot Z_2, мм \qquad (2.10)$$

де Z_2 – число зубів колеса, Z_2=35;

m – модуль, m=20 мм;

$$d_{д2} = 20 \cdot 35 = 700мм$$

Діаметр вершин зубів шестерні:

$$d_{a1} = d_{д1} + 2m, \text{ мм} \qquad (2.11)$$

$d_{д1}$ – ділильний діаметр шестерні, $d_{д1}$ = 700 мм;

$$d_{a1} = 700 + 2 \cdot 20 = 740мм.$$

Діаметр вершин зубів колеса:

$$d_{a2} = d_{д2} + 2m, \text{ мм} \qquad (2.12)$$

$d_{д2}$ – ділильний діаметр колеса, $d_{д2}$= 700 мм;

$$d_{a2} = 700 + 2 \cdot 20 = 740мм.$$

Діаметр западин шестерні:

$$d_{f1} = d_{д1} - 2 \cdot (c + m), \text{ мм} \qquad (2.13)$$

c – радіальний зазор;

$$c = 0{,}25 \cdot m = 0{,}25 \cdot 20 = 5мм \qquad (2.14)$$

Тоді:

$$d_{f1} = 700 - 2 \cdot (5 + 20) = 650мм.$$

Діаметр западин колеса:

$$d_{f2} = d_{д2} - 2 \cdot (c + m), \text{ мм} \quad (2.15)$$

$$d_{f1} = 700 - 2 \cdot (5 + 20) = 650\text{мм}.$$

Постійна хорди шестерні і колеса:

$$\bar{S}_{c1} = \bar{S}_{c2} = 1{,}387 \cdot m = 1{,}387 \cdot 20 = 27{,}74\text{мм} \quad (2.16)$$

Висота до постійної хорди шестерні і колеса:

$$\overline{h_{c1}} = \overline{h_{c2}} = 0{,}748 \cdot m = 0{,}748 \cdot 20 = 14{,}96\text{мм} \quad (2.17)$$

При визначенні зусиль в зачепленні (рисунок 2.2) нехтуємо силами тертя, викликаними ковзанням профілів, розподілене навантаження замінюємо зосередженою силою, прикладеною в середині зубчастого вінця. Насправді із-за нерівномірного розподілу навантаження по ширині зубчастого вінця результуюча сила зміщена від середини зубчастого вінця. Проте це зміщення не перевищує 1/6 b_w і їм можна нехтувати при визначенні зусиль в опорах і розрахунку валів на міцність.

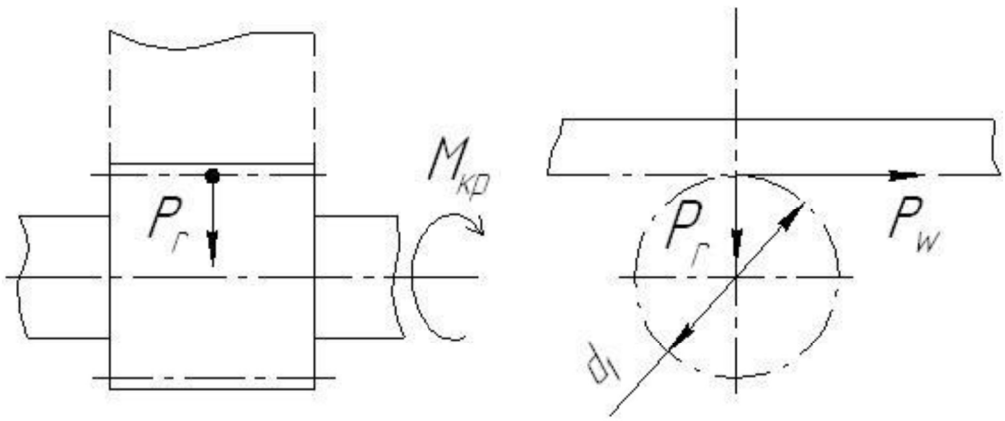


Рисунок 2.2 – Схема зусиль в зубчастому зачепленні

Окружне зусилля:

$$P_w = \frac{2 \cdot M_3}{d_{д1}}, \text{ кВт} \qquad (2.18)$$

де M_3 – крутний момент на провідному валу (max), M_3=158 кН·м;

$d_{д1}$ – діаметр ділильного кола шестерні, $d_{д1}$ =700 мм;

$$P_w = \frac{2 \cdot 158}{0,7} = 451\text{кН}.$$

Радіальне зусилля:

$$P_r = P_w \cdot \operatorname{tg}\alpha = 451 \cdot \operatorname{tg}20^o = 32 \cdot 0,364 = 164 \text{ кН} . \qquad (2.19)$$

де α – кут зачеплення, α=20º, tg20º=0,364;

Осьове зусилля:

$$P_a = 0 .$$

Перевірочний розрахунок на контактну втому

$$\sigma_H = Z_M \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \cdot \sqrt{(\omega_{Ht} \div d_1)} \cdot ((u \pm 1) \div u) \le [\sigma_H], \text{ МПа} \qquad (2.20)$$

де Z_M = 275 – коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалів;

Z_H=1.77·cos β = 1.77· cos 0 = 1.77 – коефіцієнт форми спряжених поверхонь;

$Z_\varepsilon = \sqrt{(4 - \varepsilon_\alpha)} \div 3 = \sqrt{(4 - 1.697)} \div 3 = 0.876$ – коефіцієнт сумарної довжини контактних ліній;

ω_{Ht} – питома розрахункова колова сила, що визначається за формулою

$$\omega_{Ht} = (F_{Ht} \div b) \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{Hv} = (451428 \div 210) \cdot 1.13 \cdot 1.1 \cdot 1.04 = 2778.9 \text{ Н}, \qquad (2.21)$$

де $K_{H\alpha}$ – коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження між зубцями =1,13

$K_{H\beta}$ – коефіцієнт нерівномірності навантаження = 1.1;

K_{Hv} – Коефіцієнт динамічного навантаження = 1.04;

$$\sigma_H = 275 \cdot 1{,}77 \cdot 0{,}876 \cdot \sqrt{(2779 \div 700 \cdot 2 \div 1)} = 1201{,}5 \text{ МПа.}$$

$$[\sigma_H] = (G_{H\lim b} \div S_H) \cdot Z_R \cdot Z_v \cdot K_{HL} \qquad (2.22)$$

$$[\sigma_H] = (23 \cdot 55 \div 1{,}2) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1{,}8 = 1897{,}5 \quad \text{МПа.}$$

Умова виконується.

Умова витривалості зубців на втому при згині

$$\sigma_{F1} = Y_F \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \cdot \omega_{aE} \div m_n \le [\sigma_{F1}], \qquad (2.23)$$

де Y_F – коефіцієнт форми зубів = 3,75;

Y_ε – коефіцієнт перекриття зубів = 1;

Y_β – коефіцієнт нахилу зубців = 1 для прямозубих передач;

$$\omega_{Ft} = (F_{Ft} \div b) \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{Fv} = (451428 \div 210) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1{,}04 = 2236 \text{ Н} \qquad (2.24)$$

де $K_{F\alpha} = (4 + (\varepsilon_\alpha - 1) \cdot (n_{cn} \cdot 5)) \div (4\varepsilon_\alpha) = (4 + (1{,}624 - 1) \cdot (9 - 5)) \div (4 \cdot 1{,}624) = 1$ – коефіцієнт нерівномірного розподілу навантаження;

$K_{F\beta} = 1$ – коефіцієнт нерівномірності навантаження по ширині вінця;

$K_{Fv} = 1{,}04$ - коефіцієнт динамічного навантаження;

тоді

$$\sigma_{F1} = 3{,}9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2236 \div 20 = 419{,}25 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_{F1}] = (\sigma_{F\lim b} \div [S_F]) \cdot K_{Fcj} \cdot K_{FLj} \qquad (2.25)$$

$$[\sigma_F] = (800 \div 1{,}75) \cdot 1 \cdot 1 = 457 \text{ МПа}.$$

Умова виконується.

2.2.2 Розрахунок веденого вала

Розрахункова схема до знаходження моментів, що діють на вал наведена на рисунку 2.3

Горизонтальна площина:

Перенесемо окружне зусилля P_w і силу пресування Т на вісь балки і додамо діючий момент $M_{кр}$ і реактивний $R_{Мкр}$, що крутить [33, 34].

Складемо рівняння рівноваги і визначимо реакції в опорах А і В.

$$\Sigma M_{(A)} = 0,$$

$$P_W \cdot l_1 + T \cdot l_2 - R_{BГ} \cdot (l_2 + l_3) = 0, \quad (2.26)$$

Звідки:

$$R_{BГ} = \frac{P_W \cdot l_1 + T \cdot l_2}{(l_2 + l_3)}, \text{ кН} \quad (2.27)$$

$$R_{ВГ} = \frac{451 \cdot 0{,}325 + 451 \cdot 0{,}365}{(0{,}365 + 0{,}365)} = 426 \text{кН}.$$

$$\Sigma F = 0,$$

$$P_W - R_{AГ} - T + R_{BГ} = 0. \quad (2.28)$$

Звідки:

$$R_{AГ} = P_W - T + R_{BГ} = 0, \quad (2.29)$$

$$R_{AГ} = 451 - 451 + 426 = 426кН\ .$$

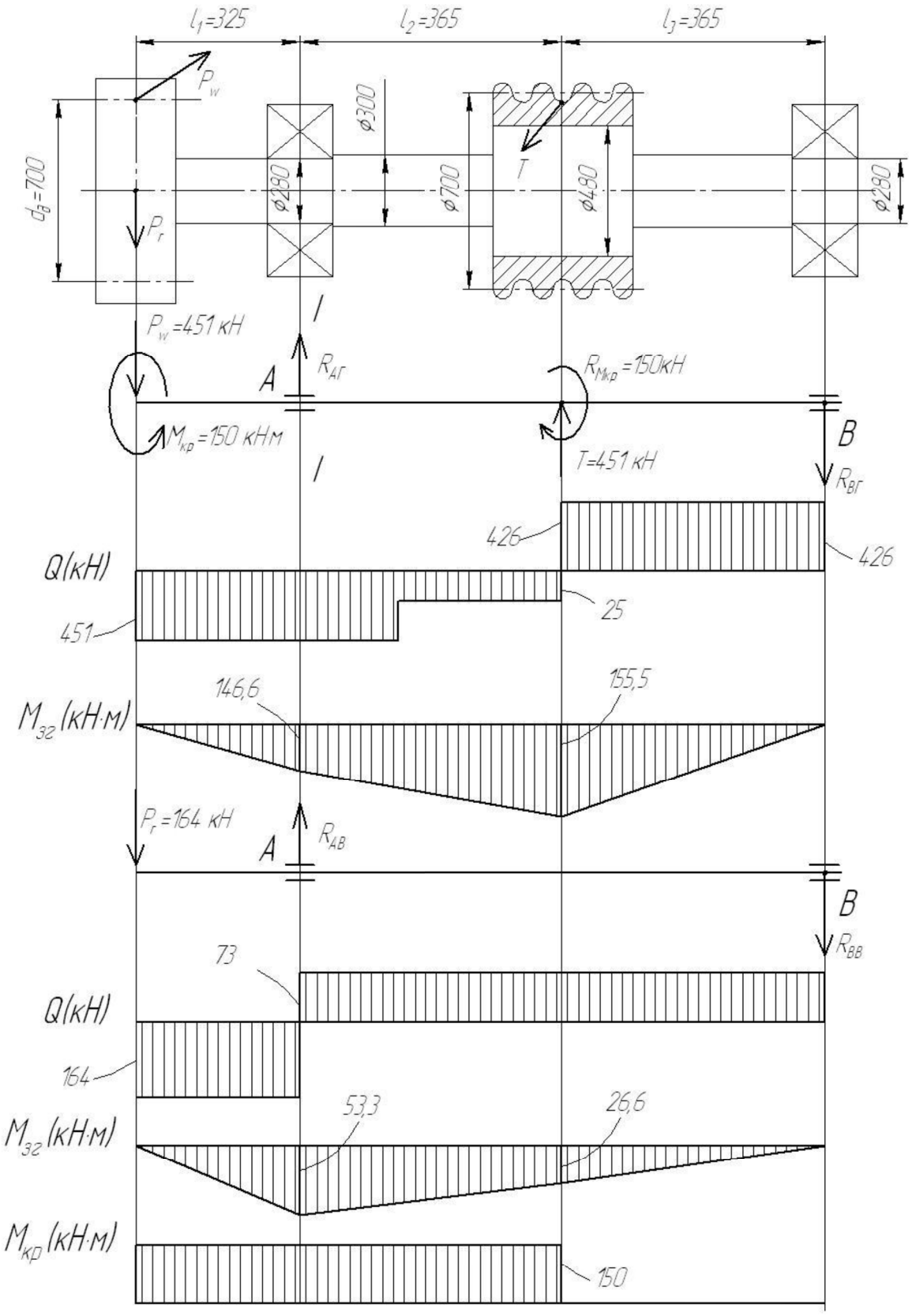


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема і епюра поперечних сил і моментів, що вигинають та крутять

