

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

(назва факультету)

кафедра металургійного обладнання

(повна назва кафедри)

## **ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

На тему Аналіз режимів роботи зливковоза та розробка ефективної схеми його гальмування перед приймальним рольгангом

Виконав: магістрант групи 8.1332

Забашта М. О.

(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 Огінський Й.К.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н. контроль Васильченко Т.О.

(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

Забашти Максима Олеговича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Аналіз режимів роботи зливковоза та розробка ефективної схеми його гальмування перед приймальним рольгангом  
керівник магістерської роботи д.т.н, професор Огінський Й.К.,  
затвердені 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 прокатного цеху
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд науково-технічних рішень підвищення ефективності обладнання приймального рольганга 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. Зливковоз – 2А1; 2. Упор зливковоза пружинний – 1А1; 3. Упор зливковоза гідравлічний – 1А1; 4. Сильфон – 1А1 5. Розробка математичної моделі руху зливковоза на ділянці гальмування перед приймальним рольгангом – 1А1; 6. Результати дослідження зупинки зливковоза при різних режимах навантаження – 1А1; 7. Повітряна завіса – 1А1;

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Огінський Й.К., д.т.н, професор		
2	Огінський Й.К., д.т.н, професор		
3	Огінський Й.К., д.т.н, професор		
4	Огінський Й.К., д.т.н, професор		

**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

Забашта М.О. Аналіз режимів роботи зливковогоз та розробка ефективної схеми його гальмування перед приймальним рольгангом

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальність 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник Й. К. Огінський. 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 зупинки зливковозів перед приймальним рольгангом. Запропонований варіант модернізації упора зливковогоз. Розроблена математична модель руху зливковогоз на ділянці гальмування перед приймальним рольгангом.

Ключові слова: ЗЛИВОК, ЗЛИВКОВОЗ, УПОР, СИЛЬФОН, БУФЕР

## ABSTRACT

Zabashta M.O. A analysis of the modes of operation of the dump truck and the development of an effective scheme for its braking before the receiving roller conveyor

Qualification final work for obtaining a higher education degree of a master's degree in specialty 133 - Industrial engineering, scientific adviser Yo.K. Oginsky. 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 stopping ingot carriers in front of the receiving roller table are analyzed. An option for modernizing the ingot carrier stop has been proposed. A mathematical model of the movement of an ingot carrier in the braking section in front of the receiving roller table has been developed.

Key words: INGOT, INGOT TANK, STOP, BELLOWS, BUFFER



## Зміст

Вступ	7
1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ПРИЙМАЛЬНОГО РОЛЬГАНГА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ	9
1.1 Аналіз технологічного процесу та місце в ньому зливковоза	9
1.2 Аналіз ефективних рішень по зупинці зливковоза перед приймальним рольгангом	20
1.3 Пропозиції, щодо модернізації обладнання для зупинки зливковоза та обґрунтування обраного напрямку	25
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	27
2.1 Розрахунок сильфона	27
2.2 Розрахунок гідросистеми упору зливковоза	39
2.3 Розрахунок зворотної пружини упору зливковоза	43
3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	50
3.1 Розробка математичної моделі руху зливковоза на ділянці гальмування	50
3.2 Динамічний розрахунок упору зливковозу	63
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ	65
4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища	65
4.2 Заходи захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища	67
4.3 Технічні рішення по гігієні праці та виробничій санітарії	69
4.3.1 Мікроклімат	69
4.3.2 Освітлення виробничих приміщень	70
4.3.3 Виробничий шум, виробнича вібрація	71
4.4 Техногенна безпека	72
4.4.1 Електробезпека	72
4.4.2 Заходи пожежної безпеки	73
4.4.3 Виробничі випромінювання	74
4.4.4 Ймовірність аварій та заходи щодо їх ліквідації	75

	6
4.5 Розробка повітряної завіси цехових воріт	76
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	83
СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ	87
ДОДАТКИ	88

## Вступ

Відомо, що для подачі зливків з прольоту нагрівальних колодязів до приймального рольгангу обтискного стану використовують зливковоз. Для ритмічного перетікання технологічного процесу необхідно, щоб виконувались обов'язкові вимоги, а саме зупинка зливковозу в зазначеному місці перед рольгангом та не допускається зіткнення зливковозу з роликами рольганга.

Подача зливків виконується за декількома схемою: навантаження зливків у люльку і візок за допомогою колодязевого кліщового крана, транспортування зливків до приймального рольгангу на зливковозі, в цьому випадку розвантаження зливків з люльки виконує сам зливковоз за допомогою механізму перекидання люльки або виконується подача зливків кліщовим краном безпосередньо на приймальний рольганг.

Для транспортування зливків у світовій практиці використовують різні типи зливкоподачі. На металургійних комбінатах з високою продуктивністю обтискного стану використовується кільцева зливкоподача, де по кільцю в однаковому напрямку рухається кілька злитковозів зі зливками, які стикається на приймальному рольганг за допомогою зіштовхувача. На ПАТ «Запоріжсталь» подача зливків здійснюється за допомогою одного злитковозу, який рухається вздовж фронту нагрівальних колодязів.

Для точності зупинки зливковозу перед прийомним рольгангом використовують використовують різні типи упорів зливковозу: гідравлічний упор, пружинний упор та ін.

Зливковози та упори злитковозів мають ряд конструктивних недоліків, які негативно позначаються на ефективності роботи злитковозу.

З огляду на конструктивні особливості пружинний упор, при підході зливковозу до рольгангу, не завжди забезпечує зупинку зливковозу на заданій ділянці. Через високу температуру зливків на гідравлічному упорі відбувається нагрівання робочої рідини, що призводить до швидкого виходу з ладу упору.

Для збереження ритмічності перетікання технологічного процесу вкрай важливо вирішити проблеми пов'язані недоліками роботи упорів зливковозів,

що і є темою кваліфікаційної випускової роботи.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є дослідження роботи зливковоза на ділянці гальмування перед приймальним рольгангом.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз раніше проведених досліджень в питаннях удосконалення конструкції гальмівних пристроїв, що використовуються для зупинки зливковозів;
- визначити навантаження, що діють на упор зливковоза, та виконати розрахунок основних його конструктивних елементів;
- встановити динамічну складову в розрахунках запропонованої конструкції упора зливковоза
- розробити математичну модель руху зливковоза на ділянці гальмування перед приймальним рольгангом.

**Предмет дослідження** – конструктивні параметри пристрою для зупинки зливковоза.

**Об'єкт дослідження** – упор зливковоза сільфонного типу.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення роботи доповідалися на: Міжнародній науково-практичній конференції «Геостратегічні трансформації та траєкторія національної безпеки в контексті відбудови і сталого розвитку України», 25–26 травня 2023 року, м. Запоріжжя, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету. Опубліковано тези доповіді.

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи включає 100 сторінок, у тому числі 84 сторінки основного тексту, 24 рисунки, 4 таблиці, 39 найменувань використаних джерел на 4 сторінках, 12 додатків.

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

# 1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ПРИЙМАЛЬНОГО РОЛЬГАНГА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ

## 1.1 Аналіз технологічного процесу та місце в ньому зливковоза

Слябінги призначені для прокатки гарячих злиwkів в сляби різних розмірів. Схеми розташування механічного обладнання слябінгів показані на рис. 1.1 і 1.2.

На стані з однорядним розташуванням нагрівальних колодязів (рис. 1.1) нагріті злиwки виймають з колодязів 1 за допомогою кліщових кранів і встановлюють в люльку зливковоза 2, яка при підході зливковоза до упору 3 укладає злиwки на приймальний рольганг 4. Злиwки, що виймаються з поблизу розташованих до стану колодязів, встановлюють за допомогою крана в люльку стаціонарного перекидача 5 для передачі їх на приймальний рольганг. З приймального рольганга злиwки надходять на поворотний стіл 6, на якому вони розвертаються в горизонтальній площині на 180°. Таким чином, злиwки задають в кліть вузьким кінцем, що ослабляє удар злиwkів об робочі валки і забезпечує краще захоплення їх валками. Потім злиwки по рольгангам 7, 8, 9 прямують до універсальної робочої кліті з вертикальними 14 і горизонтальними валками 15.

Прокатка злиwkів в універсальній робочій кліті ведеться за допомогою робочих рольгангів 10, 18, розташованих перед і за кліттю, маніпулятора 11 і кантувальника 12.

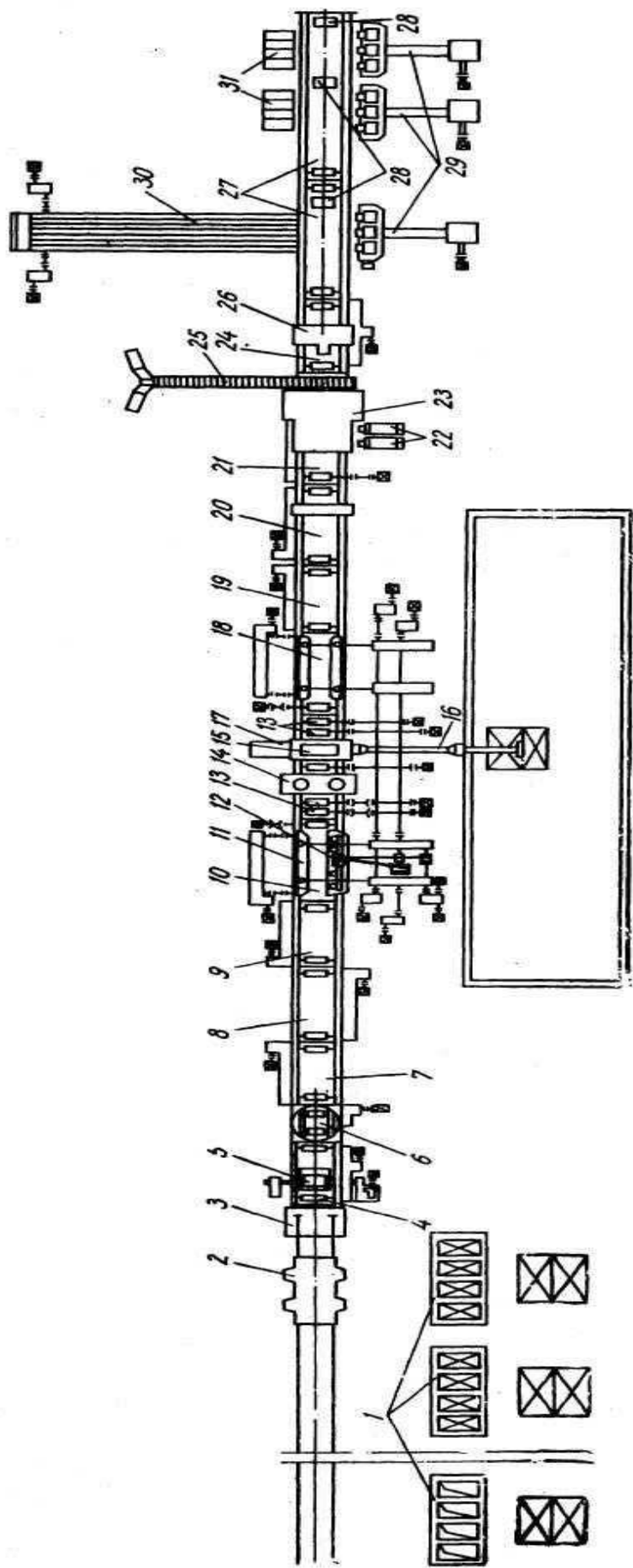
Після прокатки на стані розкат по рольгангам 19, 20 подається на рольганг 21 перед ножицями, центрується направляючими лінійками цього рольганга по осі ножиць, клеймиться клеймачами 22 в бічну грань і задається в ножиці 23 для обрізання переднього кінця, різки на мірні довжини і обрізання заднього кінця. Відрізаний задній кінець розкату зіштовхується з ножиць черговим розкатом. Обрізь від ножиць забирається за допомогою транспортера коливального столу 24 і конвеєром 25 передається в скраповий проліт, де скидається в спеціальні ями і охолоджується водою. З ям обрізь виймається за допомогою електромагнітного

крана і вантажиться на залізничні вагони. Різання розкату на мірні довжини забезпечується пересувним упором 26. Готові сляби по рольгангу столу, що коливається, 24 і рольгангу 27 забираються від ножиць і подаються або безпосередньо без проміжного нагріву до тонколистового стану, розташованого за слябінгом в одну лінію, або до ланцюгового транспортера слябів 30 і штабелюючим столам 31, на яких вони подаються зіштовхувачами 29. Зупинка слябів біля транспортера або потрібного штабелюючого столу здійснюється упорами, що опускаються, 28. З транспортера і штабелюючих столів сляби забираються за допомогою пратцен – кранів і укладаються в штабеля в прольотах складу готової продукції або подаються на рольганг, що підводить до нагрівальних печей тонколистового стану.

На відміну від попереднього стану на станах з дворядним розташуванням нагрівальних колодязів (рис. 1.2) нагріті зливки, що виймаються з поблизу розташованих до стану нагрівальних колодязів, укладаються за допомогою кліщових кранів безпосередньо на приймальні рольганги 3. При видачі з колодязів бічної групи зливки з приймального рольганга поступають на рольганг – візок 5, яка підвозить їх до лінії стану, а потім передає на транспортний рольганг 6. Стаціонарний упор 4 оберігає зливки від падіння з рольганг – візків при передачі на них зливків. При видачі зливків з колодязів, розташованих в одній лінії із станом, рольганг – візок працює як стаціонарний рольганг.

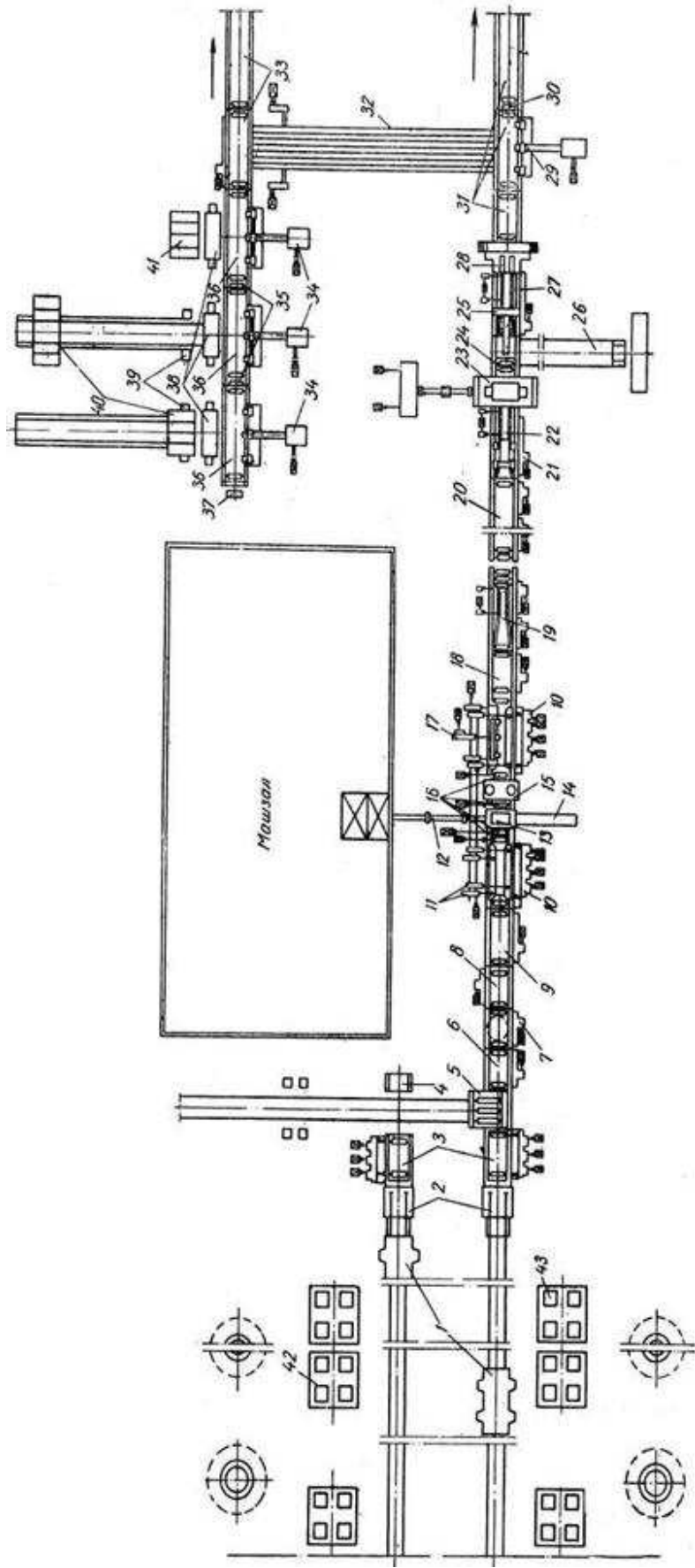
За ножицями встановлений рольганг, що відсовується, 24, який при обрізанні переднього і заднього кінців розкату відсовується від ножиць, утворюючи отвір, через який обрізь падає на конвеєр прибирання обрізі 26, і по ньому передається в скраповий проліт безпосередньо на залізничні платформи.

Внаслідок великої відстані між осями примикаючих роликів рольгангів 21, 24 перед і за ножицями коротка задня частина розкату протягається зіштовхувачем обрізі 22. Задній відрізок після обрізання останнього мірного сляба зіштовхується в отвір між ножицями і рольгангом, що відсовується, або черговим розкатом або зіштовхувачем обрізі. Сляби клеймляться в передній торець клеймачом 28.



