

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 та удосконалення конструкції вузлів обладнання для
вилучення зливків з виливниць

Виконав: магістрант групи 8.1332

Пархоменко В.В.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

133.00.12 Металургійне обладнання

(шифр і назва)

Керівник Гречаний О.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н. контроль _____

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2023 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 133.00.12 Металургійне обладнання

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою А.О. Власов

“ _____ ” _____ 20__ року

Завдання

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Пархоменко Володимир Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Аналіз та удосконалення конструкції вузлів обладнання для вилучення зливків з виливниць керівник магістерської роботи Ph.D., ст.викладач Гречаний О.М., затверджені наказом вищого навчального закладу від “09” жовтня 2023 року № 1581-с.
2. Строк подання студентом магістерської роботи 07 грудня 2023 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи мартенівського цеху
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд науково-технічних рішень підвищення надійності обладнання для вилучення зливків з виливниць 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. Візок стріперного крана – 1А1; 2. Механізм виштовхування – 1А1; 3. Кліщовий пристрій – 1А1; 4. Механізм керування кліщами – 1А1 5. Модель стріперного крана – 1А1; 6. Установа віброізоляторів кабіни кранового машиніста – 1А1; 7. Дослідження факторів, що впливають на зусилля виштовхування – 1А1; 8. Дослідження залежності зусилля виштовхування від кута нахилу стінок виливниці та коефіцієнту тертя – 1А1;

6. Консультанти розділів магістерської роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проєктування	29.05.2023 – 25.06.2023	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проєктування	01.09.2023 – 17.09.2023	
3	Виконання теоретичної частини проєкту	18.09.2023 – 18.10.2023	
4	Виконання графічної частини проєкту	19.10.2023 – 19.11.2023	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	20.11.2023 – 30.11.2023	
6	Перевірка проєкту консультантами	01.12.2023 – 03.12.2023	
7	Попередній захист проєкту	04.12.2023	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проєкту у ДЕК	Згідно з графіком	

Студент _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Пархоменко В.В. Аналіз та удосконалення конструкції вузлів обладнання для вилучення зливків з виливниць.

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, 2023.

Проаналізовані переваги та недоліки наявних технічних рішень спрямованих на підвищення ефективності роботи пристроїв для вилучення зливків з виливниці. Запропонований варіант модернізації стріперного крана. Проведено аналіз факторів впливу на зусилля вилучення зливка з виливниці. Розроблено математичну модель залежності сили виштовхування від кута нахилу стінок виливниці та коефіцієнта тертя.

Ключові слова: ЗЛИВОК, ВИЛИВНИЦЯ, КУТ НАХИЛУ СТИНОК, КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ

ABSTRACT

Parhomenko V.V. Analysis and Improvement of the Design of Equipment Units for Extracting Ingots from Molds.

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 them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2023.

The advantages and disadvantages of existing technical solutions aimed at increasing the efficiency of devices for extracting ingots from the mold are analyzed. An option for modernizing a stripper crane is proposed. An analysis of the factors influencing the efforts to extract the ingot from the mold was carried out. A mathematical model has been developed for the dependence of the pushing force on the angle of inclination of the mold walls and the friction coefficient.

Keywords: INGOT, MOD, WALL INCLINATION ANGLE, FRICTION COEFFICIENT

Зміст

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	7
Вступ	8
1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИЛУЧЕННЯ ЗЛИВКІВ З ВИЛИВНИЦЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ	10
1.1 Вантажопотоки мартенвського та цеху підготовки потягів	10
1.2 Аналіз устрою стриперного крану та його місце в технологічному процесі роздягання зливків	19
1.3 Огляд технічних рішень спрямованих на модернізацію обладнання для вилучення зливків та обґрунтування обраного напрямку досліджень	23
1.4 Пропозиції усунення недоліків конструктивного виконання стриперного крану	31
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	33
2.1 Розрахунок та вибір електродвигуна механізму виштовхування	33
2.2 Визначення кінематичних і силових параметрів приводу стриперного крану	39
2.3 Розрахунок деталей на міцність	43
2.3.1 Розрахунок гвинта	43
2.3.2 Розрахунок гайки на міцність	47
2.3.3 Розрахунок хвостовика полого гвинта	48
3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	51
3.1 Аналіз конструкції лабораторної моделі крану для роздягання зливків	51
3.2 Планування експерименту дослідження впливу кута нахилу стінок вилівниці і коефіцієнта тертя на зусилля «роздягання» зливка	56
3.3 Обробка результатів проведення експерименту	64
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ	75
4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища	75
4.2 Заходи захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища	77

	6
4.3 Технічні рішення по гігієні праці та виробничій санітарії	79
4.4 Техногенна безпека	80
4.4.1 Заходи щодо техніки безпеки при ремонтних роботах на кранах	80
4.4.2 Заходи пожежної безпеки	81
4.4.3 Ймовірність аварій та заходи щодо їх ліквідації	84
4.5 Дослідження засобів захисту від впливу вібрації на кранового машиніста	86
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	91
СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ	95
ДОДАТКИ	96

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ЦПП – цех підготовки потягів;

ТС – триботехнічні склади;

ВТК – відділ технічного контролю;

КПО – коефіцієнт природнього освітлення;

БНіП – будівельні норми і правила;

НПАОП – нормативно-правовий акт з охорони праці;

ГДК – гранично допустима концентрація;

ГДР – гранично допустимий рівень;

СН – санітарні норми;

КПО – коефіцієнт природної освітленості;

н.у. – нормальні умови

Вступ

В сучасному світі металургійна та гірничодобувна промисловість відіграють важливу роль у забезпеченні потреб суспільства, розвитку економіки та інфраструктури. Процес виробництва металів і сплавів зазвичай включає в себе трудомісткі операції, такі як плавлення металу та його розливання у виливниці.

Одним із головних завдань розвитку чорної металургії є підвищення якості виплавленої сталі і готового прокату, і зниження собівартості. Однією зі статей зниження собівартості є експлуатація змінного обладнання з мінімальним витратним коефіцієнтом. Підвищення якісних і економічних показників металургійного виробництва частково залежить від якості та вартості сталерозливного обладнання.

Видалення зливків з виливниць є ключовою частиною виробничого процесу, і від цього завдання залежить продуктивність, якість та безпека виробництва.

Підвищення продуктивності та ефективності цього процесу може призвести до зменшення витрат та покращення економічної вигоди для підприємств металургійної галузі.

Основним обладнанням, яке використовують для вилучення зливків з виливниць в мартенівському цеху є стріперні крани.

Розробка інноваційних рішень в напрямі модернізації вузлів стріперного крана, дозволить досягти кількох ключових цілей:

- збільшення надійності, а саме розробка нових матеріалів і технологій, що забезпечують тривалу службу вузлів та зменшення ризику поломок;
- вдосконалення конструкції вузлів стріперного крана для зниження часу на операції та підвищення загальної продуктивності крана.
- розробка систем та механізмів, що забезпечують безпеку робочого персоналу та запобігають небезпечним ситуаціям.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження роботи стріперного крану для вилучення зливків з виливниць.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз раніше проведених досліджень в питаннях удосконалення конструкції пристроїв для вилучення зливків з виливниць з метою підвищення ефективності їхньої роботи;
- визначити навантаження, що діють на елементи приводу підйому стріперного крану, та виконати розрахунок основних його конструктивних елементів;
- виконати аналіз факторів, що впливають на зусилля виштовхування зливка з виливниці;
- розробити математичну модель залежності зусилля виштовхування від «зовнішніх» факторів.

Предмет дослідження – конструктивні параметри приводу підйому стріперного крану мостового типу.

Об'єкт дослідження – механізм виштовхування зливка з виливниці.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на: II Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України». Запоріжжя: ЗНУ, 2022 р. Опубліковано тези доповіді.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи включає 109 сторінок, у тому числі 92 сторінки основного тексту, 23 рисунки, 10 таблиць, 34 найменування використаних джерел на 4 сторінках, 13 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 ВИЛУЧЕННЯ ЗЛИВКІВ З ВИЛИВНИЦЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ

1.1 Вантажопотоки мартенівського та цеху підготовки потягів

Мартенівський цех ПАТ «Запоріжсталь» є цехом з рельсовою системою подачі шихти та відноситься до цехів з великою продуктивністю.

У своєму складі мартенівський цех має:

- головну будівлю;
- шихтове відділення;
- міксерне відділення.

Система планування та транспортних потоків надана на рисунку 1.1.

Характерними особливостями планувального рішення цеха є:

- організація виплавки та розливання сталі в головній будівлі цеха;
- винесення всіх робіт по зберіганню та подачі шихтових матеріалів у шихтове відділення, яке розміщене з торця головної будівлі.
- винесення робіт по зберіганню та подачі рідкого чавуну в міксерне відділення, яке розміщене з торця головної будівлі.

Основні вантажопотоки в мартенівському цеху:

- подача та завантаження в піч сталювого брухту та сипучих матеріалів;
- подача та заливання чавуну;
- подача виливниць та розливка в них сталі;
- прибирання зливків та шлаку.

Допоміжні вантажопотоки - подача вогнетривів та матеріалів для ремонту печей і прибирання ремонтних відходів.

Рациональна організація вантажопотоків забезпечується за рахунок розміщення всіх відділень в одному (повздовжньому) напрямку і транспортування основних вантажів по повздовжньому залізничному шляху з використанням стрілкових з'їздів між ними. Переміщення вантажів в

поперечному напрямку в середині відділення забезпечується в основному мостовими кранами, що створює незалежність вантажопотоків в повздовжньому та поперечному напрямках [1].

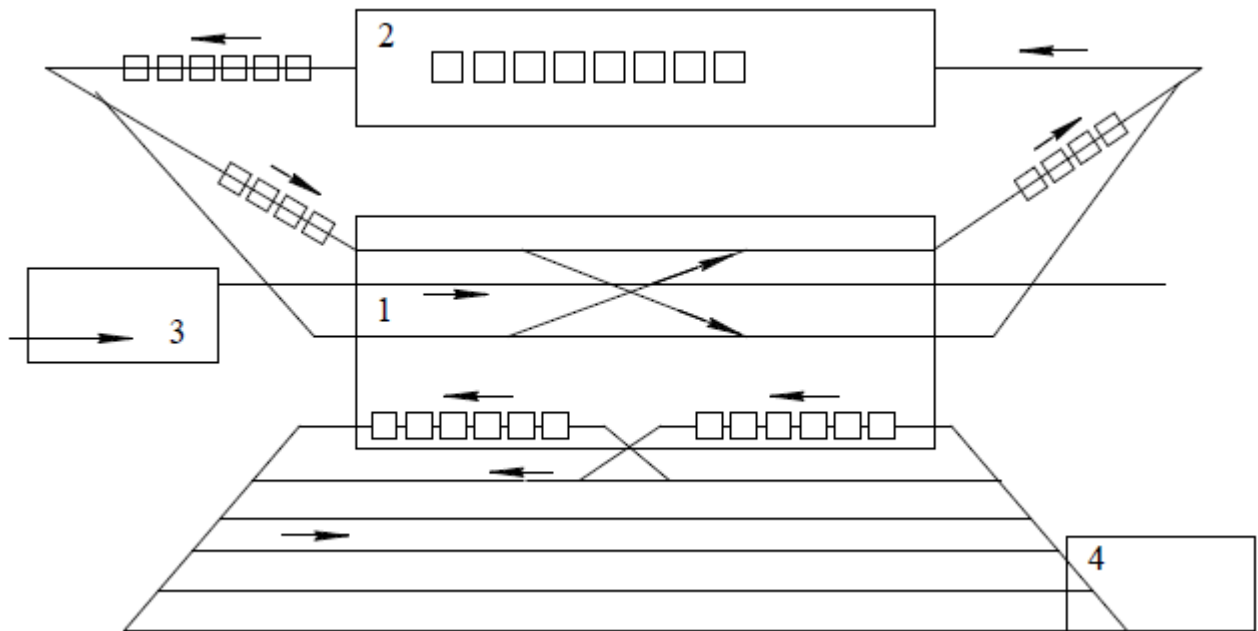


Рисунок 1.1 – Вантажопотоки мартенівського цеху

На території цеху розміщена мережа автомобільних доріг, які використовуються для підвезення допоміжних матеріалів та обладнання.

В головній будівлі (рисунок. 1.2) виплавляють та розливають сталь у виливниці, які встановлені на візках.

Основою об'ємно – планувального рішення головної будівлі є розміщення всіх печей в одну лінію та на визначеній висоті (на рівні робочої ділянки), а також виконання основних технологічних операцій – виплавки та розливання сталі в окремих спеціалізованих прогонах.

Будівля складається із трьох прогонів:

- шихтове крило В-Г;
- пічний прогін Б-В;
- розливний прогін А-Б.

Шихтове крило призначене для забезпечення безперервної роботи мультимольдових составів із шихтою до печі. Він перекритий робочою ділянкою пічного прогону. На робочій ділянці вкладені два залізничних шляхи. Ці шляхи з'єднані між собою стрілковими з'їздами між собою, а також з мультимольдовим шляхом пічного прогону. На шляхах шихтового крила, мультимольдові потяги, які подаються із шихтового відділення, очікують початку завантаження твердої шихти в мартенівську піч. Залізничні шляхи також забезпечують можливість маневрування потягами при їх подачі до печей та русі назад.

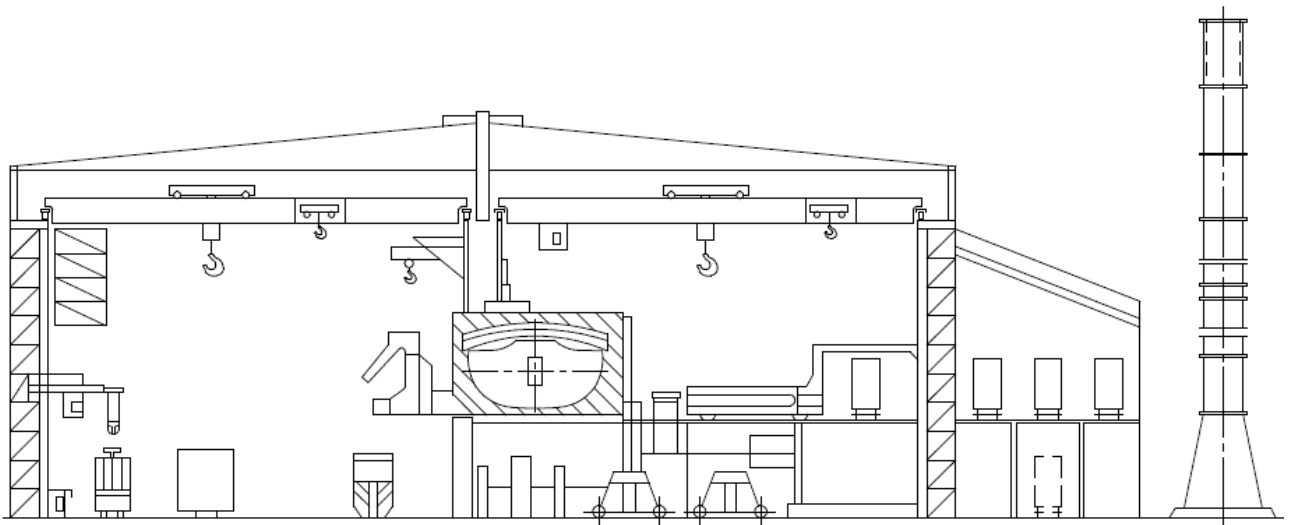


Рисунок 1.2 – Поперечний розріз головної будівлі мартенівського цеху

Ширина шихтового крила складає 14 метрів, а висота визначена габаритами залізничних вагонів. У шихтовому крилі немає кранового обладнання.

В пічному прогоні розміщені мартенівські печі 4, а також транспортні шляхи для подачі шихтових, заправочних та допоміжних матеріалів та обладнання для завантаження та обслуговування печей (заправочні машини, торкрет машини і т.д.)

Печі розміщені між колонами, які розділюють пічний та розливний прогони так, що забезпечується випуск сталі в розливний прогін і разом з тим

печі висунуті в пічний прогін на стільки, що їх осі знаходяться в зоні дії заливного крана, що необхідно для забезпечення подачі вантажу при ремонтах печі. Пічний прогін перекритий робочою ділянкою, розміщений на висоті 8,1 м, що забезпечує можливість обслуговування робочого простору печі через робочі (заливні) вікна.

Печі згруповані в блоки (по три печі). Між блоками передбачені «холості» прогони без печей. В холостих прогонах розміщують підвісні бункера для зберігання феросплавів, переносні бункера для заправочних матеріалів, ділянки для ремонту жолобів, які слугують для заливання чавуну, заправочні машини, торкрет-машини. Бункера для феросплавів також встановлюють біля колон між печами. Між колонами, які розділяють пічний прогін та шихтове крило, розміщують пульти управління печами та допоміжні приміщення.

Прогін обладнаний кранами, з вантажопідйомністю $Q = 325 + 75/15$ т - 11 шт., консольними, з вантажопідйомністю $Q = 5$ т (один кран). В розливочному прогоні розміщені розливні ділянки, розливні шляхи для візків з виливницями, шлях для вивозу сміття та шлаку, стенди для сталерозливних і шлакових ковшів. Висота розміщення розливних кранів така сама, як у кранів пічного погону.

В розливочному прогоні розміщені стенди для сушки сталерозливних ковшів, також є ділянка для ремонту та установки шибєрних закривів на сталерозливні ковші, ділянки з ямами для ремонту сталерозливних ковшів, установки для приготування вогнетривких мас та інше обладнання. Між розливними ділянками є з'їзди з розливного шляху на зовнішній шлях, що забезпечує незалежну подачу составів з виливницями з двох боків розливної ділянки.

Об'єм на планувальне рішення та обладнання прогону забезпечує виконання наступних робіт: доставку сталерозливних ковшів до стендів біля печей і від печей до сталерозливної ділянки, розливання сталі з використанням при цьому ковша повздовж прогону над виливницями, подачу порожніх розливних составів та прибирання составів із зливками після закінчення розливання, підготовка ковша, прибирання ковшів із шлаком та сміттям, подача

матеріалів для ремонту шибєрних закpивів сталєрозливних ковшів та печей. Це забезпечується поєднанням залізничного транспорту (переміщення повздовж прогону на нульовій відмітці) та роботи кранів (на більш високому рівні в різних напрямках).

Мульдові потяги з шихтою подають в шихтове крило із шихтового відділення цеха. Перед початком завалки мульдовий потяг подають до печей на мульдовий шлях. Хоботом завалочної машини мульди почергово піднімають із потяга, вводять через вікно в піч перекидають. Після чого пусті мульди знову встановлюють на потяг. Після завантаження чергової мульди состав пересувають завалочні машини так, щоб навпроти робочого вікна печі замість порожньої опинилась повна мульда [2].

Рідкий чавун подають в пічний прогін із міксерного відділення чавуновозами. Ковші піднімають заливочним краном і заливають із них чавун в піч через заливний жолоб, який перед заливанням встановлюють за допомогою крана в робоче вікно печі.

Фєросплави подають в пічний прогін на залізничних платформах в саморозвантажуючому цебері зі складу фєросплавів. Цебер піднімають заливним краном та розвантажують фєросплави у підчєпні бункери, які розміщені над робочою ділянкою між печами. Із бункерів фєросплави видають в пічний та розливний прогони, відкриваючи закpив бункера, фєросплави висипаються у встановлену під ними мульду, або лоток, який встановлений на вагах. Далі завантажену мульду завалочною машиною подають в печі, а лоток на передавальному візку перевозять в розливний прогін в зону дії консольного крана. Цим краном фєросплави із лотка висипають в розхідні бункера, які встановлені над випускним жолобом печі, а із них - в сталєрозливні ковші.

Состав візків з виливницями подають в розливний прогін і встановлюють біля розливної ділянки за 15-30 хвилин до випуску сталі. Старєрозливні ковші встановлюють біля печі на спеціальні стєнди. Біля сталєрозливних ковшів встановлюють шлакові чаші. Після відкриття сталє випускного отвору сталь по жолобу потрапляє в сталєрозливні ковші, а надлишковий шлак, який витікає із

сталерозливного ковша під час випуску потрапляє в шлакову чашу, встановлену біля розливного ковша.

Сталерозливний ковш зі сталлю піднімають розливним краном і розливають у виливниці зверху, пересуваючи ковш над виливницями. Після закінчення розливання із ковша зливають шлак, а ковш встановлюють на стенд для охолодження. Потяг зі зливками в залежності від марки сталі витримують на розливній ділянці від 20 до 90 хвилин. Після чого відвозять на шляхи відстою, або в стриперне відділення.

Шлак з печі під час плавки зливають через середнє робоче вікно в шлакову чашу, яка переміщується під робочим простором по поперечному шляху. Після закінчення чашу видають в розливний прогін та краном встановлюють на шлаковози.

Міксерне відділення розміщене з торця головної будівлі, в ньому встановлені стаціонарні міксери.

На робочій ділянці повздовж прогону прокладені три рейкових шляхи. Ближній до печей шлях називають мультдовим. На нього подають состави з шихтою в мультдах при завалці печей. Дальній від печей шлях - чавуновозний. По ньому в прогін за допомогою чавуновозів подають рідкий чавун із міксерного відділення. Середній шлях шириною $L = 7,75$ м призначений для переміщення завалочних машин напольного типу. В прогоні працює вісім завалочних машин вантажопідйомністю, $Q = 10$ т.