2) Вертикальна площина:

$$\Sigma M_{(A)} = 0,$$

$$P_r \cdot l_1 - R_{BB} \cdot (l_2 + l_3) = 0, \quad (2.30)$$

Звідки:

$$R_{BB} = \frac{P_r \cdot l_1}{(l_2 + l_3)}, \text{ кН} \quad (2.31)$$

$$R_{BB} = \frac{164 \cdot 0{,}325}{(0{,}365 + 0{,}365)} = 73кН.$$

$$\Sigma F = 0,$$

$$P_r - R_{AB} + R_{BB} = 0. \quad (2.32)$$

Звідки:

$$R_{AB} = P_r + R_{BB} = 0, \quad (2.33)$$

$$R_{AB} = 164 + 73 = 237кН.$$

Сумарні реакції в опорах:

1) Горизонтальна площина:

$$R_A = \sqrt{(R_{AГ})^2 + (R_{AB})^2}, \text{ кН} \quad (2.34)$$

$$R_A = \sqrt{426^2 + 237^2} = 488кН.$$

2) Вертикальна площина:

$$R_B = \sqrt{(R_{BГ})^2 + (R_{BB})^2}\ , \text{кН} \qquad (2.35)$$

$$R_B = \sqrt{426^2 + 73^2} = 432кН$$

Сумарні поперечні сили:

1) Горизонтальна площина:

$$Q_A = \sqrt{(Q_{AГ})^2 + (Q_{AB})^2}\ , \text{кН} \qquad (2.36)$$

$$Q_A = \sqrt{451^2 + 237^2} = 510кН$$

2) Вертикальна площина:

$$Q_B = \sqrt{(Q_{BГ})^2 + (Q_{BB})^2}\ , \text{кН} \qquad (2.37)$$

$$Q_B = \sqrt{426^2 + 73^2} = 432кН\ .$$

Сумарні моменти, що вигинають:

На опорі А:

$$M_{зг} = \sqrt{(M_{згГ})^2 + (M_{згВ})^2}\ , \text{кНм} \qquad (2.38)$$

$$\text{M}_{\text{зг}} = \sqrt{146{,}6^2 + 53{,}3^2} = 157\text{кНм}\ .$$

На бандажі:

$$M_{зг} = \sqrt{(M_{згГ})^2 + (M_{згВ})^2}\ , \text{кН} \qquad (2.39)$$

$$M_{зг} = \sqrt{155,5^2 + 26,6^2} = 157 кНм.$$

Звідси видно, що небезпечним перетином валу на опорі А (перетин I - I).

По теорії найбільшого дотичного напруження визначимо сумарний момент:

$$M_{\Sigma} = \sqrt{M_{зг}^2 + M_{кр}^2}, кН \qquad (2.40)$$

$$M_{\Sigma} = \sqrt{157^2 + 150^2} = 217 кН \cdot м.$$

Напруження в небезпечному перетині (перетин I-I):

$$\sigma = \frac{Q_I}{F_I} + \frac{M_{\Sigma}}{W_I} \le [\sigma]_{зг}, МПа \qquad (2.41)$$

де W_I – момент опору вигину в небезпечному перетині I-I;

F_I – площа поперечного перетину валу;

Полярний момент опору вигину в небезпечному перетині I-I:

$$W_I = 0,1 \cdot (d_I)^3 = 0,1 \cdot 0,28^3 = 0,0022 м^3, \qquad (2.42)$$

Площа поперечного перетину валу в перетині I-I:

$$F_I = \frac{\pi \cdot d_I^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,28^2}{4} = 0,06 м^2, \qquad (2.43)$$

Тоді:

$$\sigma_{I} = \frac{510}{0,06} + \frac{217}{0,0022} = 107352 \frac{кН}{м^2} = 107,352 МПа \leq [\sigma]_{зг} = 310 МПа .$$

Матеріал вала – сталь 40ХН. Термообробка – гартування в маслі і відпускання на твердість HRC 37 … 41.

Проаналізувавши виконані розрахунки можна зробити висновок, що розміри вала, матеріал і термообробка задовольняють умові міцності.

2.2.3 Розрахунок та вибір вальниць брикет-пресу

З огляду на конструктивні особливості пресу та діючі навантаження вибираємо радіальні дворядні роликові вальниці №3656 d=280 мм, D=580 мм, B=175 мм.

C – динамічна вантажопідйомність, C=2000 кН;

C_0 – статистична вантажопідйомність, C_0=2320 кН;

n – допустиме число обертів, n = 500 $хв^{-1}$.

Номінальна довговічність вальниць в мільйонах обертів, [35]:

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^{\rho}, \qquad (2.44)$$

де C – динамічна вантажопідйомність, C=2000 кН;

P – еквівалентне динамічне навантаження;

ρ – статичний показник (для роликових вальниць ρ=3,33);

Еквівалентне динамічне навантаження, з врахуванням коефіцієнта безпеки $К_σ$ і температурного коефіцієнта $К_т$ (при температурі вальниці понад 100°C) для роликових вальниць:

$$P = X \cdot R_A \cdot К_σ \cdot К_т , \qquad (2.45)$$

де X – коефіцієнт радіального навантаження, X=0,4;

$К_σ$ – коефіцієнт безпеки, $К_σ$=1,2;

$К_т$ – температурний коефіцієнт, $К_т$=1,05;

$$P=0,4\cdot 452\cdot 1,2\cdot 1,05=227 \text{ кН}.$$

Тоді:

$$L=\left(\frac{2000}{227}\right)^{3,33}=1402\cdot 10^5 \text{ обертів}.$$

Номінальний термін служби вальниці в годинах:

$$L_h=\frac{10^6\cdot L}{60\cdot n}, \qquad (2.46)$$

де n – частота обертання вальниці, n=2,75 хв.$^{-1}$;

Тоді:

$$L_h=\frac{1402\cdot 10^{11}}{60\cdot 2,75}=8\cdot 10^9 \text{ год.}$$

З огляду на виробничі вимоги вибрані вальниці задовольняють діючим навантаженням, швидкості обертання і довговічності.

2.2.4 Перевірка шпоночного з’єднання

У даному з'єднанні момент, що крутить $М_{кр}$=152 кН·м передається від тихохідного валу редуктора на вал колеса за допомогою двох призматичних шпонок 50х28 по [36]. Схему до розрахунку шпоночного з’єднання та його параметри на рисунку 2.4 та в таблиці 2.1 відповідно. Робочі грані перевіряємо на зминання.

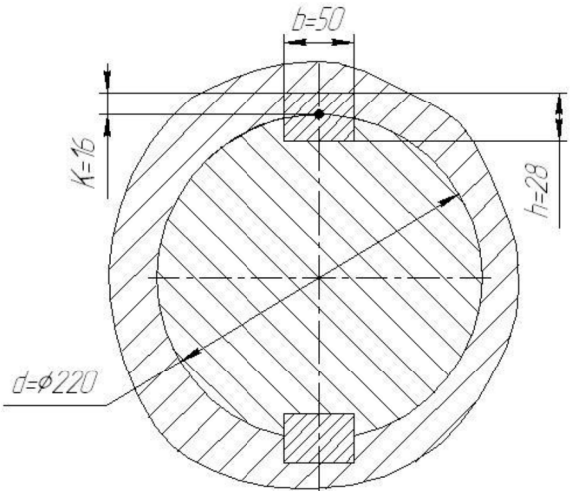


Рисунок 2.4 – Схема до розрахунку шпоночного з’єднання

Таблиця 2.1 – Параметри шпоночного з′єднання

Вал	Ділянка	Діаметр,мм	Крутний момент, Нм	Разміри шпонки,мм	
				b×h×l	K
З′єднання з муфтою	1	220	158000	50×28×190	16
З′єднання з шестерней	2	240	158000	50×28×190	16
З′єднання з бандажами	3	365	158000	50×28×190	16

З умови міцності на зминання:

$$M_{\max.} = 0{,}5 \cdot d \cdot K \cdot l \cdot [\sigma]_{зм}, \qquad (2.47)$$

де M_{max} – найбільший допустимий крутний момент, Н·мм;

l – робоча довжина шпонки, мм;

d – діаметр вала, мм;

К – виступ шпонки від шпоночного паза, мм;

$[\sigma]_{зм}$ – допустиме напруження шпонки на зминання, $[\sigma]_{зм}$=300 МПа;

$M_{раз.}$ – крутний момент, $M_{раз}$=158000 Н·м;

З’єднання з муфтою, діаметр валу d=220 мм;

$$158000 \le 0{,}75 \cdot 220 \cdot 16{,}8 \cdot 190 \cdot 300 = 158004 \text{ Н·м}$$

Умова виконується, але з міркувань безпеки встановлюємо дві шпонки.

Для з'єднання з шестернею вибираємо матеріал шпонки сталь 40 Х, діаметр валу d=240 мм;

$$158000 \leq 0.5 \cdot 240 \cdot 16{,}8 \cdot 190 \cdot 420 = 160878 \text{Н·м}$$

з′єднання з бандажами, діаметр валу d=365 мм;

$$158000 \leq 0.5 \cdot 365 \cdot 16{,}8 \cdot 190 \cdot 300 = 174162 \text{Н·м}$$

Умова виконується

Умова міцності на зрізання:

$$M_{рам} = 0{,}5 \cdot (d + К) \cdot в \cdot 1 \cdot [\tau]_{зр}, \text{ Н·м} \qquad (2.48)$$

де $[\tau]_{зр}$ – допускаєме напруження матеріалу шпонки на зріз, $[\tau]_{зр}$=160 МПа;

з'єднання з муфтою

$$158000 \leq 0.75 \cdot (220+16{,}8) \cdot 190 \cdot 50 \cdot 300 = 506160 \text{ Н·м}$$

з′єднання з шестернею:

$$158000 \leq 0.5 \cdot (240+16{,}8) \cdot 190 \cdot 50 \cdot 420 = 813960 \text{ Н·м}$$

З'єднання з бандажами

$$158000 \leq 0{,}5 \cdot (365+16{,}8) \cdot 190 \cdot 50 \cdot 420 = 544065 \text{ Н·м}$$

Умова виконується. Отже прийняті розміри шпонок задовольняють умові міцності.