1 – нагрівальні колодязі; 2 – зливковоз; 3 – упор зливковоза; 4 – приймальний ролганг; 5 – стаціонарний перекидач; 6 – поворотний стіл; 7, 8, 20, 27 – транспортні ролганги; 9, 19 – розкатні ролганги; 10, 18 – робочі ролганги; 11 – маніпулятор; 12 – кантувач; 13 – станинні ролики; 14 – робоча кліть з вертикальними валками; 15 – робоча кліть с горизонтальними валками; 16 – шпіндельний пристрій робочої кліті з горизонтальними валками; 17 – механізм для заміни горизонтальних валків; 21 – ролганг перед ножицями; 22 – клеймих слябів; 23 – ножиці; 24 – ковпальний стіл за ножицями; 25 – конвейер уборки обрізі; 26 – пересувний упор біля ножиць; 28 – опускні упори; 29 – зіштовхувач слябів; 30 – транспортер слябів; 31 – штабелюючі столи

Рисунок 1.1 – Схема розміщення механічного обладнання слябінгу 1150 з однорядним розміщенням нагрівальних колодязів



1 – зливковоз; 2 – упор зливковоза; 3 – приймальний рольганг; 4 – стаціонарний упор; 5 – рольганг – візок; 6, 8, 19, 20 – транспортні рольганги; 7 – транспортний рольганг або поворотний стіл; 9, 18 – розкатні рольганги перед та за станом; 10 – робочі рольганги перед та за станом; 11 – маніпулятор; 12 – шпіндельний пристрій робочої кліті з горизонтальними валками; 13 – робоча кліть з горизонтальними валками; 14 – механізм для заміни горизонтальних валків; 15 – робоча кліть з вертикальними валками; 16 – станинні ролики; 17 – кантувач; 21 – рольганг перед ножицями; 22 – зштовхувач обрізі; 23 – ножиці; 24 – відсувний рольганг; 25 – пересувний упор біля ножиць; 26 – конвеєр уборки обрізі; 27, 31, 33, 36 – рольганги уборочних устроїв; 28 – клеймич слябів; 29, 34 – зіштовхувач слябів; 30, 35 – опускні упори; 32 – рейковий або ланцюговий транспортер слябів; 38 – пакетировочні столи; 40 – візки для перевезення гарячих зливків; 41 – стаціонарний стелаж

Рисунок 1.2 – Схема розміщення механічного обладнання слябінгу 1150 з дворядним розміщенням нагрівальних колодязів



Від ножиць сляби можуть передаватися по трьом напрямам:

- а) по рольгангам 31 безпосередньо на тонколистовий стан, розташований за слябінгом в одну лінію, для подальшого плющення без підігріву;
- б) до нагрівальних печей тонколистового стану за допомогою рольгангів 31, упору, що опускається, 30, рейкового або ланцюгового транспортера слябів 32 і рольгангів 33;
- в) до прибиральних пристроїв, розташованих на складі слябів. При цьому з рольганга 33 сляби передаються на рольганги 36, з яких зіштовхувачами 34 зіштовхуються на столи пакетувань 38; за допомогою цих же зіштовхувачів пакети слябів зіштовхуються із столів пакетувань на візки для гарячих слябів 40 і стаціонарний стелаж 41. Візки для гарячих слябів під час їх завантаження утримуються біля столів пакетувань стаціонарними упорами 39.

Пакети слябів з візків і стаціонарного стелажу забираються за допомогою електромостових кранів [1].

Типову схему вантажопотоків обтискного цеху наведено на рисунку 1.3.

Метал зі сталеплавильних цехів у прокатні надходить у вигляді зливків, відлитих у виливниці [2].

У сталеплавильному цеху рідку сталь із ковша ємністю 150–200 т розливають у виливниці, установлені на піддонах на спеціальні (низькі, відкриті) залізничні платформи. Потяг таких платформ (візків) зі зливками у виливницях подається в так зване стриперне відділення цього цеху, розташоване перед прокатним цехом.

У стриперному відділенні передбачено кілька мостових стриперних кранів, призначених для зняття виливниць із гарячих (1000—1100°C) зливків.

Ротяг візків з гарячими («роздягненими») зливками подається у відділення нагрівальних колодязів відділення слябінга [3].

При цьому кожний візок зі зливками зважується на залізничних вагах; таким чином, фіксується маса металу (зливків), що надходить у прокатний цех. Зливки для прокатки слябів нагрівають у нагрівальних колодязях [4].

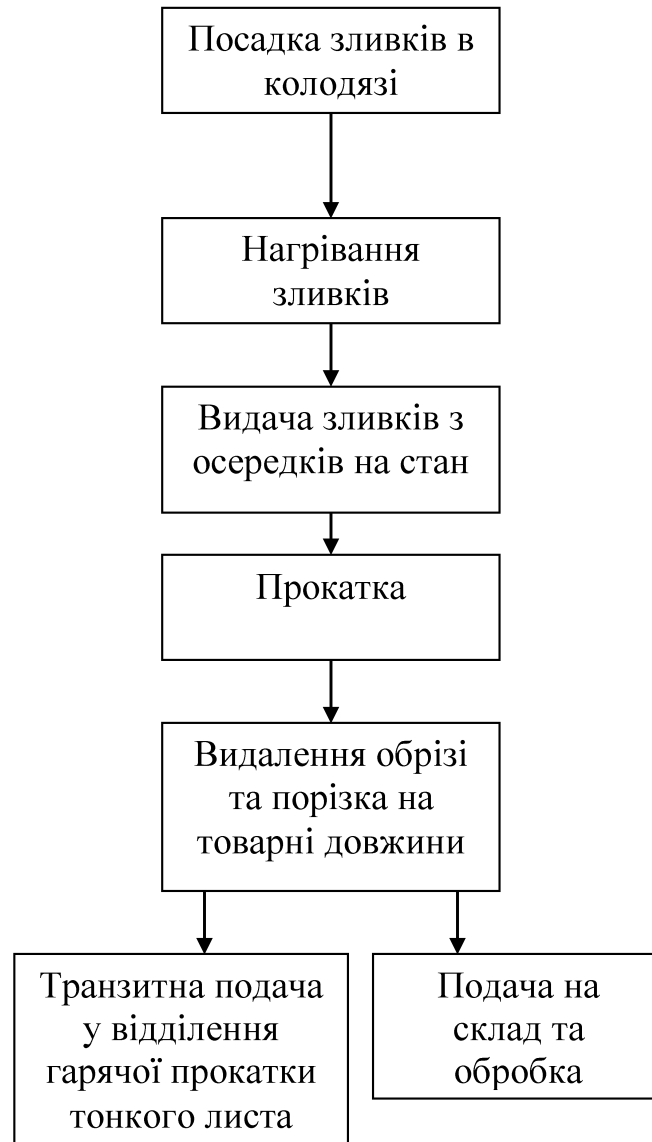


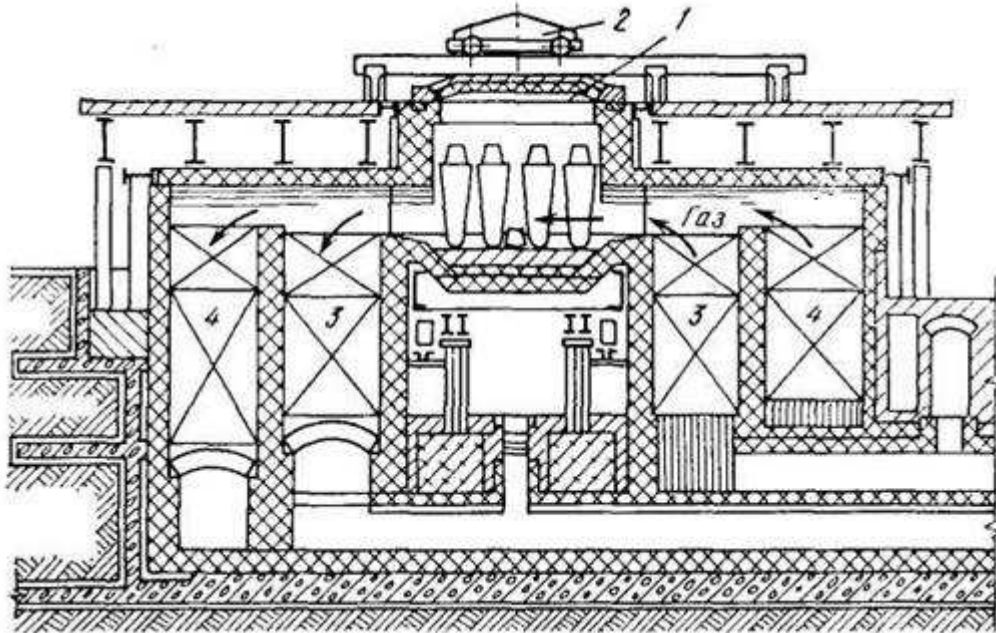
Рисунок 1.3 – Вантажопотоки ділянки обтискного стану Слябінг

Нагрівання металу на ділянці обтискного стану здійснюється в регенеративних колодязях (рис. 1.4).

Камера являє собою самостійну нагрівальну піч, що має регенератори для підігріву газу й повітря, причому найближчий до робочого простору регенератор обов'язково газовий. Колодязі опалюють доменним газом або сумішшю доменного й коксового газів. Істотним недоліком колодязів є неоднакове розташування зливків щодо потоку тепла, а, отже, неоднакове їхнє нагрівання.

Для економії палива необхідно в колодязі завантажувати Зливки з температурою 800–900°C. Для додаткового підігріву їх до температури 1260–

1360°C й витримки (томління) при цій температурі буде потрібно 2,5–3,5 год. Якщо ж у колодязі завантажувати холодні зливки (з температурою 200–300°C), то для нагрівання їх буде потрібно час в 2–2,5 рази більше.



1 – кришка; 2 – механізм для переміщення кришки; 3 – газовий регенератор; 4 – повітряний регенератор

Рисунок 1.4 – Регенеративні нагрівальні колодязі

Схема розташування злиwkів в осередках представлена на рисунку 1.5.

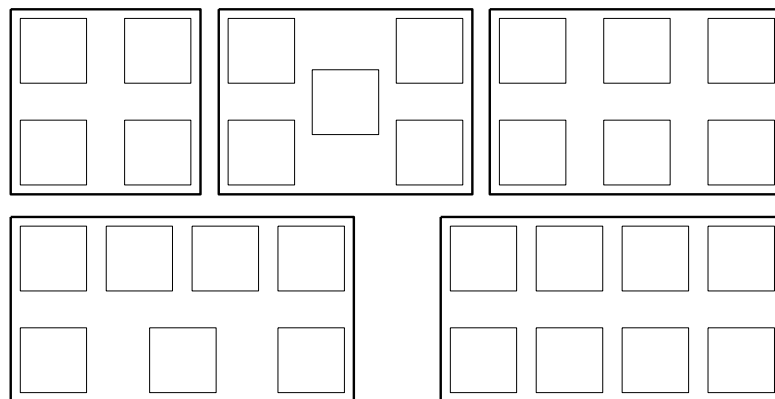


Рисунок 1.5 – Схема розміщення злиwkів в осередку

На рис. 1.6 представлена схема розташування устаткування слябінга 1150, призначеного для прокатки слябів товщиною 150–300 мм, шириною 750–1850 мм і довжиною 2500–10 500 мм (масою до 32 т) зі зливків масою 17,4–37,7 т зі швидкістю до 5 м/с.

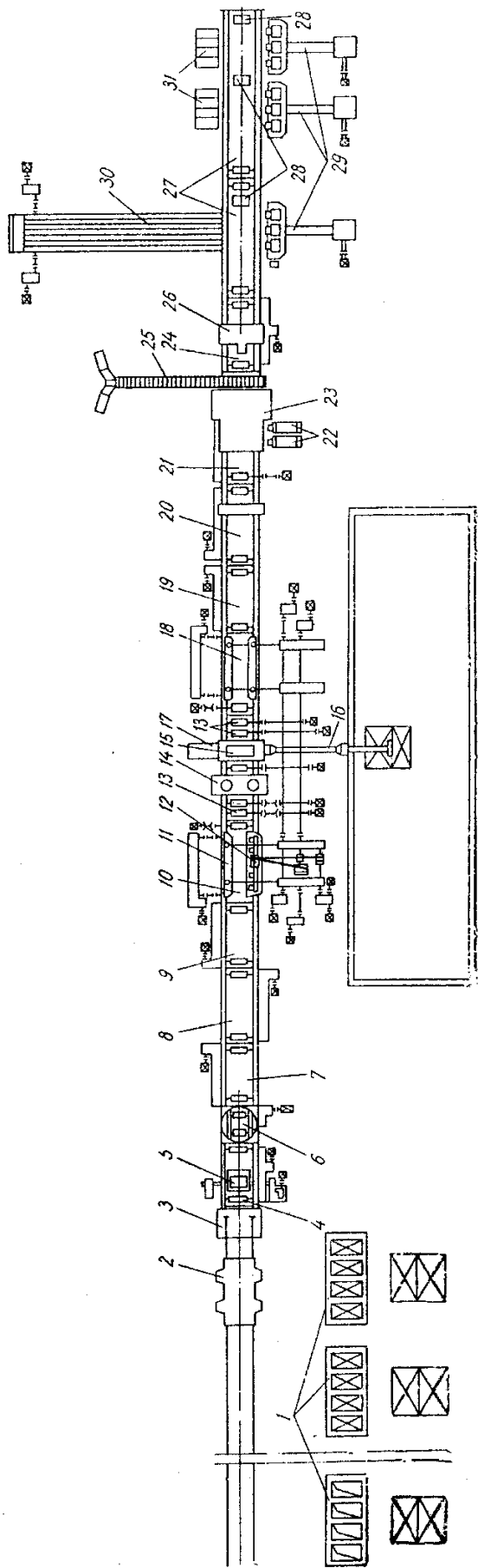
До складу стана входять зливкоподача, приймальний рольганг, універсальна робоча кліть 1150 з маніпуляторами, кантувачем і робочими рольгангами, ножиці гарячого різання, ваги для слябів, клеймач і пристрої для збирання слябів на склад і передачі до безперервного товстолистого стану гарячої прокатки.

Зливки завантажують колодязьними кранами в колодязі для нагрівання до температури 1250–1280°C й потім за допомогою тих же колодязьних кранів зливки виймають із колодязів і завантажують на зливковоз із причіпним візком, що транспортує гарячі зливки до прийомного рольганга стана зі швидкістю 0,44–6,7 м/с. Після зупинки зливковоза біля прийомного рольганга зливок у горизонтальному положенні зіштовхують на рольганг. Передбачена також можливість подачі зливків до стана колодязьним краном. У цьому випадку зливок установлюють у колиску стаціонарного перекидача, розташованого перед прийомним рольгангом. Час перекидання коліски 8 с [5].

Із прийомного рольганга зливок передають зі швидкістю до 1,2 м/с на поворотний стіл, де при необхідності повертають на 180° (для завдання зливка у валки кліті вузьким кінцем) у горизонтальній площині. Механізм повороту зливка розташований під рольгангом. Тривалість циклу повороту зливка на 180° становить 25 с.

По рольгангу зливок надходить до робочої кліті, де ведуть прокатку при заданому режимі температури й обтиснень. Прокатка ведеться як по одному, так і по два зливка одночасно: ритм прокатки в першому випадку становить близько 100–140 с, у другому 150–200 с.

Робоча кліть (рис. 1.7) має горизонтальні валки діаметром 1150 мм і довжиною бочки 2000 мм; кожний валок приводиться в обертання від індивідуального електродвигуна постійного струму.