Пічний прогін обладнаний мостовими з заливними кранами з вантажопідйомністю $Q = 125+30$ т. Ширина пічного прогону визначена габаритами мартенівських печей (2-х ванних сталеплавильних агрегатів) і обладнання, яке знаходиться повздовж прогону (мультдові состави, завалочні машини, чавуновози), а також для відстань між ними безпечного проходу (0,5 м між пічкою та мультдовим составом і між составом та завалочною машиною, 1 м між чавуновозом і колонами прогону).

Розливний прогін слугує для прийому випущеної із печі сталі, і її розливання по виливницям та для прибирання із печі шлаку, сміття.

Стационарний міксер призначений для тимчасового - 7-9 год. зберігання рідкого чавуну завдяки чому створюються незалежні умови роботи мартенівських печей від доменних. В міксері вирівнюється хімічний вміст та температура чавуну, а також частково видаляються шкідливі домішки, для підтримання необхідної температури чавуну міксери обігрівають грілками.

В міксерному відділенні встановлено два стаціонарних міксера ємністю 1300 т кожний.

Міксери встановлені на високому фундаменті з розрахунком на те, що робоча ділянка міксера знаходиться на одному рівні з робочою ділянкою пічного прогону цеху. Міксер обладнаний механізмом повороту рейкового типу, а також механізмами відкривання кришок заливного отвору та випускного носка.

Чавун транспортується із доменного цеху в чавуновозах (ємністю ковша 100 т) і за допомогою міксерного крана заливають в міксер. У відділенні встановлено два міксерних крана з вантажопідйомністю $Q = 140/32$ т. Із міксера чавун зливають в чавуновозний ковш. Потяг із чотирьох чавуновозів по залізничному шляху потрапляє в пічний прогін цеху. Зважування чавуну проводять на вагах залізничного типу із вантажопідйомністю $Q = 250$ т, встановлених під носком міксера. Над потягом знаходиться установка для вловлювання графіту.

На майданчику, який розташований на рівні носка міксера, встановлена машина для скачування шлаку з міксера.

Стриперне відділення 4 (рис.1.1), ділянка охолодження виливниць, чистки та змащення виливниць, відділення підготовки составів (дві виливниць) до мартенівського цеху не відносяться, а підпорядковуються організаційному цеху підготовки потягів з виливницями (ЦПП).

До відділення підготовки потягів (рис. 1.3) входять наступні ділянки: стриперне, підготовки составів, чищення та мащення виливниць та складські приміщення.

Відділення підготовки потягів уособлює собою однопрогінну будівлю цеху виливниць та складські приміщення.

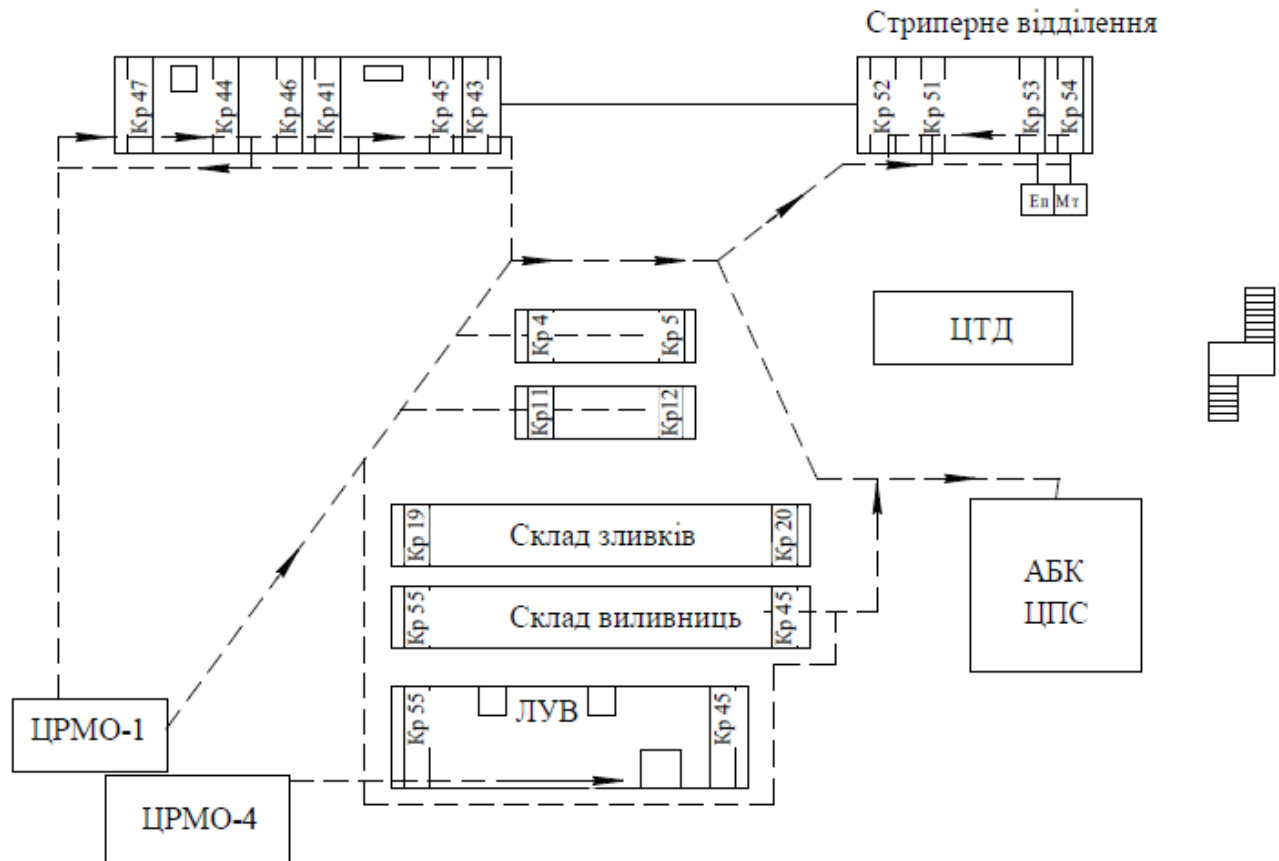


Рисунок 1.3 – Схема вантажопотоків ЦПП

З мартенівського цеху до ЦПП йдуть потяги зі зливками у виливницях, які розливались сифонним способом в розливному відділенні. Після охолодження і остаточної кристалізації зливку сталі його подають до відділення підготовки потягів.

У відділенні підготовки потягів з виливниць видаляють зливки сталі на стриперній ділянці за допомогою стриперних кранів і поставляють їх до складу зливків. Стриперні крани – це головне обладнання у відділенні.

Після роздягання зливків, виливниці поставляють на ділянку чищення виливниць. Тут виливниці вичищаються та змащуються. Після цього процесу вони поставляються до складу виливниць, де з них готують нові рухомі потяги для подальшої розливки сталі в мартенівському цеху.

Глиняно – вапнякова маса, якою змащуються виливниці, виготовлена у відділенні підготовки потягів, де працюють глиномяльні машини.

Також є і складські приміщення, де знаходяться запасні частини та деталі для головного і допоміжного обладнання ЦПП.

Майже усі вантажопотоки в ЦПП здійснюються за допомогою мостових кранів. На стріперній ділянці знаходиться чотири мостові крани для відділення зливків від виливниць, на ділянці чистки виливниць знаходиться чотири мостові крани загального призначення, на складі виливниць та складі зливків знаходиться по два мостових крани загального призначення.

В ЦПП виливниці зі зливками потрапляють з мартенівського цеху на залізничних потягах по чотирьом залізничним шляхом. В мартенівському цеху в виливниці розливаються різні марки сталі сифонним способом і в процесі постачання виливниць в ЦПП проходить процес кристалізації та охолодження зливку.

Спочатку один з чотирьох стріперних кранів видаляє зливку з виливниці, а саме: знімається теплова насадка, роздягається зливку розлитий розширенням або вверх або вниз і останнім технологічним процесом в стріперному відділенні є відривання зливку від піддону.

Після роздягання зливки транспортуються до складу зливків або до нагрівних печей, для підготовки їх для подальшої прокатки в обтискному цеху. Там вони вирівнюються по температурі та остаточно кристалізуються.

В той час виливниці постачаються у відділення чищення виливниць. В ньому, за допомогою машин для чищення виливниць обробляються виливниці та піддони для подальшого використання в мартенівському цеху. Також в цьому відділенні змащуються виливниці глиняним та вапняковим розчином, який був виготовлений у відділенні підготовки составів. У відділенні підготовки составів розташована глиномяні машини, які виготовляють глиняно - вапнякову масу. Вона потрібна для кращого видалення зливків від виливниць. Якщо шар змащеної маси недостатній, то зливку може приваритися до виливниці.

Після очищення і змащування виливниць їх поставляють до складу виливниць.

Останнім технологічним процесом в ЦПП є створення нових залізничних потягів з виливницями. Виливниці мостовими кранами встановлюються на піддони, і певна кількість піддонів формується в залізничний потяг і по залізничним шляхом постачається до мартенівського цеху для нової розливки сталі.

Також в ЦПП є складські приміщення де зберігаються запасні машини, механізми, вузли та деталі.

1.2 Аналіз устрою стріперного крану та його місце в технологічному процесі роздягання зливків

Стріперний кран встановлений в стріперному відділенні ЦПП, і призначений для виштовхування зливків розширенням як вверх так і вниз. Він також виконує і допоміжні роботи: переносить бункери із заправними матеріалами, контейнери з розкислювачами і запасними деталями. Також його використовують і при ремонтах.

Від мостових кранів загального призначення стріперні крани відрізняються наявністю механізму виштовхування зливків, механізму головного підйому; важким режимом роботи та підвищеними вимогами до надійності, безвідмовності і безпеки експлуатації, визначуваними специфікою роботи кранів із великими навантаженнями [4].

Стріперний кран (рис 1.4) складається з моста 1 з механізмом пересування 3, балансирних візків 2, кабіни 7, візка 4, шахти механізму виштовхування 5 та трьох операційного стріперного механізму 6.

Міст крану - зварної конструкції, закритого типу, складається з головних повздовжніх балок коробчастого перетину, поперекових кінцевих балок, вертикальних і горизонтальних зв'язків. Конструкція моста забезпечує незалежність в пересуванні на різних рівнях головного і допоміжного візків. По двох головних зовнішніх балках укладені рейки для пересування головного візка.

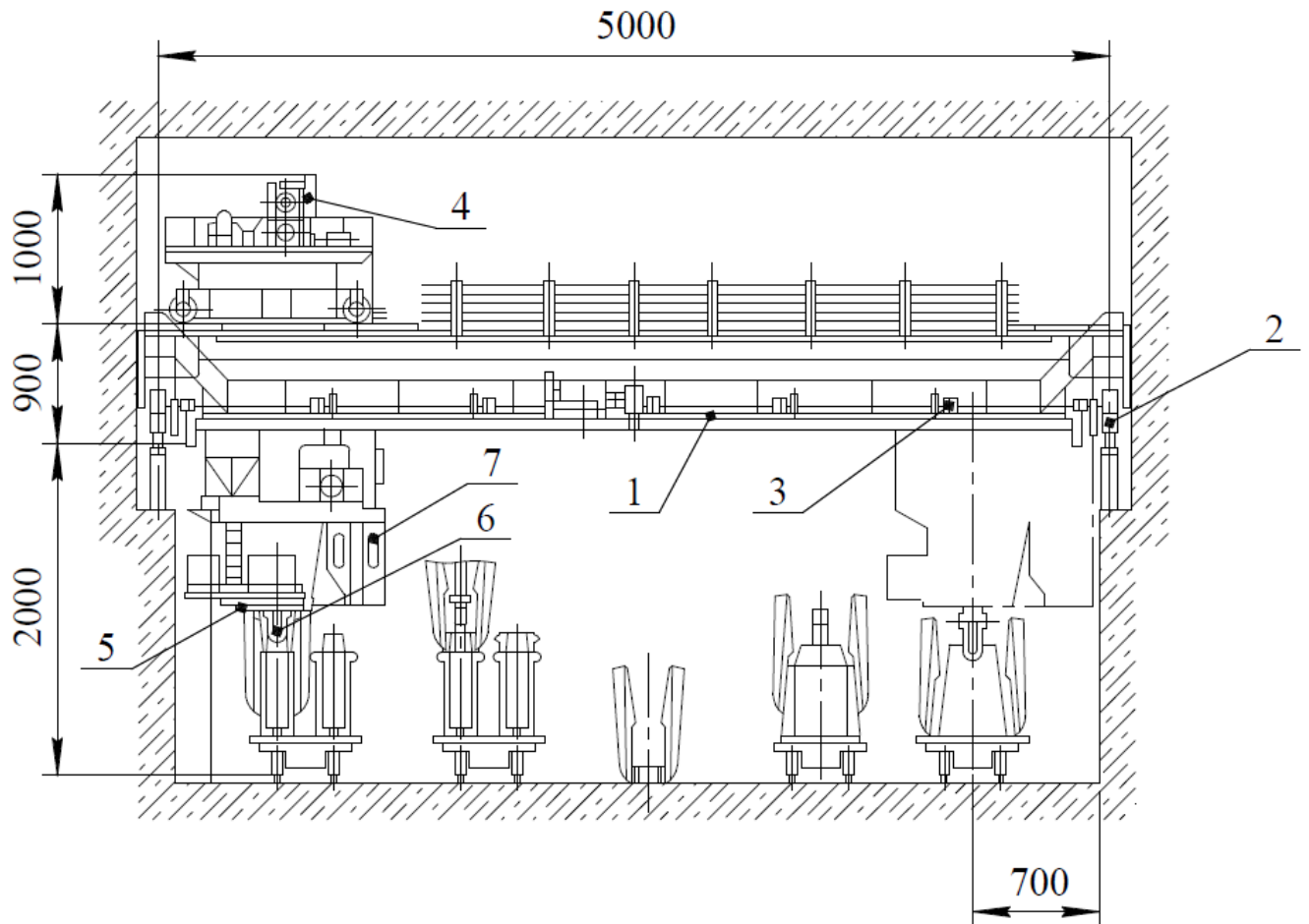


Рисунок 1.4 – Загальний вид стріперного крану (позиції наведено в тексті)

Загальна кількість ходових коліс крану шістнадцять, з них вісім приводні. До моста крану прикріплена кабіна, де знаходиться машиніст і розміщена електроапаратура і обладнання для управління краном. На верхньому і нижньому ярусах моста виконаний настил з рифлених металевих листів для обслуговування і ремонту крану.

Подача енергії для електродвигуна здійснюється за допомогою тролей. Плавність роботи механізму і широкий діапазон регулювання швидкостей отримані вживанням електродвигунів постійного струму. Для запобігання крану від жорстких ударів при наїзді на упори, або на сусідній кран, з кожного боку передбачені пружинні упори.

Для пересування моста стріперного крану служать чотири індивідуальні приводи (рис 1.5), що працюють синхронно та розташовані на спеціальних

майданчиках по чотирьох сторонах моста крану. Кожен привод механізму пересування складається з електродвигуна 1, муфт 2, промвалу 4 і редуктора 3. Вихідний вал редуктора пов'язаний з промвалом, виконаним з окремих секцій. Гальмо 5 встановлене на вільному кінці валу двигуна.

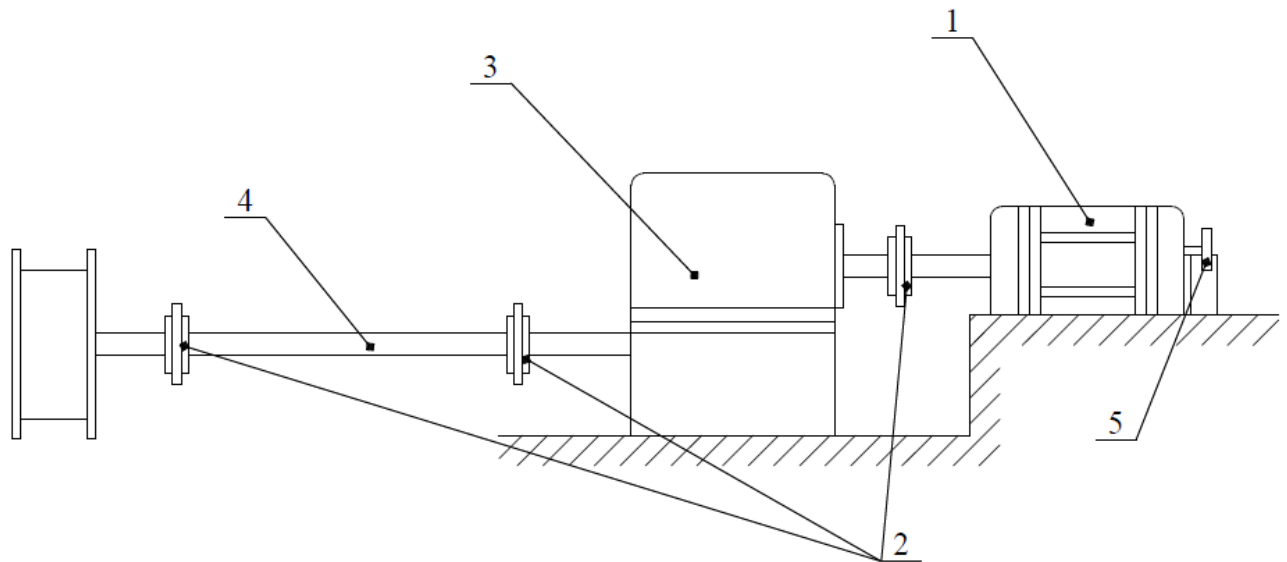


Рисунок 1.5 – Індивідуальний привод стріперного крану (позиції наведено в тексті)

Ходові колеса крану розміщені в не приводних і приводних балансирних візках, суглобно сполучених з головними балансирами. Останні у свою чергу, суглобами пов'язані з мостом. Балансирні візки забезпечують розподіл навантаження на ходові колеса. Колеса встановлені у викатних буксах, прикріплених до рами візків.

Механізм головного підйому (рис 1.6) (трьюопераційний) стріперного крану призначений для роздягання зливків. Рама головного візка зварної конструкції виготовлена з балок коробчастого перетину і переміщається на чотирьох ходових колесах, які приводяться у рух від електродвигуна 4. Трьюопераційний стріперний механізм складається з допоміжного механізму підйому 2, механізму підйому кліщовин 1, механізму керування кліщовинами 3, механізму виштовхування 9. Окрім механізмів на візку також змонтовано шахта

трьохопераційного стріперного механізму 8, кліщовин 7, гакової підчепки допоміжного підйому 6 та магніту 5 допоміжного підйому.

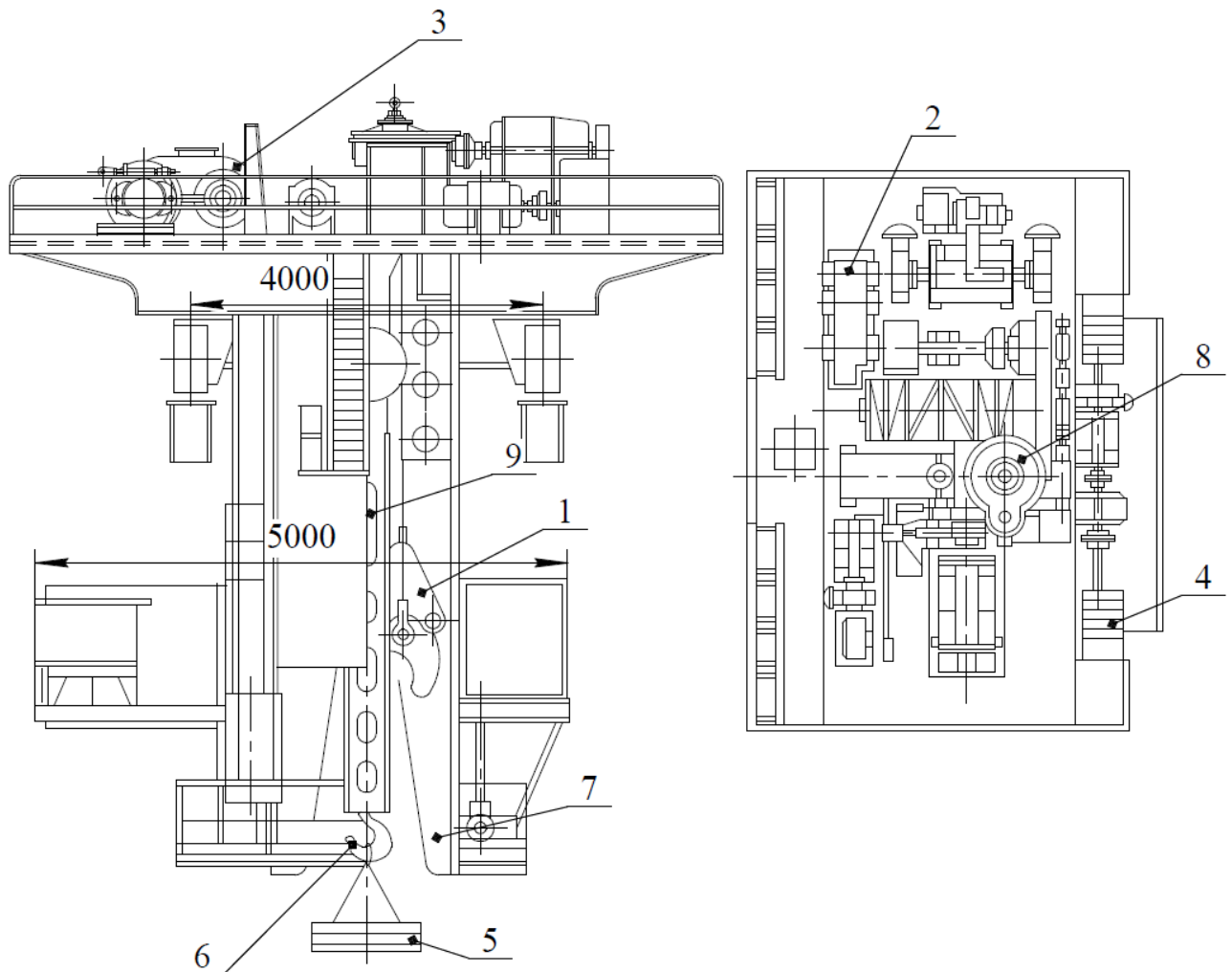


Рисунок 1.6 – Будова стріперного механізму (позиції наведено в тексті)

Технічна характеристика стріперного крану вантажопідйомністю $Q = 50$ т.