3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Обладнання для контролю навантажень на привод валкового пресу

Питання контролю технологічних навантажень при роботі будь якого обладнання є важливим, що підтверджується науковими роботами вчених діагностів з середини минулого сторіччя і по сьогодення [37-40]

В розділі 2.1 виконано розрахунок технологічних навантажень на привод валкового пресу при максимальному зусиллі пресування 100 МПа, тому постає важливим питанням контролю цього параметру. Таке зусилля створюється максимальним крутним моментом на валу редуктора близько 92 000 Нм. Для контролю такого крутного моменту якнайкраще підходять датчики фланцевого типу серії TF [41].

Компактне, безпідшипникове, необслуговуєме виконання датчика крутного момента фланцевого типа серії TF (рис.3.1) від Magtrol має багато суттєвих переваг при вимірюванні крутного момента [41].



Рисунок 3.1 – Датчики крутного моменту серії TF 220

Основа датчика з високою крутильною жорсткістю кріпиться безпосередньо на вал або фланець, уникаючи використання муфти з однієї сторони. Це дозволяє легко інтегрувати його в систему, зменшити довжину випробувального стенда й знизити витрати.

Заснована на тензометричній технології, телеметрична система датчика TF дає можливість передавати високоточний сигнал. Підсилювач сигналу, установлений у вимірювальному фланці, модулює його у високочастотний та індуктивно (через ВЧ передавач) передає в перетворювач. У перетворювачі цифровий сигнал моменту переходить в аналоговий вихідний сигнал ± 10 В. Частота обертання може бути обмірювана й перетворена у вихідний сигнал TTL при наявності опції даного виміру.

Безконтактне виконання датчика TF допускає зазор до 5 мм (звичайно 1-3 мм) між роторною антеною й ВЧ передавачем, що робить виявлення сигналу нечутливим до будь-яких осьових і радіальних зсувів. Ще одна перевага такої вимірювальної системи моменту полягає в нечутливості до інтерференції сигналу завдяки тому факту, що, на відміну від інших подібних виконань, антена не має потреби в обмотці навколо датчика. На додаток, захисний екран може бути встановлений поруч із датчиком без впливу на сигнал.

Характеристики

1. Комплект датчика серії TF включає:

- вимірювальний фланець з підсилювачем сигналу;
- ВЧ передатчик;
- перетворювач;
- коаксіальний кабель (4 метра).

2. Безконтактна передача сигналу — через телеметрію
3. Діапазон крутного моменту — від 50 Н·м до 160000 Н·м
4. Висока точність — від 0,1% до 0,25%
5. Припустиме перевантаження — до 200 %
6. Межа перевантаження — 400 %

7.	Виконання	Безпідшипниковий, необслуговуємий
8.	Клас захисту	IP42 (опційно IP54)
9.	Напруга живлення	24 В
10.	Вимір частоти обертання	Датчик частоти обертання
11.	Високотемпературне виконання	до 125°C

Датчики крутного моменту серії TF використовуютья вимірювання як статичних, так і динамічних моментів на стаціонарному або обертовому валах. В основному вони використовуються в випробувальних стендах двигунів внутрішнього згоряння, електромоторів і коробок передач; а також можуть бути встановлені безпосередньо в ланцюг для моніторингу крутного моменту трансмісій, силових приводів, вітрогенераторів, газових турбін, суднових двигунів і т.д. Схему підключення системи з використанням датчику крутного моменту серії TF та його основні габаритні розміри наведено на рисунках 3.2 та 3.3 відповідно.

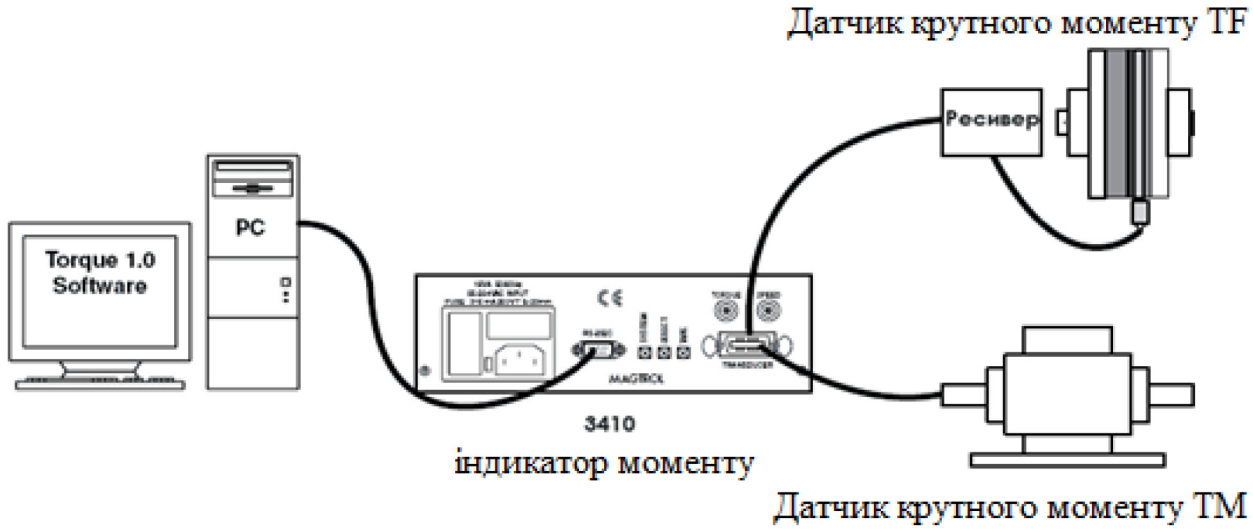


Рисунок 3.2 – Схема системи підключення датчика крутного моменту

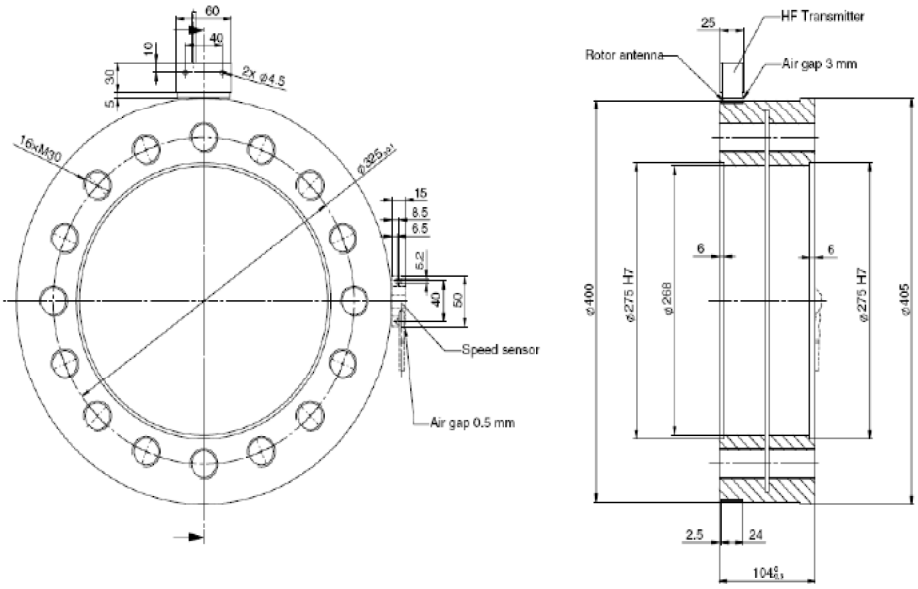


Рисунок 3.3 – Основні приєднувальні та габаритні розміри датчику крутного моменту серії TF

З огляду на те, що в лабораторіях кафедри відсутня фізична модель валкового брикет-преса, на якій би було можливо виконати дослідження результатів заміни модуля відкритої передачі з 20 мм до 28 мм, данне дослідження виконаємо в програмі «APM Trans»

3.2 Порівняльний аналіз дослідження відкритої зубчатої передачі модулем 20 мм та 28 мм в програмі «APM Trans»

Робочий режим передачі	Важкий
Термообробка коліс	
Шестерня	Цементація
Колесо	Цементація
Розташування шестірні на валу	Консольне
Нереверсивна передача	

Перевірку виконаємо за основними типами розрахунків, а саме по крутному моменту та ресурсу

Матеріал

Шестерня 20Х

Колесо 20Х

Середня твердість поверхні зубів

Шестерня 55HRC

Колесо 55HRC

Результати перевірочних розрахунків

Максимальний момент переданий передачею: 165614.41 Нм

Очікуваний ресурс передачі 18340 год.

Таблиця 3.1 – Основна геометрія

Опис	Символ	Параметри		Одиниці
		Шестерні	Колеса	
Міжосьова відстань	aw	700		мм
Модуль	m	20		мм
Кут нахилу лінії зуба	β	0		град.
Ділильний діаметр	d	700	700	мм
Основний діаметр	db	657.785	657.785	мм
Початковий діаметр	dw	700	700	мм
Діаметр вершин зубів	da	742.952	742.952	мм
Діаметр западин	df	653.048	653.048	мм
Коефіцієнт зсуву	x	0.076	0.076	-
Висота зубів	h	44.952	44.952	мм
Ширина зубчатого вінця	b	210	210	мм
Число зубів	z	35	35	-

Таблиця 3.2 – Властивості матеріалів

Опис	Символ	Параметри		Одиниці
		Шестерні	Колеса	
Допускаємі напруження вигину	σ_{fa}	657.243	656.252	МПа
Контактні допускаємі напруження	σ_{ha}	2320		МПа
Твердість робочих поверхонь	-	55	55	HRC
Діючі напруження вигину	σ_{fr}	646.252	646.252	МПа
Діючі контактні напруження	σ_{hr}	1519.867		МПа

Таблиця 3.3 – Сили

Опис	Символ	Параметри		одиниці
		шестерні	колеса	
Тангенціальна сила	F_t	473182.031		Н
Радіальна сила	F_r	172224.188		Н
Осьова сила	F_a	0.0		Н
Відстань від торця колеса до точки прикладання сили	B	105		мм
Плече сили	R	350		мм

Таблиця 3.4 – Параметри торцевого профілю

Опис	Символ	Параметри		одиниці
		шестерні	колеса	
Кут профілю зубів у точці на окружності вершин	α_a	27.703	27.703	град.
Радіус кривизни профілю зуба в точці на окружності вершин	ρ_a	172.697	172.697	мм
Радіус кривизни активного профілю зуба в нижній точці	ρ_p	75.352	75.352	мм

Таблиця 3.5 — Параметри постійної хорди

Опис	Символ	Параметри		одиниці
		шестерні	колеса	
Постійна хорда	S_c	28.721	28.721	мм
Висота до постійної хорди	h_c	16.249	16.249	мм
Радіус кривизни профілю в точках визначальних постійну хорду	ρ_s	134.989	134.989	мм
Основний кут нахилу зубів	β_b	0	0	град.