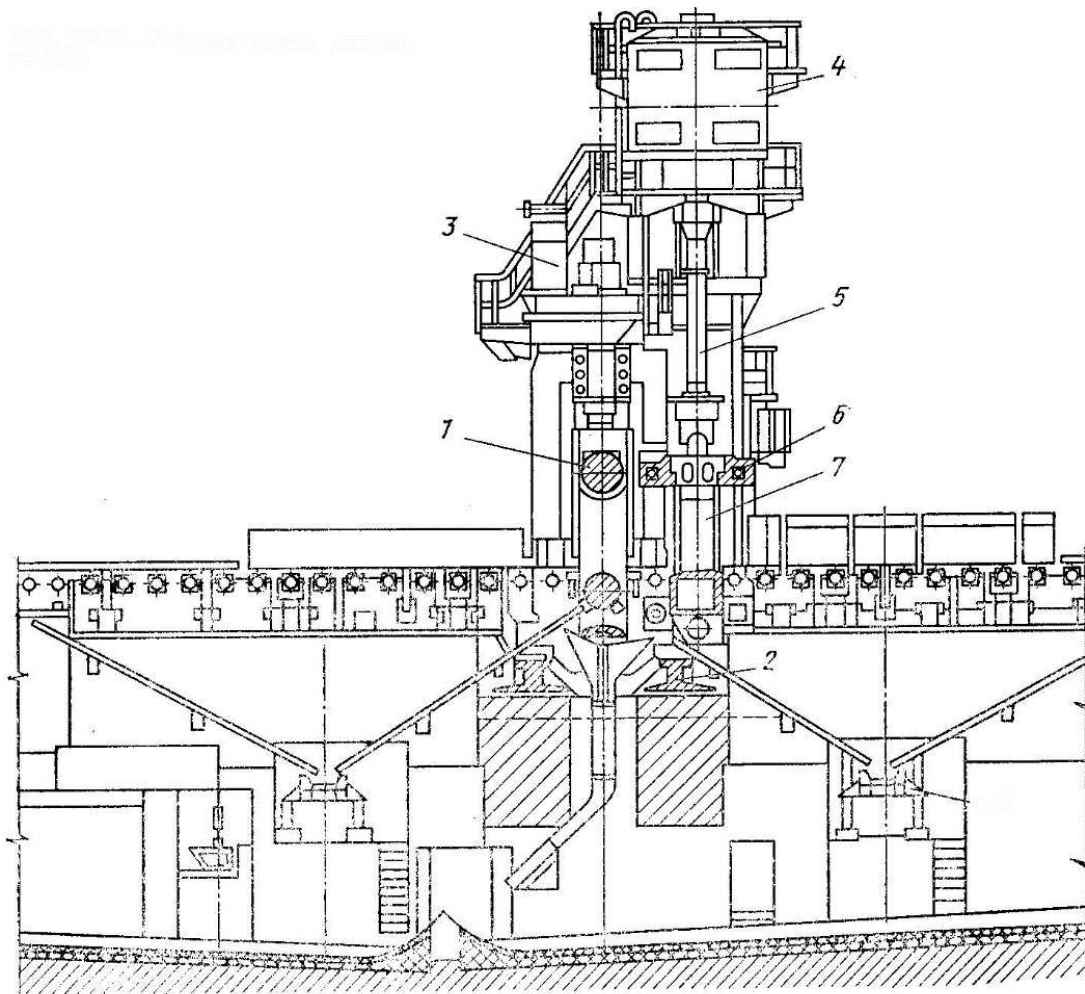


1 – нагрівальні колодязі; 2 – зливковоз; 3 – упор зливковоза; 4 – прийомний рольганг; 5 – стаціонарний перекидач; 6 – поворотний стіл; 7, 8, 20, 27 – транспортні рольганги; 9, 19 – розкатні рольганги; 10, 18 – робочі рольганги; 11 – маніпулятор; 12 – кантувач; 13 – станинні ролики; 14 – робоча кліть із вертикальними валками; 15 – робоча кліть із горизонтальними валками; 16 – шпindelльний пристрій робочої кліть з горизонтальними валками 17 – механізм для зміни горизонтальних валків; 21 – рольганг перед ножицями; 22 – клейміч слябів; 23 – ножиці; 24 – хитний стіл за ножицями; 25 – конвеєр збирання обрізі; 26 – пересувний упор біля ножиць; 28 – упори, що опускаються; 29 – зіштовхувач слябів; 30 – транспортер слябів; 31 – штабелюючі столи.

Рисунок 1.6 – Схема розташування механічного встаткування слябінга 1150 з однорядним розташуванням нагрівальних колодязів

Вертикальні валки діаметром 700 мм і довжиною бочки 1150 мм розташовані перед горизонтальними (по ходу прокатки).

По обидві сторони робочої кліті встановлені робочі й розкатні рольганги з діаметром роликів 600 мм і кроком 900–950 і 800 мм відповідно, що забезпечують швидкістю прокатки до 5 м/с. Привод всіх роликів рольгангів здійснюється від індивідуального електродвигуна через зубчасту муфту.



1 – горизонтальні валки; 2 – плитовини; 3 – станини; 4 – електродвигуни; 5 – універсальні шпинделі; 6 – подушки; 7 – вертикальні валки.

Малюнок 1.7 – Робоча кліть слябінга 1150

Розкат по рольгангу надходить до ножиців гарячого різання, на яких обрізають кінці розкатів, а також здійснюють різання розкату на мірні сляби.

Ножиці обладнані зіштовхувачем обрізі; рольгангом, що відсувається; скребковим похилим конвеєром для збирання обрізі довжиною до 700 мм, масою до 2 т (швидкість транспортування до 0,1 м/с); пересувним упором, установленим за ножицями й призначеним для зупинки розкату, що переміщається зі швидкістю 0,5 м/с, при порізці його на мірні довжини (2500–10500мм).

За ножицями сляби таврують у його передню торцеву грань як із зупинкою, так і без зупинки сляба. Пристрій складається із двох клеймачів, розташованих на загальній площадці над рольгангом. Число таврувань 10 у хв; максимальне число клейм у комплекті 12. Зміна клейм ручна.

Після таврування готові сляби зважують на важільних вагах верхнього виконання вантажопідйомністю 40 т (число зважувань до 300 у годину) і передають по рольгангу до збиральних пристроїв, де сляби зіштовхувачем з рольганга зіштовхують на стіл, що штабелює, для укладання слябів у пакет.

Сляби по рольгангу можуть транспортуватися (без проміжного підігріву) і безпосередньо до чорнових клітей толстолистового стана.

На слябінгу передбачені засоби для збирання скрапу й окалини. Стан обладнаний також системами змащення й охолодження механізмів і машин, гідро- і пневмопристроями, електроприводами й системами комплексної автоматизації по окремих ділянках.

Маніпулятор оснащений чотирма лінійками зі сталевого лиття, розташованими перед робочою кліттю й за нею. Кожна із чотирьох лінійок має дві штанги, які опираються з боку рольганга на опорні ролики, а з іншого боку – на бандажі шестірень привода. Синхронізація лінійок перед і за кліттю механічна, за допомогою проміжного вала із зубчастими муфтами. Розчин лінійок становить 750–1800 мм, а швидкість пересування їх 0,6–1,2 м/с.

Кантувач установлений тільки за горизонтальною кліттю й призначений для кантування зливка на 90° навколо його поздовжньої осі за допомогою чотирьох гаків, вмонтованих у лінійку маніпулятора.

## 1.2 Аналіз ефективних рішень по зупинці зливковоза перед приймальним рольгангом

Для зупинки різних матеріалів, в тому числі і рулону штаби, перед укладкою її на рольганг чи в процесі переміщення по лінії рольгангу встановлюють три типи упорів:

- стаціонарні (рисунок 1.8);
- видвижні (рисунок 1.9);
- рухливі (рисунок 1.10);

Стаціонарні упори встановлюються наприкінці рольганга (рис. 1.8) та складаються з масивної плити 1, що опирається на раму 3 через пружинні амортизатори 2.

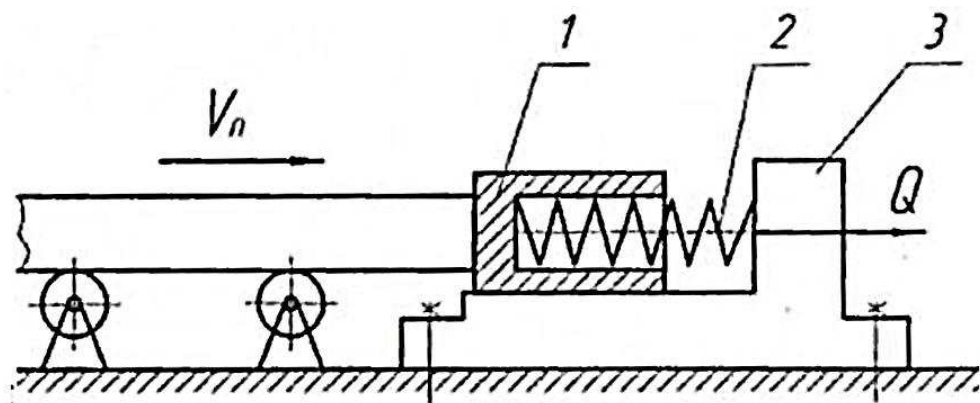


Рисунок 1.8 – Стаціонарний упор (позиції наведено в тексті)

Видвижні упори встановлюють у лінії рольгангів, коли потрібно періодична передача штаби на паралельно розташований рольганг. У цьому випадку упор складається з рами 1 і масивної вертикально встановленої плити 3 (рис. 1.9). Плита спирається на поворотний важіль 5, зв'язаний із приводом повороту (наприклад, із пневмоциліндром) 4. Штаба, що рухається, зупиняється піднятою плитою 3. При цьому частина енергії удару гаситься амортизатором 2.



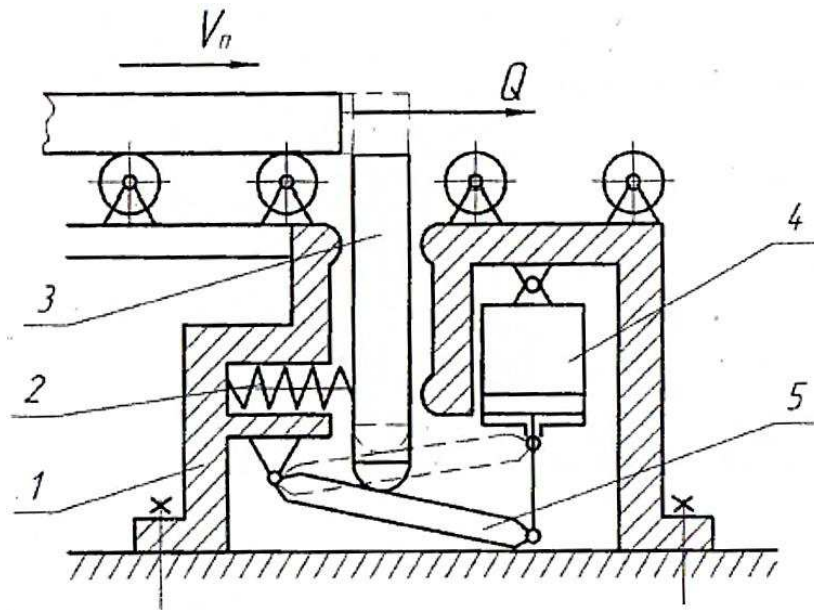


Рисунок 1.9 – Видвижний упор (позиції наведено в тексті)

Пересувні упори (рис. 1.10) встановлюють, як правило за ножицями і пилками при різанні довгої штаби на мірні довжини. Цей упор складається з рухливої каретки 4, що за допомогою гвинтового приводу 3 переміщається по напрямних рами 2.

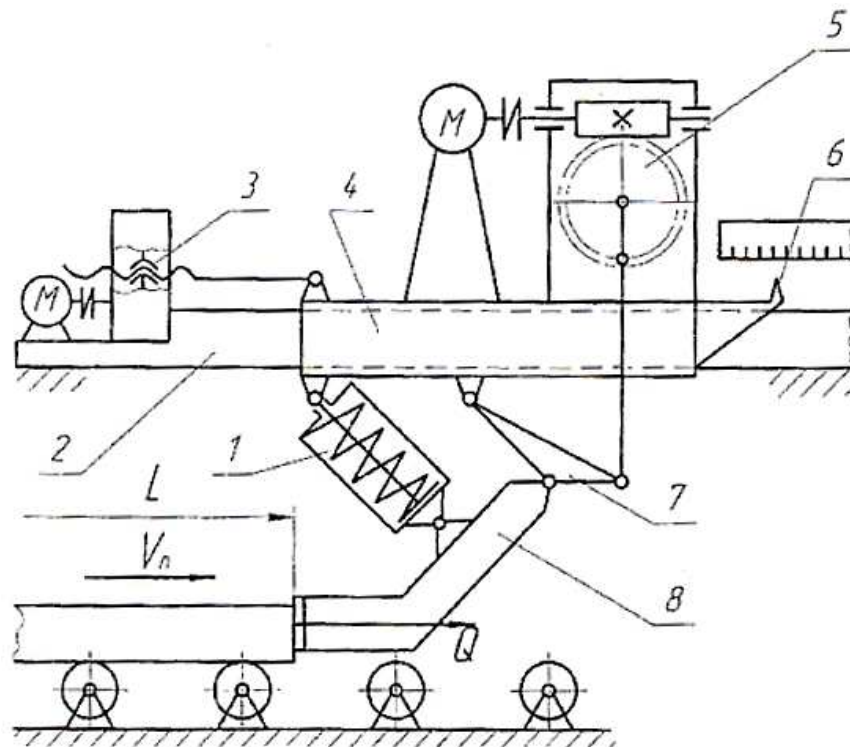


Рисунок 1.10 – Пересувний упор (позиції наведено в тексті)

Масивна плита 8, призначена для зупинки штаби та підвішується до каретки за допомогою пружинного амортизатора 1 і двоплечого важеля 7. Поворотом важеля 7 за допомогою кривошипно-шатунного приводу 5 забезпечується підйом (опускання) плити 8. Штаба зупиняється на рольгангу при опущеній плиті. Необхідна відстань  $L$  плити від лінії різа контролюється вказівником 6 [6-7].

З огляду на велику інерційність зливковоза з візком та завантаженими на нього зливками окрім гальм потрібний додатковий пристрій який би зупиняв зливковоз безпосередньо перед приймальним рольгангом та запобігав травмуванню перших роликів (рисунок 1.11)



Рисунок 1.11 – Зупинка зливковоза перед укладанням зливка на приймальний рольганг

Упор призначений для амортизації удару зливковоза й зупинки його на необхідній відстані перед прийомним рольгангом та має дещо схожу

конструкцію, що наведена на рисунку 1.8 та описану вище.

Упор зливковоза (рисунок 1.12) складається зі сталевого литого корпусу 1, у якому вмонтовані пружинний амортизатор 20, домкрати 23 і вісь 5 з упорним важелем 6 і кронштейнами 3. Упорний важіль з'єднаний із пружинним амортизатором шарнірно, за допомогою осей 10, 13 і планок 11, 14, прикріплених до упорного важеля болтами.

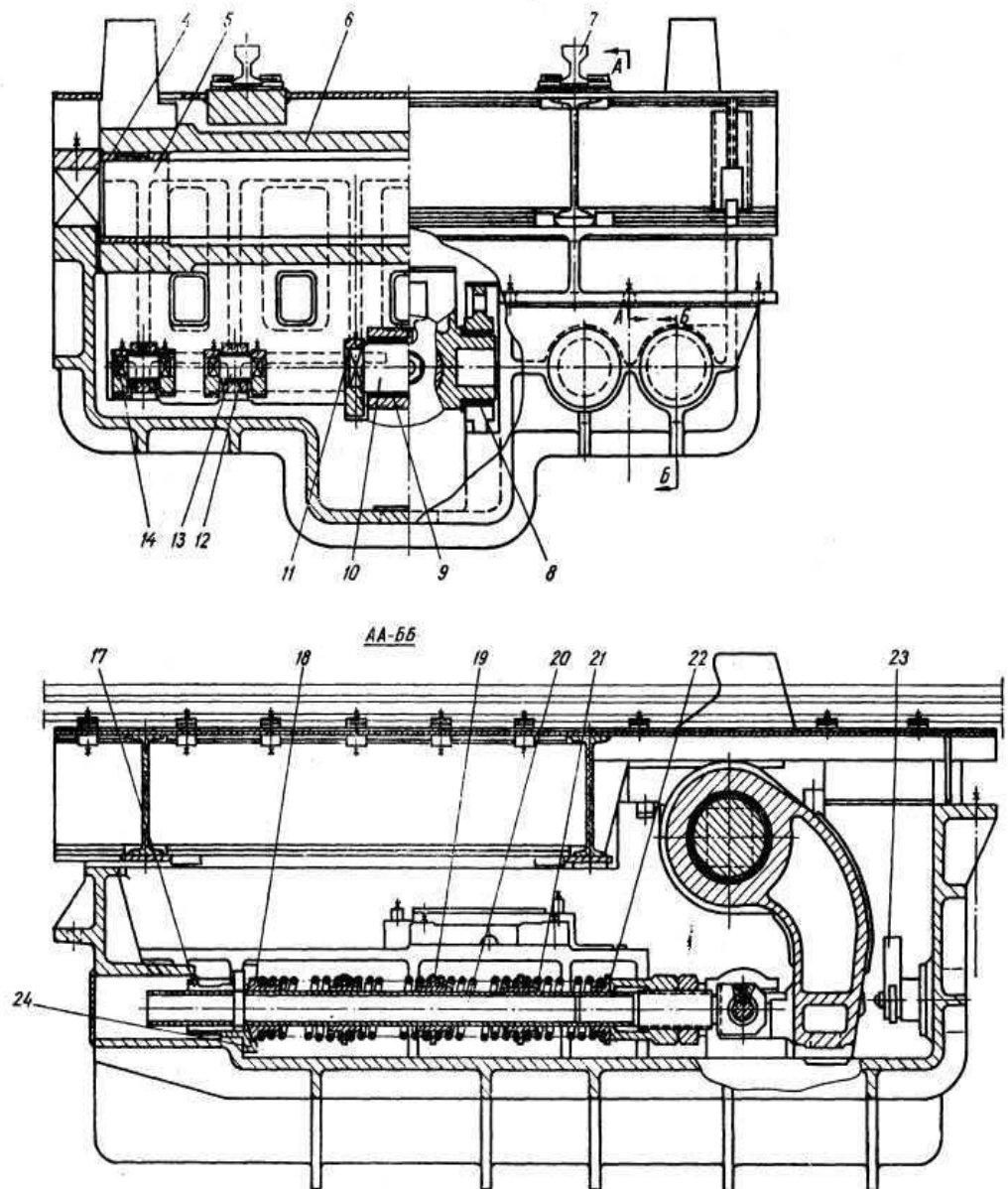


Рисунок 1.12 – Пружинний упор зливковоза (позиції наведено в тексті)

Упорний важіль і цапфи амортизатора встановлені у втулках 4, 8 пружинні амортизатори в склянках 17. Механізми упору закриті кришкою 2, на яку опираються рейки 7 шляху зливковоза.