1. Вантажопідйомність механізмів головного підйому, т	50
2. Швидкість головного підйому, м/с	0,33
3. Швидкість пересування, м/с	
-крану	0,75
-головного візка	1,33
4. Механізм головного підйому	
-висота підйому, м	5,5

-діаметр барабана, мм	950
-діаметр каната, мм	31
5. Механізм пересування головного візка	
-кількість ходових коліс	4
-потужність електродвигуна, кВт	1x55
6. Механізм пересування крану	
-кількість ходових коліс	16
-потужність електродвигуна, кВт	4x32
7. Прогін електродвигуна, кВт	25,4
8. Механізм керування кліщами	
-час відкривання та закривання кліщів, с	2
-потужність електродвигуна, кВт	1x55
9. Маса крану, т	182

Не зважаючи на перевірену часом конструкцію стріперного крану вона далека від досконалості та потребує подальшої модернізації.

1.3 Огляд технічних рішень спрямованих на модернізацію обладнання для вилучення зливків та обґрунтування обраного напрямку досліджень

Зливки від виливниць та піддонів примусово відокремлюють наступними способами (залежно від форми виливниці):

1. виливницю, розширену донизу, разом зі зливком піднімають над піддоном і з неї виштовхують вниз зливки або зливки притискають до піддону, а виливницю стягують зі зливка вгору;
2. виливницю, розширену догори, притискають до піддону і зливки витягують нагору за його прибуткову частину або виштовхують з неї знизу (останній спосіб широкого застосування не отримав);

3. розширений донизу зливки відривають від піддона, притисненого донизу, і відривають вгору зливки, що приварився.

Способи примусового відділення злитків від виливниць та піддонів відповідають основним операціям стріперних механізмів. За кількістю виконуваних основних операцій стріперні механізми ділять на одноопераційні, що працюють тільки за першим способом, двоопераційні, що працюють як по першому, так і по другому способу, і триопераційні, що працюють за трьома способами [5].

За способом встановлення виштовхувальні механізми ділять на стаціонарні, пересувні та підвісні. Підвісні виштовхувальні механізми (підвішені до гака мостових кранів) застосовують для злиwkів масою до 3 т. Одно- та двоопераційні пересувні кранові машини у сучасних цехах великої продуктивності не застосовують. Стріперні відділення сталеплавильних цехів обладнані трьохопераційними кранами з електроприводами. Стаціонарні машини для виштовхування злиwkів підлогового типу відіграють допоміжну роль – за їх допомогою, так як ці машини відрізняються великою силою виштовхування, звільняють злиwки, що застрягли та не піддаються вилученню стріперним краном [6].

Стріперні крани призначені для роздягання злиwkів, відлитої розширенням донизу і догори, відривання злиwkів від піддонів, відлитої розширенням донизу, а також для виконання допоміжних операцій. Крани поставляються для експлуатації в районах з помірним і тропічним кліматом, працюють в важкому режимі.

Мостовий електричний кран для роздягання злиwkів складається з моста, механізму пересування крана, візка з кабіною. Всі механізми крана мають самостійні двигуни постійного струму, що приводяться в дію незалежно один від одного і обладнані гальмами колодковими нормально-замкнутого типу. Управління механізмами здійснюється з кабіни. Апаратура управління розміщена на майданчиках рами візка.

Візок крана складається з рами і механізмів. Рама візка зварної конструкції має головні балки двотаврового перерізу, пов'язані поперечними коробчастими балками. До балок і верхнього листа, ввареного між ними, приварюється обічайка верхньої частини шахти. До неї кріпиться нижня частина шахти монтажним клепаним з'єднанням. Усередині шахти по направляючих переміщується механізм виштовхування з кліщами. Ззовні шахти розташовані: кабіна управління, перехідні площадки і башмаки для кріплення кінців направляючих противаги. Кабіна і майданчики кріпляться через систему балок безпосередньо до шахти. На рамі візка крана розташовані наступні механізми:

- механізм головного підйому;
- механізм управління кліщами;
- покажчик ходу штемпелю;
- механізм пересування візка.

Крім цього, встановлюється врівноважуючий балансир і кріпляться направляючі противаги.

Механізм виштовхування підвішений на канатах (6, рис.1.7), які кріпляться одними кінцями на барабані головного підйому (5, рис.1.7), іншими кінцями на балансирних важелях (40, рис.1.7). Механізм виштовхування є робочим органом крана для роздягання зливків, що виконує всі основні операції при обробці зливків. Основою механізму виштовхування служить патрон (корпус) (19, рис.1.7). Центральною частиною механізму є вантажний двоходовий гвинт 28, з'єднаний зі штемпелем 20 і зі змінним наконечником, безпосередньо діючим на зливки при виштовхуванні останнього з виливниць. Поступальний рух вгору або вниз гвинт отримує від приводу механізму виштовхування за рахунок редуктору 14 і полого валу 29. Робочі органи механізму виштовхування - великі кліщі з вушками 24 і малі кліщі з губками 25, призначені для виробництва операцій по роздягання зливків. Вони підвішені на механізмі виштовхування постійно, без будь-якої зміни їх при зміні виду операцій.

Кліщі з вушками працюють при всіх основних операціях і виконують функції:

а) кліщів - при роздяганні злитків, відлитої розширенням донизу (зняття виливниці зі зливку і теплових надставок);

б) упорів - при відривання злитків від піддонів і при роздяганні злитків відлитої розширенням догори.

Кліщі мають три вушка, що дозволяє обслуговувати зливки та теплові надставки різних розмірів.

Механізм головного підйому на вихідному валу редуктора має храповий пристрій 3 для забезпечення постійного натягу канатів при роздяганні зливків (коли механізм виштовхування піднімається вгору при включеному механізмі головного підйому).

Канати механізму управління кліщами служать для їх відкривання і закривання. Одні кінці закріплені на барабані механізму головного підйому, інші - на важелях механізму управління 8. Для здійснення відкривання або закривання кліщів необхідно електродвигун 10 відповідно включити на відкривання або закривання. При цьому рух через редуктор 9, кривошипно-шатунну передачу передається на вал важелів, який провертаючись на певний кут, переміщує важелі із закріпленими на них канатами управління в крайнє верхнє або нижнє положення, кліщі відкриваються до максимуму або закриваються до мінімуму. Таким чином, підйом і опускання механізму виштовхування не пов'язані з відкриванням або закриванням кліщів.

Механізм пересування візка має звичайну конструкцію з вертикальним редуктором, зубчастими муфтами, електричним двоколовковими гальмами. Ходові колеса встановлені на підшипниках кочення, укладених в букси. Всі зубчасті передачі укладені в масляні ванни, опори валів виконані на підшипниках кочення.

Міст крана складається з двох зварних головних балок, з'єднаних з кінцевими балками, утворюючи одну жорстку раму моста. Всі балки коробчатого перетину. На головних балках укладені рейки, по яких переміщається візок. Рейки кріпляться за допомогою планок з болтами. Міст має чотири привода механізму пересування. Тому струмопідвід розміщений на спеціальних верхніх

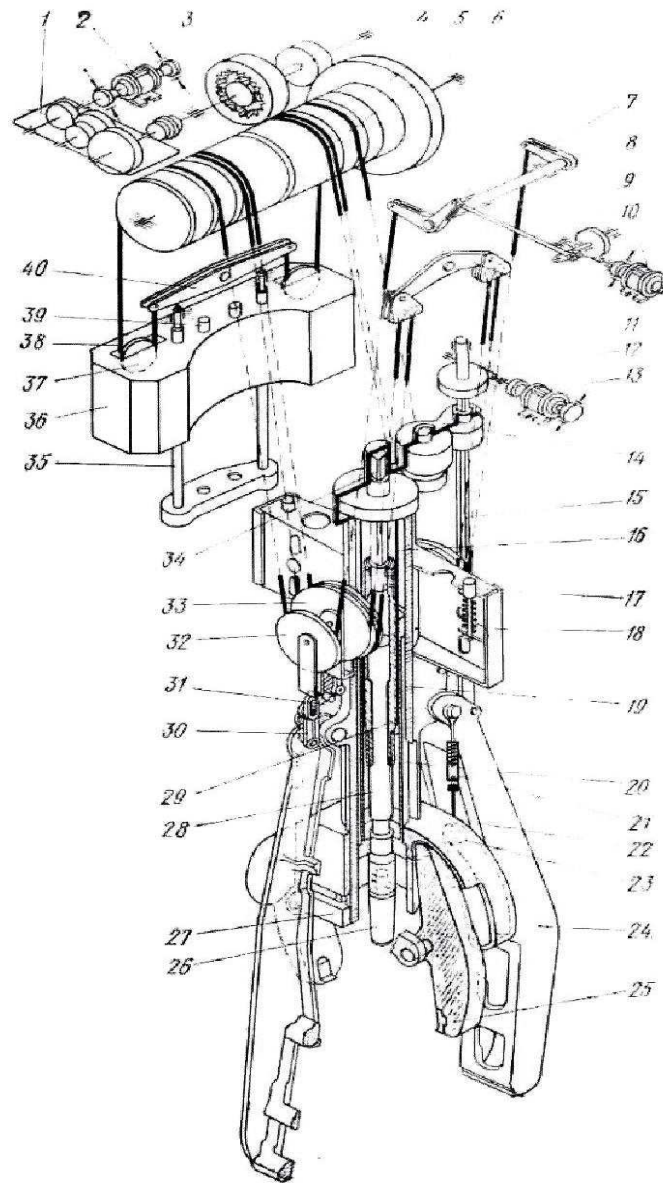
майданчиках, розташованих уздовж верхнього поясу балок моста, а механізми пересування крана розташовуються на нижніх майданчиках. Цього можливо було досягти завдяки великій висоті балок моста. Крім цього, металоконструкція моста забезпечена: майданчиками для обслуговування ходової частини крана, сходами, перилами вздовж майданчиків і люлькою для обслуговування головних струмоприймачів.

Пересування крана здійснюється за рахунок чотирьох самостійних механізмів, розташованих на обох сторонах моста. Електродвигуни всіх приводів механізму працюють паралельно. Кран встановлений на 16 ходових колесах, пов'язаних між собою попарно балансирами. Балансири із вмонтованими в них колесами шарнірно кріпляться в головному балансірі, який в свою чергу шарнірно кріпиться в головній частині балки моста. Опори ходових коліс і всіх валів механізму виконані на підшипниках качення, всі підшипники, а також осі балансірів змащуються від ручних насосів, встановлених на настилі моста, по одному для кожного механізму. З'єднання електродвигуна з редуктором і редуктора з проміжним валом виконано за допомогою зубчастих муфт.

Кінематична схема механізму виштовхування представлена на рисунку 1.8. При розрахунку найбільш навантажених івузлів крану варто керуватися даними наведеними в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Основні технологічні параметри для розрахунків

Величина	Познач.	Значення	Од. виміру
Максимальна вага зливку та виливниці	Q_1	20000	кг
Вага частини механізму виштовхування, що підіймається	G_1	42570	кг
Вага противаги	G_2	17350	кг
Швидкість пересування штемпеля	$v_{ш}$	0,05	м/с
ККД барабана и блоків	$\eta_б$	0,975	-
ККД направляючих	$\eta_н$	0,98	-
Різьба гвинта (зовнішня)	-	Трап 360(2x40)	-
Різьба гвинта (внутрішня)	-	Трап 240(2x40)	-



1 - двоступінчатий редуктор; 2 - електродвигун механізму підйому патрона; 3 – храповий пристрій; 4 - відкрита зубчаста передача; 5 - барабан; 6 - канати підйому патрона; 7 - канати управління кліщами; 8 - чотирьохзвенний шарнірний механізм коромисла управління кліщами; 9 - черв'ячний редуктор; 10 - електродвигун управління кліщами; 11 - балансір канатів підйому; 12 - черв'ячний редуктор; 13 - електродвигун; 14 - двоступінчатий рухливий редуктор; 15 - квадратний вал; 16 - нерухома гайка - гільза; 17 - амортизатор патрона; 18 - повзуни патрона; 19 - патрон; 20 - штампель; 21 - канати для утримання малих кліщів; 22 - обойма малих кліщів; 23 - ролики; 24 - великі кліщі; 25 - малі кліщі; 26 - наконечник; 27 - траверси малих кліщів; 28 - гвинт; 29 - порожнистий гвинт; 30 - серьга; 31 - коромисло; 32 - блоки каната управління кліщами; 33 - блоки канатів підйому; 34 - квадратний хвостовик; 35 – направляючі противаги; 36 - противага; 37 - блоки противаги; 38- канати противаги; 39 - амортизатори; 40 - балансір противаги.

Рисунок 1.7 - Принципова схема механізмів крану для роздягання зливків

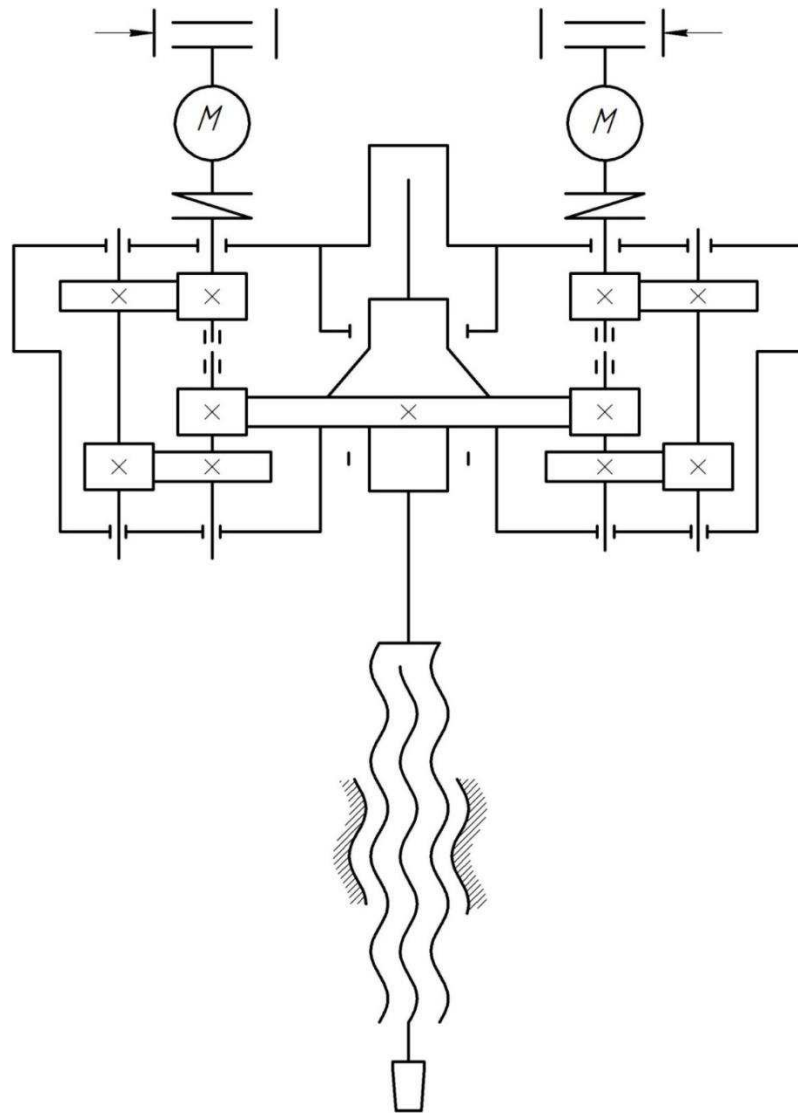


Рисунок 1.8 - Кінематична схема механізму виштовхування

Механізми крану для роздягання зливків експлуатуються в найбільш важких умовах праці по завантаженості і температурі довкілля (70°C), що слід враховувати при розрахунках деталей і приводів.

В якості обладнання вивільнення зливків з виливниць в світовій літературі використовуються не тільки стріперні крани, а й інші доволі цікаві конструкційні рішення та технологічні способи. Так в роботі [7] описано метод вибивання відливків з форм з використанням вібраційних процесів, а саме використання віброгуркоту, завдяки чому відбувається одночасне вибивання виливків та їхнє транспортування. Даний спосіб підходить тільки не габаритних деталей, але з іншого боку доволі схоже рішення використовується в ударному

стриперному крані Тіберга, Швеція. В цьому випадку рішення доволі просе, але з іншого боку досить ефективне. Виливниця зі зливком переміщується в спеціальну конструкцію, яка побудована значно нижче рівня підлоги та має наметалеву направляючу у вигляді стрижня, який встановлений навпроти центру зливка в отворі дна виливниці. Зі стриперного крану скидується вантаж, який спрямовується на верхній фланець виливниці і під дією гравітаційних сил вибиває зливком з виливниці. За рахунок використання гравітаційних сил стрипер не перевантажується при витягуванні зливка з виливниці. Навантаження, яке діє на стрипер під час цього процесу – це підйомне зусилля, необхідне для підняття вантажу на робочу висоту. У звичайного стриперного крану, коли зливком видаляється з виливниці, в металокопструкціях крану виникають значні напруження, які вимагають при проектуванні закладувати значні збільшення металоемності, що пов'язано з коефіцієнтом запасу по міцності, що в свою чергу викликає збільшення капітальних витрат [8].

Головним недоліком такого крану є те, що його можна використовувати тільки у випадку коли зливки розливалися у виливниці з розширенням доверху.

Також вібраційний вплив при витягуванні зливка використовується на установках витягування зливка з кристалізатора. Так в роботі [9] пропонується гвинтова система витягування зливка з електромеханічним приводом та системою відеонагляду за рівнем розплаву в кристалізаторі. Додатково в систему введено гідравлічний мембранний механізм, який завдяки відслідковуванню рівня розплаву своєчасно, через шток надає зливку зворотньо-поступальні коливання, що значно полегшує вивільнення зливка. Така система добре працює на зливках малої маси, про використання її в промислових масштабах при роздяганні зливків масою до 20 т відомостей у відкритих джерелах на жаль знайти не вдалося.

В роботах [10-11] акцент робиться на зміні конструкції кліщовин. Автори в роботі [10] пропонують змінити конструкцію таким чином великою щоковини, що дозволить її підсилити та зберігати роботоспроможність при температурах 250 °С. Роботою [11] запропоноване покращення конструкції направлене на

полегшення витягування зливка шляхом введення в конструкцію однобічного вертикального клина з похилою поверхнею горизонтального клинового плунжера. Зміна кута нахилу клинового плунжера пропонується виконувати з огляду на масу витягуємого зливка.

Така пропозиція викликає значних капітальних вкладень по зміні конструкції існуючого стріперного крана, але настановує на виконання дослідження впливу кута нахилу стінок виливниць на зусилля виштовхування в дослідно-експериментальній частині.

1.4 Пропозиції усунення недоліків конструктивного виконання стріперного крану

На даний момент головним недоліком стріперного крану є відносно малий період роботи механізму виштовхування зливків, внаслідок дії значних навантажень, які сприймає механізм виштовхування. Одним із чинників зниження роботоздатності механізму виштовхування є незадовільна робота системи мащення, яка не виконує своїх функцій, а саме – погано відводить тепло від вузлів тертя від зубчастих передач, що в свою чергу, також впливає на швидкий вихід з ладу механізму виштовхування стріперного крану.

Нові етапи розвитку техніки і реалізація наукових відкриттів вимагають створення матеріалів, відповідних підвищеним вимогам - легких, високоміцних, жароміцних - таких як кермети. Кермети повинні забезпечити роботу машин і апаратів сучасної техніки при підвищених температурах, напруженнях і швидкостях, оскільки очікується, що вони успадкуватимуть високу міцність кераміки, і в'язкість металу.

Кермети - це композиції однієї або декількох керамічних фаз з металами або металевими сплавами, володіючі комплексом властивостей, не властивих початковим компонентам. Композиції, в яких керамічна фаза поліпшує властивості металів і сплавів, відносяться до дисперснозміцнених матеріалів

(інфракерметам), а композиції, в яких властивості кераміки поліпшені металами і сплавами, - до ультракерметів. Металеві зерна інфракерметів містять дисперсні включення керамічної фази або голчату керамічну фазу, розташовану в сусідніх зернах. В ультракерметах включення металевої фази знаходяться в керамічних зернах або на межі стику трьох зерен [12-13].

Пропонується обробити механізм виштовхування стріперного крану триботехнічним складом на базі керметів методом направленої іонної дифузії (НІОД). Методи НІОД відносяться до плазменних методів обробки матеріалів, які добре відомі та використовуються для переплаву металів та сплавів, напилення зносостійких, жароміцних та корозійностійких покриттів, різання та зварювання різних матеріалів, поверхневого зміцнення виробів [14].