Таблиця 3.6 – Параметри загальної нормалі

Опис	Символ	Параметри		одиниці
		шестерні	колеса	
Кут профілю	α_x	20.672	20.672	град.
Радіус кривизни профілю в точці перетин. із загальн. нормалі	ρ_w	137.748	137.748	мм
Довжина загальної нормалі	W	276.496	276.496	мм
Число зубів у загальній нормалі	Z_m	4	4	шт

Таблиця 3.7 – Параметри по хорді

Опис	Символ	Параметри		Одиниці
		Шестерні	Колеса	
Заданий діаметр	d_y	700	700	мм
Кут профілю в точці на заданому діаметрі	α_y	20	20	град.
Окружна товщина зубів на заданому діаметрі	s_{ty}	32.525	32.525	мм
Кут нахилу зубів на заданому діаметрі	β_v	0	0	град.
Половина кутової товщини зубів	ψ_{yv}	2.662	2.662	град.
Товщина по хорді зуба	s_y	32.514	32.514	мм
Висота до хорди зуба	h_{ay}	21.854	21.854	мм

Таблиця 3.8 – Контроль по роликах

Опис	Символ	Параметри		одиниці
		шестерні	колеса	
Діаметр ролика	D_0	34	34	мм
Діаметр окружності оминаючої через центр ролика	d_d	715.	715.	мм
Торцевий розмір по роликах	M	748.28	748.28	мм
Кут профілю на окружності оминаючої через центр ролика	α_d	23.07	23.07	град.
Радіус кривизни профілю в точках дотику з роликом	ρ_m	123.14	123.14	мм

Таблиця 3.9 – Параметри взаємного положення профілів зубів

Опис	Символ	Параметри		одиниці
		шестірні	колеса	
Крок зачеплення	p_α	59.043		мм
Осьовий крок	p_x	0.0		мм
Хід зубів	p_z	0.0	0.0	мм

Таблиця 3.10 – Перевірка якості зачеплення

Опис	Символ	Параметри		Одиниці
		Шестерні	Колеса	
Мін. число зубів, нарізаємих без підрізу при даному зсуві	z_{min}	15.795		–
Кут нахилу лінії вершин зубів	β_a	0.0	0.0	град.
Нормальна товщина зуба на поверхні вершин	S_{na}	14.709	14.709	мм
Радіальний зазор у зачепленні	c	5	5	мм
Коефіцієнт торцевого перекриття	ε_α	1.694		–
Коефіцієнт осьового перекриття	ε_β	0.0		–
Коефіцієнт перекриття	ε_γ	1.694		–
Кут зачеплення	α_{tw}	20.661		град.

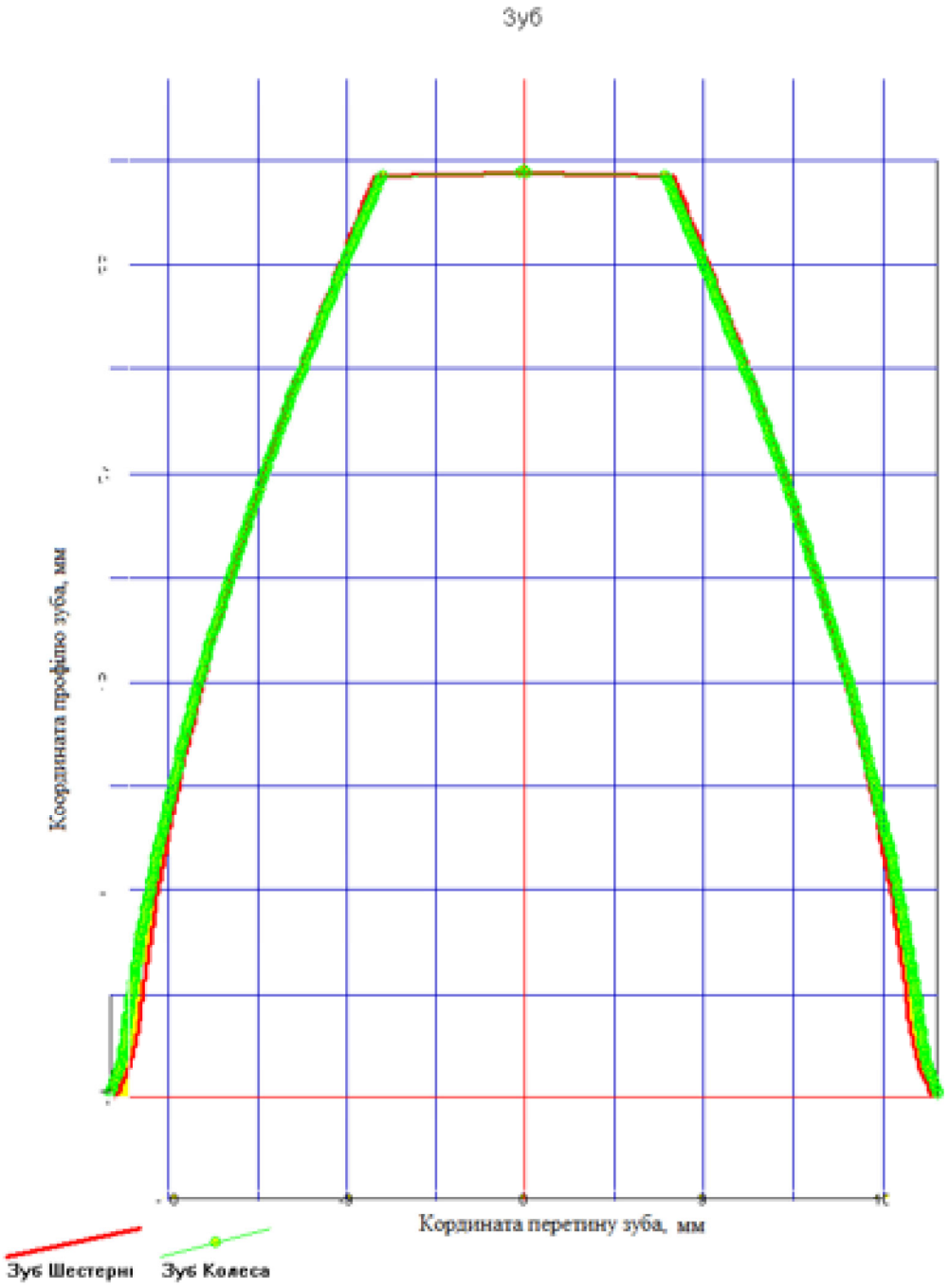


Рисунок 3.4 – Аналіз перетину зуба передачі з модулем 20 мм

Передача:	Прямозуба зовнішнього зачеплення
Тип розрахунків:	Перевірочний по моменту, ресурсу
Стандарт розрахунків:	ГОСТ

Основні дані

Робочий режим передачі	Важкий
Термообробка коліс	

Шестерня	Цементація
Колесо	Цементація
Розташування шестірні на валу	Консольне
Нереверсивна передача	
Момент обертання на веденому валу	158000 Нм
Ресурс	10000 год
Частота обертання веденого вала	2.75 $хв^{-1}$.
Передаточне число	1.00
Число зачеплень	
Шестерня	3
Колесо	3
Міжосьова відстань	700 мм.
Модуль	28 мм.
Коефіцієнт зсуву	
Шестерня	0
Колесо	0
Число зубів	
Шестерня	25
Колесо	25
Матеріал	
Шестерня	20Х
Колесо	20Х
Середня твердість поверхні зубів	
Шестерня	55HRC
Колесо	55HRC

Результати перевірочних розрахунків

Максимальний момент переданий передачею: 222972.505 Нм

Очікуваний ресурс передачі 88258,9 год.

Таблиця 3.11 – Основна геометрія

Опис	Символ	Параметри		Одиниці
		Шестерні	Колеса	
Міжосьова відстань	a_w	700		мм
Модуль	m	28		мм
Кут нахилу лінії зуба	β	0		град.
Ділильний діаметр	d	700	700	мм
Основний діаметр	d_b	657.785	657.785	мм
Початковий діаметр	d_w	700	700	мм
Діаметр вершин зубів	d_a	758.95	758.95	мм
Діаметр западин	d_f	630	630	мм
Коефіцієнт зсуву	x	0.076	0.076	–
Висота зубів	h	63	63	мм
Ширина зубчатого вінця	b	230	230	мм
Число зубів	z	25	25	–

Таблиця 3.12 – Властивості матеріалів

Опис	Символ	Параметри		Одиниці
		Шестерні	Колеса	
Допускаємі напруження вигину	σ_{fa}	657.243	657.243	МПа
Контактні допускаємі напруження	σ_{ha}	2320		МПа
Твердість робочих поверхонь	–	55	55	HRC
Діючі напруження вигину	σ_{fr}	500	500	МПа
Діючі контактні напруження	σ_{hr}	1343		МПа

Таблиця 3.13 – Сили

Опис	Символ	Параметри		одиниці
		шестерні	колеса	
Тангенціальна сила	F_t	637063		Н
Радіальна сила	F_r	231878		Н
Осьова сила	F_a	0.0		Н
Відстань від торця колеса до точки прикладання сили	B	115		мм
Плече сили	R	350		мм

Таблиця 3.14 – Параметри торцевого профілю

Опис	Символ	Параметри		одиниці
		шестерні	колеса	
Кут профілю зубів у точці на окружності вершин	α_a	29.532	29.532	град.
Радіус кривизни профілю зуба в точці на окружності вершин	ρ_a	186.321	186.321	мм
Радіус кривизни активного профілю зуба в нижній точці	ρ_p	53.1	53.1	мм

Таблиця 3.15 – Параметри постійної хорди

Опис	Символ	Параметри		одиниці
		шестерні	колеса	
Постійна хорда	S_c	38.837	38.837	мм
Висота до постійної хорди	h_c	20.934	20.934	мм
Радіус кривизни профілю в точках визначальних постійну хорду	ρ_s	140.372	140.372	мм
Основний кут нахилу зубів	β_b	0	0	град.

Таблиця 3.16 – Параметри загальної нормалі

Опис	Символ	Параметри		одиниці
		шестерні	колеса	
Кут профілю	α_x	20	20	град.
Радіус кривизни профілю в точці перетин. із загальн. нормалі	ρ_w	108.227	108.227	мм
Довжина загальної нормалі	W	216.453	216.453	мм
Число зубів у загальній нормалі	Z_{nr}	3	3	шт

Таблиця 3.17 – Параметри взаємного положення профілів зубів

Опис	Символ	Параметри		одиниці
		шестерні	колеса	
Крок зачеплення	p_α	82.66		мм
Осьовий крок	p_x	0.0		мм
Хід зубів	p_z	0.0	0.0	мм

Таблиця 3.18 – Перевірка якості зачеплення

Опис	Символ	Параметри		Одиниці
		Шестерні	Колеса	
Мін. число зубів, нарізаємих без підрізу при даному зсуві	z_{min}	17.097		–
Кут нахилу лінії вершин зубів	β_a	0.0	0.0	град.
Нормальна товщина зуба на поверхні вершин	s_{na}	20.153	20.153	мм
Радіальний зазор у зачепленні	c	7	7	мм
Коефіцієнт торцевого перекриття	ε_α	1.612		–
Коефіцієнт осьового перекриття	ε_β	0.0		–
Коефіцієнт перекриття	ε_γ	1.612		–
Кут зачеплення	α_{tw}	20		град.