Пружинний амортизатор сприймає удар зливковоза й повертає у вихідне положення упорний важіль, що також сприймає удар зливковоза й регулює величину зворотного ходу зливковоза після удару об упор. Гвинтові домкрати 23 призначені для підтягнення пружинного амортизатора при установці в корпусі упору.

Суттєвим недоліком такої конструкції є невдала гермитизація пружинного амортизатору куд попадає окалина, яка може викликати не тільки спікання витків пружин, а й виводить з ладу амортизатор в цілому. Тому на ПАТ «Запоріжсталь» було розроблено конструкції гідравлічного упору (рисунок 1.13).

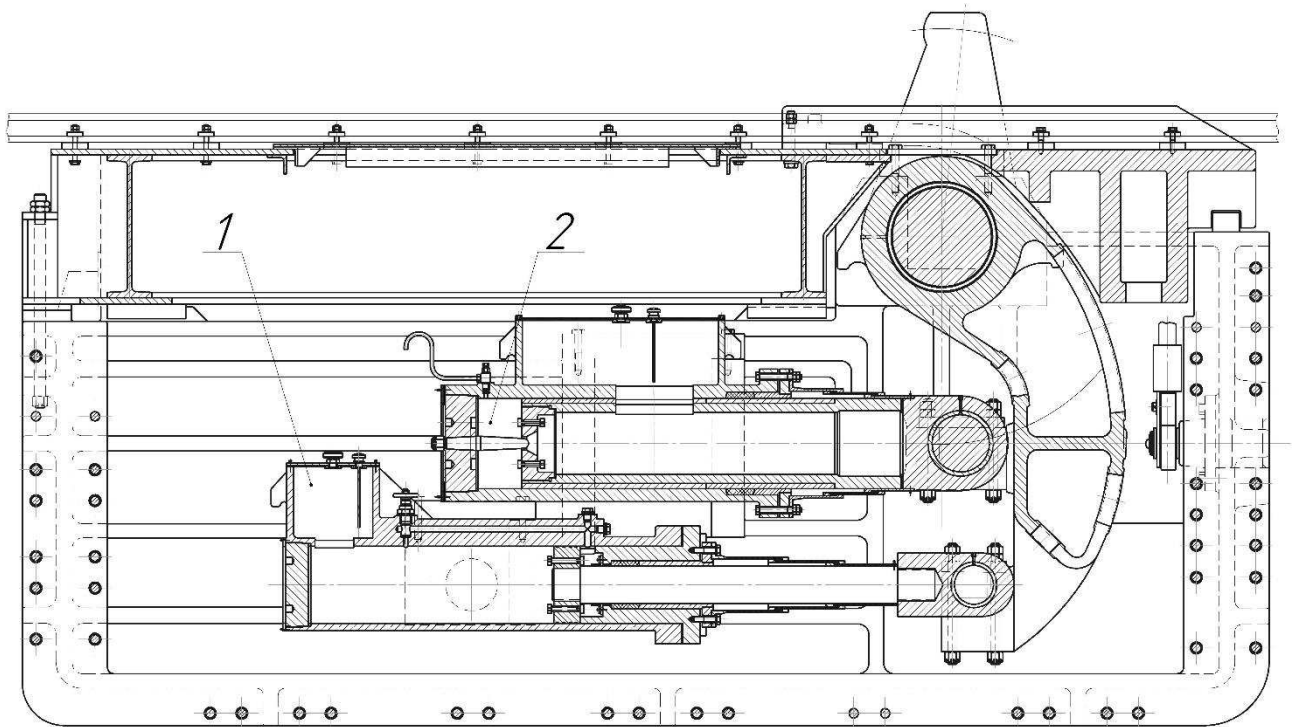


Рисунок 1.13 – Гідравлічний упор зливковоза

Описані недоліки пружинного упору зливковоза усуваються встановлення замість пружинних амортизаторів гідравлічних 1, 2 (рисунок 1.12).

Мастильний матеріал до вузлів тертя подається від централізованої системи густого змащування. При цьому використання упору для зупинки зливковоза біля прийомного рольганга при справній гальмовій системі механізму

пересування зливковоза можливе на швидкості при підході до упору не більше ніж 0,5 м/с.

Таке покращення дозволило зменшити простої лінії пов'язані з ремонтами упору на 30 %, але й воно далеке від конструктивної досконалості та потребує прискіпливої уваги в напрямку модернізації.

### 1.3 Пропозиції, щодо модернізації обладнання для зупинки зливковоза та обґрунтування обраного напрямку

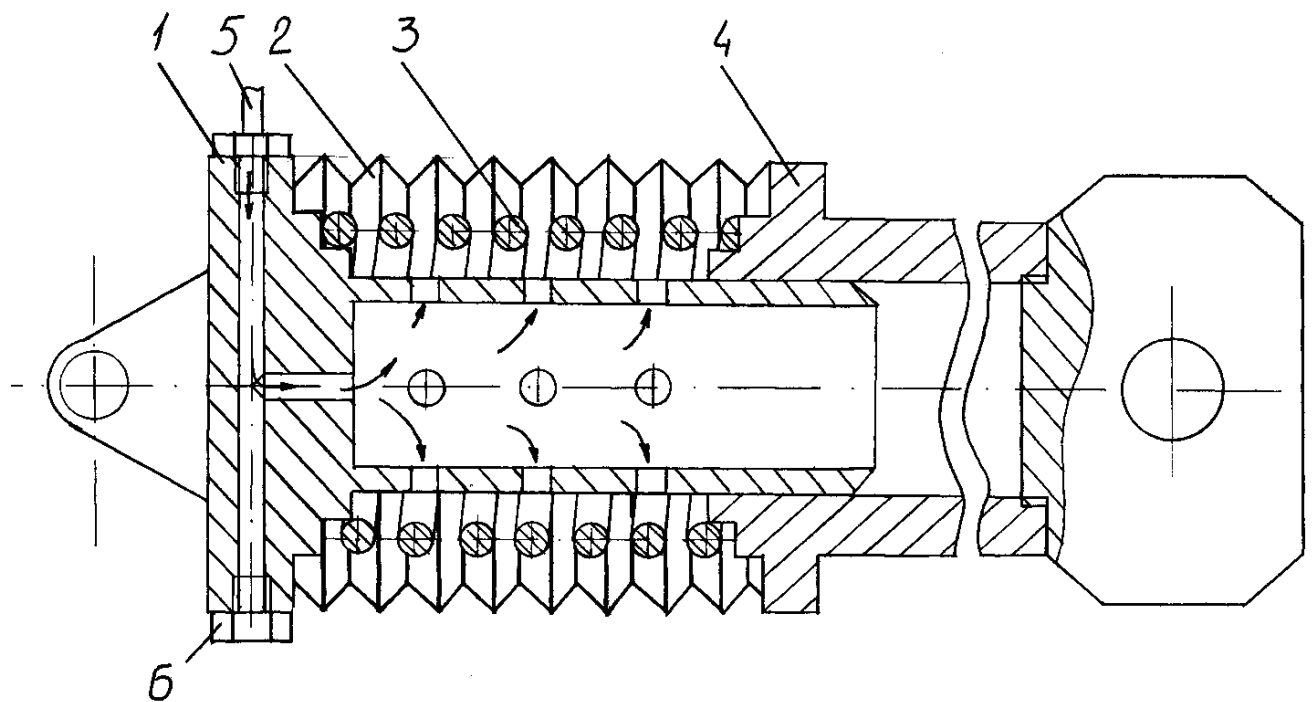
Для зупинки зливковоза стана Слябінг 1150 на металургійному комбінаті «Запоріжсталь» застосовують гідравлічний упор зливковоза наведений вище, що має такі недоліки:

– через високу температуру зливка умови роботи зливковоза й упору досить важкі. Зливкок транспортується на зливковозі до прийомного рольганга обтискного стана. При зіткненні з упором обсипається окалина зі зливка й падає на упор зливковоза, внаслідок чого відбувається нагрівання корпусу робочого й зворотного гідробуфера. Це приводить до загоряння робочої рідини й гумових ущільнень упору.

Тому в якості модернізації пропонуємо замінити гідравлічні циліндри на гідравлічні зварені сильфони, які виконують функції робочого й зворотного гідробуфера (за допомогою зворотної пружини, що розміщена усередині сильфона).

Останнім часом сильфони використовують як силові двигуни поступального руху при невеликих переміщеннях. Особливо важливе застосування сильфонів у тих випадках, де потрібна висока герметичність і теплотривкість, тому що в сильфонах відсутні ущільнення, і вони можуть працювати навіть на воді. Виготовляються з кольорових сплавів і високоякісних марок сталей. Сильфони являють собою осі симетричну трубчасту гофровану оболонку (рис. 1.14). Завдяки особливостям геометричної форми, сильфони здатні робити значні переміщення під дією тиску. При виготовленні зварених

сильфонів матеріал не випробовує великих пластичних деформацій, як при формуванні суцільнотягнутих сильфонів, тому в якості матеріалу для зварених сильфонів використовують нержавіючі сталі у вигляді листів або смуг товщиною 1 мм. Співвідношення зовнішнього й внутрішнього радіусів і число гофр можуть бути будь-якими. Зварені сильфони можуть виготовлятися з дуже дрібним кроком, що у стислому стані в «складних» сильфонів може доходити до розміру, рівного подвійній товщині листа.



1–корпус сильфона; 2–гофри; 3–возвратна пружина; 4–шток; 5–маслопровод;  
6–заглушка

Рисунок 1.14 – Гідравлічний зварний сильфон

Для вирішення поставленої задачі необхідно виконати розрахунок основних конструктивних параметрів сильфону, в тому числі зворотньої пружини та розробити математичну модель пересування зливковоза на ділянці приймального рольгангу, яка б дозволила легко переналагоджувати роботу упора зливковоза в залежності від перетікання технологічного процесу в автоматичному режимі.

## 2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахунок сільфона

Вихідні данні:

- Маса зливковогоза без зливків – 136 т;
- маса зливка максимальна – 23 т;
- робоча швидкість зливковогоза – 5,8 м/с;
- швидкість зливковогоза при підході до упору зливковогоза – 0,45 м/с;
- зливковоз повинен зупинитися на ділянці руху рівним – 0,15 м.
- час зупинки зливковогоза – 1 с.

Визначимо повну масу зливковогоза (враховуючи масу двох злитків):

$$m_{\text{заг}} = m_{\text{зливковогоза}} + m_{\text{зливка}} + m_{\text{зливка}}, \quad (2.1)$$

де  $m_{\text{зливковогоза}} = 136$  тонн – маса зливковогоза без зливків;

$m_{\text{зливка}} = 23$  тонн – максимальна маса зливка .

Підставивши значення в (2.1), одержимо

$$m_{\text{заг}} = 136 + 23 + 23 = 182 \text{ т} .$$

Енергію зливковогоза розрахуємо по формулі [8]:

$$E = \frac{m_{\text{заг}} V^2}{2} + \frac{I_{\text{пр}} \omega_{\text{дв}}^2}{2}, \quad (2.2)$$

де  $V = 0,45$  м/с – швидкість зливковогоза при підході до упору;

$I_{\text{пр}}$  – момент інерції привода розрахуємо як:

$$I_{\text{пр}} = n'(k I_{\text{дв}}), \quad (2.3)$$

де  $n'=2$  – кількість двигунів використовуваних для приводу механізму переміщення зливковогоз (МП –82 N=100кВт  $I_{\text{дв}} = 2,575 \text{ кгм}^2$ );

$k=1,25$  – коефіцієнт враховуючий моменти інерції передавальних механізмів і коліс;

$I_{\text{дв}} = 2,575 \text{ кгм}^2$  – момент інерції ротора двигуна (див. вище);

Підставивши значення у формулу (2.3), одержимо

$$I_{\text{пр}} = 2 \cdot (1,25 \cdot 2,575) = 6,4375 \text{ кгм}^2;$$

$\omega_{\text{дв}}$  – кутова швидкість вала електродвигуна розрахуємо по формулі

$$\omega_{\text{дв}} = \omega_{\text{до}} i, \quad (2.4)$$

де  $\omega_{\text{до}}$  – кутова швидкість коліс зливковогоз розрахуємо по формулі

$$\omega_{\text{до}} = \frac{V}{R_{\text{кол}}}, \quad (2.5)$$

де  $R_{\text{кол}} = 0,525 \text{ м}$  – радіус коліс зливковогоз.

Підставивши ці значення в (2.5), одержимо

$$\omega_{\text{до}} = 0,45 / 0,525 = 0,86 \text{ рад/с},$$

$i = 9,5$  – передаточне число на колесах від електродвигуна.

Підставивши значення в (2.4), одержимо



$$\omega_{\text{дв}} = 0,86 \times 9,5 = 8,17 \text{ рад/с}$$

Після зроблених розрахунків можна розрахувати по (2.2) енергію зливковоза

$$E = \frac{182000 \times 0,45^2}{2} + \frac{6,4375 \times 8,17}{2} = 18427,5 + 26,297 = 18453,8 \text{ Дж.}$$

Гальмівний шлях дорівнює

$$S_{\text{T}} = V_0 t - at^2 \quad (2.6)$$

де  $S_{\text{T}} = 0,15$  – гальмівний шлях, м;

$V_0 = 0,45$  – швидкість зливковоза при підході до упору, м/с;

$t = 1$  – час гальмування зливковоза, с;

$a$  – прискорення зливковоза при підході до упору, м/с<sup>2</sup>;

Після деяких перетворень отримаємо:

$$a = \frac{V_0 t - S_{\text{T}}}{t^2} \quad (2.7);$$

$$a = \frac{0,45 \cdot 1 - 0,15}{1^2} = 0,3 \text{ м/с}^2;$$

Перевіряємо розрахунок по формулі (2.6)

$$0,15 = 0,45 \times 1 - 0,3 \times 1^2 = 0,45 - 0,3 = 0,15$$

Отже, розрахунок виконано правильно.

Розрахуємо силу, необхідну для забезпечення прискорення зливковоза, рівного  $0,3 \text{ м/с}^2$ , яку потрібно прикласти до зливковозу з боку упору, по формулі

$$F=ma=182000 \cdot 0,3=54600 \text{ Н}=54,6 \text{ кН};$$

Прийmemo надлишковий робочий тиск у гідроциліндрі  $P_{\text{роб}}=0,4 \text{ МПа}$ .

Розрахуємо середній діаметр сільфона гідроциліндра по формулі

$$F= P_{\text{роб}} \cdot S, \quad (2.8)$$

де  $S$  – робоча площа сільфона, розрахуємо по формулі

$$S=F/P_{\text{роб}}=54,6/0,4 \times 10^3=0,1365 \text{ м}^2.$$

Знайдемо діаметр сільфона з формули для визначення площі:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,1365}{3,14}} = 0,417 \text{ м}.$$

Прийmemo число гофр сільфона рівним 100, товщина мембран  $S'=1 \text{ мм}$ , як матеріал для виготовлення гофр прийmemo нержавіючу сталь, для якої коефіцієнт Пуассона  $\nu=0,25 \dots 0,3$  [9].

Виконаємо розрахунок робочого ходу сільфона.