В якості триботехнічного складу керметів взяти триботехнічні склади з нанесенням методом направленої іонної дифузії - це дрібнозернисті (10 - 50 мкм) багатокомпонентні сухі суміші, в різних кристалічних та аморфних фазах. Як правило, з точки зору хімічного впливу триботехнічні склади абсолютно інертні. Вони не взаємодіють з жодними хімічними сполуками і не є токсичними. ТС призначений для покращення антифрикційних якостей матеріалу деталей. ТС дозволяє провести спеціальну відновлюючу, противозношувальну, антифрикційну, укріплюючу обробку поверхні тертя, в штатному режимі роботи.

ТС в механізмі виштовхування стріперного крану використовується з метою скорочення експлуатаційних витрат і подовження робочого періоду обладнання. Цей ефект досягається шляхом зменшення втомлюваного зносу обладнання, фрикційного зносу деталей, зменшення температури у вузлах тертя, зменшення проміжків між деталями, зменшення шуму і вібрації.

ТС не створює плівку на поверхності металу, він входить в поверхневий шар деталі під дією контактного тиску двох дотичних деталей. На практиці було доведено що, обробка механізму ТС із конгломерованого порошку на основі карбиду титану-хрому дозволяє отримувати гетерофазну дрібнодисперсну структуру з рівномірним розподілом фаз та високу зносостійкість ($2 \div 3$ мкм/км) в умовах тертя-ковзання без змащування при навантаженнях до 2 МПа [15].

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок та вибір електродвигуна механізму виштовхування

Для вибору електродвигуна, скористуємося даними наданими в цеху:

- | | |
|---|------------------------|
| 1. Сила виштовхування | $F=2500$ кН |
| 2. Вага підіймаємої частини допоміжного механізму | $G_1=300$ кН |
| 3. Вага проти важеля | $G_2=130$ кН |
| 4. Середній діаметр різьбового полого гвинта: внутрішній $d_b=240$ мм | |
| | Зовнішній $d_3=360$ мм |
| | крок різьби $p=40$ мм |
| 5. Швидкість пересування штемпеля | $v_{MT}=3$ м/хв |
| 6. Розрахункові схеми | рис.2.1 та рис.2.2 |

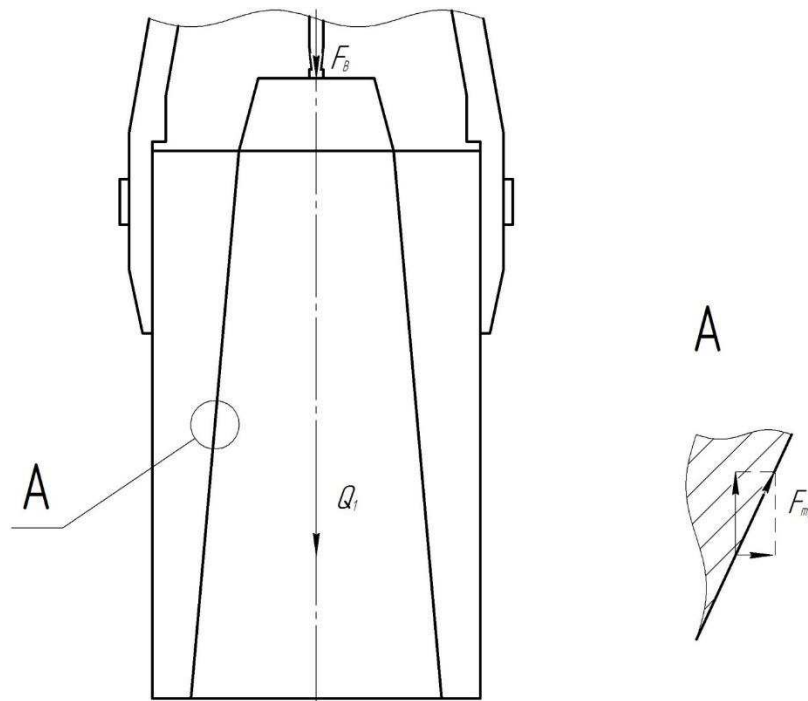


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема при виштовхуванні зливка з виливниці розширенням донизу

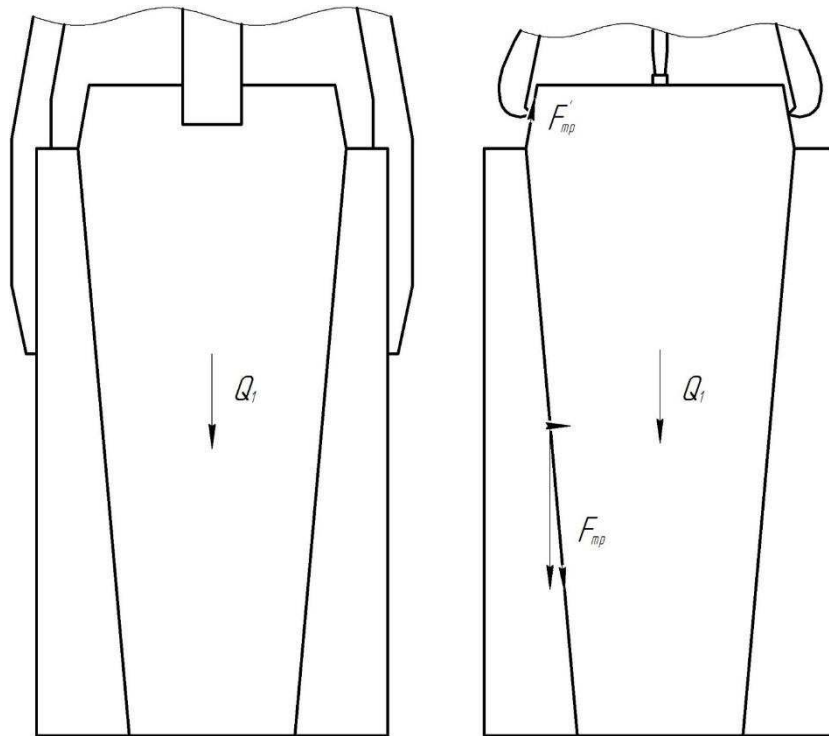


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема при виштовхуванні зливка з виливниці розширенням доверху.

Навантаження на виштовхуючий механізм:

$$F_p = F + G_1 - G_2 \cdot \eta_n \cdot \eta_b^2, \quad (2.1)$$

де η_n – ККД направляючих противагів; $\eta_n = 0,98$;

η_b – ККД направляючих противагів; $\eta_b = 0,98$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$F_p = 2500 + 300 - 130 \cdot 0,98 \cdot 0,98^2 = 2678 \text{ кН}$$

Хід полого гвинта:

$$S_1 = S_2 = 2t \quad (2.2)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$S_1 = 2 \cdot 40 = 80 \text{ мм}$$

Вузли підйому внутрішньої і зовнішньої гвинтової нарізки:

$$\alpha_{\text{в.н.}} = \arctg \frac{S_1}{\pi d_B} \quad (2.3)$$

$$\alpha_{\text{н}} = \arctg \frac{S_2}{\pi d_3} \quad (2.4)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$\alpha_{\text{в.н.}} = \arctg \frac{80}{3,14 \cdot 240} = 6,7^\circ = 6^\circ 42' \quad (2.5)$$

$$\alpha_3 = \arctg \frac{80}{3,14 \cdot 360} = 4,5^\circ = 4^\circ 30' \quad (2.6)$$

Хід штемпеля:

$$S_{\text{шт}} = 2 \cdot S \quad (2.7)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$S_{\text{шт}} = 2 \cdot 80 = 160 \text{ мм}$$

Число обертів полого гвинта:

$$v_B = \frac{V_{\text{шт}}}{S_{\text{шт}}} \quad (2.8)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$v_b = \frac{3}{0,16} = 18,75 \text{ об/хв}$$

Кут тертя.

$$\rho = \arctg \mu_r, \quad (2.9)$$

де μ_r – коефіцієнт тертя на поверхності гвинтових нарізок; $\mu_r = 0,07$

$$\rho = \arctg 0,07 = 4,5$$

Сила тертя полого гвинта:

На внутрішній нарізці

$$F_{f1} = F_p \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{вн} + \rho) \quad (2.10)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$F_{f1} = 2678 \cdot \operatorname{tg}(6,7 + 4,3) = 476 \text{ кН}$$

На зовнішній шар

$$F_f = F_p \cdot \operatorname{tg}(\alpha_n + \rho) \quad (2.11)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$F_f = 2678 \cdot \operatorname{tg}(4,5 + 4,3) = 381 \text{ кН}$$

Момент від тертя:

На внутрішній нарізці

$$M_1 = F_{f1} \cdot \frac{d'}{2} \quad (2.12)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$M_1 = 476 \cdot \frac{0,24}{2} = 57 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

На зовнішній нарізці

$$M_2 = F_{f2} \cdot \frac{d''}{2} \quad (2.13)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$M_2 = 381 \cdot \frac{0,36}{2} = 69 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Крутний момент гвинтової шестерні механізму:

$$M = M_1 + M_2 \quad (2.14)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$M = 57 + 69 = 126 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Кутова швидкість полого гвинта:

$$\omega_B = \frac{\pi \cdot r \cdot v}{30} \quad (2.15)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$\omega_B = \frac{3,14 \cdot 18,75}{30} = 1,96 \text{ М/ХВ}$$

Потужність електродвигуна:

$$P = \frac{M \cdot \omega_B}{\lambda \cdot \eta_{\text{мех}}}, \quad (2.16)$$

де λ – коефіцієнт перенавантаження електродвигуна; $\lambda = 2,8$

$\eta_{\text{мех}}$ – КПД механізмів; $\eta_{\text{мех}} = 0,85$ [17]

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$P = \frac{126 \cdot 1,96}{2,8 \cdot 0,85} = 104 \text{ кВт}$$

Так як у них редуктор спеціального призначення і він потребує два електродвигуна, то потужність двигунів дорівнює:

$$P_1 = P_2 = \frac{P}{2} \quad (2.17)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$P_1 = P_2 = \frac{104}{2} = 52 \text{ кВт}$$

Вибираємо два однакових електродвигуна, котрі мають таку характеристику [18]:

Тип	Д808 – У2
Потужність	$P = 52 \text{ кВт}$
Частота обертання	$n = 720 \text{ хв}^{-1}$

2.2 Визначення кінематичних і силових параметрів приводу стріперного крану

Частота обертання ходових коліс:

$$n_B = \frac{v_{шт}}{S_{шт}} \quad (2.18)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$n_B = \frac{3}{0,16} = 18,75 \text{ хв}^{-1}$$

Загальне передаточне число приводу:

$$u = \frac{n}{n_B} \quad (2.19)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$u = \frac{720}{18,75} = 38,4$$

Розбивка загального передаточного числа:

$$u = u_1 \cdot u_2 \cdot u_3 \quad (2.20)$$

В приводі встановлений спеціальний редуктор

u_1 – передаточне число I ступеня, приймаємо $u_1 = 5,57$

u_2 – передаточне число II ступеня, приймаємо $u_1 = 1,71$

u_3 – передаточне число III ступеня, приймаємо $u_1 = 4,75$

Характеристика зачеплення редуктору наведено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Характеристика зачеплення редуктору

I ступінь					II ступінь					III ступінь				
Z_1	Z_2	m_{n1}	β	U_1	Z_3	Z_4	m_{n2}	β	U_2	Z_5	Z_6	m_{n1}	β	U_3
14	78	8	$8^\circ 6'$	5,57	27	47	10	$8^\circ 6'$	1,17	16	76	14	$8^\circ 6'$	4,75

Частота обертання і кутова швидкість вхідного валу редуктора:

$$n_1 = n = 720 \text{ хв}^{-1}$$

$$\omega_1 = \frac{n_1}{9,55} \quad (2.21)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$\omega_1 = \frac{720}{9,55} = 75,4 \text{ рад/с}$$

Частота обертання і кутова швидкість першого проміжного валу:

$$n_2 = \frac{n_1}{U_1} \quad (2.22)$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{U_1} \quad (2.23)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$n_2 = \frac{720}{5,57} = 129 \text{ хВ}^{-1}$$

$$\omega_2 = \frac{75,4}{5,57} = 14 \text{ рад/с}$$

Частота обертання і кутова швидкість другого проміжного валу:

$$n_3 = \frac{n_2}{U_2} \quad (2.24)$$

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{U_2} \quad (2.25)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$n_3 = \frac{129}{1,71} = 75,4 \text{ хВ}^{-1}$$

$$\omega_3 = \frac{14}{1,71} = 8,2 \text{ рад/с}$$

Частота обертання і кутова швидкість третього проміжного валу:

$$n_4 = \frac{n_3}{U_3} \quad (2.26)$$

$$\omega_4 = \frac{\omega_3}{U_3} \quad (2.27)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$n_4 = \frac{75,4}{4,02} = 18,73 \text{ хВ}^{-1}$$

$$\omega_4 = \frac{8,2}{4,02} = 2,04 \text{ рад/с}$$

Крутний момент, передаючий вихідним валом редуктора:

$$M_1 = \frac{P}{\omega_1} \quad (2.28)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$M_1 = \frac{52}{75,4} = 0,69 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Крутний момент, передаючий першим проміжним валом:

$$M_2 = M_1 \cdot U_1 \quad (2.29)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$M_2 = 0,69 \cdot 5,75 = 3,96 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Крутний момент, передаючий другим проміжним валом:

$$M_3 = M_2 \cdot U_2 \quad (2.30)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$M_3 = 3,96 \cdot 1,71 = 6,77 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Крутний момент, передаючий третім проміжним валом:

$$M_4 = 2M_3 \cdot U_3 \quad (2.31)$$

$$M_4 = 2 \cdot 6,77 \cdot 4,75 = 64,3 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Таким чином обраний редуктор відповідає технологічному режиму роботи механізму виштовхування стріперного крана.

2.3 Розрахунок деталей на міцність

2.3.1 Розрахунок гвинта

Кут підйому гвинтової лінії різьби:

$$d = \operatorname{arctg} \frac{P}{\pi d_2} \quad (2.32)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$d = \operatorname{arctg} \frac{40}{3,14 \cdot 220} = \operatorname{arctg} 0,06 = 3^\circ 43'$$

Кут тертя при коефіцієнті тертя в різьбі $\mu_p = 0,07$:

$$p = \operatorname{arctg} \mu_p \quad (2.33)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$p = \operatorname{arctg} 0,07 = 4^\circ$$

Крутний момент на гвинту:

$$T_{кр} = F \cdot \frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\alpha + p) \quad (2.34)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$T_{кр} = 2500 \cdot \frac{0,22}{2} \cdot \operatorname{tg}(3^{\circ}43' + 4^{\circ}) = 34,2 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Направляючі в ньому сжатка гвинта:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{A_{см}} = \frac{4F}{\pi d_1^2} \quad (2.35)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$\sigma_{см} = \frac{4 \cdot 2500 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 198^2} = 108 \text{ МПа}$$

Дотична напруга, виникаюча при крутінні гвинта:

$$r_{кр} = \frac{T_{кр}}{W_p} = \frac{T_{кр}}{0,2 d_1^3} \quad (2.36)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$r_{кр} = \frac{34,2 \cdot 10^6}{0,2 \cdot 198} = 33,6 \text{ МПа}$$

Результуюче напруження:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_{см}^2 + 4\tau_{кр}^2} \quad (2.37)$$

$$\sigma_p = \sqrt{108^2 + 4 \cdot 33,6^2} = 127,2 \text{ МПа}$$

Термообробка гвинта – поверхнева закалка.

Межа міцності $\sigma_B = 880$ МПа

$$n = \frac{\sigma_B}{\sigma_p} \quad (2.38)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$n = \frac{880}{127,2} = 6,9 \geq [n] = 2,5$$

Момент інерції гвинта:

$$I = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} \cdot \left(0,4 + 0,6 \frac{d}{d_1} \right) \quad (2.39)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$I = \frac{3,14 \cdot 198^4}{64} \cdot \left(0,4 + 0,6 \frac{240}{198} \right) = 53,1 \cdot 10^6 \text{ мм}^4$$

Площа поперечного перерізу гвинта:

$$A = \frac{\pi d_1^2}{4} \quad (2.40)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$A = \frac{3,14 \cdot 198^2}{4} = 23223 \text{ мм}^2$$

Радіус п'яти:

$$r^1 = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2.41)$$

$$r^1 = \sqrt{\frac{53,1 \cdot 10^6}{23223}} = 47,8 \text{ мм}$$

Гнучкість гвинта:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{r_1}, \quad (2.42)$$

де $\mu=0,5$ - коефіцієнт приведення при кінці гвинта[19].

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$\lambda = \frac{0,5 \cdot 3655}{47,8} = 38,2$$

Тоді коефіцієнт допустимого навантаження $\gamma = 0,94$ [20]/

Навантаження при повздовжньому згибі:

$$\sigma = \frac{F}{\gamma \cdot A} \quad (2.43)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$\sigma = \frac{2500 \cdot 10^3}{0,94 \cdot 23223} = 114 \text{ МПа} < [\sigma] = 170 \text{ МПа}$$

Умови стійкості гвинта по Ейлеру:

$$F < \frac{\pi^2 E \gamma}{n_\gamma (\mu e)^2}, \quad (2.44)$$

де E – модуль стійкості. Для сталі $E = 2,12 \cdot 10^5$ МПа [21];

n_y – коефіцієнт стійкості, загального призначення 2,5 ... 4; $n_y = 3$;

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$2500 \cdot 10^3 < \frac{3,14^2 \cdot 2,12 \cdot 10^5 \cdot 53,1 \cdot 10^6}{3(0,5 \cdot 3655)^2}$$

$$2500 \cdot 10^3 \text{ Н} < 2747 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Умова стійкості гвинта виконано.

2.3.2 Розрахунок гайки на міцність

Рівень міцності при допускаемому напруженні зминання $[\sigma]_{зм} = 7 \div 13 \text{ Н/мм}^2$:

$$\sigma_{зм} = \frac{4F}{z\pi(D_1^2 - D_1^2)} \leq [\sigma]_{зм}, \quad (2.45)$$

де z – кількість робочих витків:

$$z = \frac{H}{P} = \frac{377}{40} = 9 \text{ витків} \quad (2.46)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$\sigma_{зм} = \frac{4 \cdot 2500 \cdot 10^3}{9 \cdot 3,14 \cdot (240^2 - 200^2)} = 12,6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \leq 7 \div 13 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

Умова міцності на зріз при $[\tau]_{зр} = 26 \div 34 \text{ Н/мм}^2$:

$$\tau_{зр} = \frac{F}{z\pi d_{1B}} \leq [\tau]_{зр}, \quad (2.47)$$

де v – товщина гвинта різьби біля основи;

$$v = 0,75 \cdot p = 0,75 \cdot 40 = 30 \text{ мм}$$

$$\tau_{зр} = \frac{2500 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 242 \cdot 9 \cdot 30} = 12,3 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \leq 26 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

Умова міцності на згинання при $[\sigma]_{зг} = 33 \div 40 \text{ Н/мм}^2$:

$$\sigma_{зг} = \frac{M_{зг}}{Z \cdot W_{и}} \leq [\sigma]_{зг}, \quad (2.48)$$

де $M_{зг}$ – згинний момент для валків гайки;

$$M_{зг} = F \cdot \frac{R}{2} = F \cdot \frac{D_1 - D_2}{2} = 2500 \cdot 10^3 \cdot \frac{242 - 220}{2} = 37500000 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (2.49)$$

$W_{згн}$ – момент опору витка згинанню;

$$W_{згн} = \frac{\pi d_1 b^2}{6} = \frac{3,14 \cdot 242 \cdot 30^2}{6} = 113040 \text{ мм}^2 \quad (2.50)$$

$$\sigma_{згн} = \frac{37500000}{9 \cdot 113040} = 36,9 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \leq 40 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

Умову виконано

2.3.3 Розрахунок хвостовика полого гвинта

З'єднання хвостовика працює на кручення. Встановимо штифти діаметром $\varnothing 45 \text{ мм}$, що працюють на зріз

Зусилля, що зрізає штифти

$$F = \frac{2T}{\alpha} \quad (2.51)$$

$$F = \frac{2 \cdot 64,3}{0,23} = 559 \text{ кН}$$

Дотичне навантаження

$$\tau = \frac{F}{nzA_{\text{зр}}} \leq [\tau]_{\text{сп}}, \quad (2.52)$$

де n – число зрізу; $n=4$;

$$[\tau]_{\text{зр}} = (0,25 \dots 0,3)\sigma_r;$$

$$[\tau]_{\text{зр}} = 0,25 \cdot 353 = 88,3 \text{ МПа};$$

$A_{\text{зр}}$ – площа зрізу;

$$A_{\text{зр}} = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 45^2}{4} = 1589,63 \text{ мм}^2 \quad (2.53)$$

Підставивши числові значення у формулі, одержимо:

$$\tau = \frac{559 \cdot 10^3}{4 \cdot 2 \cdot 1589,63} = 43,96 \text{ МПа} \leq [\tau]_{\text{сп}} = 88,3 \text{ МПа}$$

Висновок: міцність з'єднання виконано.

Розрахунок хвостовика на зріз

$$\tau_{\text{зр}} = \frac{T}{W_p}, \quad (2.54)$$

де W_p – попереканий момент опору перерізу.

$$W_p = \frac{B^3}{6} = \frac{180^3}{6} = 972000 \text{ мм}^3 \quad (2.55)$$

Підставивши числові значення у формулу, одержимо:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{64,3 \cdot 10^6}{972000} = 66,2 \text{ МПа} \leq [\tau]_{\text{ср}} = 88,3 \text{ МПа}$$

Висновок: міцність хвостовика виконано.