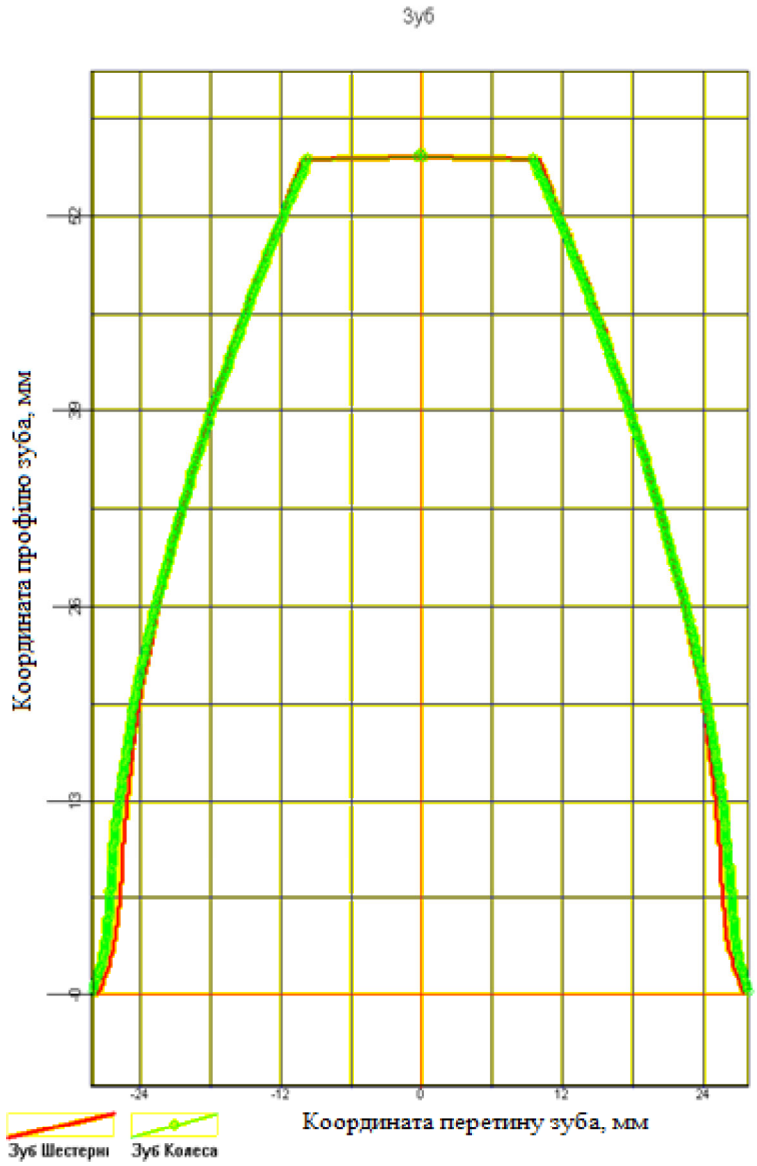


Рисунок 3.5 – Аналіз перетину зуба передачі з модулем 28 мм

Аналіз результатів дослідження зміни модуля відкритої зубчастої передачі з 20 на 28 мм дозволяють стверджувати про правильність обраних рішень, адже ресурс передачі підвищиться приблизно в п’ять разів.

3.3 Імітаційне моделювання роботи роликової сферичної вальниці

Виконаємо дослідження впливу навантажень на роликову сферичну вальницю, що обрано згідно [42].

Згідно раніше виконаних розрахунків обрано вальницю 3656, з огляду на важкі умови роботи та можливі відхилення від технологічного процесу обираємо радіальне навантаження на вальницю – 340 Н. Всі приєднувальні розміри та технічні характеристики згідно [42].

Таблиця 3.19 – Умови роботи

Радіальна сила	340.000	Н
Осьова сила	0.000	Н
Радіальний зсув за рахунок попереднього натягу	0.020	мм
Швидкість обертання	2.750	$хв^{-1}$
Коефіцієнт динамічності	1.500	-
Тип навантаження	постійне	-

Таблиця 3.20 – Висновки

Середня довговічність	3746289,6	годин
Максимальне контактне напруження	4778.403	$Н/мм^2$
Виділення тепла	33488.446	Дж/год.
Динамічна вантажопідйомність	3000000	Н
Осьові биття	269.220	мкм
Радіальні биття	37.929	мкм
Бічні биття	0.105	мкм
Момент тертя	16.152	Н х м
Втрати потужності	4.651	Вт

Таблиця 3.21 – Момент тертя, (Н х м)

Математичне очікування				16.152
Дисперсія				4.419
Стандартне відхилення				2.092
14.828	14.851	13.597	14.239	13.113
12.699	15.612	13.400	13.049	13.989
14.005	14.360	13.201	12.726	14.015
14.037	12.977	13.281	13.789	13.235
13.788	13.163	14.581	15.152	15.603
14.830	15.035	14.330	15.307	14.252
15.844	15.197	13.990	14.096	14.294
13.497	14.450	16.474	14.803	13.665
13.863	17.204	16.114	16.138	16.192
14.933	16.754	16.232	16.731	15.160
15.872	16.799	16.696	17.045	16.667
17.153	19.227	16.032	14.652	16.671
15.746	18.085	16.190	15.973	17.315
15.780	17.236	17.469	15.909	17.267
16.024	17.322	18.036	17.290	16.420
15.947	17.987	17.296	17.422	17.286
19.130	18.029	19.540	19.168	18.365
18.784	19.214	20.159	18.165	17.769
19.417	19.010	18.713	19.127	20.853
17.637	19.776	21.572	19.482	19.832

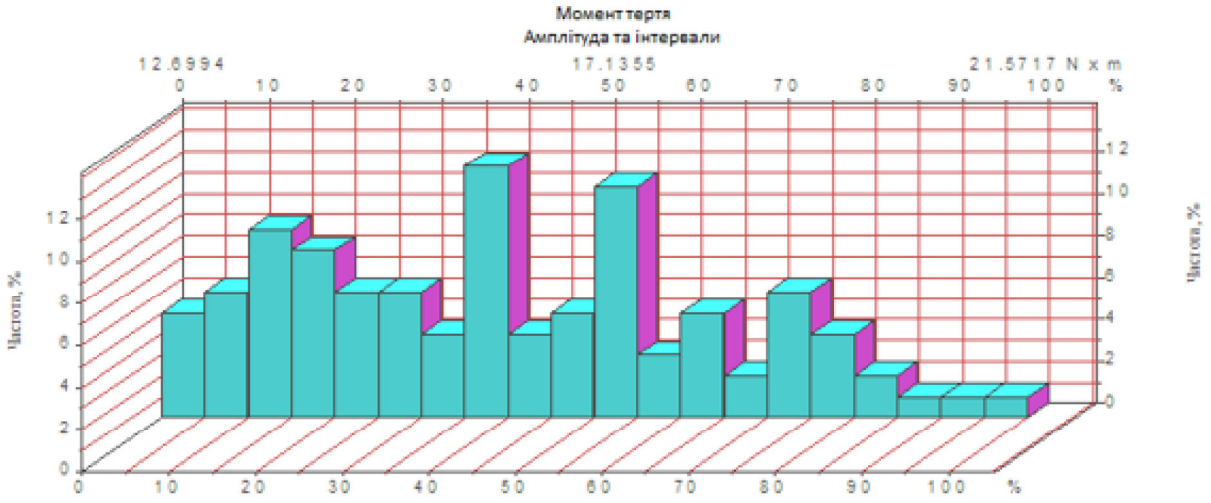


Рисунок 3.6 – Гістограма моменту тертя

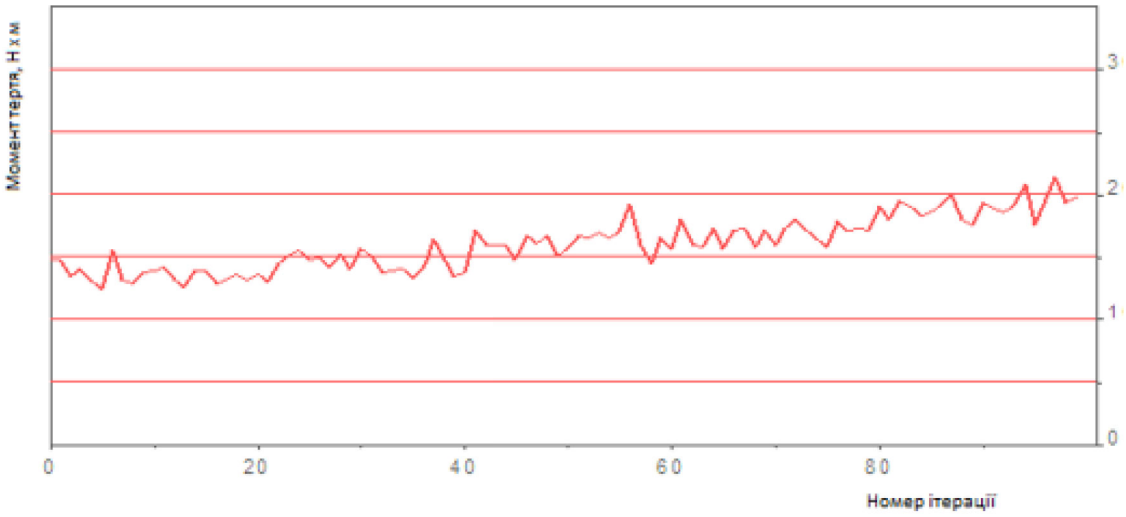


Рисунок 3.7 – Момент тертя

Таблиця 3.22 – Втрати потужності (Вт)

Математичне очікування				4.651
Дисперсія				0.366
Стандартне відхилення				0.602
4.270	4.276	3.915	4.100	3.776
3.657	4.495	3.859	3.758	4.028
4.033	4.135	3.801	3.665	4.036
4.042	3.737	3.824	3.971	3.811
3.970	3.790	4.199	4.363	4.493
4.270	4.329	4.126	4.408	4.104
4.562	4.376	4.029	4.059	4.116
3.886	4.161	4.744	4.263	3.935
3.992	4.954	4.640	4.647	4.663
4.300	4.824	4.674	4.818	4.365
4.570	4.837	4.808	4.908	4.799
4.939	5.536	4.616	4.219	4.800
4.534	5.208	4.662	4.600	4.986
4.544	4.963	5.030	4.581	4.972
4.614	4.988	5.194	4.979	4.728
4.592	5.180	4.981	5.017	4.978
5.509	5.192	5.627	5.519	5.288
5.409	5.533	5.805	5.231	5.117
5.591	5.474	5.388	5.508	6.005