Зі світової практики рекомендований робочий хід сільфонів для даного типу обладнання повинен знаходитися в проміжку від 20 мм до 150 мм

Прийmemo максимальний і мінімальний діаметри сільфона:

$$R_{\text{max}}= 215 \text{ мм},$$

$$R_{\text{min}}= 200 \text{ мм}.$$

Розрахуємо максимальне напруження радіального напрямку по зовнішньому краю пластинки, по формулі [10]

$$\sigma_{R_{\max}} = \frac{3P}{4S'} \left[ R_H^2 - 2R_B^2 + \frac{R_B^4(m-1) - 4R_B^4(m+1) \ln \frac{R_H}{R_B} + R_H^2 R_B^2(m+1)}{R_H^2(m-1) + R_B^2(m+1)} \right], \quad (2.9)$$

де  $S'=1$  мм – товщина мембрани;

$$m=1/\nu$$

$\nu$  – коефіцієнт Пуассона (див. вище).

$$R_B = R_{\min} = 200 \text{ мм};$$

$$R_H = R_{\max} = 215 \text{ мм};$$

Підставивши ці значення в (2.9), одержимо

$$\begin{aligned} \sigma_{R_{\max}} &= \\ &= \frac{3 \times 4}{4 \times 1^2} \times \left[ 21,5^2 - 2 \times 20^2 + \frac{20^4 \times (4-1) - 4 \times 20^4 (4+1) \ln \frac{21,5}{20} + 21,5^2 \times 20^2 \times (4+1)}{21,5^2 \times (4-1) + 20^2 \times (4+1)} \right] = \\ &= 3 \times \left[ -337,75 + \frac{480000 - 231426,18 + 924500}{3386,75} \right] = 25,865 \text{ кг/см}^2 = 2,5865 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Припустимо напруження для нержавіючої сталі  $[\sigma]=300$  МПа;

$$2,5865 < 300 \text{ МПа}$$

Розрахуємо максимальний тангенціальний напрямок напружень по зовнішньому краю пластинки по формулі [11]

$$\sigma_{R_{\max}} = - \frac{3P(m^2 - 1)}{4mS^2} \left[ \frac{R_H^4 - R_B^4 - 4R_H^2 R_B^2 \ln \frac{R_H}{R_B}}{R_H^2(m-1) + R_B^2(m+1)} \right], \quad (2.10)$$

Знак «-» указує на те, що у верхньому шарі пластини виникає напруження стиску. Підставивши значення у формулу (2.10), одержимо

$$\begin{aligned} \sigma_{R_{\max}} &= - \frac{3 \times 4 \times (4^2 - 1)}{4 \times 4 \times 1^2} \times \left[ \frac{21,5^4 - 20^4 - 4 \times 21,5^2 \times 20^2 \times \ln \frac{21,5}{20}}{21,5^2 \times (4-1) + 20^2 \times (4+1)} \right] = \\ &= -11,25 \times \left[ \frac{53675,06 - 53488,36}{3386,75} \right] = -0,62 \text{ кг/см}^2 = -6,2 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

$$6,2 < 300 \text{ МПа}$$

Розрахуємо максимальний вертикальний прогин, по формулі

$$\begin{aligned} f_{\max} &= \\ &= \frac{3P(m^2 - 1)}{16m^2 ES} \left[ R_H^4 + 5R_B^4 - 6R_H^2 R_B^2 + 8R_B^4 \ln \frac{R_H}{R_B} + \frac{8R_B^6(m+1) - 4R_H^2 R_B^4(m+3)}{R_H^2(m-1) + R_B^2(m+1)} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{4R_H^4 R_B^2(m+1) \left[ \ln \frac{R_H}{R_B} - 16R_H^2 R_B^4(m+1) \left( \ln \frac{R_H}{R_B} \right)^2 \right]}{R_H^2(m-1) + R_B^2(m+1)} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{4R_H^2 R_B^4 + 2R_H^4 R_B^2(m+1) - R_B^6(m+1)}{R_H^2(m-1) + R_B^2(m+1)} \right] \quad (2.11) \end{aligned}$$

Підставивши значення в (2.11), одержимо

$$f_{\max} = \frac{180}{537,6 \times 10^6} \times \left[ 213675,06 + 8 \times 10^5 - 1109400 + 92570,45 \right] +$$

$$+ \frac{\left[ 256 \times 10^7 - 207088 \times 10^4 + 1709400500 \right] \times 0,07232 - 30946509,41 - 29584 \times 10^4}{3386,75} +$$

$$+ \frac{854700250 - 384 \times 10^6}{3386,75} = 3,348 \times 10^{-7} \left[ -3154,49 + \frac{3021912941,7}{3386,75} \right] = 0,0289 \text{ см}$$

$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ МПа} = 2,1 \times 10^6 \text{ кг/см}^2.$$

$$20 \text{ мм} > 0,0289 \times 10 = 0,289 \text{ мм} < 150 \text{ мм}$$

Робочий хід дуже малий, тому міняємо радіуси мембран і робимо перерахунок:

$$R_{\max} = 225 \text{ мм} = 22,5 \text{ см};$$

$$R_{\min} = 190 \text{ мм} = 19 \text{ см}.$$

Розрахуємо максимальне напруження радіального напрямку по зовнішньому краю пластинки, по формулі (2.9)

$$\sigma_{R_{\max}} =$$

$$\frac{3 \times 4}{4 \times 1^2} \times \left[ 22,5^2 - 2 \times 19^2 + \frac{19^4 \times (4-1) - 4 \times 19^4 (4+1) \ln \frac{22,5}{19} + 22,5^2 \times 19^2 \times (4+1)}{22,5^2 \times (4-1) + 19^2 \times (4+1)} \right] =$$

$$= 3 \times \left[ -215,75 + \frac{390963 - 2606420 \times 0,16}{3323,75} \right] = -149,55 \text{ кг/см}^2 = 149,55 \text{ МПа}.$$

$$149,55 < 300 \text{ МПа}$$

Розрахуємо максимальний тангенціальний напрямок напружень по зовнішньому краю пластинки, по формулі (2.10)

$$\begin{aligned} \sigma_{R\max} &= - \frac{3 \times 4 \times (15)}{4 \times 4 \times 1^2} \times \left[ \frac{22,5^4 - 19^4 - 4 \times 22,5^2 \times 19^2 \times \ln \frac{22,5}{19}}{22,5^2 \times (4-1) + 19^2 \times (4+1)} \right] = \\ &= -11,25 \times \left[ \frac{125968,06 - 123543,225}{5128,75} \right] = -5,31 \text{ кг/см}^2 = -5,31 \text{ МПа} \end{aligned}$$

$$5,31 < 300 \text{ МПа}$$

Розрахуємо максимальний вертикальний прогин, по формулі (2.11)

$$\begin{aligned} f_{\max} &= 3,348 \times 10^{-7} \times [907894,063 - 1096537,5 + 176273,57] + \\ &+ \frac{[1881835240 - 1847300175 + 1850407031] \times 0,1691 - 150881173,1 - 282275286}{3323,75} + \\ &+ \frac{925203515,6 - 282275286}{3323,75} = 3,348 \times 10^{-7} \times \left[ -123369,867 + \frac{5468907,9}{3323,75} \right] = \end{aligned}$$

$$0,050905 \text{ см} = 0,509 \text{ см.}$$

Робочий хід буде дорівнювати:

$$20 \text{ мм} > 0,509 \times 10 = 5,095 \text{ мм} < 150 \text{ мм}$$

Робочий хід малий, тому міняємо радіуси мембран і робимо перерахунок:

$$R_{\max} = 245 \text{ мм} = 24,5 \text{ см;}$$

$$R_{\min} = 170 \text{ мм} = 17 \text{ см.}$$

Розрахуємо максимальне напруження радіального напрямку по зовнішньому краю пластинки по формулі (2.9)

$$\begin{aligned} \sigma_{R\max} &= \\ \frac{3 \times 4}{4 \times 1^2} \times &\left[ 24,5^2 - 2 \times 17^2 + \frac{17^4 \times (4-1) - 4 \times 17^4 (4+1) \ln \frac{24,5}{17} + 24,5^2 \times 17^2 \times (4+1)}{24,5^2 \times (4-1) + 17^2 \times (4+1)} \right] = \\ &= 3 \times 3 \times \left[ -1178,25 + \frac{250563 - 610471,31 - 867361,25}{15006,25} \right] = 3 \times (1178,25 + 33,816) = \end{aligned}$$

$$203,6 \text{ кг/см}^2 = 203,6 \text{ МПа.}$$

$$203,6 < 300 \text{ МПа.}$$

Розрахуємо максимальний тангенціальний напрямок напружень по зовнішньому краю пластинки, по формулі (2.10)

$$\begin{aligned} \sigma_{R\max} &= - \frac{3 \times 4 \times (15)}{4 \times 4 \times 1^2} \times \left[ \frac{24,5^4 - 17^4 - 4 \times 24,5^2 \times 17^2 \times \ln \frac{24,5}{17}}{24,5^2 \times (4-1) + 17^2 \times (4+1)} \right] = \\ &= -11,25 \times \left[ \frac{276779,06 - 253588,51}{355,75} \right] = 73,3 \text{ кг/див}^2 = 7,33 \text{ МПа} \end{aligned}$$

$$7,33 < 300 \text{ МПа}$$

Розрахуємо максимальний вертикальний прогин, по формулі (2.11)

$$f_{\max} = 3,348 \times 10^{-7} \times [777905,063 - 1040833,5 + 244188,5] +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{[965502760 - 1403737447 - 2082534361] \times 0,36546 - 536569603 - 200533921}{3345,75} + \\
& + \frac{10412671181 - 144825414}{3245,75} = 3,348 \times 10^{-7} \times \left[ -18739,911 + \frac{761164001,9}{3245,75} \right] = \\
& = 0,722 \text{ см}
\end{aligned}$$

Робочий хід буде дорівнювати:

$$20 \text{ мм} > 7,22 \times 10 = 7,22 < 150 \text{ мм}$$

Робочий хід малий, тому міняємо радіуси мембран і робимо перерахунок,

$$R_{\max} = 275 \text{ мм} = 27,5 \text{ см};$$

$$R_{\min} = 140 \text{ мм} = 14 \text{ см}.$$

Розрахуємо максимальне напруження радіального напрямку по зовнішньому краю пластинки по формулі (2.9)

$$\begin{aligned}
& \sigma_{R_{\max}} = \\
& = \frac{3 \times 4}{4 \times 1^2} \times \left[ 27,5^2 - 2 \times 14^2 + \frac{14^4 \times (4-1) - 4 \times 14^4 (4+1) \ln \frac{27,5}{14} + 27,5^2 \times 14^2 \times (4+1)}{27,5^2 \times (4-1) + 14^2 \times (4+1)} \right] = \\
& = 3 \times \left[ 364,25 + \frac{115248 - 518714,86 + 741125}{3248,75} \right] = 3 \times (364,25 + 103,9) = \\
& 204,13 \text{ кг/см}^2 = 204,13 \text{ МПа}.
\end{aligned}$$

$$204,13 < 300 \text{ МПа}.$$

Розрахуємо максимальний тангенціальний напрямок напружень по зовнішньому краю пластинки, по формулі (2.10)



$$\sigma_{R_{\max}} = - \frac{3 \times 4 \times (15)}{4 \times 4 \times 1^2} \times \left[ \frac{27,5^4 - 14^4 - 4 \times 27,5^2 \times 14^2 \times \ln \frac{27,5}{14}}{27,5^2 \times (4-1) + 14^2 \times (4+1)} \right] =$$

$$= -11,25 \times \left[ \frac{533498,06 - 1039,698}{3248,75} \right] = 184,3 \text{ кг/см}^2 = 184,3 \text{ МПа.}$$

$$184,3 < 300 \text{ МПа}$$

Розрахуємо максимальний вертикальний прогин по формулі (2.11)

$$f_{\max} = 3,348 \times 10^{-7} \times [763994,063 - 889350 + 206366,3522] +$$

$$+ \frac{[1729625765] \times 0,675 - 1059352818 + 959565946,5}{3248,75} = 1,3719 \text{ см}$$

Робочий хід буде дорівнювати:

$$20 \text{ мм} > 1,3719 \times 10 = 13,719 < 150 \text{ см.}$$

Робочий хід малий, тому міняємо радіуси мембран і робимо перерахунок

$$R_{\max} = 300 \text{ мм} = 30 \text{ см};$$

$$R_{\min} = 120 \text{ мм} = 12 \text{ см.}$$

Розрахуємо максимальне напруження радіального напрямку по зовнішньому краю пластинки, по формулі (2.9)

$$\begin{aligned} \sigma_{Rmax} &= \\ \frac{3 \times 4}{4 \times 1^2} \times \left[ 30^2 - 2 \times 12^2 + \frac{12^4 \times (4-1) - 4 \times 12^4 (4+1) \ln \frac{30}{12} + 30^2 \times 12^2 \times (4+1)}{30^2 \times (4-1) + 12^2 \times (4+1)} \right] &= \\ = 3 \times \left[ 612 + \frac{330203,9077}{3420} \right] &= 212,56 \text{ кг/см}^2 = 212,56 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

$$212,56 < 300 \text{ МПа.}$$

Розрахуємо максимальний тангенціальний напрямок напружень по зовнішньому краю пластинки, по формулі (2.10)

$$\begin{aligned} \sigma_{Rmax} &= - \frac{3 \times 4 \times (15)}{4 \times 4 \times 1^2} \times \left[ \frac{30^4 - 12^4 - 4 \times 30^2 \times 12^2 \times \ln \frac{30}{12}}{30^2 \times (4-1) + 12^2 \times (4+1)} \right] = \\ &= -11,25 \times [91,88] = 103,375 \text{ кг/см}^2 = 103,375 \text{ МПа} \end{aligned}$$

$$103,375 < 300 \text{ МПа.}$$

Розрахуємо максимальний вертикальний прогин по формулі (2.11)

$$\begin{aligned} f_{max} &= 3,3482 \times 10^{-7} \times [288081,637] + \\ &+ \frac{1768159042 - 1253499220 + 1073834496}{3420} = 2,5197 \text{ см} \end{aligned}$$

Загальний робочий хід буде дорівнювати

$$20 < 0,25197 \times 10 = 25,197 < 150 \text{ см.}$$

Умова виконується, прийmemo параметри гофр [1]

$$R_{\max} = 300 \text{ мм} = 30 \text{ см};$$

$$R_{\min} = 120 \text{ мм} = 12 \text{ см};$$

число гофр  $n=100$  шт.

## 2.2 Розрахунок гідросистеми упору зливковогоза

Визначимо обсяг масла, що витісняється із сільфона при спрацьовуванні зливковогоза по формулі [9]

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \times h + \frac{\pi (D_{\text{ср}}^2 - d^2)}{4} \times h = \frac{\pi}{4} \times h \times (d^2 + D_{\text{ср}}^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \times h \times D_{\text{ср}}^2, \quad (2.12)$$

де  $d$  – діаметр штока гідроциліндра, приймаємо  $d=100$  мм;

$h$  – відстань, на яку переміщається шток і гофри гідроциліндра,  $h=150$  мм;

$D_{\text{ср}}$  – середній діаметр гофр, розрахуємо як:

$$D_{\text{ср}} = \frac{2 \times R_{\max} + 2 \times R_{\min}}{2} = \frac{2 \times 300 + 2 \times 120}{2} = 420 \text{ мм};$$

$\frac{\pi d^2}{4} \times h$  – об'єм гідроциліндра,  $\text{см}^3$ ;

$\frac{\pi (D_{\text{ср}}^2 - d^2)}{4} \times h$  – об'єм сільфона,  $\text{см}^3$ .

Підставивши значення у формулу (2.12), одержимо

$$V = \frac{3,14}{4} \times 15 \times 42^2 = 20781,63 \text{ см}^3 = 20,782 \text{ л}.$$

Витиснення робочої рідини із сільфона відбувається за час  $t=1$  с, тобто витрата масла розрахуємо по формулі:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.13)$$

Підставивши значення у формулу (2.13), одержимо:

$$Q = \frac{20,782}{\frac{1}{60}} = 1246,92 \text{ л/хв};$$

По довіднику підбираємо масло для гідросистеми: масло індустріальне 20, у якого в'язкість при температурі  $t=50^{\circ}\text{C}$   $(17 \div 20) \times 10^5 \text{ м}^2/\text{с}$ , температура застигання  $t_{\text{заст}} = -20^{\circ}\text{C}$ , температура спалаху  $t_{\text{спалах}} = +170^{\circ}\text{C}$ , межа робочих температур  $0 \dots 90^{\circ}\text{C}$ , щільність при температурі  $t=20^{\circ}\text{C}$   $881 \dots 900 \text{ кг/м}^3$  [10].

Розрахуємо швидкість витікання масла по формулі

$$U = \sqrt{2 \times g \times H} = \sqrt{2 \times g \times \frac{P}{\rho}} \quad (2.14)$$

Підставивши значення у формулу (2.14), одержимо

$$U = \sqrt{2 \times 9,81 \times \frac{4 \times 10^4}{890}} = 30 \text{ м/с}.$$

Розрахуємо діаметр отвору регульованого дроселя, розрахунок будемо вести з формули для визначення витрати масла  $Q$  [13]

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \times U \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times U}} = \sqrt{\frac{4 \times 1246,92}{3,14 \times 30 \times 600}} = 0,297 \text{ дм} = 2,97 \text{ см}$$

Зробимо розрахунок напірного трубопроводу від упору до шайби (дроселю).  
Діаметр трубопроводу визначимо по формулі

$$d = 4,6 \sqrt{\frac{Q}{V_{\text{ср}}}} \quad (2.15)$$

де  $Q = 1246,92 \text{ мм}^3/\text{с}$  – максимальна витрата масла в трубопроводі;

$V_{\text{ср}}$  – середня швидкість витікання масла в трубопроводі, для напірних трубопроводів при тиску до 2,5 МПа, приймаємо  $V_{\text{ср}} = 3 \text{ м/с}$ .

Підставивши значення у формулу (2.15), одержимо

$$d = 4,6 \sqrt{\frac{1246,92}{3}} = 93,8 \text{ мм.}$$

Округляємо до стандартного найближчого значення й приймаємо діаметр мастилопроводу, рівний 100 мм.

Діаметр шовного трубопроводу (від шибера до бака) для труб з  $V = 2 \text{ м/с}$  визначимо по формулі (2.15)

$$d = 4,6 \sqrt{\frac{1246,92}{2}} = 114,86 \text{ мм.}$$

Округляємо до стандартного найближчого значення й приймаємо діаметр трубопроводу, рівний 125 мм [2].

Повернення штока у вихідне положення буде відбуватися з меншою швидкістю чим при роботі, та й витрата масла буде менше. Тому діаметр усмоктувального трубопроводу (від бака до циліндра) прийемо, рівним 100 мм.

Розрахуємо втрати тиску на зворотному клапані по формулі [14]

$$\Delta P_M = \xi \frac{V_{\text{ср}}^2}{2} \rho, \quad (2.16)$$

де  $\xi=2,2$  – коефіцієнт місцевого опору;

$V_{\text{ср}}=2$  м/с – середня швидкість плинну масла в трубопроводі;

$\rho=890$  кг/м<sup>3</sup> – щільність робочої рідини.