З'єднання хвостовика з полим валом працює на кручення. Встановлена шпонка $b \cdot h = 56 \cdot 32 \text{ мм}$; $t_1 = 12,4 \text{ мм}$; довжина шпонки $l = 400 \text{ мм}$, момент передаваний хвостовиком полого валу $T = 64,3 \text{ кН} \cdot \text{м}$;

$$\sigma_{\text{зМ}} = \frac{2T}{\alpha(R-t_1) \cdot (l-b)} \leq [\sigma_{\text{зМ}}], \quad (2.56)$$

де $[\sigma_{\text{зМ}}]$ – допустимі навантаження ступиці; $[\sigma_{\text{зМ}}] = 70 \div 90 \text{ МПа}$;

$$\sigma_{\text{зМ}} = \frac{2 \cdot 64,3 \cdot 10^6}{23(32-12,4)(400-56)} = 82,9 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{зМ}} = 82,9 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\text{зМ}}] = 90 \text{ МПа};$$

Висновок: міцність шпоночного з'єднання виконано.

3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз конструкції лабораторної моделі крана для роздягання зливків

Електромостові крани є складними просторовими конструкціями з різноманітною жорсткістю опор, мають значну власну вагу та вантажопідйомність, тим паче крани, призначені для виконання надскладних операцій по роздягання зливків. Одиночність їх виготовлення та технічні характеристики відносять їх до класу унікальних машин. В зв'язку з цим виготовлення, реконструкція, модернізація та ретельні випробування дослідних зразків неможливі, так як потребують значних матеріальних затрат. Тому доцільно проводити дослідження на моделі крану.

Для вирішення різноманітних проблем, пов'язаних з реконструкцією та запропонованою модернізацією в розділі 2 необхідно виконати дослідження залежності навантажень, діючих на кран від зовнішніх умов, таких як:

- кут нахилу стінок виливниці;
- Коефіцієнт тертя, що виникає між стінками та зливком.

Актуальність проблеми ґрунтується на гіпотезі, що вирішення означених завдань в майбутньому послугує підґрунтям:

- збільшення нормативного періоду роботи деталей крану;
- покращення якості металу;
- зменшення кількості браку;
- збільшення нормативного строку служби виливниці;

Крім того на розробленій моделі стріперного крану й надалі проводитимуться дослідження, котрі стануть поштовхом у мінімізації собівартості виготовлення продукції.

Модель крана (рис.3.1) для вилучення зливків з виливниць $Q = 175-25/15$ виконана в масштабі 1:10.

Принципова схема моделі наведена на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Лабораторна модель стриперного крана

Модель представляє собою патрон 3, що пересувається в направляючих 4, закріплених на колонах 6. Приводи 8 і 9 механізмів підйому патрона і управління великими кліщами 2, встановлені на верхньому майданчику 7, що виконує роль рами візка стриперного крана.

Привод 5 механізму виштовхування задля спрощення моделі розташований на патроні 3. Роль виливниці зі зливком виконує спеціальний фрикційний пристрій 1.

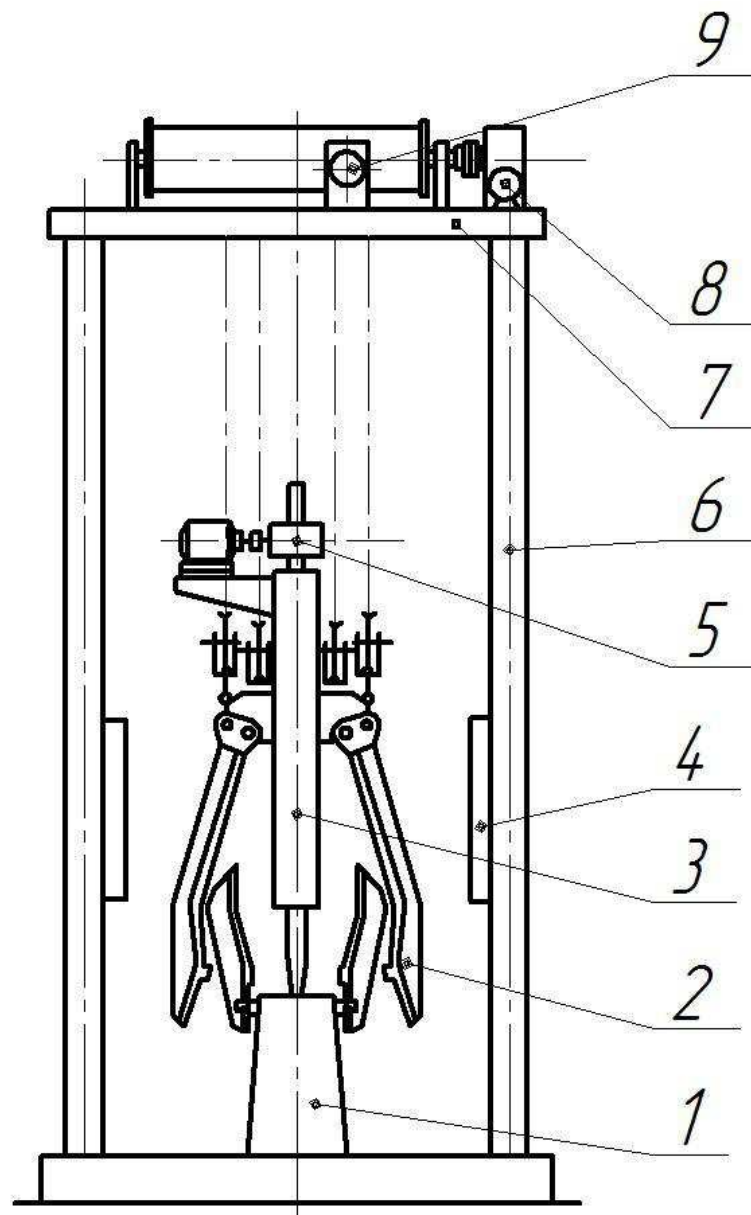


Рисунок 3.2 – Загальний вид моделі стріперного крана ()

Принцип роботи моделі крана для роздягання зливків наступний: включають механізм переміщення патрона з метою встановлення великих кліщів 4 проти вух 2 виливниці 1. Електродвигун 19 через черв'ячний редуктор 20 обертає барабан лебідки 18, змотуючи одночасно тягові канати 17 і канати управління великими кліщами 16.

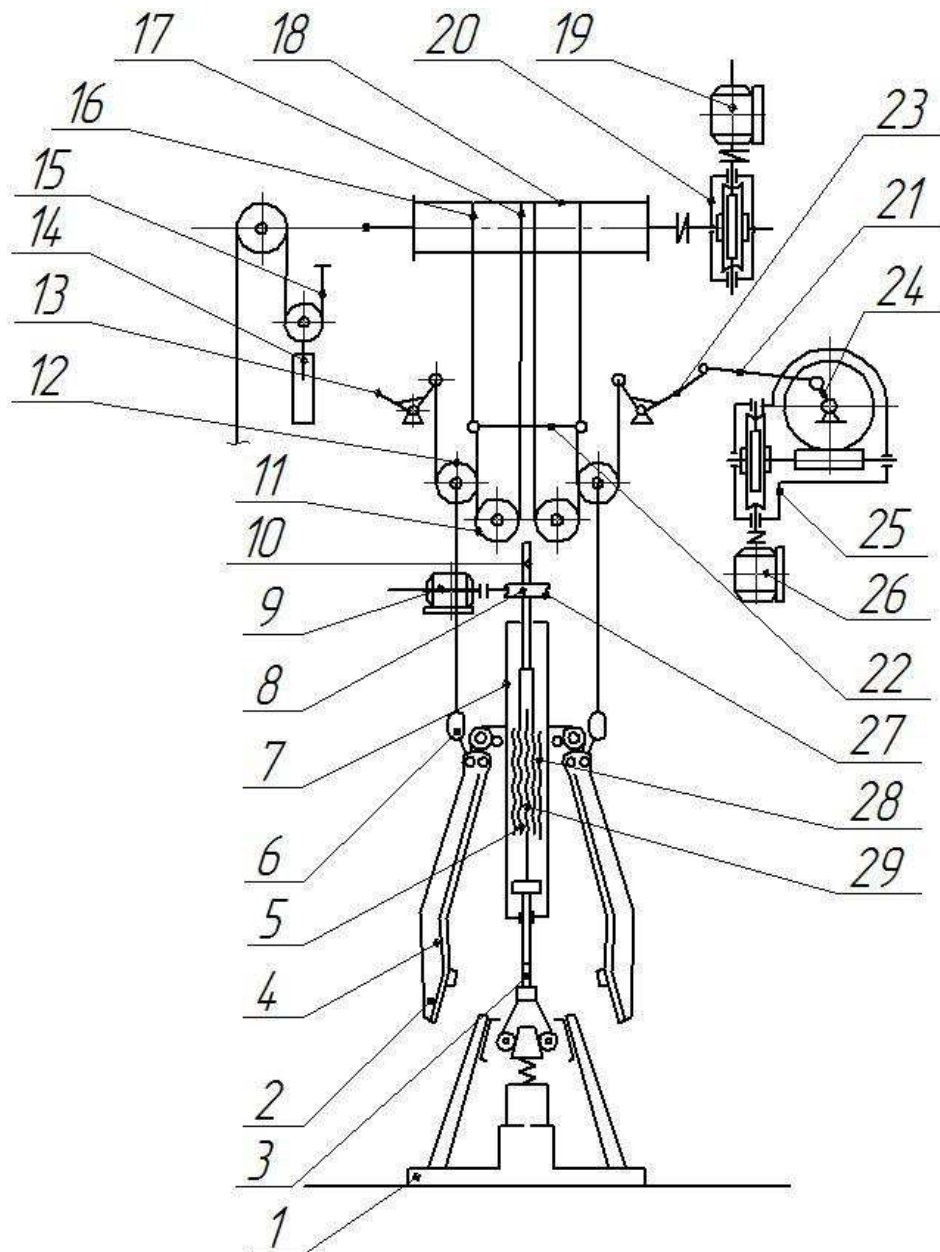


Рисунок 3.3 – Кінематична схема механізмів стріперного крану і фрикційної виливниці (позиції наведено в тексті)

Канати противаги 15 намотуються на барабан, піднімаючи її вгору. Вирівнювання натягу канатів досягнуто установкою балансира 22. Блоки 11 тягових канатів та блоки 12 канатів управління кліщами переміщуються вниз з однаковою швидкістю, внаслідок чого патрон 7 опускається з розкритими кліщами. Потім включають механізм управління великими кліщами. Від електродвигуна 26 через черв'ячний редуктор 25 приводиться в дію кривошип 24 коромислового механізму 21.

Коромисла 23 і 13 пересувають канати управління кліщами 16 вниз. При цьому блоки 12 опускаються і важіль 6 повертає кліщі 4, які захоплюють вуха виливниць. Далі, включають у роботу механізм виштовхування. Електродвигун 9 через черв'ячну передачу 8 обертає порожнистий гвинт - гайку 5, що входить своїм хвостиком 10 в квадратний отвір у ступиці черв'ячного колеса 27.

Порожнистий гвинт 5, повертаючись, отримує від нерухокої гайки-патрона 28 поступовий рух вниз. Крім того, під час обертання гвинт-гайки, гвинт 29 також отримує переміщення в ту ж сторону. В результаті штампель 3 опускається з подвійною швидкістю до дотику з мездозою, що встановлена на центральній обоймі фрикційної виливниці (рис. 3.4).

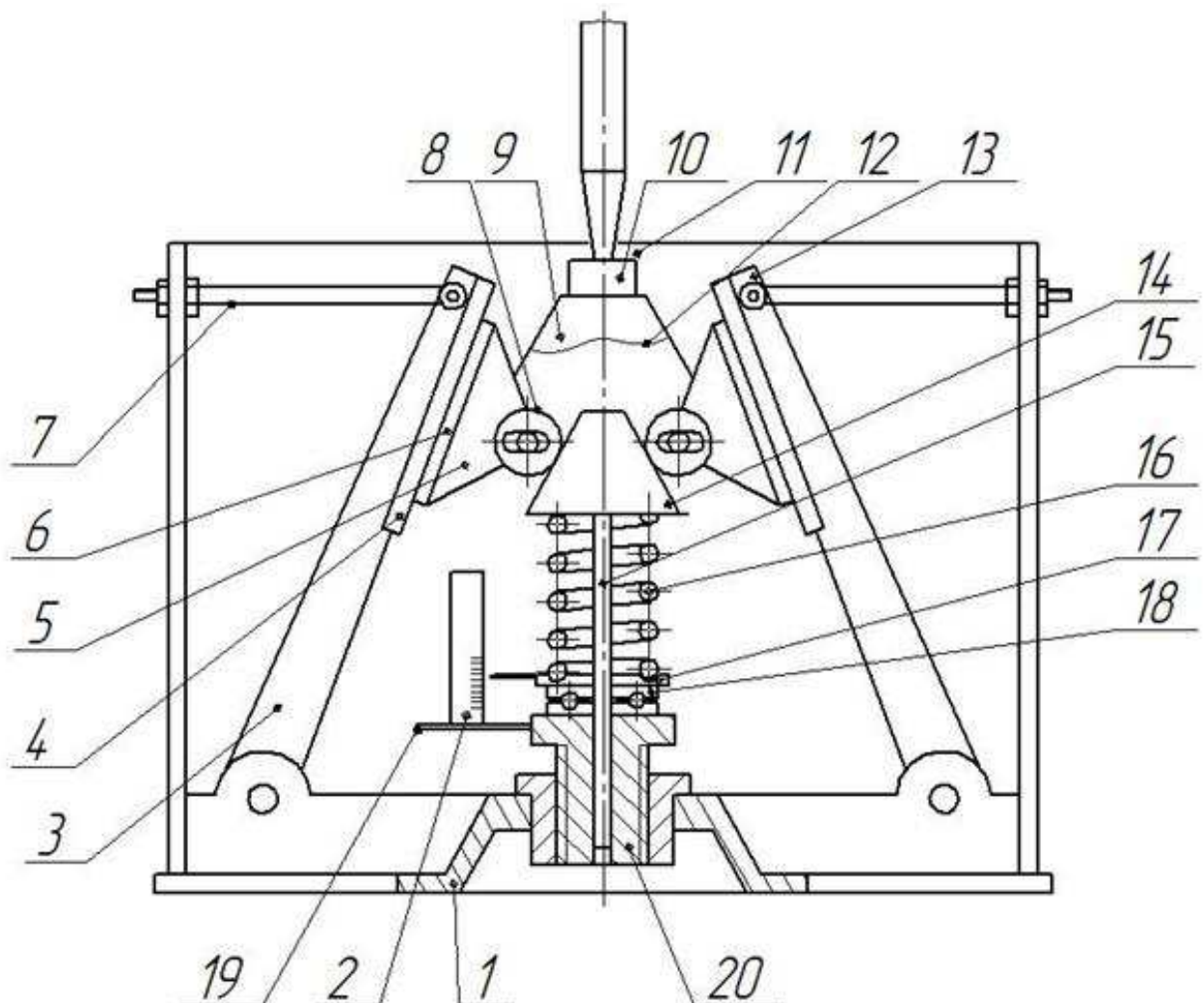


Рисунок 3.4 - Принципова схема фрикційної виливниці (позиції наведено в тексті)

Фрикційна виливниця (рис.3.4), імітуючи навантаження при витяганні зливка з виливниці, має наступну конструкцію: на рамі 1 шарнірно прикріплені два важеля 3 (стілки виливниць), кут нахилу котрих регулюється гвинтами 7. важелі та колодки мають змінні накладки 4 та 6, що дозволяє змінювати шорсткість поверхонь, які контактують.

Притискання колодок до важелів проводиться пружинно-клиновим пристроєм, що складається з пружини 16, клина 14 зі штоком 15, роликів 8, установлених в обоймі 9 та колодок 5, посаджених на осі роликів 12.

Зусилля від пружини регулюють осьовим переміщенням гвинта 20, що приводиться в дію маховиком 19.

Задля попередження закручування пружини між гвинтом 20 та шайбою 17 установлений конічний роликпідшипник 18. Ступінь деформації пружини визначають з допомогою лінійки 2. Осі роликів пересуваються в овальних отворах обойми 9, що забезпечує передачу зусиль від клина 14 до колодок 5.

Вимірювання зусиль виштовхування P проводиться з допомогою мездози 10, яка установлена в стакані 11 обойми 9.

3.2 Планування експерименту дослідження впливу кута нахилу стінок виливниці і коефіцієнта тертя на зусилля «роздягання» зливка

Перший етап планування експерименту для отримання лінійної моделі заснований на варіюванні чинників на двох рівнях [22]. В цьому випадку, якщо число чинників відоме, можна знайти число дослідів, необхідне для реалізації усіх можливих поєднань рівнів чинників. У загальному випадку експеримент, в якому реалізуються всілякі поєднання рівнів чинників, називається повним факторним експериментом. Якщо число рівнів кожного чинника рівне двом, то маємо повний факторний експеримент типу 2^k .

Неважко написати усі поєднання рівнів в експерименті з двома чинниками. В плануванні експерименту використовуються кодовані значення чинників : +1 і - 1 (часто для простоти запису одиниці опускають). Умови експерименту можна

записати у вигляді таблиці, де рядки відповідають різним дослідом, а стовпці - значенням чинників. Називатимемо такі таблиці матрицями планування експерименту [23].

Матриця планування для двох чинників приведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Матриця планування для двох чинників

№ досліду	x_1	x_2	y
1	-1	-1	y_1
2	+1	-1	y_2
3	-1	+1	y_3
4	+1	+1	y_4

Кожен стовпчик в матриці планування називають вектор-стовбцем, а кожен рядок - вектор-рядком. Якщо для двох чинників усі можливі комбінації рівнів легко знайти (чи просто запам'ятати), то із зростанням числа чинників виникає необхідність в деякому прийомі побудови матриць. З багатьох можливих зазвичай використовується три прийоми, ґрунтовані на переході від матриць меншої розмірності до матриць більшої розмірності [24].

Властивості повного факторного експерименту типу 2^k . Говорячи про властивості матриць, ми маємо на увазі ті з них, які визначають якість моделі. Адже експеримент і планується для того, щоб отримати модель, що має деякі оптимальні властивості. Це означає, що оцінки коефіцієнтів моделі мають бути найкращими і що точність параметра оптимізації не повинна залежати від напрямку у факторному просторі, бо заздалегідь невідомо, куди належить рухатися у пошуках оптимуму. Дві властивості виходять безпосередньо з побудови матриці. Перше з них - симетричність відносно центру експерименту - формулюється таким чином: сума алгебри елементів вектор - стовпця кожного чинника дорівнює нулю, або, де j - номер чинника, N - число дослідів, $i = 1, 2, \dots$,

к . Друга властивість - так звана умова нормування - формулюється таким чином: сума квадратів елементів кожного стовбця дорівнює числу дослідів.

$$\sum_{i=1}^N x_{ji}^2 = N, \quad (3.1)$$

Остання, третя властивість називається рототабельністю, тобто точки в матриці планування підбираються так, що точність передбачення значень параметру оптимізації однакова на рівних відстанях від центру експерименту і не залежить від напрямку. Повний факторний експеримент і математична модель. Для руху до точки оптимуму нам потрібна лінійна модель. Наша мета - знайти за результатами експерименту значення невідомих коефіцієнтів моделі. Досі, говорячи про лінійну модель, ми не зупинялися на важливому питанні про статистичну оцінку її коефіцієнтів. Тепер необхідно зробити ряд зауважень із цього приводу. Можна стверджувати, що експеримент проводиться для перевірки гіпотези про те, що лінійна модель адекватна. Експеримент, що містить кінцеве число дослідів, дозволяє тільки отримати вибіркові оцінки для коефіцієнтів рівняння. Їх точність і надійність залежать від властивостей вибірки і потребують статистичної перевірки. Коефіцієнти можна вичислити по простій формулі

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ji} y_i, \quad j = 0, 1 \dots k, \quad (3.2)$$

Завдяки кодуванню чинників розрахунок коефіцієнтів перетворився на просту арифметичну процедуру. Тепер у нас є усе необхідне, щоб знайти невідомі коефіцієнти лінійної моделі

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 \quad (3.3)$$

Для повного факторного експерименту матриця планування з урахуванням ефекту взаємодії представлена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Повний факторний експеримент планування з урахуванням ефекту взаємодії

№ досліджу	x ₀	x ₁	x ₂	x ₁ x ₂	y
1	+1	+1	+1	+1	y ₁
2	+1	-1	+1	-1	y ₂
3	+1	-1	-1	+1	y ₃
4	+1	+1	-1	-1	y ₄

Дуже важливо, що при додаванні стовпців ефектів взаємодій усі розглянуті властивості матриці планування зберігаються.

Тепер модель виглядає таким чином:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2$$

Попереднє тарування пружини проводимо на гідропресі. Результати тарування та показання осцилографа представлені на рисунку 3.5 та рисунку 3.6.