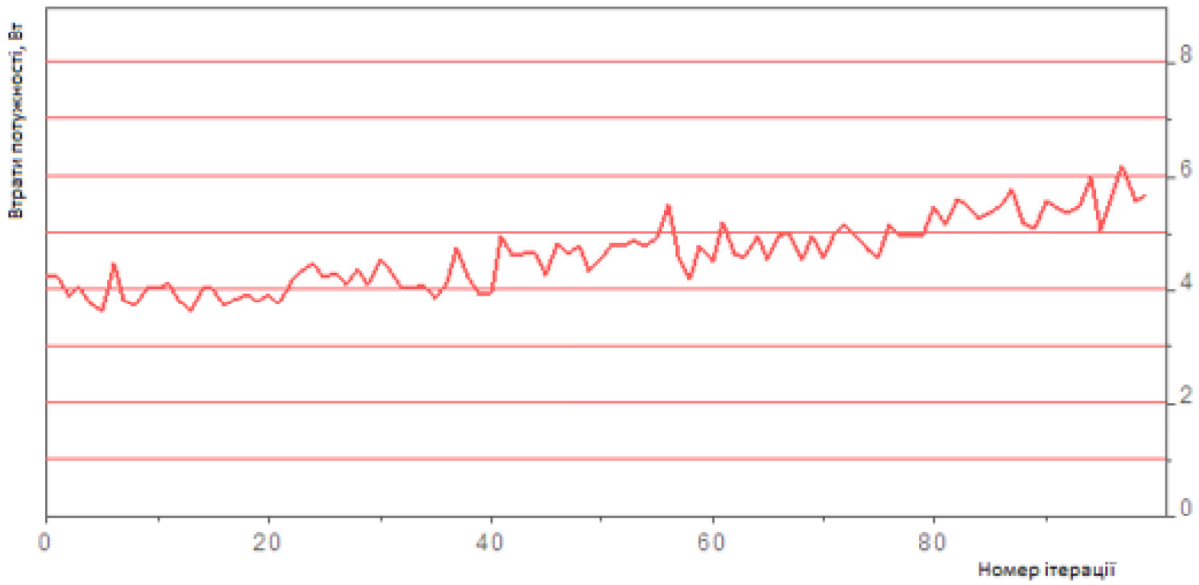


Рисунок 3.7 – Втрати потужності

Таблиця 3.23 – Осьові биття

Математичне очікування				269.220
Дисперсія				1291.244
Стандартне відхилення				35.754
217.000	217.000	217.000	217.000	217.000
217.000	217.000	217.000	217.000	217.000
217.000	217.000	217.000	217.000	217.000
217.000	217.000	217.000	217.000	224.000
224.000	224.000	252.000	252.000	252.000
252.000	252.000	252.000	252.000	252.000
252.000	245.000	245.000	245.000	245.000
245.000	245.000	245.000	245.000	245.000
245.000	280.000	280.000	280.000	280.000
280.000	280.000	280.000	280.000	280.000
280.000	280.000	280.000	280.000	287.000
287.000	287.000	266.000	266.000	266.000
266.000	266.000	273.000	287.000	287.000
287.000	287.000	287.000	287.000	287.000
287.000	287.000	287.000	287.000	287.000
287.000	308.000	308.000	308.000	287.000
308.000	308.000	308.000	308.000	343.000
315.000	315.000	308.000	308.000	308.000
308.000	322.000	322.000	329.000	329.000

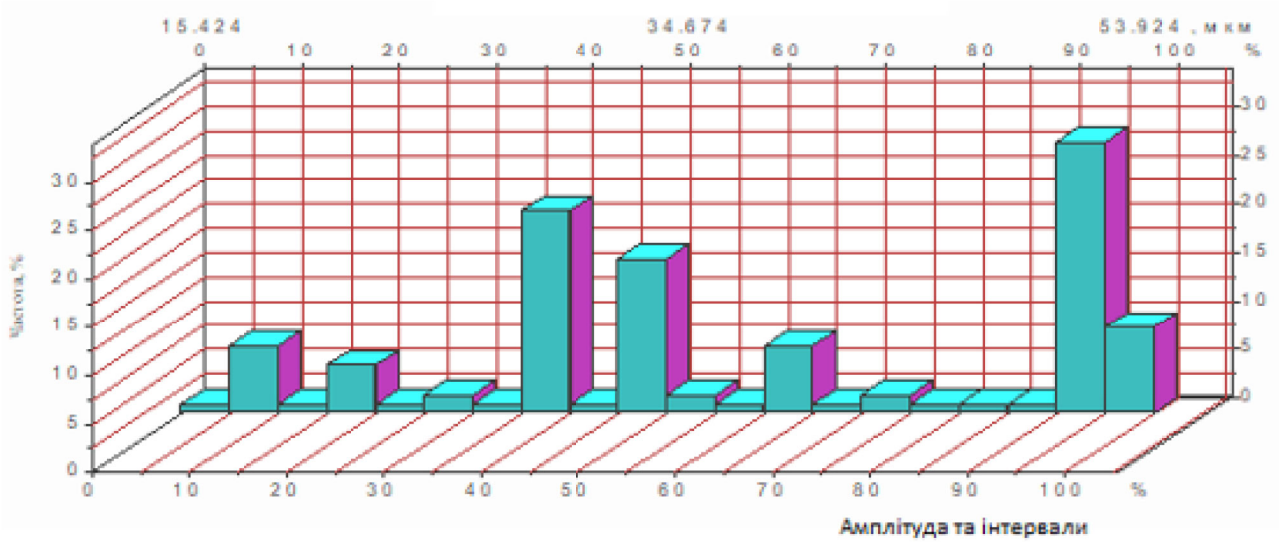


Рисунок 3.8 – Гістограма осьового биття

Таблиця 3.24 – Радіальні биття, (мкм)

Математичне очікування				37.929
Дисперсія				133.452
Стандартне відхилення				11.494
50.424	50.424	50.424	50.424	50.424
50.424	50.424	50.424	50.424	50.424
50.424	50.424	50.424	50.424	50.424
50.424	50.424	50.424	50.424	53.924
53.924	53.924	53.924	53.924	53.924
53.924	53.924	53.924	50.424	50.424
50.424	50.424	50.424	50.424	50.424
50.424	50.424	39.924	39.924	43.424
43.424	32.924	32.924	32.924	32.924
32.924	32.924	32.924	32.924	39.924
39.924	39.924	39.924	39.924	36.424
36.424	29.424	32.924	32.924	32.924
32.924	32.924	32.924	32.924	29.424
32.924	29.424	29.424	29.424	29.424
29.424	29.424	29.424	29.424	29.424
29.424	29.424	29.424	29.424	29.424
29.424	29.424	29.424	29.424	22.424
22.424	25.924	22.424	25.924	29.424
18.924	18.924	18.924	18.924	18.924
22.424	22.424	15.424	18.924	18.924

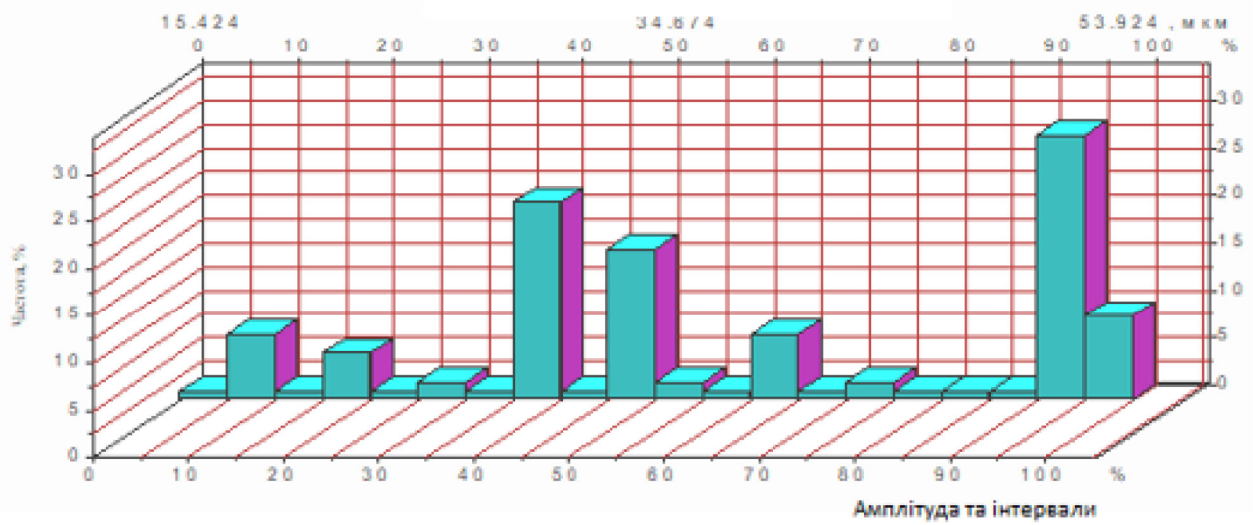


Рисунок 3.9 – Гістограма радіального биття

Таблиця 3.25 – Бокові биття

Математичне очікування				0.105
Дисперсія				13.971
Стандартне відхилення				3.719
–3.500	0.000	0.000	0.000	3.500
–10.500	3.500	–10.500	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	–3.500	0.000
–3.500	–3.500	0.000	0.000	–10.500
–3.500	0.000	0.000	3.500	0.000
0.000	0.000	0.000	–3.500	0.000
0.000	0.000	10.500	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	7.000
–7.000	0.000	0.000	3.500	–3.500
0.000	0.000	–3.500	0.000	0.000
0.000	14.000	7.000	0.000	–3.500
0.000	0.000	0.000	10.500	0.000
0.000	7.000	0.000	–3.500	0.000
0.000	0.000	3.500	0.000	–3.500
–3.500	0.000	–3.500	0.000	0.000
0.000	0.000	3.500	0.000	0.000
–3.500	0.000	0.000	0.000	–3.500
3.500	0.000	3.500	0.000	0.000

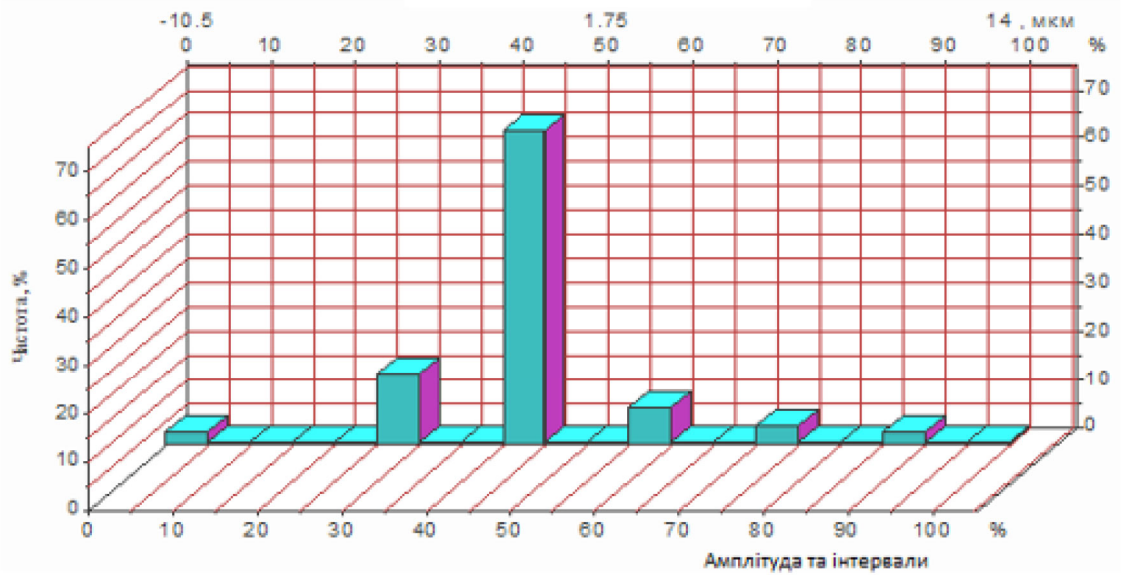


Рисунок 3.10 – Гістограма бокового биття

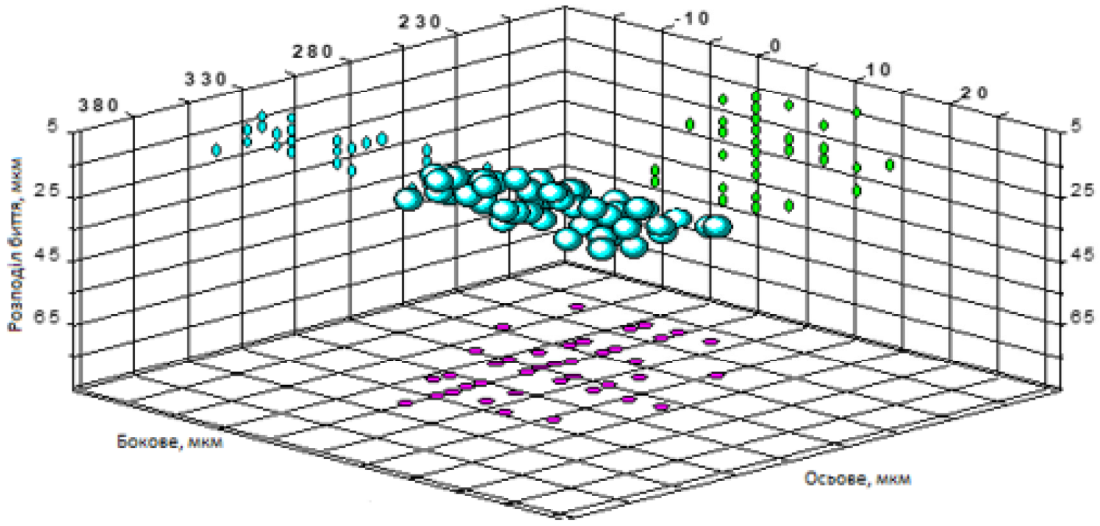


Рисунок 3.11 – Розподіл биття

Результати виконаного імітаційного моделювання роботи опор валу валкового пресу на базі роликової сферичної вальниці вказують на те, що втрати потужності на тертя в опорах мінімальні та складають всього 4,6 Вт, тобто при подальших розрахунках ними можна знехтувати. При заданому режимі роботи середня довговічність опор пресу складе складе 3,7·млн годин, що задовольняє умови роботи обладнання в металургійному виробництві.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ

4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища

4.1.1 Характеристика механізації і автоматизації обраних технологічних процесів

Технологічний процес пресування - брикетування шихт міститься в подачі основних компонентів зі складів за допомогою стрічкових конвеєрів на брикет преси, далі брикетована шихта поступає на реактори киплячого шару, шахтні, тунельні, обертові печі, для сушіння й попереднього нагрівання. Для зміцнення брикетів застосовуються – автоклави, карбонізатори, закриті транспортні засоби, що обігрівають, складські приміщення зі спеціальними умовами й інше устаткування.

Як видно даний технологічний процес супроводжується великим виділенням тепла, а також, через використання стрічкових конвеєрів, запиленості робочої зони, і небезпеки від частин устаткування, що обертаються та рухаються. Технологічний процес відноситься до III класу небезпеки з різко вираженими шкідливими факторами.

Досить повне подання про рівень механізації можна отримати шляхом визначення відношення витрат (чол.-год.) механізованої й ручної праці:

$$B = \frac{M}{M + R} \cdot 100\%, \qquad (4.1)$$

де B - рівень механізації праці, %;

M - сума людино-годин механізованої праці;

R - сума людино-годин ручної праці.

- для кранового машиніста:

$$B = \frac{7}{1+7} \cdot 100\% = 87{,}5\%.$$

Результати розрахунків рівня механізації праці для інших професій представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Розрахунок механізації праці робочі цехи

№ п/п	Професія робітників	Штат робітників	Кількість відпрацьованих людино-годин у добу			% механ із праці
			Вручну	За допомогою машин	Усього	
1	Слюсар - механік	27	6	2	8	25
2	Електромонтери	22	6	2	8	25
3	Крановий машиніст	19	1	7	8	87,5
4	Шихтовщик	22	6	2	8	55
5	Оператор	20	2	6	8	75
Усього		110	21	19	8	56,7

З даних таблиці можна зробити висновок про класифікацію професії робітників:

- професії механізованої праці - крановий машиніст, шихтовщик, оператор;
- професії змішаної праці - шихтовщик;
- професії ручної праці - робітники механослужби, електрослужби, електромонтери.

4.1.2 Аналіз потенційних і шкідливих факторів виробничого середовища

Основними потенційно-небезпечними й шкідливими виробничими

факторами в цеху обробки шихти є частини машин і механізмів, що рухаються й обертаються, підвищене забруднення повітря, наявність шуму й вібрації, небезпечна величина напруги в електричному колі.

До механічного устаткування, що порошить, цеху обробки шихти відносяться машини й конвеєри, що пресують шихту, переробляють і транспортують суху й пресовану шихту, устаткування для сушіння шихти. Технологічна карта умов праці обслуговуючого персоналу наведено в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 - Технологічна карта умов праці для чергового й ремонтного слюсаря

Фактори	Нормативне значення, ПДК, ПДУ	Фактичне значення	III клас шкідливих і небезпечних умов, і характер праці			Час впливу фактора % у зміну
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3						
1 клас небезпеки						
Масла мінеральні	5,0	6,5	1,3			83,1
Азоту диоксид	2,0	4,0	2			83,1
CO_2	6,0	20	3,3			
II. Пил переважно фиброгеної дії, мг/м^3						
Пил металевий	4,0	26,4			6,6	83,1
III. Шум, Дб	80	106			26	100
IV. Мікроклімат у приміщенні						
- температура повітря, °С	16-27	30			5,5	83,1
- швидкість руху повітря, м/сек	0, 2-0,5	0,27				83,1
V. Робоча поза						
Нахил корпуса в просторі, обумовлений технологічним процесом	28,1%	30%				
Кількість факторів			4	0	2	

Висновок

Робочі місця мають у наявності: 3 фактори 3 ступені, 3 фактору 1 ступеня. По показниках робоче місце відноситься до шкідливих і тяжких умов праці, що відповідає показникам списку №1 пункт 1.

Має право виходу на пенсію за списком №1.

Відповідно до списку №1: пенсійний вік по пільгових умовах для чоловіків становить 50 років, для жінок 45 років, надається додаткова відпустка 14 днів і молоко, надбавка до зарплати - 12%.

Шкідливості і небезпеки цеху підготовки шихти відносяться до фізичної групи. До цієї групи відносяться пил, шум, зміни температури усередині цеху [43].

4.2 Розробка заходів захисту від впливу шкідливих факторів

Для боротьби з парами, що виділяються в повітря, пилу й газів шкідливих речовин найбільш ефективне застосування витяжної вентиляції й аерації. Для аерації влаштовуються прорізи в стінах будинку й ліхтарі на покрівлі, а також місцева вентиляція - витяжний парасоль, укриття приймачі (місцеві відсмоктувачі) [44].

Для боротьби із шумом застосовують звукоізолюючі кабіни. Для ослаблення шуму в джерелі вальниці кочення, де є така можливість, заміняють вальницями ковзання; зменшують масу й величину поверхні частин; що можуть сполучатися ударною дією, підвищують чистоту обробки поверхонь і точність їхнього виготовлення. Під шумливим устаткуванням підвішують штучні звукопоглиначі. Для захисту органів слуху застосовують зовнішні й внутрішні протишуми (антифони). Заглушки послабляють шум на 5 – 7 дБ при частотах 600 Гц і на 15 дБ при частотах більше 3000 Гц. Протишуми типу МІОТ послабляють шум до 8 дБ при частотах до 500 Гц і до 55 дБ при частотах 500 – 1000 Гц.

У таблиці 4.3 наведені фактори виробничого середовища трудового процесу й заходи щодо їхнього усунення, які мають місце на ділянці сумішевиготовлення.

За [45] всі працівники цеху мають бути безкоштовно забезпечені спец одягом, спец взуттям і засобами індивідуального захисту. До складу спецодягу входять:бавовняний костюм, черевики, у зимовий час – утеплена куртка й ватяні штани.

Таблиця 4.3 - Технічні міри захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор виробничого середовища	Захисний пристрій	Тип пристрою	Параметри пристрою	Місце встановлення
1	Запилованість	Витяжна вентиляція	КС3	-	У місцях утворення пилу
2	Запиленість	Респіратор СИЗОД	ШБ-1М	-	Індивідуально
3	Шум	Навушники проти-шумові, біруші		Придатний до 110дб	Індивідуально
4	Температура Хол період Тепл період року	Утеплена куртка, ватяні штани, костюм з х/б тканини, черевики костюм з х/б тканини, черевики	Тн Ти	-	Індивідуально
5	Шкідливі хімічні речовини	Теж що й при запиленості + костюм х/б, рукавиці	Пм	-	Індивідуально

Для безпечної експлуатації агрегатів і установок у цеху встановлюють світлову й звукову сигналізацію, застосовують блокувальні пристрої, попереджувальні знаки, наочну агітацію по техніці безпеки й виробничій санітарії.

4.3 Технічні рішення по гігієні праці та виробничій санітарії

4.3.1 Опалення й мікроклімат

Під вентиляцією розуміють систему заходів і пристроїв, призначених для забезпечення на робочих місцях, у робочій і зонах приміщень, що

обслуговуються, метереологічних умов і чистоти повітряного середовища. Залежно від способу переміщення повітря розрізняють природну й механічну вентиляцію. Для усунення осідання пилу в приміщенні, зменшуючи її кількість у повітрі, все устаткування закрите парасолями (витяжна вентиляція), з'єднаними за допомогою повітряводів з пристроями для очищення повітря, що видаляється.

При природній вентиляції повітря надходить і видаляється через щілини вікна, двері, ворота, ліхтарі.

Опалення побутових приміщень здійснюється за допомогою панелей (батарей) у яких як теплоносій використовують водяну пару.

Ефективними засобами забезпечення необхідних гігієнічних якостей повітря, що сприяють нормальній роботі, і відповідають вимогам [46] має бути передбачена вентиляція деяких робочих місць. Норми мікроклімату на постійних робочих місцях зазначені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Значення прийнятих параметрів повітряного середовища, що допускаються, у робочій зоні приміщень [46]

Період року	Категорія роботи з важкості	Період року			Температура повітря в непостійних робочих місць, °С
		на постійних робочих місцях			
		температура повітря, °С	відносна вологість повітря, %	швидкість руху повітря, м/с	
Холодний	Середньої важкості IIб	21	75	0,2	15
	Важка III	19	75	0,3	13
Теплий	Середньої важкості IIб	27	70	0,4	21
	Важка III	26	75	0,5	19

4.3.2 Природне й штучне освітлення цеху

У приміщенні цеху природне висвітлення провадиться через світлові прорізи: засклені бічні віконні прорізи й ліхтарі на даху. Крім цього має застосовуватися штучне освітлення за допомогою LED ламп.

Штучне світлення підрозділяється на верхнє й місцеве. Місцеве висвітлення забезпечується лампами типу LED потужністю 20 Вт по чотири штуки у світильнику типу «Астра». Загальне верхнє висвітлення виконують світильниками УПД із ламп потужністю 150 Вт. Для живлення світильників загального призначення використовують напругу 220 В від системи 380/220 В.

Характеристика приміщення ділянки сумішевиготовлення:

- характер робіт — середня точність
- розмір об'єкта розпізнавання, мм — від 0,5 до 1
- розряд зорової роботи — IV
- підрозряд роботи — В
- контрастність об'єкта розпізнавання — середня
- фон — середній
- E_H – штучна, лк — 150

У цеху також є аварійне й евакуаційне висвітлення з незалежним джерелом живлення. По [47] дільниця шихтопідготовки відноситься до розряду IV зорової роботи (середня точність) для якого E_H = 150 лк. По нормативу воно відповідає коефіцієнту природної освітленості 3% (E_H = 3%).

4.3.3 Побутові й допоміжні приміщення

До числа побутових і допоміжних приміщень відносяться приміщення для задоволення санітарних і побутових потреб. У санітарно-побутових приміщеннях розташовані гардеробні й душові. Зберігання спецвзуття, одягу й домашнього одягу провадиться закритим способом у подвійних шафах розміром 500 х 400 х 1650 мм. Кількість шаф відповідає кількості робітників у двох сусідніх змінах. Між рядами шаф витримується припустима відстань 2 м, де мають бути встановлені лави шириною 300 мм.