Підставивши значення у формулу (2.16), одержимо

$$\Delta P_M = 2,2 \times \frac{2^2}{2} \times 890 = 3916 \text{ Па} = 0,00392 \text{ МПа} = 0,0392 \text{ атм.}$$

Зробимо розрахунок зусилля, що повинна розвивати зворотна пружина. Зворотна пружина повинна перебороти падіння тиску на зворотному клапані й тертя в самому циліндрі по формулі:

$$F = \frac{\Delta P_M S_{\text{сильфона}}}{\eta_{\text{цик}}}, \quad (2.17)$$

де  $S_{\text{сильфона}}$  – середня робоча площа сильфона;

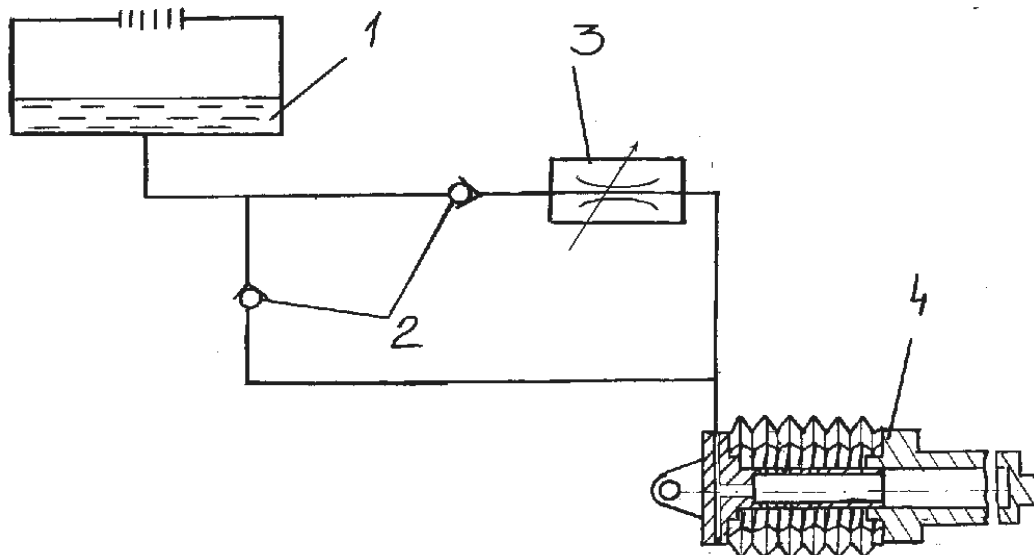
$\eta_{\text{цик}}$  – об'ємний ККД гідроциліндра, що враховує тертя в ущільненнях.

Приймаємо  $\eta_{\text{цик}}=0,99$

Підставивши значення у формулу (2.17), одержимо

$$F = \frac{3,92 \times \frac{3,14 \times 0,42^2}{4}}{0,99} = 0,548 \text{ кН}$$

Схема гідросистеми упору зливковоза показана на рисунку 2.1.



1–бак з робочої рідиною; 2–клапан; 3–дросель; 4–сильфон

Рисунок 2.1 – Гідросхема упора зливковоза

### 2.3 Розрахунок зворотної пружини упору зливковоза

Для розрахунку зворотної пружини приймемо коефіцієнт  $c=8$ .

Розрахуємо коефіцієнт впливу кривизни витків по формулі [15]

$$K = \frac{4c + 2}{4c - 2} \quad (2.18)$$

Підставивши значення у формулу (2.18), одержимо

$$K = \frac{4 \times 8 + 2}{4 \times 8 - 2} = \frac{34}{30} = 1,133$$

З огляду на те, що відношення  $D/d=1$ , одержимо вираз для визначення діаметра дроту

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{8PK}{\pi[\tau]}} \quad (2.19)$$

де  $p$  – тиск у сильфоні;

$[\tau]$  – припустиме напруження, що дорівнює  $[\tau]=480$  МПа.

Підставивши значення у вираження (2.17), одержимо

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{8 \times 629 \times 10^{-3} \times 1,1724}{3,14 \times 480 \times 10^6}} = 0,0095 \text{ м} = 9,5 \text{ мм},$$

Приймаємо  $d=10$  мм.

Розрахуємо напруження  $\tau$

$$\tau = \tau_{\max} + \tau_{\text{порівн}} = \frac{M_k}{W_p} + \frac{P}{F} = \frac{8 \times p \times D}{\pi \times d^3} + \frac{4 \times p}{\pi \times d^2} \quad (2.20)$$

Підставивши значення у формулу (2.20), одержимо

$$\tau = \frac{8 \times 629 \times 220}{3,14 \times 10^3} + \frac{4 \times 629}{3,14 \times 10^2} = 360,6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 360 \text{ МПа.}$$

$$360,57 < 480 \text{ МПа}$$

Підбираємо зовнішній і внутрішній діаметр

$$D_H = D + d = 220 + 10 = 230 \text{ мм};$$

$$D_B = D - d = 220 - 10 = 210 \text{ мм.}$$



Осьову деформацію пружини під дією навантаження  $P$  можна знайти як добуток кута закручування витків  $Q$  пружини й середнього діаметра  $D$  по формулі

$$f = 0,5DQ = \frac{8pD^2z}{Gd^4} = \frac{8pc^3z}{cd} \quad (2.21)$$

де  $G = 8 \times 10^4$  МПа – модуль пружності 2-го роду (зрушення) для сталей.

Підставивши значення у вираз (2.21), одержимо

$$f = \frac{8 \times 629 \times 8^2 \times 7}{8 \times 10^4 \times 10^2} = 0,2818 \text{ мм.}$$

Кількість робочих витків пружини визначається

$$Z = \frac{Gdf}{8pc^3} \quad (2.22)$$

Підставивши значення у вираз (2.22), одержимо

$$Z = \frac{8 \times 10^4 \times 10^2 \times 0,2818}{8 \times 629 \times 8^3} = 7$$

Приймаємо  $Z = 7$ .

Відношення навантаження й пружної осьової деформації пружини є твердістю пружини

$$K = \frac{P}{f} = \frac{G d f}{8 c^3 z} \quad (2.23)$$

Підставивши значення у формулу (2.23), одержимо:

$$K = \frac{8 \times 10^4 \times 10 \times 0,282}{8 \times 8^3 \times 7} = 2230,5 \text{ Н/мм}.$$

Розрахуємо силу, що буде розвивати пружина наприкінці робочого ходу по формулі

$$F = K \times x \quad (2.24)$$

$$F = 2230,5 \times 150 = 334,57 \text{ кН}.$$

Підбираємо параметри пружини

$$d = 22 \text{ мм}, D = 220 \text{ мм}, n = 5.$$

Визначимо гнучкість пружини по формулі

$$\lambda = \frac{4PR^3 n K}{G r^4} \quad (2.25)$$

Підставивши значення у вираз (2.25), одержимо

$$\lambda = 1,05 \times \frac{4 \times 548 \times 10^{-6} \times 0,11^3 \times 5}{8 \times 10^4 \times 0,011^4} = 0,01308 \text{ м}.$$

Твердість пружини розрахуємо як

$$K = \frac{F}{\lambda} \quad (2.26)$$

Підставивши значення у вираз (2.26), одержимо

$$K = \frac{548}{0,01308} = 41896 \text{ Н/м.}$$

Визначимо повний стиск пружини по формулі

$$\lambda = 0,15 + 0,01308 = 0,16308 \text{ м.}$$

Розрахуємо зусилля при повному стиску, як

$$P = 29945,3 \times 0,1683 = 6832,4 \text{ Н} \quad (2.27)$$

Підставивши значення у вираз (2.27), одержимо

$$P = 41896(0,16308 = 6832,4 \text{ Н.}$$

Визначимо максимальні напруження по формулі:

$$\tau_{\max} = K \frac{2PR}{\pi r^3} \quad (2.28)$$

Підставивши значення у вираження (2.28), одержимо

$$\tau_{\max} = 41896 \times \frac{2 \times 6832,4 \times 0,11 \times 10^{-6}}{3,14 \times 0,011^3} = 380,93 \text{ МПа.}$$

Умова не виконується, отже, робимо перерахунок

$$\tau_{\max} = 380,93 \text{ МПа} > [\tau] = 350 \text{ МПа.}$$

Приймаємо параметри пружини

$$d = 22 \text{ мм}, \quad D = 220 \text{ мм}, \quad n = 7.$$

Визначимо гнучкість пружини по формулі (2.25)

$$\lambda = 1,05 \times \frac{4,2 \times 548 \times 1,331 \times 10^{-3} \times 7}{8 \times 1,464 \times 10^5} = 0,0183 \text{ м.}$$

Твердість пружини розрахуємо по формулі (2.26)

$$K = \frac{548}{0,0183} = 29945,3 \text{ Н/м.}$$

Визначимо повний стиск пружини по формулі

$$\lambda = 0,15 + 0,0183 = 0,1683 \text{ м.}$$

Розрахуємо зусилля при повному стиску, по формулі (2.27)

$$P = 29945,3 \times 0,1683 = 6832,4 \text{ Н.}$$

Визначимо максимальні напруження по формулі (2.28)

$$\tau_{\max} = 1,14 \times \frac{2 \times 5039,8 \times 0,11 \times 10^{-6}}{3,14 \times 0,011^3} = 302,43 \text{ МПа.}$$

Приймаємо для матеріалу пружини сталь 6, у якої межа текучості  $\sigma_B=700$  МПа, а  $[\tau]=0,5 \times \sigma_B=0,5 \times 700=350$  МПа

Умова перевірки виконується, отже, розрахунок виконано правильно [16]

$$302,43 < 350 \text{ МПа}$$

Остаточно приймаємо параметри пружини:

- діаметр дроту –  $d=22$  мм;
- середній діаметр пружини –  $D=220$  мм;
- число витків –  $n=7$ ;
- матеріал Ст 6.

### 3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Розробка математичної моделі руху зливковозу на ділянці гальмування

Для визначення основних параметрів переміщення зливковозу на ділянці гальмування перед приймальним ролгангом скористаємося даними наданими в прокатному цеху:

- маса зливковозу без зливку  $m_{\text{зливковозу}} = 135\,934$  кг;
- маса максимального зливка  $m_{\text{зливка max}} = 23\,000$  кг;
- маса візка  $m_{\text{візка}} = 38\,471$  кг;
- швидкість зливковозу при підході до упору  $V = 0,3$  м/с;
- відстань, на якій упор повинен зупинити зливковоз  $S = 150$  мм.

Узагальнена розрахункова схема переміщення зливковозу на ділянці гальмування наведена на рисунку 3.1, після перетворень та спрощень отримуємо приведену розрахункову схему рисунок 3.2.

Запишемо рівняння руху зливковозу за II -законом Ньютона [17]:

$$F_{\text{руху}} = ma \quad (3.1)$$

При стисканні сильфону виникає пружна сила, яку визначимо за такою формулою [18]:

$$F = - kx \quad (3.2)$$

де  $k$  – Коефіцієнт жорсткості сильфона.

Запишемо рівняння рівноприскореного руху [19]:

$$a = \frac{V^2 - V_0^2}{2 \times S} \quad (3.3)$$

оскільки кінцева швидкість дорівнює нулю, то рівняння (3.3) набуде вигляду:

$$a = \frac{-V_0^2}{2 \times S} \quad (3.4)$$

за III –законом Ньютона, отримаємо:

$$-\frac{m \times V_0^2}{2 \times S} = -kS$$

Звідси коефіцієнт жорсткості сільфона дорівнюватиме:

$$k = \frac{m \times V_0^2}{2 \times S^2} \quad (3.5)$$

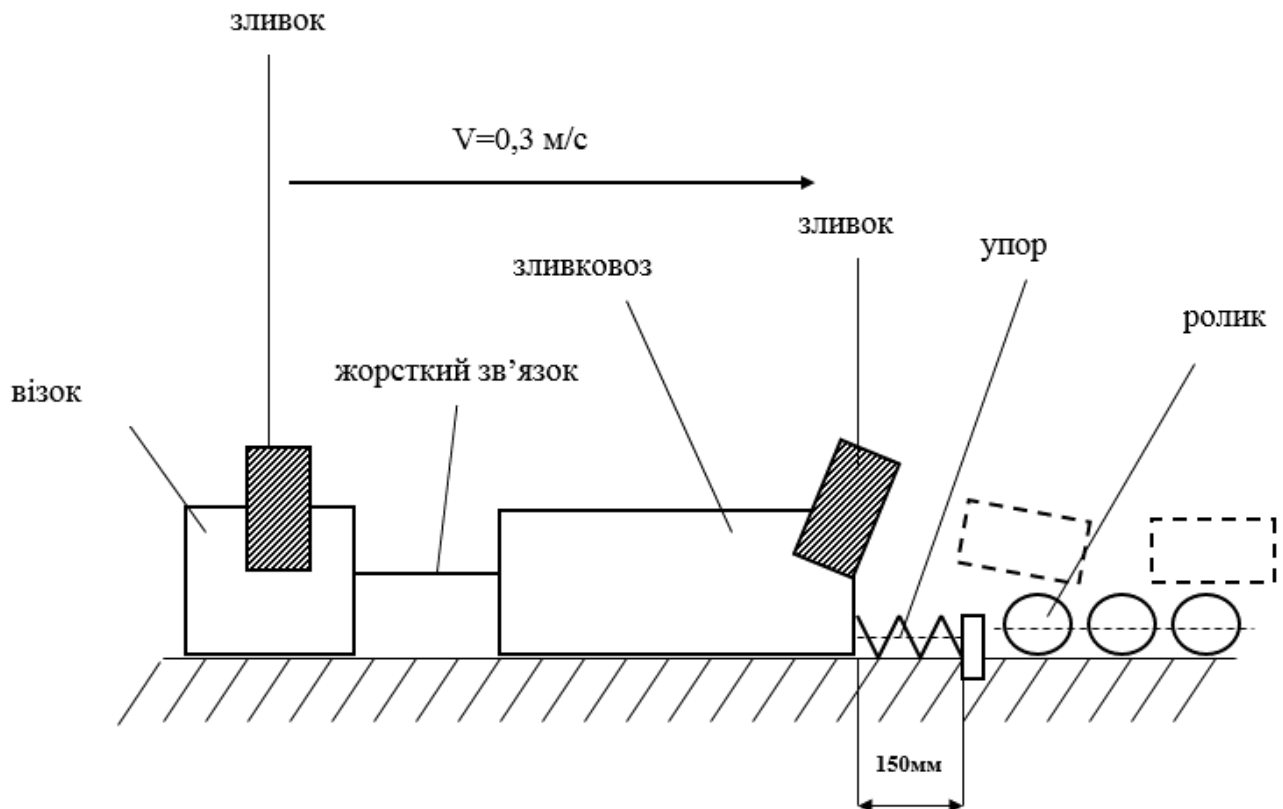


Рисунок 3.1 – Загальна схема руху зливковоза на ділянці гальмування

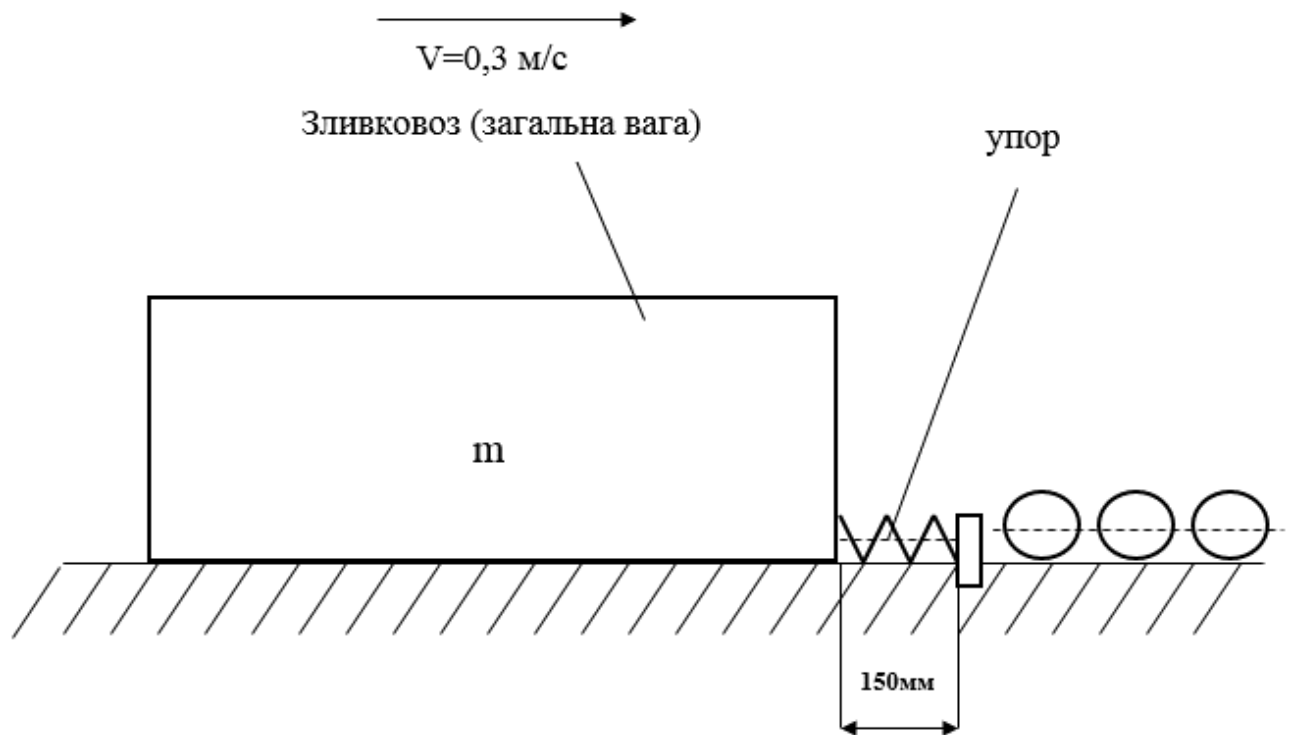


Рисунок 3.2 – Приведена схема руху зливковоза на ділянці гальмування

З виразу (3.5) видно, що коефіцієнт жорсткості  $k$  пропорційний масі зливковозу. Отже, коефіцієнт жорсткості потрібно вибрати для випадку, коли маса зливковозу максимальна (зливковоз рухається з двома злитками).