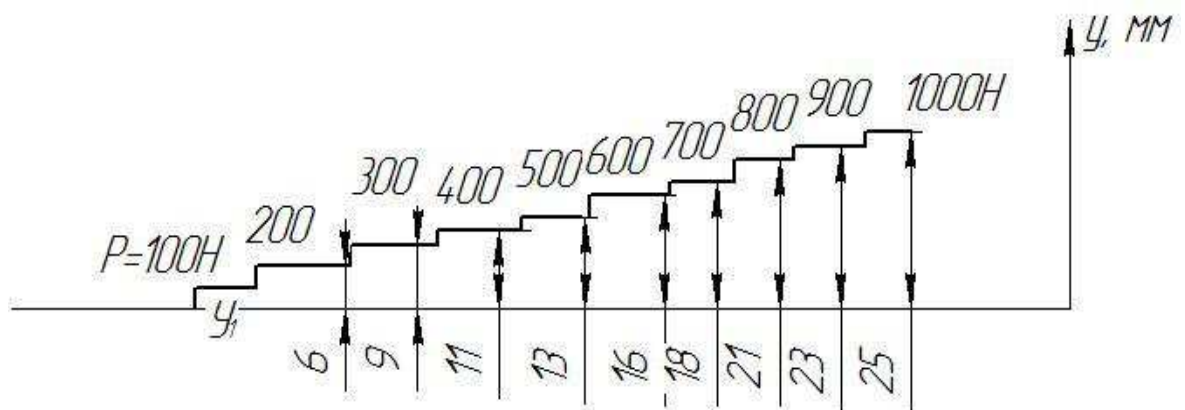


Рисунок 3.5 – Графік тарування пружини

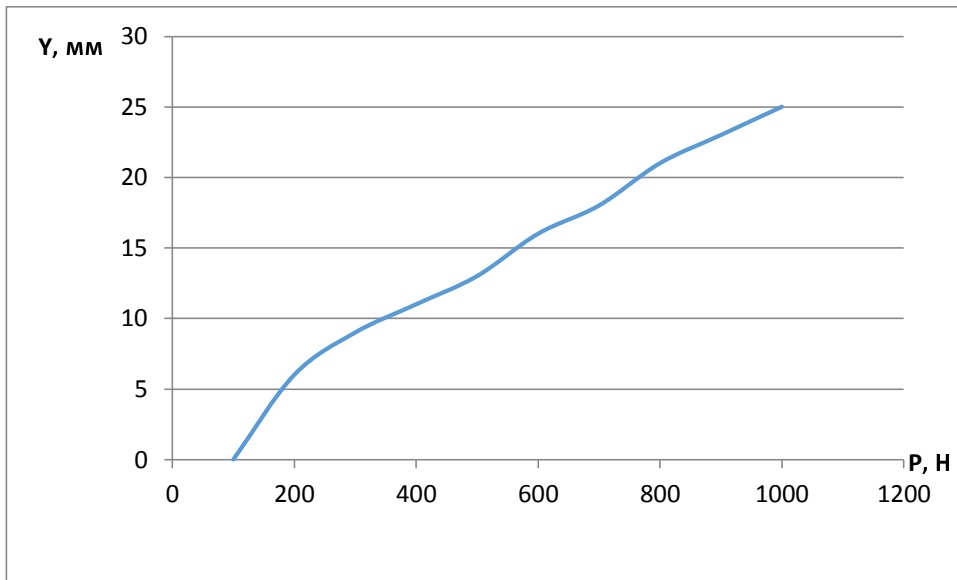


Рисунок 3.6 – Лінійний графік залежності зусиль на пружину P від величини деформації Y

Осцилограми, отримані під час експерименту представлені на рисунку 3.7.

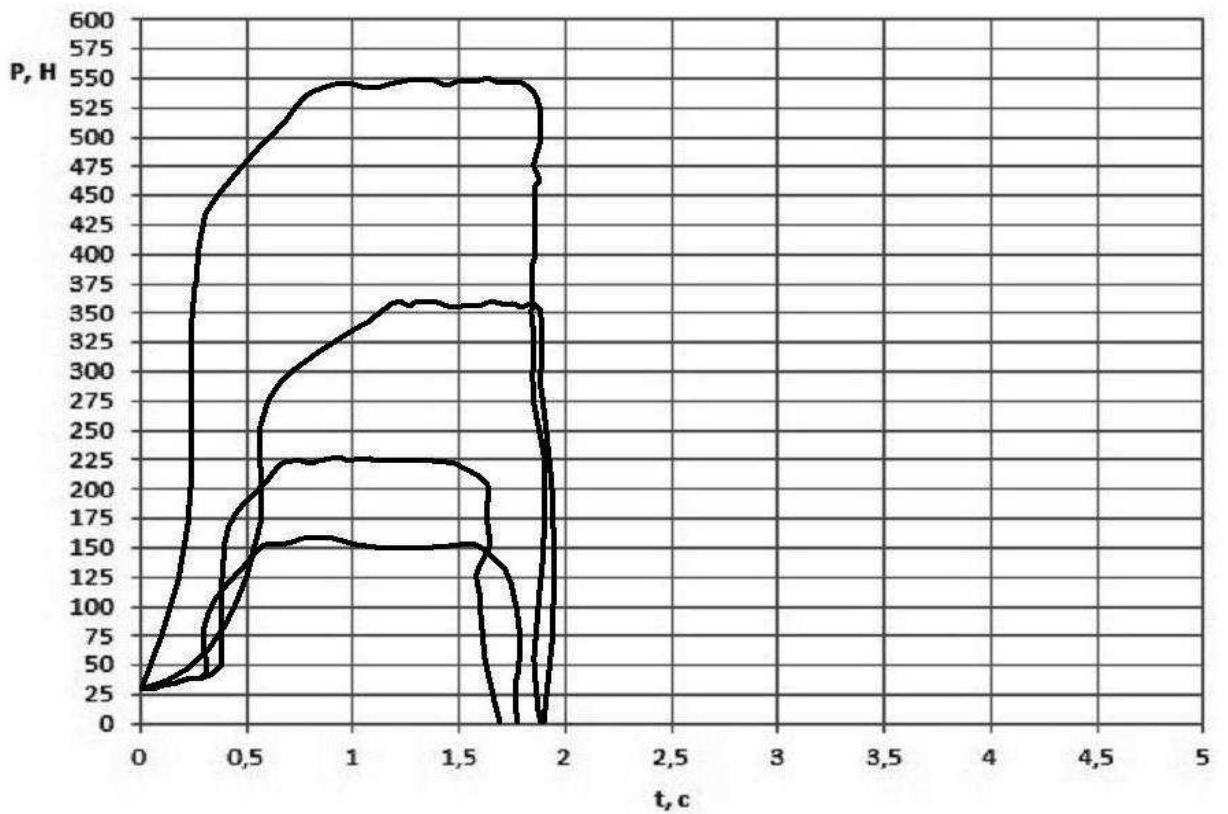


Рисунок 3.7 – Осцилограми зусиль

Визначаємо силу S , що передається на стійки при опусканні клина (рис.3.8). При цьому силами тертя, які виникають між роликками і клином, а також тертям роликів в пазах обойми нехтуємо.

$$S = \frac{Q}{2 \cdot \sin \alpha}, \quad (3.1)$$

де α —половина кута при вершині клина ($\alpha = 30^\circ$),

Q – сила, що виникає під дією пружини.

Силу Q визначаємо за графіком тарувань (рисунок 3.6)

Тоді

$$S = \frac{1440}{2 \cdot \sin(30^\circ)} = 1440 \text{ Н.}$$

В свою чергу сили S розкладаємо на два взаємно перпендикулярні напрямки, отримуємо дві взаємно перпендикулярні сили, які визначаємо за формулами

$$T = S \cdot \sin(\alpha - \beta), \quad (3.2)$$

$$N = S \cdot \cos(\alpha - \beta), \quad (3.3)$$

де β – кут нахилу стінок виливниці ($\beta = 5^\circ$).

Підставивши числові значення до формул (3.2), (3.3), одержимо

$$T = 1440 \cdot \sin(25^\circ) = 608,6 \text{ Н};$$

$$N = 1440 \cdot \cos(25^\circ) = 1305 \text{ Н.}$$

Проекція сили T на вертикальну вісь U знаходимо за наступною формулою

$$T_y = \frac{Q \cdot \sin(\alpha - \beta) \cdot \cos \beta}{2 \cdot \sin \alpha} \quad (3.4)$$

Обчисливши формулу (3.4), отримаємо

$$T_y = \frac{144 \cdot \sin 25^\circ \cdot \cos 5^\circ}{2 \cdot \sin 30^\circ} = 606 \text{ Н}$$

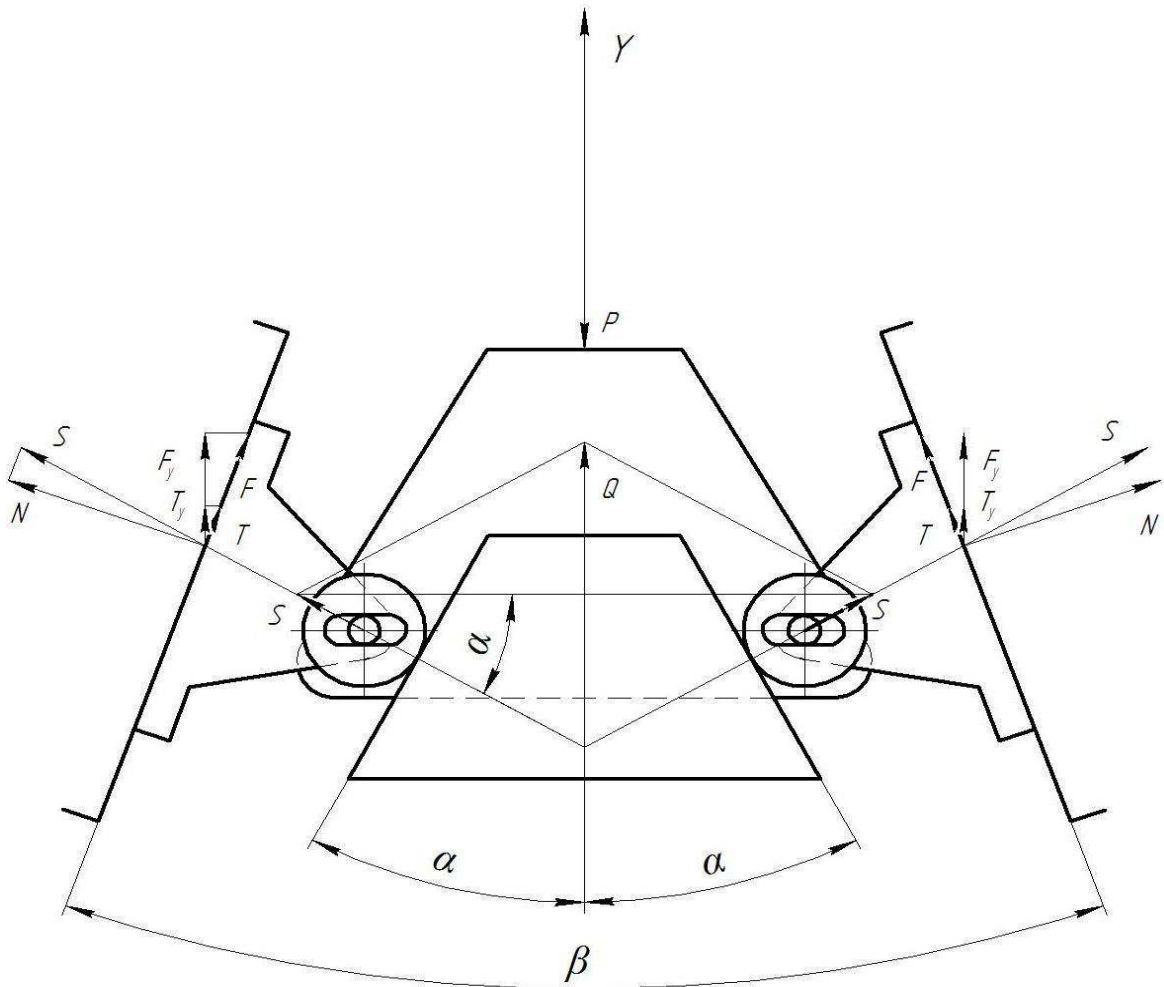


Рисунок 3.8 – Розрахункова схема фрикційної виливниці

Вертикальна сила W , яку необхідно прикласти до штемпелю щоб подолати силу зчеплення контактних пластин, можна представити як

$$W = P - 2 \cdot T_y, \quad (3.5)$$

де P – повне зусилля на штемпелі.

$$P = 1590 \text{ Н}$$

Підставивши числові значення до формули (3.5), одержимо

$$W = 1590 - 2 \cdot 606 = 378 \text{ Н}$$

Загальна осцилограма зусиль в канатах наведена на рисунку 3.9

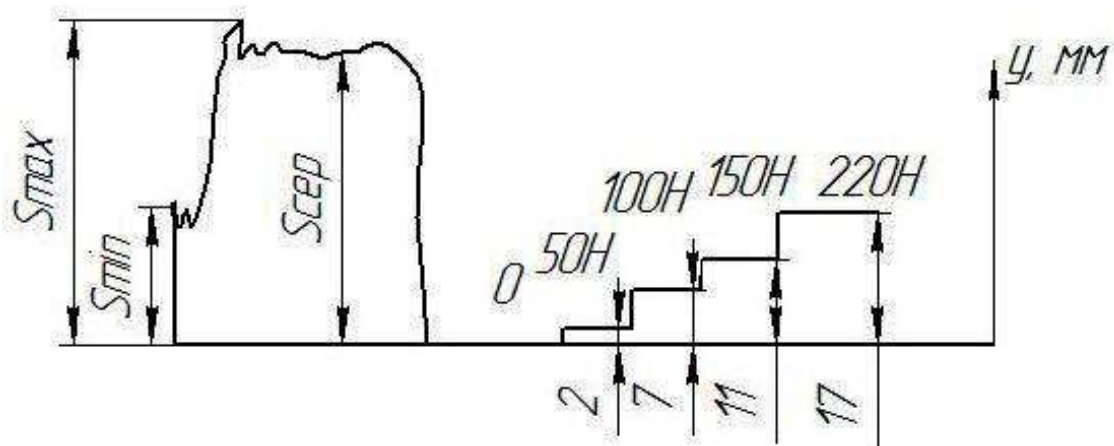


Рисунок 3.9 – Осцилограма зусиль в канатах при підйомі патрона та їх тарування

Силу тертя, яка виникає в одній парі контактних пластин можна представити як

$$F = N \cdot f, \quad (3.6)$$

де f – умовний коефіцієнт тертя.

Тобто

$$F = 1305 \cdot 0,15 = 195,75 \text{ Н.}$$

Проекція сили F на вертикальну вісь становить

$$F_y = \frac{Q \cdot f \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \cos\beta}{2 \cdot \sin\alpha}, \quad (3.7)$$

Обчислимо формулу (3.7), отримаємо

$$F_y = \frac{1440 \cdot 0,15 \cdot \cos 25^\circ \cdot \cos 5^\circ}{2 \cdot \sin 30^\circ} = 195 \text{ Н};$$

Силу P можна представити як суму двох вертикальних проекцій сил F_y

$$P = 2 \cdot F_y = 2 \cdot 195 = 390 \text{ Н}. \quad (3.8)$$

Таким чином отримані дані слугуватимуть основою для обробки результатів проведеного експерименту.

3.3 Обробка результатів проведення експерименту

При виштовхуванні зливка з виливниці найбільш значущими змінними значеннями являються коефіцієнт тертя, тобто шорсткість поверхні виливниці, та кут нахилу її стінок до вертикалі.

Визначимо зусилля виштовхування при різних кутах нахилу стінок виливниці при $f = \text{const}$ приймаємо $f = 0,5$, $\alpha = 30^\circ$ за формулою

$$P = 2 \cdot S \cdot \sin(\alpha - \beta) \cdot f \cdot \cos\beta, \quad (3.8)$$

Тобто

$$P = 2 \cdot 1440 \cdot \sin(29,5) \cdot 0,5 \cdot \cos 0,5 = 709 \text{ Н}.$$

Результати розрахунку залежності зусилля від кута нахилу стінок виливниці наведено в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Залежність зусилля виштовхування від кута нахилу стінок виливниці

Кут нахилу стінок виливниці	Зусилля виштовхування,Н
0,5	709
1	698
1,5	687
2	675
2,5	664.3
3	652.85
3,5	641.33
4	629.7
4,5	618
5	606.25
5,5	594.41
6	582.5
6,5	570.5
7	558.5
7,5	546.35

За отриманими результатами з таблиці 3.3 будемо графік залежності зусилля виштовхування від кута нахилу стінок виливниці $P=f(\beta)$ рисунок 3.10

Розглянемо залежності сили виштовхування від шорхватості поверхні, тобто від коефіцієнта тертя $P = f(f)$, приймаючи $\alpha=30^\circ$, $\beta=5^\circ$, тоді

$$W=2 \cdot S \cdot \cos(\alpha-\beta) \cdot f \cdot \cos\beta=2 \cdot 1440 \cdot \sin(25) \cdot 0,15 \cdot \cos 5=182\text{Н},$$

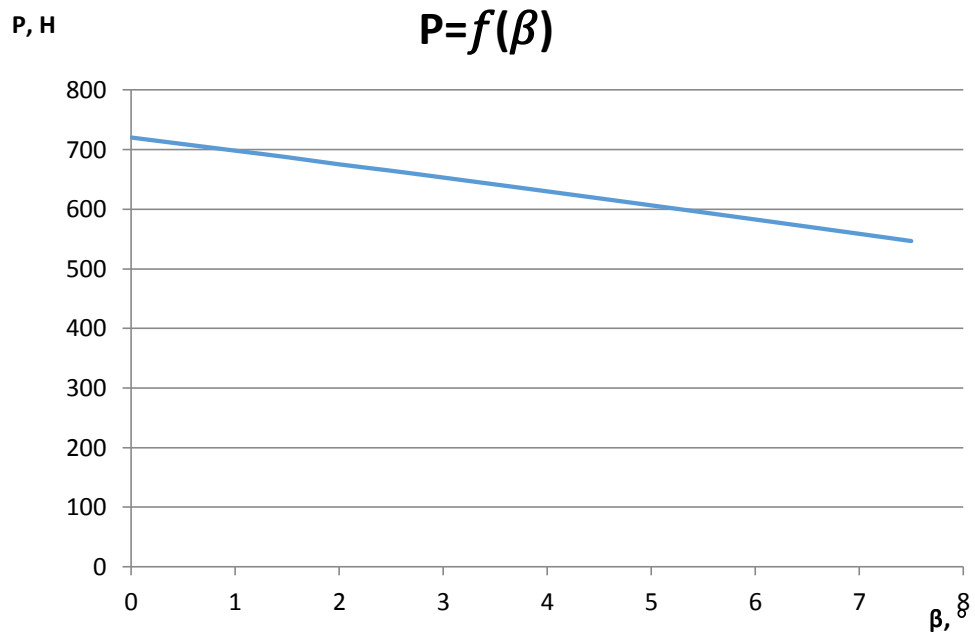


Рисунок 3.10 – Графік залежності зусилля виштовхування від кута нахилу виливниці.

Отримані результати розрахунку заносимо до таблиці 3.4

Таблиця 3.4 – Залежність зусилля виштовхування від коефіцієнта тертя

Коефіцієнт тертя	Зусилля виштовхування
0,15	182
0,2	242.5
0,25	303
0,3	363.75
0,35	424.4
0,4	485

За отриманими результатами з таблиці 3.4 будемо графік залежності зусилля виштовхування від кута від коефіцієнта тертя $P=f(f)$ рисунок 3.11.