У побутових приміщеннях мають бути індивідуальні й групові умивачі з розрахунку 1 умивач на 15 чоловік. Кількість душових кабінок виконують з розрахунку 5 чоловік на одну кабінкуу. Підлогу у туалетах, умивальних, душових улаштовують водонепроникною, з ухилом до стічного трапу [48-50].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Ознайомлення з обладнанням для виготовлення брикетів показало, що однією з проблем у валковому брикет-пресі є недостатньо надійна робота відкритої зубчастої передачі.
2. На підставі наведеного огляду технічної й патентної літератури встановлено, що для виготовлення рудно-топливних брикетів оптимальним є обладннання валкових пресів з підпресовщиками, які в своєму конструктивному виконанні ще далекі від досконалих та мають певні недоліки.
3. В результаті запропонованої модернізації приводу валкового брикет-пресу можливе досягнення таких цілей як – збільшення продуктивності, терміну служби, та зменшення аврійних зупинок на ремонти.
4. В ході теоретичних досліджень встановлено, що для контролю крутного моменту на робочому валку брикет-пресі якнайкраще підходять датчики фланцевого типу серії TF. Розроблена схема підключення такого датчика дозволить контролювати робочі навантаження та завчасно запобігати перевантаженням, а отже уникати аварійних ситуацій.
5. Аналіз результатів дослідження запропонованої модернізації вказують на правильність обраних рішень, адже при зміні модуля відкритої зубчастої передачі приводу валкового брикет-преса з 20 на 28 мм дозволить підвищити ресурс передачі майже в п’ять разів.
6. Результати імітаційного моделювання роботи валкового пресу вказують на те, що втрати потужності на тертя в опорах мінімальні та складають менше 0,001 %, а отже при розрахунках їх можна не враховувати. При розрахунковому режимі роботи за найважчого сценарію перетікання технологічного процесу середня довговічність вальниць валків складе 3,7·млн годин.
7. Результати роботи можуть бути використані на підприємствах чорної й кольорової металургії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Baiul K. V. Synthesis of Roller Press Rational Design for Composite Solid Fuel Production. Problems of the Regional Energetics. 2019. No. 2. P. 103–116.
2. The experimental study of compaction parameters and elastic after-effect of fine fraction raw materials / K. Baiul et al. Mining Scince. 2020. Vol. 27. URL: https://doi.org/10.37190/msc202701
3. Optimization of briquetting technology of fine-grained metallurgical materials based on statistical models of compressibility / A. Khudyakov et al. Powder Technology. 2022. Vol. 412. P. 118025. URL: https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.118025
4. Method of Determining the Liquid Phase Content in the Pelletized Charge for Producing Compacts with Maximum Strength I. Experimental Study / S. V. Vashchenko et al. Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 2023. URL: https://doi.org/10.1007/s11106-023-00365-6
5. Optimization of Wastes Compaction Parameters in Case of Gradual Wear of the Briquetting Press Rolls / K. Baiul et al. Structural Integrity. Cham, 2022. P. 293–302. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-91847-7_27
6. Selection of rational surface configuration For roller press tires / K. V. Baiul et al. Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 2020. Vol. 59, no. 1-2. P. 9–21. URL: https://doi.org/10.1007/s11106-020-00133-w
7. A Novel Approach to the Screw Feeder Design to Improve the Reliability of Briquetting Process in the Roller Press / K. Baiul et al. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability. 2023. URL: https://doi.org/10.17531/ein/167967
8. Гнєушев В. О. Брикетування торфу : монографія. Рівне : НУВГП, 2010. 167 с.
9. Основи хімії і фізики горючих копалин / В. І. Саранчук та ін. Донецьк : Сх. вид. дім, 2008. 640 с.

10. Основи техніки та технології збагачення корисних копалин : навч. посіб. / В. С. Білецький та ін. Київ : Криворіз. нац. ун-т Ліра-К, 2020. 634 с.
11. General classification and system approach to the development of roll press structures / K. V. Baiul et al. Metal and Casting of Ukraine. 2021. Vol. 29, no. 2. P. 90–100. URL: https://doi.org/10.15407/steelcast2021.02.090
12. Фізико-хімічні властивості легованих металургійних відходів як вторинної ресурсозберігальної речовини / С. М. Григор'єв та ін. Scientific journal "*Metallurgy*". 2021. № 1. С. 31–37. URL: https://doi.org/10.26661/2071-3789-2021-1-04
13. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина 3. Заключні процеси : навч. посіб. / В. С. Білецький та ін. Кривий Ріг, 2019. 229 с.
14. Смирнов В. О., Білецький В. С. Фізичні та хімічні основи виробництва : навч. посіб. Донецьк : ДонНТУ, 2005. 148 с.
15. ДСТУ 8784:2018 Пек кам`яновугільний. Технічні умови
16. ДСТУ Б В.2.7-281:2011 Цементи. Класифікація
17. ДСТУ Б В.2.7-181:2009 Будівельні матеріали. Цементи лужні. Технічні умови
18. Bauxite free iron rich calcium sulfoaluminate cement: Preparation, hydration and properties / Y. Huang et al. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 249. P. 118774. URL: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118774
19. Zhou L., Gou M., Guan X. Hydration kinetics of cement-calcined activated bauxite tailings composite binder. Construction and Building Materials. 2021. Vol. 301. P. 124296. URL: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124296
20. Bauxite Waste as cement Substitute after Normalisation: Sustaining environment. *Journal of Xidian University*. 2020. Vol. 14, no. 4. URL: https://doi.org/10.37896/jxu14.4/168
21. Gogaev K. A. New approaches in the powder metallurgy technology – the way to up-grade the quality of metal products. Visnik Nacional'noi' academii' nauk Ukrai'ni. 2016. No. 12. P. 39–47. URL: https://doi.org/10.15407/visn2016.12.039

22. Пиріг Я. І., Галкін А. В. Особливості впливу адгезійних добавок на бітуми різного структурно-реологічного типу. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2023. № 18. С. 89–97. URL: https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-11
23. Zolotaryov V., Pyrig Y., Galkin A. The second standard on viscous petroleum road bitumens: its content and perspective. Avtoshliakhovyk ukrayiny. 2020. Vol. 264, no. 4. P. 40–46. URL: https://doi.org/10.33868/0365-8392-2020-4-264-40-46
24. General classification and system approach to the development of roll press structures / K. V. Baiul et al. *Metal and Casting of Ukraine*. 2021. Vol. 29, no. 2. P. 90–100. URL: https://doi.org/10.15407/steelcast2021.02.090
25. Boltyanska N. Analysis of constructions of gearspress-granulators. *Scientific bulletin of the tavria agrotechnological state university*. 2018. Vol. 8, no. 2. URL: https://doi.org/10.31388/2220-8674-2018-2-8
26. Analysis of modern approaches and methods for designing mechanical equipment, which can be applied in the development of a contemporary systematic approach to creating roller briquetting presses / K. V. Baiul et al. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. 2023. Vol. 37. P. 534–556. URL: https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-534-556
27. Валковий брикетний прес: патент на винахід 99029 UA.МПК(2006) B30B 11/18 /Маймур Б. М., Петренко В. І., Лебідь О. Т./ Заявл. 17.12.2010; Опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13. – 2 с.
28. Валковий прес для брикетування дрібнофракційних матеріалів: патент на винахід 88846 UA.МПК(2009) B30B 11/00/ Носков В. О., Маймур Б. М., Петренко В. І./ Заявл. 01.08.2008; Опубл. 25.11.2009, Бюл. № 22. – 3 с.
29. Валковий прес: патент на корисну модель 20628 UA.МПК(2006) B30B 11/00 / Андрус С. Г., Бороненко І. О., Дюканов А. Г., Пашкевич М. О., Понізований Ю. Б., Федоров В. І., Чмиренко О. М./ Заявл. 05.12.2005; Опубл. 15.02.2007, Бюл. № 2. – 3 с.

30. Кірієнко О. А., Гузенко Ю. М. Теорія механізмів і машин. Деталі машин. Розрахунки механічних передач. : навч. посіб. Київ : Київ. політехн. ін-т, 2016. 188 с.

31. Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин : Підручник. Київ : Наук. думка, 2002. 662 с.

32. Стрелец В. В. Деталі машин і основи конструювання. Суми : Сум. держ. ун-т, 2022. 150 с.

33. Писаренко О.Г. Опір матеріалів : З основами пружності й пластичності: У 2 ч., 5 кн. Київ : Вища шк., 1995. Т. 4 : Приклади і задачі. 463 с.

34. Артюх В. Г. Навантаження та перевантаження в металургійних машинах. Маріуполь : ПГТУ, 2008. 246 с.

35. Каталог підшипників по розмірах і номеру. Магазин Підшипник – купити підшипники в Україні. URL: https://pidshypnyk.com/kataloh-podshypnykov/ (дата звернення: 06.10.2024).

36. Козяр М. М. Технічне креслення : підручник. Рівне :НУВГП, 2011. 418 с.

37. Smith I. R. Control of production processes. *Institution of Production Engineers Journal*. 1956. Vol. 35, no. 4. P. 242. URL: https://doi.org/10.1049/ipej.1956.0028

38. Zhivoglyadov V. P., Kebets E. P., Bochkoryov A. I. Interactive Computer Control Systems for Technological Processes. *IFAC Proceedings* Volumes. 1980. Vol. 13, no. 9. P. 555–560. URL: https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)64618-4

39. Kochenov M. I., Pravotorova E. A. Statistical control of technological processes. *Measurement Techniques*. 1976. Vol. 19, no. 10. P. 1412–1413. URL: https://doi.org/10.1007/bf01101188 (date of access: 06.11.2024).

40. Krasnoshapka V. A. Influence of Variable Technological Loads on Dynamic Processes in Machine Units. Journal of Automation and Information Sciences. 2011. Vol. 43, no. 4. P. 1–10. URL: https://doi.org/10.1615/jautomatinfscien.v43.i4.10

41. Датчики скрутного моменту. Головна сторінка - Magtrol. URL: https://magtrol.com.ua/catalog/torque_detectors/torque_detectors.html (дата звернення: 06.11.2024).
42. ДСТУ ГОСТ 520: 2014 Підшипники кочення. Загальні технічні умови.
43. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.
44. Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч.посіб. / К. Н. Ткачук. та ін. К: Основа, 2009. 360 с.
45. НПАОП 0.00-4.01-08 Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту [Електронний ресурс] // Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. 2008. Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=28566.
46. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
47. ДБН В.2.5-28-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс] // Мінбуд України. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/ДБН-В.2.5-28-2006.pdf.
48. Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / Е. О. Геврик. – К: Ельга, Ніка–центр, 2003. – 280 с.
49. ДБН В.2.2–28:2010. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. Чинний від 2011–10–01. Вид. офіц.
50. Румянцев В. Р. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та техногенна безпека» у дипломних роботах (проектах) для студентів ЗДІА спеціальностей МЧМ, МБ та інші / В. Р. Румянцев, І. О. Ткаліч. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 16 с.

СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Формат
1	Валковий брикет-прес з приводом	1	А1
2	Валковий брикет-прес	1	А1
3	Редуктор ГТ-1300-К	1	А1
4	Деталювання	4	А2
5	Розробка схеми контролю навантаження на приводному валу брикет-преса	1	А1
6	Результати дослідження роботи валкового брикет-преса методами імітаційного моделювання	1	А1

ДОДАТКИ