$$k = \frac{220405 \times 0,3^2}{2 \times 0,15^2} = 440810 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

запишемо III – закон Ньютона в диференціальному вигляді [20]:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx \quad (3.6)$$

звідси

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{k}{m} x \quad (3.7)$$



так як швидкість руху зливковозу є першою похідною координати переміщення від часу, інтегруючи вирази (3.7), отримаємо [21]:

$$\int \left( \frac{d^2x}{dt^2} \right) dt = -\int \frac{k}{m} x dx \quad (3.8)$$

$$V = \frac{dx}{dt} = -\frac{kx}{m} t + c_1$$

використовуючи початкові умови  $t = 0$ ,  $V = V_0 = 0,3$  м/с у рівнянні (3.8) отримаємо:

$$c_1 = V_0 = 0,3 \text{ м/с}$$

переміщення зливковозу можна визначити якщо проінтегрувати вираз (3.8), то отримаємо:

$$\int \left( \frac{dx}{dt} \right) dt = \int \left( -\frac{kx}{m} t + V_0 \right) dt \quad (3.9)$$

$$x = -\frac{kx}{2m} t^2 + V_0 t + c_2$$

використовуючи початкові умови  $t = 0$ ,  $x = 0$  в рівнянні (3.9) отримаємо:

$$c_2 = 0$$

Тоді рівняння переміщення зливковозу від часу набуде наступного вигляду:

$$S = -\frac{kx}{2m} t^2 + V_0 t \quad (3.10)$$

Якщо в рівнянні (3.10)  $x(t)$  замінити на  $S$ . Квадратичне рівняння наведемо до стандартного вигляду:

$$\frac{kS}{2m}t^2 - V_0 t + S = 0 \quad (3.11)$$

Щоб вирішити квадратичне рівняння (3.11), необхідно знайти дискримінант:

$$D = V_0^2 - 4 \frac{kS^2}{2m} = V_0^2 - 2 \frac{kS^2}{m} = V_0^2 - 2 \left( \frac{mV_0^2}{2S^2} \right) \frac{S^2}{m} = V_0^2 - V_0^2 = 0 \quad (3.12)$$

Тоді час гальмування злитковозу дорівнює:

$$t = \frac{V_0 m}{kS} \quad (3.13)$$

Розрахуємо час гальмування злитковозу при різній його завантаженості:

- рух зливковозу «вхолосту» (зливковоз рухається без зливків). Тоді час гальмування дорівнюватиме:

$$t = \frac{0,3 \times 174405}{440810 \times 0,15} = 0,79 \text{ с}$$

- злитковоз транспортує зливковоз типу 15 м = 11,9 т (кипляча, напівспокійна і нестаріюча сталь):

$$t = \frac{0,3 \times 186305}{440810 \times 0,15} = 0,84 \text{ с}$$

- зливковоз транспортує злиток типу 1Б  $m = 13,4$  т (кипляча, напівспокійна і нестаріюча сталь):

$$t = \frac{0,3 \times 187805}{440810 \times 0,15} = 0,85 \text{ с}$$

- зливковоз транспортує зливки типу 2Б  $m = 16$  т (кипляча, напівспокійна і нестаріюча сталь)

$$t = \frac{0,3 \times 190405}{440810 \times 0,15} = 0,86 \text{ с}$$

- зливковоз транспортує зливки типу 4А  $m = 17,711,9$  т (кипляча, напівспокійна і нестаріюча сталь)

$$t = \frac{0,3 \times 192105}{440810 \times 0,15} = 0,87 \text{ с}$$

- зливковоз транспортує зливки типу 15  $m = 14,4$  т (спокійна та низьколегована сталь)

$$t = \frac{0,3 \times 188805}{440810 \times 0,15} = 0,85 \text{ с}$$

- зливковоз транспортує зливки типу 1Б  $m = 14,4$  т (Спокійна та низьколегована сталь із вставками ЖСС)

$$t = \frac{0,3 \times 188405}{440810 \times 0,15} = 0,85 \text{ с}$$

- зливковоз транспортує зливки типу 2Б  $m = 16,3$  т (спокійна та низьколегована сталь із вставками ЖСС):

$$t = \frac{0,3 \times 190705}{440810 \times 0,15} = 0,86 \text{ с}$$

- зливковоз транспортує зливки типу 4А  $m = 18,6$  т (спокійна та низьколегована сталь із вставками ЖСС)

$$t = \frac{0,3 \times 193005}{440810 \times 0,15} = 0,87 \text{ с}$$

Розглянемо рухи зливковозу з двома зливками (зливковоз рухається зі зливком і візок зі зливком). Тоді час гальмування дорівнюватиме:

- зливковоз транспортує зливки типу 15  $m = 11,9$  т (Кипляча, напівспокійна і нестаріюча сталь)

$$t = \frac{0,3 \times 198205}{440810 \times 0,15} = 0,89 \text{ с}$$

- зливковоз транспортує зливки типу 1Б  $m = 13,4$  т (кипляча, напівспокійна і нестаріюча сталь)

$$t = \frac{0,3 \times 201205}{440810 \times 0,15} = 0,91 \text{ с}$$

- зливковоз транспортує зливки типу 2Б  $m = 16$  т (кипляча, напівспокійна і нестаріюча сталь)

$$t = \frac{0,3 \times 206405}{440810 \times 0,15} = 0,93 \text{ с}$$

– зливковоз транспортує зливки типу 4А  $m = 17,7$  т (кипляча, напівспокійна та нестаріюча сталь)

$$t = \frac{0,3 \times 209805}{440810 \times 0,15} = 0,95 \text{ с}$$

– зливковоз транспортує зливки типу 15  $m = 14,4$  т (спокійна та низьколегована сталь)

$$t = \frac{0,3 \times 203205}{440810 \times 0,15} = 0,92 \text{ с}$$

– зливковоз транспортує зливки типу 1Б  $m = 14$  т (спокійна та низьколегована сталь із вставками ЖСС)

$$t = \frac{0,3 \times 202405}{440810 \times 0,15} = 0,91 \text{ с}$$

– зливковоз транспортує зливки типу 2Б  $m = 16,3$  т (спокійна та низьколегована сталь із вставками ЖСС)

$$t = \frac{0,3 \times 207705}{440810 \times 0,15} = 0,93 \text{ с}$$

– зливковоз транспортує зливки типу 4А  $m = 18,6$  т (спокійна та низьколегована сталь із вставками ЖСС)

$$t = \frac{0,3 \times 211605}{440810 \times 0,15} = 0,96 \text{ с}$$

Побудуємо залежність гальмівного шляху зливковозу від часу

гальмування при різних випадках завантаженості, для цього перетворюємо рівняння (3.11) у вигляді:

$$\begin{aligned}
 x + \frac{kx}{2m} t^2 &= V_0 t \\
 x \left( 1 + \frac{kt^2}{2m} \right) &= V_0 t, \\
 x(t) &= \frac{V_0 t}{1 + \frac{kt^2}{2m}}
 \end{aligned}
 \tag{3.14}$$

Отримані розрахункові значення за виразом (3.14) зводимо до таблиці 3.1 та будуємо графіки залежності гальмівного шляху зливковозу для різних технологічних режимів переміщення, а саме рух з одним зливком від типів: 15, 1Б, 2Б (до сплячої, напівспокійної і нестаріючої сталі), 4А (спокійна і низьколегована сталь (зливки з прибутковими надставками)), 15\*, 1Б\*, 2Б 4А\* (спокійна та низьколегована сталь із вставками ЖСС (без прибуткових надставок) рисунки 3.3-3.5.

Згідно даних з таблиці 3.2 будуємо графік залежності гальмівного шляху зливковозу з двома злитками типів 15, 1Б, 2Б (до сплячої, напівспокійної і нестаріючої сталі), 4А (спокійна і низьколегована сталь (зливки з прибутковими надставками)), 15\*, 1Б\*, 2Б 4А\* (спокійна та низьколегована сталь із вставками ЖСС (без прибуткових надставок)) рисунок 3.6 – 3.8.

Аналіз отриманого графічного матеріалу вказує на те, що найбільш напруженим режимом є гальмування зливковоза при переміщенні двох зливків типу 4А, згідно цього режиму потрібно виконувати настройку роботи гідравлічної схеми запропонованого сільфонного упору.

Розроблена математична модель руху зливковоза (3.14) на ділянці гальмування створює передумови для автоматизації процесу гальмування зливковоза згідно попередньо введеної технологічної схеми прокатки зливків.

Таблиця 3.1 – Залежність гальмівного шляху зливковозу з одним зливком

t	без зливка	15	1Б	2Б	4А	15*	1Б *	2Б *	4А*
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,029655	0,0089	0,0027	0,0008	0,0002	7E-05	2E-05	6E-06	2E-06
0,2	0,0573382	0,0171	0,0051	0,0015	0,0005	0,0001	4E-05	1E-05	4E-06
0,3	0,0814885	0,0243	0,0073	0,0022	0,0007	0,0002	6E-05	2E-05	5E-06
0,4	0,101207	0,03	0,009	0,0027	0,0008	0,0002	7E-05	2E-05	7E-06
0,5	0,116266	0,0344	0,0103	0,0031	0,0009	0,0003	8E-05	3E-05	8E-06
0,6	0,126957	0,0374	0,0112	0,0034	0,001	0,0003	9E-05	3E-05	8E-06
0,7	0,1338715	0,0394	0,0118	0,0035	0,0011	0,0003	1E-04	3E-05	9E-06
0,8	0,1377134	0,0405	0,0121	0,0036	0,0011	0,0003	1E-04	3E-05	9E-06
0,9	0,1391722	0,0409	0,0122	0,0037	0,0011	0,0003	1E-04	3E-05	9E-06
1	0,1388537	0,0408	0,0122	0,0037	0,0011	0,0003	1E-04	3E-05	9E-06

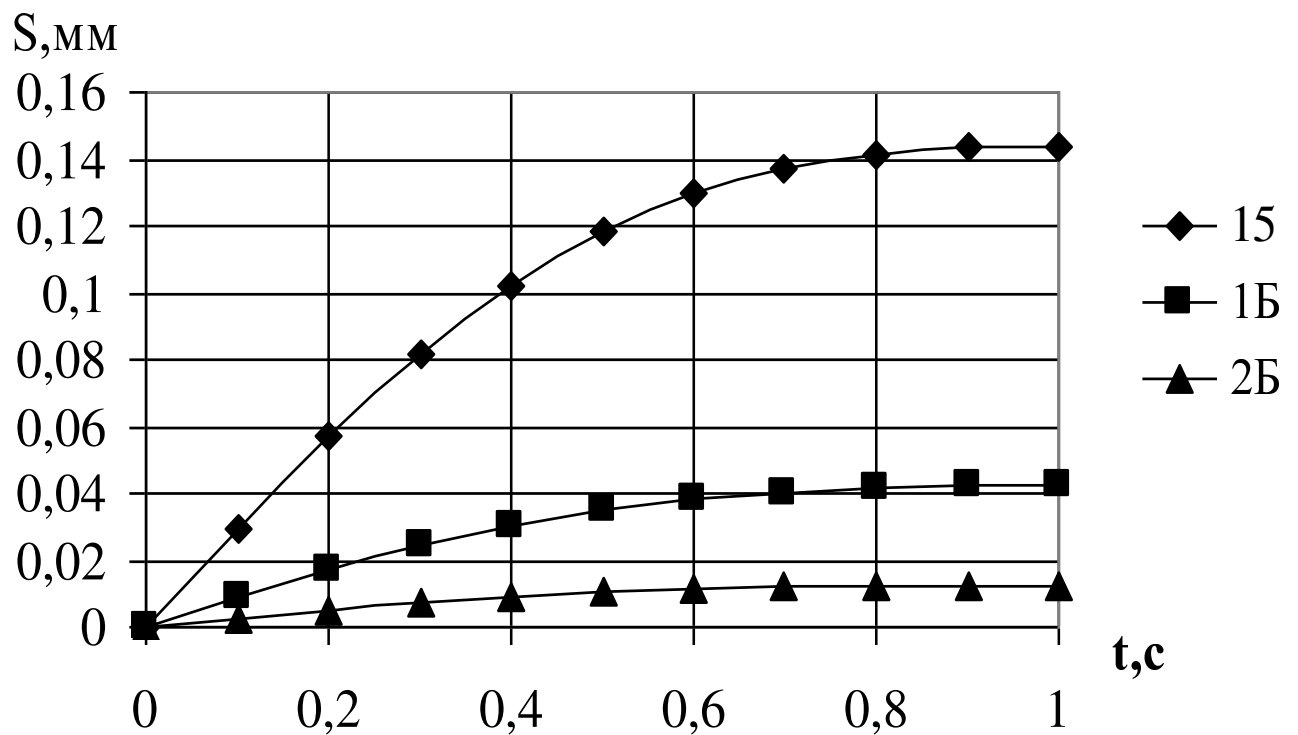


Рисунок 3.3 – Залежність гальмівного шляху зливковозу від маси злика з одним злитком тип: 15, 1Б, 2Б (кипляча, напівспокійна і нестаріюча сталь )

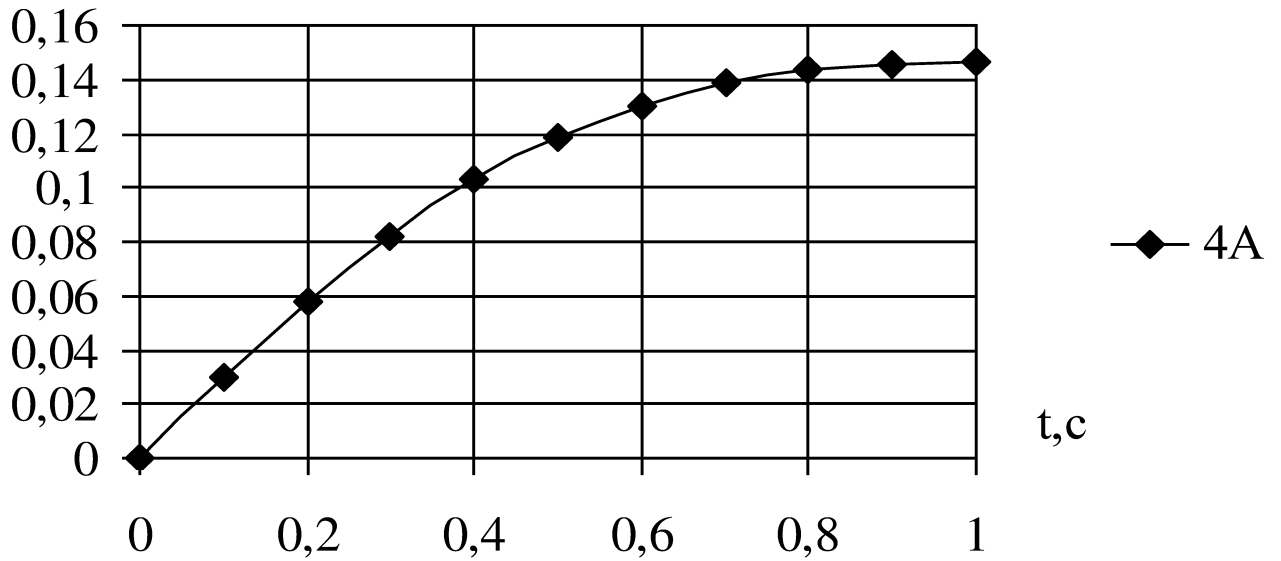
$S, \text{мм}$ 


Рисунок 3.4 – Залежність гальмівного шляху зливководу від маси злика з одним злитком тип 4А ( спокійна та низьколегована сталь (зливки з прибутковими надставками))