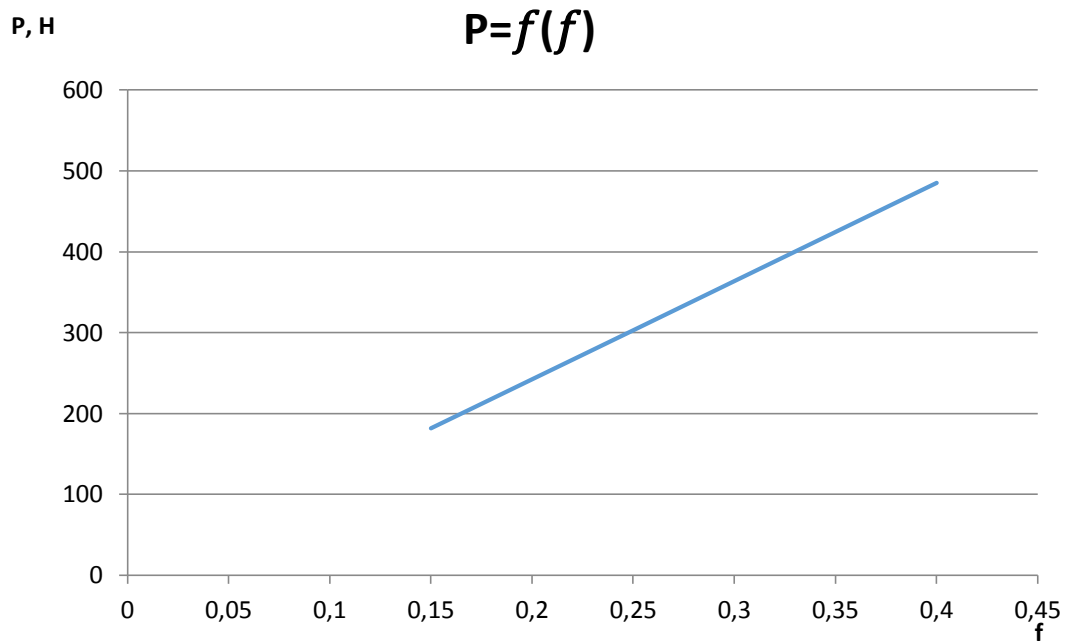


Рисунок 3.11 – Графік залежності зусилля виштовхування від коефіцієнта тертя

На підставі попереднього вивчення досліджуваного об'єкту приймаємо дані для обробки результатів експерименту таблиця 3.5

Таблиця 3.5 – Дані для проведення експерименту

Показник	Кут нахилу стінок випливної β , град.	Коефіцієнт тертя, f	Зусилля виштовхування P, Н
Верхній рівень	7,5	0,4	437,08
Нижній рівень	0,5	0,15	212,7
Середнє значення	4	0,275	346,34
Інтервал варіювання	3,5	0,125	

За таблицею 3.2 та отриманими значеннями будемо матрицю проведення експерименту таблиця 3.6

Таблиця 3.6 – Матриця проведення експерименту

№ дослідю	X ₁	X ₂	X ₁ X ₂	Y _{и1} P _{e1} , Н	Y _{и2} P _{e2} , Н	Y _{ср} P _e , Н	Розрахункове зусилля виштовхування P _p , Н
1	–	–	+	210,5	212	211,25	212,7
2	–	+	–	567	568,8	567,9	567,25
3	+	–	–	163,1	164,7	163,9	163,9
4	+	+	+	354	356,2	355,1	355,9

Перевірку відтворюваності експерименту робимо за критерієм Кокрена [25]:

$$G = \frac{\Delta S^2_{u \max}}{\sum_{u=1}^n \Delta S^2_u} \leq G(0,05; f_n; f_y), \quad (3.9)$$

Де ΔS^2_u – дисперсія, що характеризує розсіювання результатів дослідів;

$$\Delta S^2_u = \frac{\sum_{p=1}^m (y_{u1} - y_{cp})^2}{m-1}, \quad (3.10)$$

де $\Delta S^2_{u \max}$ – найбільша з дисперсій в рядках плану;

$G(0,05; f_n; f_y)$ – табличні значення критерію Кокрена при 5% рівні значимості, який достатній для інженерних експериментів;

$f_n = n$ – число незалежних оцінок;

f_y – число ступенів свободи.

$$\Delta S^2_1 = \frac{(212 - 211,25)^2}{2 - 1} = 0,56;$$

$$\Delta S^2_1 = \frac{(567 - 567,9)^2}{2 - 1} = 0,81;$$

$$\Delta S^2_1 = \frac{(163,1 - 163,9)^2}{2 - 1} = 0,64;$$

$$\Delta S^2_1 = \frac{(354 - 355,1)^2}{2 - 1} = 1,21.$$

Коефіцієнт Кокрена :

$$G = \frac{1}{0,56 + 0,81 + 0,64 + 1,21} = 0,31.$$

При $f_n=4$; $f_y=1$ знаходимо табличне значення $G=0,9052$. Т.ч. процес можна вважати відтворним, оскільки розрахункова величина критерію Кокрена менше табличного і умова (3.9) витримується.

Дисперсію відтворюваності визначаємо за формулою (3.10)

$$\Delta S^2_u = \frac{0,56 + 0,64 + 0,81 + 1,21}{4} = 0,8. \quad (3.11)$$

Визначаємо коефіцієнти рівняння :

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^n X_{iu} \cdot y_u}{n}. \quad (3.12)$$

Приймаємо математичну модель :

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2. \quad (3.13)$$

Таким чином:

$$b_0 = \frac{211,25 + 567,9 + 163,9 + 355,1}{4} = 324,53;$$

$$b_1 = \frac{-211,25 - 567,9 + 163,9 + 355,1}{4} = -65,04;$$

$$b_2 = \frac{-211,25 + 567,9 - 163,9 + 355,1}{4} = 136,96;$$

$$b_{12} = \frac{211,25 - 567,9 - 163,9 + 355,1}{4} = -41,36.$$

Оскільки виключення не значимих коефіцієнтів дозволить прийняти більш просту форму рівняння і, отже, зменшить об'єм розрахунків, виконаємо оцінку значимості за критерієм Стьюдента :

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t(0,05; f_y) \cdot \frac{\sqrt{\Delta S_y^2}}{\sqrt{n}}, \quad (3.14)$$

де $t(0,05; f_y)$ – 5% -а точка розподілу Стьюдента [25].

$$\Delta b_i = 2,776 \cdot \frac{\sqrt{0,8}}{\sqrt{4}} = 1,25.$$

З отриманих значень видно, що вони перевищують величину Δb_i , т.ч. можна з великою достовірністю вважати усі коефіцієнти значимими. Тоді рівняння набуває вигляду:

$$y = 324,53 - 65,04X_1 + 136,96X_2 - 41,36X_1X_2 \pm \sigma$$

де σ – середньоквадратичне відхилення, яку визначаємо за (3.16)

Адекватність моделі означає її придатність до подальшого використання і виконується за допомогою критерію Фішера.

$$F = \frac{\Delta S_{ad}^2}{\Delta S_y^2} \leq F(0,05; f_{ad}; f_y),$$

де ΔS_{ad}^2 – розрахункове значення відгуку;

$f_{ad} = n - k - 1$ – число ступенів свободи дисперсії експерименту;

f_y – число ступенів свободи дисперсної відтворюваності.

$$\Delta S_{ad}^2 = \frac{\sum_{u=1}^n (\bar{y}_u - y_u)^2}{n - k - 1}. \quad (3.15)$$

$$y_{u1} = 324,53 - 65,04 \cdot (-1) + 136,96 \cdot (-1) - 41,36 \cdot (+1) = 211,22$$

$$y_{u1} = 324,53 - 65,04 \cdot (-1) + 136,96 \cdot (+1) - 41,36 \cdot (-1) = 567,88$$

$$y_{u1} = 324,53 - 65,04 \cdot (+1) + 136,96 \cdot (-1) - 41,36 \cdot (-1) = 163,89$$

$$y_{u1} = 324,53 - 65,04 \cdot (+1) + 136,96 \cdot (+1) - 41,36 \cdot (+1) = 355,06$$

Тоді:

$$\Delta S_{ad}^2 = \frac{(211,25 - 211,22)^2 + (567,88 - 567,9)^2 + (163,9 - 163,89)^2 + (355,1 - 355,06)^2}{4 - 2 - 1} = 0,0003$$

З таблиці критеріїв Фішера при 5% – му рівні значимості знаходимо відповідне значення:

$$F(0,05;1;4) = 7,708$$

$$F = \frac{0,00014}{0,8} = 2,4 \cdot 10^{-3} \leq 7,708,$$

Тому математичну модель можна вважати адекватною.

Запишемо рівняння з урахуванням інтервалів варіювання

$$y = 324,53 - 65,04 \cdot \left(\frac{\beta - 4}{3,5} \right) + 136,96 \cdot \left(\frac{f - 0,275}{0,125} \right) - 41,36 \cdot \left(\frac{\beta - 4}{3,5} \right) \cdot \left(\frac{f - 0,275}{0,125} \right) \pm 1,02$$

середньоквадратичне відхилення становить

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{u=1}^n (P_p - P_e)^2}{n}}, \quad (3.16)$$

Звідки

$$\sigma = \sqrt{\frac{(211,25 - 212,7)^2 + (567,9 - 567,25)^2 + (163,9 - 164,9)^2 + (355,1 - 355,9)^2}{4}} = 1,02$$

Виконавши необхідні перетворення отримали математичну модель залежності сили виштовхування від кута нахилу стінок виливниці та коефіцієнта тертя:

$$y = -6,322 + 7,37 \cdot \beta + 1473,4 \cdot f - 94,43 \cdot \beta \cdot f \pm 1,02 \quad (3.17)$$

Порівняльний графік зусилля виштовхування $P_p = f(P_e)$ з урахуванням середньоквадратичного відхилення наведено на рисунку рисунок 3.12

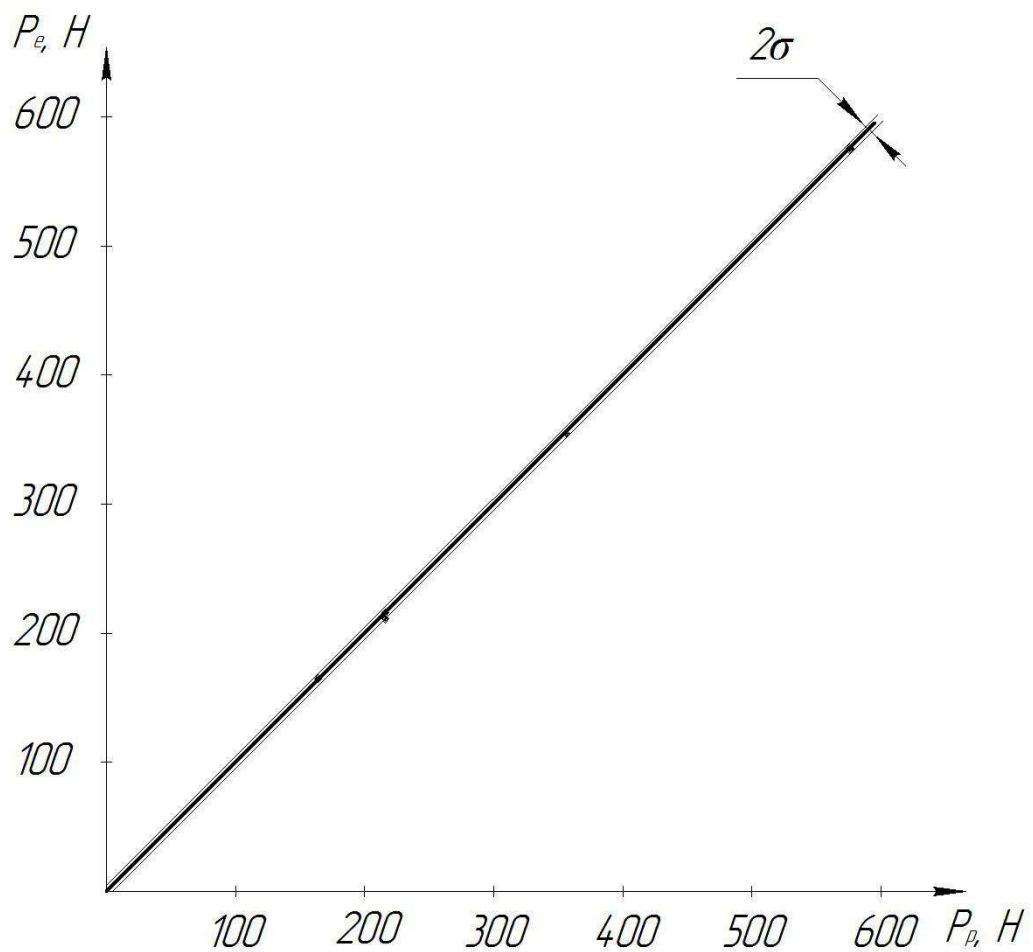


Рисунок 3.12 – Порівняння розрахункового зусилля з експериментальним з урахуванням середньоквадратичного відхилення

Графічне відтворення розробленої математичної моделі наведено на рисунку 3.13

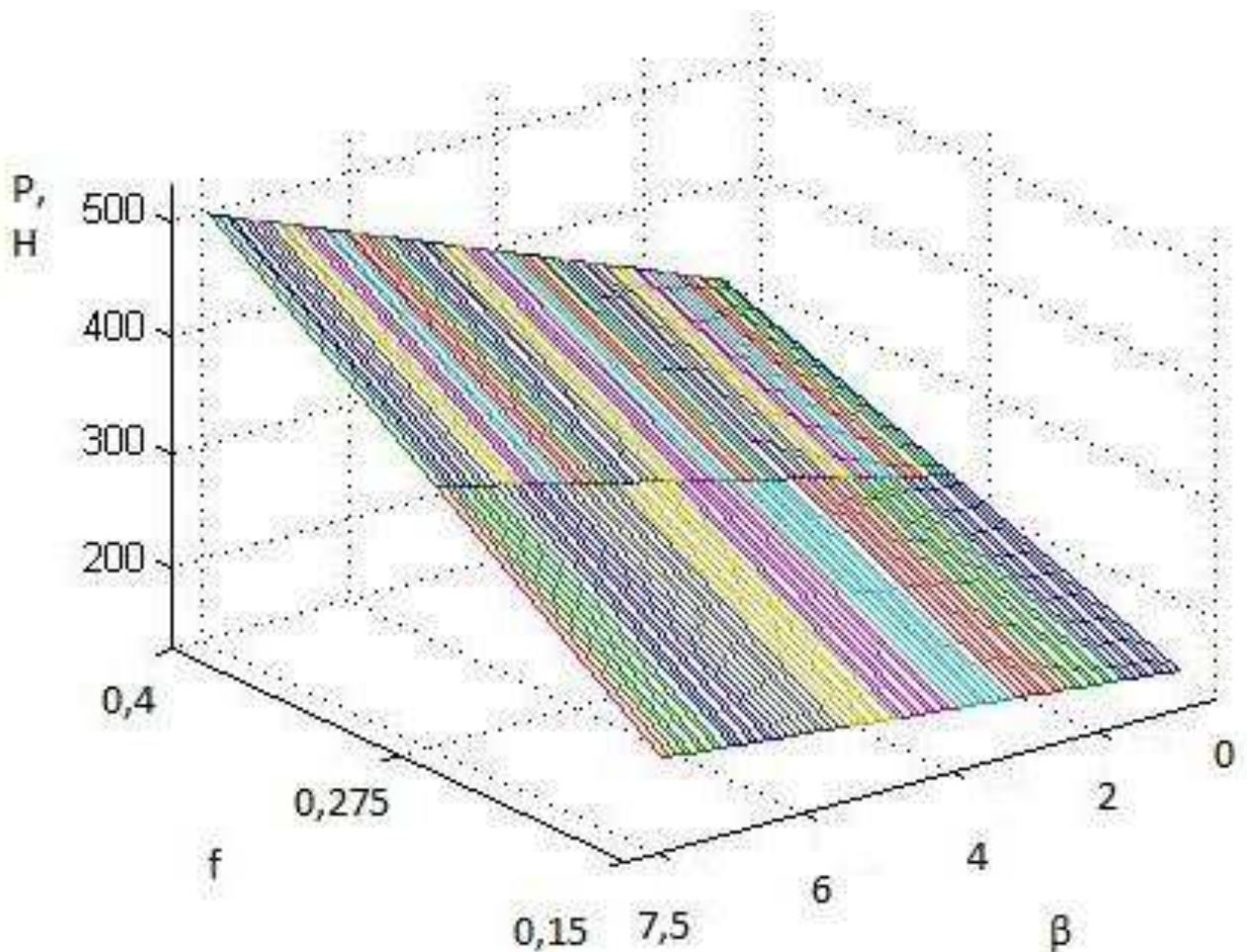


Рисунок 3.13 – Залежність зусилля виштовхування від кута нахилу стінок виливниці та коефіцієнта тертя

Таким чином експериментальним шляхом встановлено, що конструкція виливниці в значній мірі впливає на зусилля виштовхування. Мінімальні зусилля отримані при максимальних кутах нахилу та мінімальних коефіцієнтах тертя. Проте в реальних умовах до форми зливку пред'являють особливі вимоги, тому на практиці кут нахилу стінок виливниці необхідно обмежити 2° , при цьому коефіцієнт тертя можливо змінювати за рахунок протипригарних покриттів типу PERMA-COTE 230S [26], шляхом їхнього нанесення на внутрішні стінки виливниці.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ

4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища

В кабіні крану на людину можуть негативно впливати наступні чинники:

- 1) підвищена або знижена температура повітря;
- 2) надмірна запиленість і загазованість повітря;
- 3) підвищена або знижена вологість повітря;
- 4) недостатня освітленість робочого місця;
- 5) вібрація, що перевищує допустимі норми;
- 6) підвищений рівень тепловиділення;
- 7) небезпека ураження електричним струмом.

Основними шкідливими чинниками в кабіні крана є надмірна загазованість повітря діоксином кремнію, що перевищує ГДК більш ніж в 4 рази, джерелом якого є нагрітий зливоч металу у виливниці, та вібрація, котра має місце в зв'язку з великими динамічними навантаженнями під час виривання зливку.

Кабіна крану є приміщенням легкої категорії (виконуються легкі фізичні роботи), тому повинні дотримуватися такі вимоги:

- оптимальна температура повітря – 22 °С (допустима – 20-24 °С);
- оптимальна відносна вологість – 40-60% (допустима – не більше 75%);
- швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів та карта умов праці для робочого місця машиніста крана представлені в таблиці 4.1.

Таким чином, аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці на крані характеризуються наявністю шкідливих виробничих чинників, які призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу машиніста крана для роздягання зливків.

№	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників за зміну, %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ 2 клас небезпеки, SiO ₂	1,0	4,42		4,42		92
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м ³	4,0	9,2		2,3		92
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	101	104,5		3,5		100
4	Шум, дБА	80	81	1			100
7	Мікроклімат в приміщенні: - інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	190	190			60,3
8	Важкість праці Робоча поза $\angle 30^\circ$	50	77		77		77
9	Загальна оцінка умов праці	Умови праці відносяться до шкідливих та важких					

Гігієнічна оцінка умов праці:

- умови і характер праці відносяться до 3-го класу 3-го ступеня.

Оцінка технічного і організаційного рівня відповідає технологічному регламенту і проекту організації праці на робочому місці.

Робоче місце машиніста крана має в наявності: 2 чинники 1-го ступеня, 4 чинники 2-ої. За показниками робоче місце слід враховувати з шкідливими і важкими умовами праці, що відповідає показникам списку №1. Згідно зі списком №1 пенсійний вік за пільговими умовами праці складає 50 років, надається додаткова щорічна відпустка в кількості 14 днів, видаються талони на молоко, доплата 16% згідно колективного договору.

4.2 Заходи захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

Для створення і автоматичної підтримки в кабіні оптимальних значень температури, вологості і швидкості руху повітря в холодну пору року використовується електричне опалення, в теплу пору року застосовується кондиціонування повітря. Кондиціонер є вентиляційною установкою, яка за допомогою приладів автоматичного регулювання підтримує в приміщенні задані параметри повітряного середовища.

У зв'язку з тим, що природне освітлення кабінки здійснюється через віконні отвори і є дуже слабким, на робочому місці має застосовуватися також штучне освітлення. Штучне освітлення створюють електричним джерелом світла, яке включають в міру необхідності, регулюють інтенсивність світлового потоку і його спрямованість.

Знизити рівень вібрації до оптимального значення можливо наступними методами:

- кабінку крана закріпити з використанням амортизуючих систем;
- установити в кабінці крана антивібраційного крісла;
- використання антивібраційних килимів;

- наплавлення на колеса крану спеціальної гуми.

Знизити рівень діоксину кремнію можливо наступними методами:

- надійною герметизацією кабіни;
- установкою очищуючих фільтрів.

У таблиці 4.2 наведені фактори виробничого середовища трудового процесу й заходи щодо їхнього усунення, які мають місце на плавильному відділенні.

Таблиця 4.2 – Технічні засоби захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

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

Шкідливості й небезпеці доменного цеху відносяться до фізичної групи. До цієї групи відносяться пил, шум, зміни температури всередині цеху [27].

Всі працівники цеху безкоштовно забезпечені спецодягом, спецвзуттям і засобами індивідуального захисту. До складу спецодягу входять: костюм х/б тканини, черевики, у зимовий час видається утеплена куртка й ватяні штани [28].

Для захисту органів подиху робітником видаються респіратори протипилові типу ШБ – 1М "СИЗОД" ДСТ 12.01.029–80.

4.3 Технічні рішення по гігієні праці та виробничій санітарії

Металургійні цехи відносяться до другої групи виробничих процесів по санітарних нормах. Вони повинні мати побутові приміщення, в яких обов'язково мають бути вбиральні, вмивальні, душові, убиральні, приміщення для обігріву робітників.

Побутові приміщення повинні розташовуватися, як можна ближче до робочих місць, в прибудовах або в будівлях, що окремо стоять. Вбиральні призначені для зберігання чистого і робочого одягу.

Вмивальні повинні розміщуватися в окремому приміщенні суміжному зі вбиральнями або в приміщеннях вбиралень.

Душові необхідно розміщені в суміжних з гардеробними приміщеннями. Убиральні повинні розташовані не далі ніж сто метрів від найбільш видалених робочих місць. Пристрої і обладнання убиралень регламентується санітарними нормами.

Для очищення приміщень від забрудненого повітря і подачі в них свіжого, застосовується природна вентиляція. Природна вентиляція здійснюється завдяки різниці температур повітря в приміщенні і поза ним [29].

Для подачі питної води встановлені фонтанчики, закриті бойки з фонтануючими насадками. Температура води при подачі 8 – 20°C. Питна вода може бути сирою, якщо вона безпечна для вживання або остудженою-кип'яченою. Відстань від робочих місць до питних установок не більше 15 м.

Також у виробничому процесі виконуються організаційні, гігієнічні і санітарно – технічні заходи і засоби щодо запобігання дії на робітниках шкідливих виробничих чинників.

Робітники мають забезпечені нормальними умовами для їжі. Поряд з виробничим цехом розташовуються столові буфети, обладнання яких відповідає санітарним нормам і правилам.

4.4 Техногенна безпека

4.4.1 Заходи щодо техніки безпеки при ремонтних роботах на кранах

Перед зупинкою стріперного крану на капітальний ремонт вивчити і пропрацювати проєкт організації робіт зі всіма виконавцями ремонту, ІТР під розпис, а також працівниками комбінату, що беруть участь в ремонті.

До зупинки крану на капітальний ремонт весь персонал, що бере участь в ремонті, зобов'язаний пройти інструктаж по охороні праці згідно інструкцій, що діють, окремо по професіях, вивчити заходи щодо забезпечення безпечних методів виконання робіт, викладених відповідно креслень і технічних карт.

Передача стріперного крану в ремонт оформляється з боку цеху спеціальним актом, з обов'язковою вказівкою в ньому необхідних заходів щодо охорони праці і підписаним начальником цеху, начальником відділу ТБ комбінату, начальником ремонту і представниками ремонтних цехів і організацією. До акту мають бути прикладені схеми відключення крану від комунікацій, з установкою металевих заглушок і схема межі ремонтної зони.

Перед початком ремонту необхідно виставити тупики на обох підкранових дорогах, і на тупики встановити прапорці червоного кольору. Захистити зону ремонту з обов'язковим вивішуванням плакатів, які попереджають про те, що на верху працюють люди. З метою забезпечення безпечного проведення ремонту, а також чіткої взаємодії між виконавцями ремонту і персоналу цеху застосовують біркову систему.

До початку робіт приступають лише після оформлення наряд-допуску і інструктажу по охороні праці із записом в журналі по охороні праці. Робоче

місце обладнати низьковольтним освітленням 12 В [30]. Щозмінно проводити прибирання металоконструкцій і деталей.

При підйомі, переміщенні і опусканні вузлів тих, що мають велику вагу, всі інші роботи в цей час на даній ділянці мають бути припинені.

Забороняється зачеплення і строповка вантажів особам, що не мають посвідчення стропувальника. Забороняється користуватися випадковими неопосвідченими вантажозахватними пристроями.

Гайкові ключі слід підбирати по розмірах гайок. На робочих поверхнях ключа не повинно бути скосів, тріщин, задирок. Вживання металевих пластинок між гранями гайки і ключа забороняється.

При роботі з пневматичним інструментом дотримувати вимог «Інструкції по охороні праці для слюсарів по ремонту обладнання в цехах комбінату»:

- до роботи з пневматичним інструментом допускаються кваліфіковані робітники;
- хлипаки на рукоятках пневмоінструмента повинні легко відкриватися, швидко закриватися і не пропускати повітря в закритому положенні;
- забороняється тримати пневмоінструмента за робочу частину;
- забороняється здійснювати заміну робочого інструменту без повного відключення пневмоінструмента від мережі стислого повітря і випуску кисню.
- забороняється працювати без захисних окулярів.
- забороняється припиняти подачу повітря шляхом перелому шлангів або зав'язування вузлами.

4.4.2 Заходи пожежної безпеки

У комплекс протипожежних заходів входять попередження виникнення пожеж, обмеження поширення вогню при виникненні пожежі, створення умов для швидкої локалізації й гасіння пожеж.

Причинами вибухів і пожеж найчастіше є теплові імпульси – електричні іскри й статична електрика. Таким чином по вибухонебезпечності шихтове відділення згідно ДСТ 2272–93 можна віднести до категорії Д – негорючі речовини в холодному стані. А по пожежонебезпеці [31] до IIIа ступені – будівлі переважно з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса – металеві незахищені конструкції. Огороджуючі конструкції – з металевих профільованих листів або інших негорючих листових матеріалів з важкогорючими утеплювачами

Основні протипожежні вимоги обов'язкові до виконання адміністрацією, інженерно – технічними працівниками, робітниками і службовцями комбінату при проведенні вогневих робіт на території комбінату регламентуються наступними нормативними актами.

Відповідальність за забезпечення заходів пожежної безпеки в цехах, що діють, при монтажі і ремонті виробничого обладнання, проведені зварювальних і інших вогневих робіт покладається на керівників цехів.

Робочий майданчик цеху, де проводитиметься ремонт, має бути забезпечений первинними засобами пожежегасіння відповідно до норм. В цілях створення умов для швидкого використання пожежного інвентарю (богри, лопати, піску) і вогнегасників необхідно встановити протипожежний щит.

На проведення всіх видів тимчасових вогневих робіт структурним підрозділом має бути оформлене наряд - допуск на виконання тимчасових робіт, який складається в двох екземплярах, підписується начальником цеху і реєструється в спеціальному журналі.

Перед початком вогневих робіт керівники цехів і ремонтних бригад спільно з пожежною охороною комбінату проводять протипожежний інструктаж. Виконавці вогневих робіт мають бути занесені в спеціальний журнал інструктажу. Особи, які не пройшли протипожежний інструктаж, до проведення вогневих робіт не допускаються.

Виконавці вогневих робіт зобов'язані:

- мати при собі кваліфікаційне посвідчення і посвідчення про проходження навчання і перевірки знань по пожежно - технологічному мінімуму при роботі в іншому цеху;

- отримати інструктаж по безпечному проведенню робіт на даному об'єкті і розписатися у наряді - допуску на виконання робіт;

- приступати до вогневих робіт лише після вказівки особи, відповідальної за пожежну безпеку по місцю проведення вогневих робіт;

- виконувати лише ту роботу, яка вказана у наряді - допуску на виконання тимчасових робіт;

- вміти користуватися засобами пожежегасіння. В разі виникнення пожежі негайно прийняти заходи по ліквідації спалаху;

- після закінчення вогневих робіт, ретельно оглянути місце проведення, усунути можливі причини виникнення пожежі.

Робітники відповідальні за пожежну безпеку по місцю проведення вогневих робіт зобов'язаний:

- перевірити повноту і якість ведення підготовчих заходів передбачених нарядом – допуском;

- перевіряти наявність кваліфікаційних посвідчень і посвідчень про проходження навчань і перевірки знань по пожежотехнічному мінімуму виконавців вогневих робіт і засобів індивідуального захисту у виконавців,
- знання прийомів їх вживання;

- провести інструктаж виконавцям вогневих робіт по заходах пожежної безпеки при виконанні даної роботи;

- перевірити підготовку робочого місця до проведення вогневих робіт;

- знаходитися на місці проведення вогневих робіт і контролювати роботу виконавців;

- забезпечити після закінчення вогневих робіт повторну перевірку робочого місця на відсутність можливих джерел спалаху. Перевірити проведення робочого місця і розписатися у наряді – допуску.

Необхідний час евакуації людей із приміщення при пожежі не обмежується. Як пристрої шляхів евакуації використовуються сходові клітки, що ведуть до коридору із трьома виходами, і зовнішні сходи [32].

Оскільки в приміщенні можуть виникати пожежі різних класів, передбачені різні засоби гасіння пожеж: є пожежний щит, пожежний рукав, вогнегасники ВВ – 2 і ВП – 10.

4.4.3 Ймовірність аварій та заходи щодо їх ліквідації

Будь-яку машину, механізм можна розглядати як систему, що складається з окремих елементів – деталей. Аварія – результат відмови одного чи декількох елементів [33].

Аварії залежно від їхніх масштабів можуть бути трьох рівнів –А, Б, В.

На рівні А – аварія характеризується розвитком аварії в межах одного виробництва, цеху, відділення, виробничої дільниці, яке є структурним підрозділом підприємства.

На рівні Б – аварія характеризується переходом за межі структурного підрозділу і розвитком її в межах підприємства.

На рівні В – аварія характеризується розвитком і переходом за межі території підприємства, можливістю впливу чинників аварії на населення розташованих поблизу населених районів та інші підприємства (об'єкти), а також на довкілля.

Найбільш можливими відмовами є поломки електричного й механічного встаткування. Виникнення аварійних ситуацій можливо по незалежних від обслуговуючого персоналу стану й цеху зовнішнім причинам, таким, як відключення електроенергії, порушення водопостачання цеху й т.п.

Наслідками аварійних ситуацій є:

- зрив виробничого завдання;
- збільшення браку й відсортованої продукції;
- підвищення травмобезпеки;
- збільшення ймовірності виходу з ладу іншого устаткування.

Основними заходами, спрямованими на зниження ймовірності виникнення аварійних ситуацій, є:

- дотримання технології виробництва;
- своєчасний профілактичний огляд і ремонт устаткування;
- підвищення кваліфікації персоналу;
- дотримання правил техніки безпеки.

Також рекомендується проводити навчальні заходи щодо локалізації аварійних ситуацій.

Ймовірність аварії розраховується за формулою:

$$Q = 1 - \prod_{n=1}^n (1 - Q_i), \quad (4.1)$$

де Q_i – ймовірність відмови кожного елемента:

$$Q_i = \lambda_i \cdot \tau, \quad (4.2)$$

де λ_i – інтенсивність відмови i -го елемента;

τ – загальний час роботи даного елемента за аналізований період часу.

Розрахуємо ймовірність аварії на ділянці роздягання зливків за півтора року роботи стріперного крана. Відомо що $\lambda_i = 9 \cdot 10^{-5} \text{ рік}^{-1}$ $\tau = 1,5$ року

$$Q_i = 9 \cdot 10^{-5} \cdot 1,5 = 1,35 \cdot 10^{-4}$$

Тоді підставивши отримані значення в формулу (4.1) отримаємо

$$Q = 1 - \prod_{n=1}^n (1 - 1,35 \cdot 10^{-4}) = 1 - 0,999 = 0,001 = 0,1\%$$

Ймовірність не висока, застосування захисних засобів не потрібне.

4.5 Дослідження засобів захисту від впливу вібрації на кранового машиніста

Під час роботи крана машиніст підлягає впливу вібрації, що виникає під час резонансу коливань. Інші, в свою чергу, виникають:

- на поверхні коліс крану (в зв'язку зі станом підкранових рельс);
- в балансирах коліс;
- в механізмі виштовхування, під час операцій, тощо.

Всі ці джерела вібрації в сукупності становлять загрозу для здоров'я машиніста. Для зниження вібрацій, що передаються на кабінку крана застосовуються пружинні або гумові віброізолятори [34].

Розрахунок віброізолюваного кріплення кабіни крану до його металоконструкції.

Визначаємо статичне навантаження на одну пружину

$$P_{ст} = \frac{P}{n \cdot m}, \quad (4.3)$$

де P - загальна вага установки;

n - загальне число віброізоляторів;

m - число пружин в одному віброізоляторі.

Підставивши числові значення до формули (4.3), одержимо

$$P_{ст} = \frac{19450}{4 \cdot 2} = 2431 \text{ Н.}$$

Визначаємо розрахункове максимальне навантаження на одну пружину за формулою

$$P_{\text{max.розр}} = P_{ст} + 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot a_{\text{доп}}}{g} \cdot P_{ст}, \quad (4.4)$$

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

$a_{\text{доп}}$ – максимальна допустима амплітуда зміщення, мм;

f – розрахункова частота змушувальної сили, Гц.

Обчисливши числові значення за формулою (4.4), одержимо

$$P_{\text{max,розр}} = 2431 + 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 6,8^2 \cdot 0,18}{9,8} \cdot 2431 = 2553 \text{ Н.}$$

Необхідна жорсткість K_{ZH} однієї пружини в повздовжньому напрямку

$$K_H = \frac{K_{ZH}}{n \cdot m}, \quad (4.5)$$

$$K_{ZH} = 4 \cdot \pi^2 \cdot f_{0\text{доп}}^2 \cdot M_H, \quad (4.6)$$

де $f_{0\text{доп}}$ - допустима частота власних коливань, $f_{0\text{доп}} = 1,8$ Гц;

M_H - маса віброізолюваної установки, розраховується за формулою

$$M_H > \frac{2,5 \cdot \varepsilon \cdot m}{a_{\text{доп}}}, \quad (4.7)$$

де ε – максимальне значення деформації головних балок крану за рахунок вібрації;

m – маса робочого органу.

Одержимо

$$M_H > \frac{2,5 \cdot 0,2 \cdot 42720}{0,18} > 118666 \text{ Н.}$$

Оскільки маса агрегата більша, ніж необхідна маса установки, то як агрегат може бути використана зварена рама.

Після виконання робочих креслень визначаємо її масу $M_p = 487$ кг,

Підставивши результат, визначений в формулі (4.7), до формули (4.6), одержимо

$$K_{ZH} = 4 \cdot \pi^2 \cdot 1,8^2 \cdot (1945 + 487) = 310762 \text{ Н/м.}$$

За формулою (4.35) розраховуємо необхідну жорсткість однієї пружини

$$K_H = \frac{310762}{4 \cdot 2} = 3,8 \cdot 10^4 \text{ Н/м.}$$

Тип ізолятора обираємо з дотриманням умов

$$P_{\max} \geq P_{\max \text{розр}}, \quad (4.8)$$

$$K_Z \geq K_H. \quad (4.9)$$

Приймаємо пружину ДО-45 з діаметром пружини $\varnothing = 15$ мм, діаметром 9 пружини $D = 120$ мм, що повністю задовольняє умовам (4.8), (4.9)

$$3800 \text{ Н} \geq 2553 \text{ Н,}$$

$$4,5 \cdot 10^4 \geq 3,8 \cdot 10^4$$

Ефективність віброізоляції становить

$$\Delta L = 20 \lg\left(\frac{f^2}{f_0^2} - 1\right), \quad (4.10)$$

де f_0 – частота власних вертикальних коливань установки,

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{K_Z \cdot g}{P_{ст}}}, \quad (4.11)$$

Обчисливши, одержуємо

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{30,4 \cdot 9,8}{0,2431}} = 5,57 \text{ Гц.}$$

Підставимо результат формули (4.9) до формули (4.8), одержимо

$$\Delta L = 20 \lg \left(\frac{6,8^2}{5,57^2} - 1 \right) = 6,22 \text{ дБ.}$$

Основні параметри пружини представлені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Основні параметри пружини ДО-45

Параметр	значення
Діаметр дроту, мм	15
Діаметр пружини, мм	120
Висота пружини, мм	245
Число робочих витків	6,5
Крок ненавантаженої пружини, мм	40

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Ознайомлення з технологією й устаткуванням цеху підготовки потягів показало, що одним з «вузьких» місць цеху є недостатньо надійна робота стріперного крана для вилучення зливків з виливниць.
2. На підставі наведеного огляду й аналізу технічної й патентної літератури встановлено, що для вилучення зливків з виливниць використовуються різні конструкції машин, які мають ті ж самі недоліки, що й устаткування ПАТ «Запоріжсталь».
3. В результаті модернізації механізму виштовхування зливка стріперного крана будуть досягнуті наступні цілі – збільшення продуктивності, терміну служби, та зменшення незапланованих простоїв.
4. В ході теоретичних досліджень встановлено, що оптимальним обладнанням для вилучення зливків з виливниць як з роширенням до низу, так і з розширенням до верху є стріперні мостові крани;
5. На підставі проведених досліджень можна стверджувати, що зусилля виштовхування зливка з виливниці в значній мірі залежить від двох «зовнішніх» факторів - кута нахилу стінки виливниці та коефіцієнту тертя зливка по стінкам виливниці;
6. Експериментальним шляхом підтверджено, що конструкція виливниці в значній мірі впливає на зусилля виштовхування. Розроблена математична модель визначає, що мінімальні зусилля отримані при максимальних кутах нахилу та мінімальних коефіцієнтах тертя. Проте в реальних умовах до форми зливку пред'являють особливі вимоги, тому на практиці кут нахилу стінок виливниці варто обмежити 2° .
7. Результати роботи можуть бути використані не тільки на виробництві ПАТ «Запоріжсталь», але й на інших підприємствах чорної й кольорової металургії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Клименко В.М., Шиліна О.П., Осадчук А.Ю. Технологія конструкційних матеріалів. Ч.I Конструкційні матеріали: властивості, класифікація, виробництво: навч. посіб. Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. 97 с.
2. Сировинні матеріали та їх підготовка до металургійних процесів / І.Ф. Червоний та ін. Запоріжжя: ЗДІА, 2013. 408 с.
3. Підприємство | PJSC "Zaporizhstal". ПАТ «Запоріжсталь». URL: <https://zaporizhstal.com/pidpriyemstvo/> (дата звернення: 22.10.2023).
4. Класифікація кранів – мостові крани. *Будівельна техніка (довідник)*. URL: <https://budtehnika.pp.ua/7444-klasifkacya-kranv-mostov-krani.html> (дата звернення: 23.10.2023).
5. Гречаний О. М., Пархоменко В. В., Єгорова О. О. Аналіз способів та методів вилучення зливків з виливниць. *Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України»* Запоріжжя: ЗНУ, 2022. С. 16–17.
6. Механічне обладнання металургійних заводів. Механічне обладнання електросталеплавильних та феросплавних цехів: Підручник для металургійних інститутів / В. М. Гребеник та ін. Київ: Вища школа, 1980. – 256 с.
7. Спосіб вибивання литва : пат. 21326 Україна : В22D 29/00. № u200609266 ; заявл. 22.08.2006 ; опубл. 15.03.2007, Бюл. № 3. 3 с.
8. Жук А.Я., Желябіна Н.К., Таратута К.В., Коваль М.В. Обґрунтування економічної доцільності технічних рішень: навч. посіб. Запоріжжя: Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2011. 363 с.
9. Система витягування зливка з кристалізатора : пат. 91877 Україна : В22D 29/00 F16H 43/00. № u 2013 11382 ; заявл. 26.09.2013 ; опубл. 25.07.2014, Бюл. № 14. 6 с.

10. Велика кліщовина крана для роздягнення злитків : пат. 8000 Україна : B22D29/04. № 20041210769 ; заявл. 27.12.2004 ; опубл. 15.07.2005, Бюл. № 7. 4 с.
11. Пристрій для роздягання злитків : пат. 13708 Україна : B22D 29/04. № u200509657 ; заявл. 25.11.2005 ; опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4. 2 с.
12. Development of new composite materials based on TiN–Ni cermets during thermochemical pressing / Y. Belokon et al. *Results in Engineering*. 2022. P. 100724. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100724>
13. Development of composite materials based on TiN – Mo cermets during thermochemical pressing / Y. Belokon et al. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2023.05.006>
14. Sun M., Yang S., Li B. New method of tubular material inner surface modification by plasma source ion implantation. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*. 1996. Vol. 14, no. 2. P. 367–369. URL: <https://doi.org/10.1116/1.579902>
15. Mechanical and tribotechnical properties of detonation coatings of a composite on the basis of Ti–Cr carbide / V. P. Konoval et al. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 2015. No. 4. P. 77–82. URL: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2015.04.077> (date of access: 29.10.2023).
16. Іванченко Ф. К. Розрахунки машин і механізмів прокатних цехів / Ф. К. Іванченко, В. М. Гребеник, В. І. Ширяєв. – Київ: Вища школа, 1994. – 455 с.
17. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: підручник. 2–ге вид. – Львів: афіша, 2003.– 560 с.
18. Зеленов А.Б. Теорія електропривода. Методика проектування електроприводів: Підручник /А.Б.Зеленов. – Луганськ: вид-во «Ноулідж», 2010. – 670 с.
19. Васильченко Т.О, Шевченко І.А, Гречаний О.М. Опір матеріалів : навчально–методичний посібник Запоріжжя : ЗНУ, 2020. – 263 с.

20. Корнілов О. А. Опір матеріалів. Підручник для студентів технічних ВНЗ. К.: Логос, 2002. – 562 с.
21. Опір матеріалів / Г. С. Писаренко та ін. К.: Вища школа, 1993. – 655 с.
22. Шейко В. М., Кушнарєнко Н. М. Організація та методика науково–дослідницької діяльності : підручник. 7–ме вид., стер. Київ : Знання, 2011. 310 с.
23. Колесников О. В. Основи наукових досліджень : навч. посіб.. 2–ге вид., випр. та допов. Київ : Центр учбової літератури, 2011. 144 с.
24. Жук А. Я., Желябіна Н. К., Малишев Г. П. Основи наукових досліджень. Кн. 1. Теоретичні дослідження. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 195 с.
25. Жук А. Я., Желябіна Н. К., Малишев Г. П. Основи наукових досліджень. Кн. 2. Експериментальні дослідження. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 205 с.
26. Протипригарне покриття Perma–cote 230S від ТОВ "Укрфаворит". ТОВ "Укрфаворит". URL: <https://ukrfavorit.com.ua/katalog-produktsiyi/protiprigarne-pokrittya/perma-cote-230s/> (дата звернення: 02.11.2023).
27. Охорона праці на гірничо–металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.
28. 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.
29. ДСН 3.3.6.042–99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
30. Правила улаштування електроустановок. URL: <https://mev.gov.ua/storinka/pravylya-ulashtuvannya-elektroustanovok> (дата звернення: 03.07.2023).
31. ДБН В.1.1–7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва Загальні вимоги [Електронний ресурс] // Міністерство регіонального розвитку, будівництва

та житлово–комунального господарства України. – 2016. – Режим доступу до ресурсу:
<http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/32.1.%20ДБН%20В.1.1-7~2016.%20Пожежна%20безпека%20об'єктів%20будівни.pdf>.

- 32.Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / Е. О. Геврик. – К: Ельга, Ніка–центр, 2003. – 280 с..
- 33.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.
- 34.Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч.посіб. / К. Н. Ткачук. та ін. – К: Основа, 2009. – 360 с.

СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Формат
1	Візок стріперного крана	1	A1
2	Механізм виштовхування	1	A1
3	Кліщовий пристрій	1	A1
4	Механізм керування кліщами	1	A1
5	Модель стріперного крана	1	A1
6	Установка віброізоляторів кабіни кранового машиніста	1	A1
7	Дослідження факторів, що впливають на зусилля виштовхування	1	A1
8	Дослідження залежності зусилля виштовхування від кута нахилу стінок виливниці та коефіцієнту тертя	1	A1

ДОДАТКИ