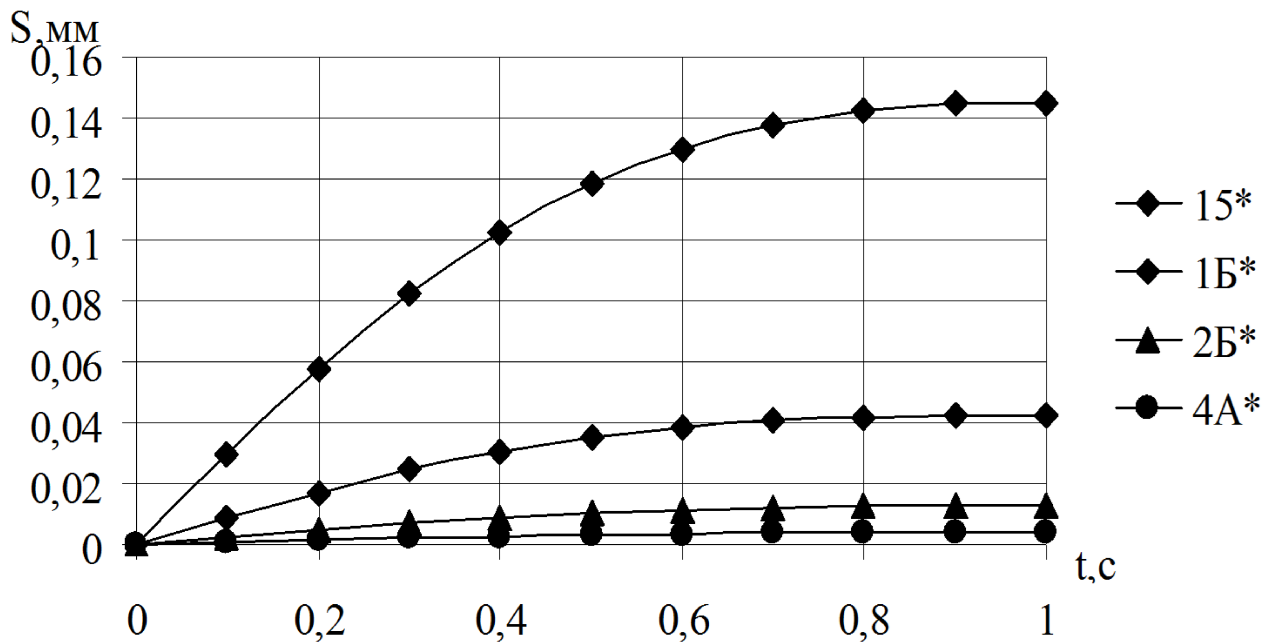


Рисунок 3.5 – Залежність гальмівного шляху зливководу від маси злика з одним злитком тип: 15\*, 1Б\*, 2Б\*, 4А\* ( спокійна та низьколегована сталь із вставками ЖСС (без прибуткових надставок) )



Таблиця 3.2 – Залежність гальмівного шляху зливководу з двома зливками

t	Без зливка	15	1Б	2Б	4А	15*	1Б *	2Б *	4А*
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,0296	0,0089	0,0027	0,0008	0,0002	7E-05	2E-05	6E-06	2E-06
0,2	0,05733	0,0171	0,0051	0,0015	0,0005	0,0001	4E-05	1E-05	4E-06
0,3	0,08148	0,0243	0,0073	0,0022	0,0007	0,0002	6E-05	2E-05	5E-06
0,4	0,10120	0,03	0,009	0,0027	0,0008	0,0002	7E-05	2E-05	7E-06
0,5	0,11626	0,0344	0,0103	0,0031	0,0009	0,0003	8E-05	3E-05	8E-06
0,6	0,12695	0,0375	0,0112	0,0034	0,001	0,0003	9E-05	3E-05	8E-06
0,7	0,13387	0,0394	0,0118	0,0035	0,0011	0,0003	1E-04	3E-05	9E-06
0,8	0,13771	0,0405	0,0121	0,0036	0,0011	0,0003	1E-04	3E-05	9E-06
0,9	0,13917	0,0409	0,0123	0,0037	0,0011	0,0003	1E-04	3E-05	9E-06
1	0,13885	0,0409	0,0122	0,0037	0,0011	0,0003	1E-04	3E-05	9E-06

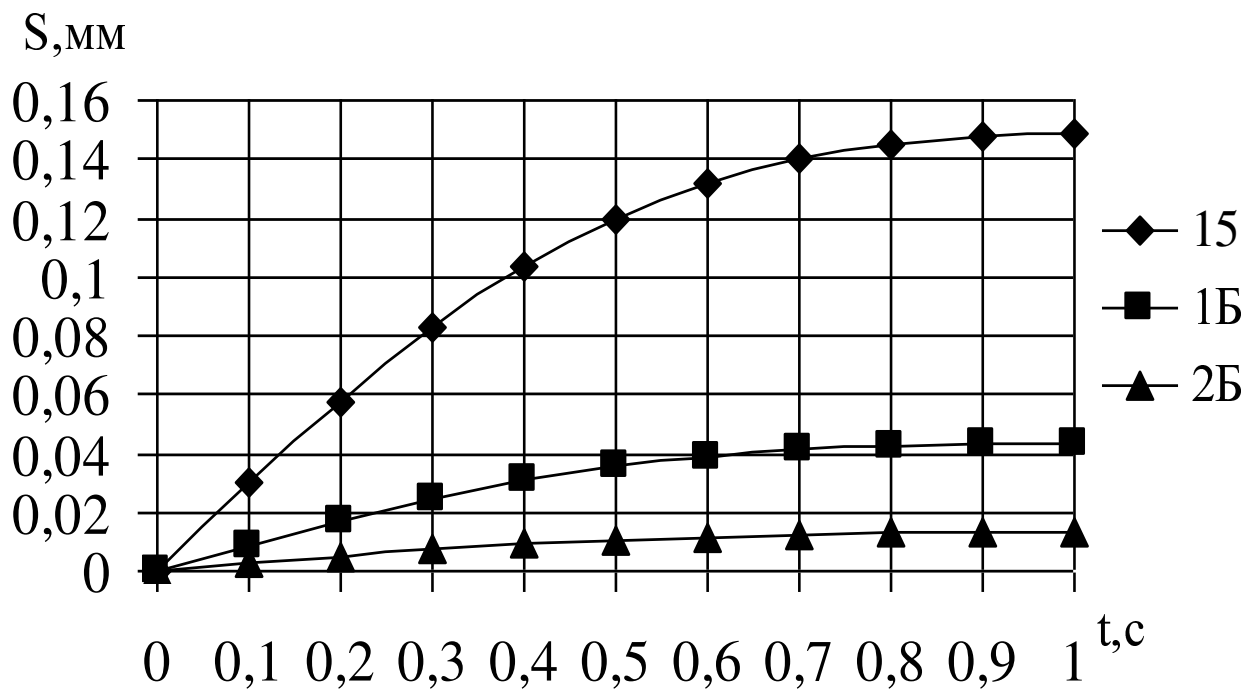


Рисунок 3.6 – Залежність гальмівного шляху зливководу від маси злика з двома зливками тип: 15, 1Б, 2Б (кипляча, напівспокійна і нестаріюча сталь)

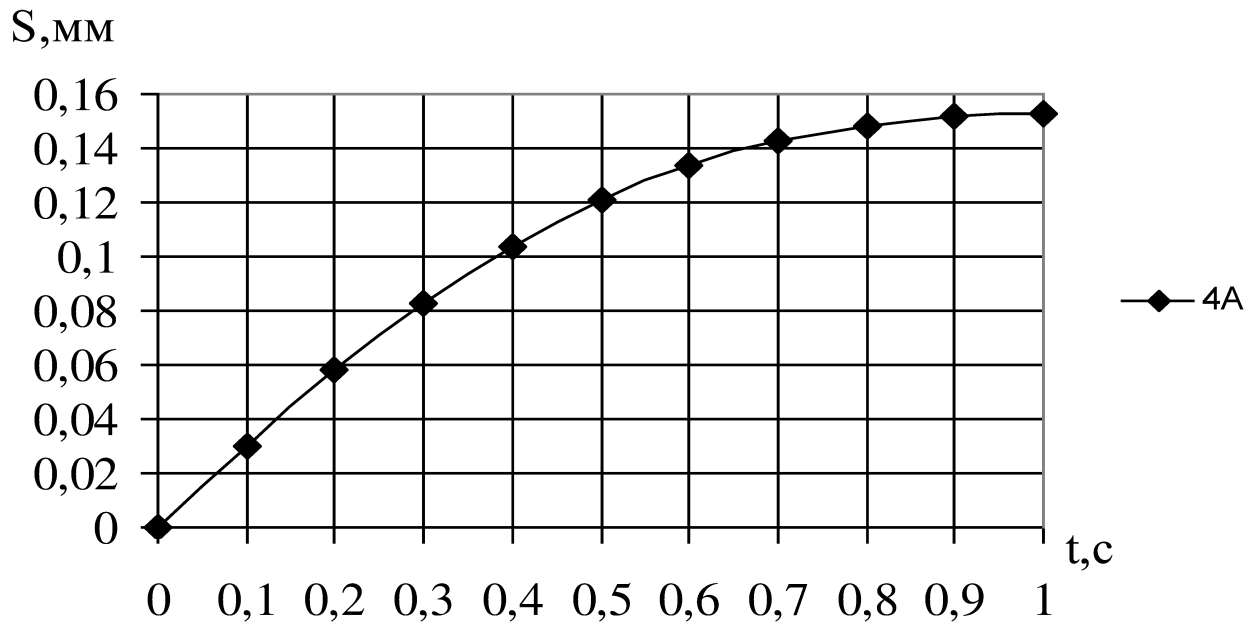


Рисунок 3.7 – Залежність гальмівного шляху зливководу від маси злика з двома злитками тип 4А (спокійна та низьколегована сталь (зливки з прибутковими надставками))

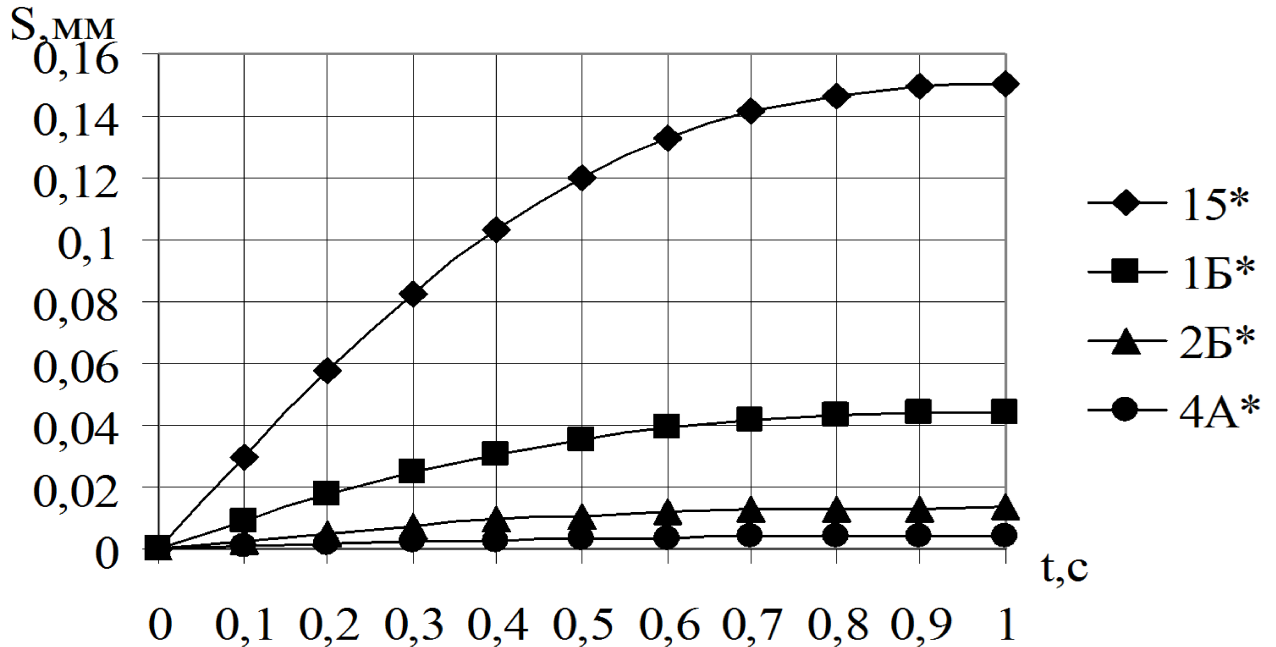


Рисунок 3.8 – Залежність гальмівного шляху зливководу від маси злика з двома злитками тип: 15\*, 1Б\*, 2Б\*, 4А\* (спокійна та низьколегована сталь із вставками ЖСС (без прибуткових надставок))

### 3.2 Динамічний розрахунок упору зливководу

Зробимо динамічний розрахунок сильфона зливководу. Розглянемо :розрахункову схему (рисунок 3.2). Запишемо рівняння роботи [22-25]:

$$A = -F_{\text{сопр}} \times h \quad (3.15)$$

де  $F_{\text{сопр}}$  – сила опору, сила протидії зупинки зливководу;

$h = 150\text{мм}$ , робочий хід сильфона (гальмівний шлях зливководу).

Рівняння роботи можна записати у вигляді:

$$A = \frac{MV_{\text{к}}^2}{2} - \frac{MV_{\text{н}}^2}{2} \quad (3.16)$$

где  $M$  – повна маса зливководу  $M_{\text{маx}} = 211605$  кг;

$V = 0$  м/с , кінцева швидкість;

$V_{\text{до}} = 0,3$  м/с, швидкість зливководу при підході до упору.

Підставивши значення формулу (3.16), отримаємо:

$$A = \frac{211605 \times 0^2}{2} - \frac{211605 \times 0,3^2}{2} = -9522,22 \text{ Дж}$$

Підставивши значення формулу (3.15), отримаємо:

$$- 9522,22 = - F_{\text{спр}} 0,15$$

$$F_{\text{спр}} = 63,481 \text{ Н}$$

Запишемо рівняння сили яка виникає на штоку:

$$F = p \frac{\pi d^2}{2} \quad (3.17)$$

де  $p = 0,4$  МПа, робочий тиск у сільфоні

$$\pi = 3,1; F_{\text{спр}} = F$$

З формули (3.17) розрахуємо діаметр сільфона:

$$d = \frac{2Fp}{\pi} = \frac{2 \times 9522,22 \times 0,4}{3,14} = 242,6 \text{ мм}$$

Таким чином з точки зору динамічної складової робочого процесу зупинки зливковоза на ділянці гальмування з максимальним навантаженням і максимальним часом зупинки і мінімальний діаметр сільфона має складати не менше 243 мм, що значно менше прийнятих конструктивних розмірів у розділі 2, тому можна зробити висновок, що конструкторські рішення при проектуванні упору сільфонного типу були вірними.

Впровадження запропонованої модернізації у виробництво дозволить суттєво знизити динамічні навантаження самого зливковозу та його кінцевого упору, що дозволить підвищити їх довговічність та знизити ймовірність незапланованих ремонтів, а отже матиме позитивний вплив на зниження собівартості основної продукції цеху.

## ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ

### 4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища

В прокатному цеху встановлено різне основне і допоміжне механічне обладнання, рухомі частини та вузли якого представляють певну небезпеку, так як непередбачений контакт з ними може викликати різного роду травми.

Безпека експлуатації машин і механізмів цеху досягається, насамперед, механізацією і автоматизацією виробничого процесу.

Прокатний цех в результаті насиченості різного роду складних машин і механізмів потребує особливої уваги з точки зору створення безпечних і нешкідливих умов праці. При проектуванні прокатного цеху розробляємо заходи захисту від небезпек, які можуть виникнути при підготовці металу до прокатки, при проведенні операцій прокатки, різки, термічної обробки, нанесення на метал захисного покриття. Такими небезпеками є надлишкове тепло, теплове опромінення, шкідливі речовини: металевий пил, пари технологічних мастил, металів і різних речовин, шум, вібрації, електричний струм.

Машини та механізми прокатного цеху при експлуатації є для персоналу основною потенційною небезпекою – можливість нанесення механічних травм. Механізація зменшила кількість ділянок, на яких можливе попадання частин тіла у використовувані на виробництві механізми. Механічні травми, переломи, удари можуть бути отримані, якщо робітники намагаються перетнути рольганг у невстановлених місцях. Петлеутворення і зв'язування можуть викликати численні технологічні пошкодження і опіки, навіть втрату нижніх кінцівок працівників за відсутності захисного огороження.

Існує ризик порізів у працюючих на смугових і листових прокатних станах за відсутності спеціального одягу. Ці ушкодження викликаються не тільки тонким прокатом, але й металевою обв'язкою рулонів, яка може лопнути під час роботи з ними і викликати серйозні каліцтва.

Перелік та величина шкідливих чинників для чергового і ремонтного слюсаря представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технологічна карта умов праці для чергового і ремонтного слюсаря

Фактори	Норматив. значення, ГДК, ГДУ	Факт. значення	III клас шкідливих і небезпечних умов і характер праці			Час дії фактора % в зміну
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup>						
1 клас безпеки						
2 клас безпеки						
Сірчана кислота	0,3	0,57	1,9			92,7
3-4 клас безпеки						
Масла мінеральні нафтові	5,0	5,21	1,04			92,7
II. Пил переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>						
Кремнію діоксид кристалічний– 2 – 10 %	4,0	12,84		3,2		92,7
III. Шум, дБА	80	89	9,0			100
IV. Мікроклімат у приміщенні						
- температура повітря, °C	16–27	28,2	1,2			92,7
- відносна вологість повітря, %	55,0	77,0	22,0			92,7
V. Робоче положення						
Находження в похилому положенні більш 30 гр.	До 25	51,9		51,9		
VI. Важкість праці						
Статичне навантаження при утриманні вантажу двома руками (кг*с)	70000	206592		206592		
Кількість факторів			5	3		

Небезпека виникнення нещасних випадків через неправильно здійснюваного підйому і переміщення вантажів і несправностей кранів і вантажопідіймальних пристосувань. Постійно існує ризик нещасних випадків у зв'язку з використанням механічного транспорту (локомотиви, вагони і вагонетки) [26].

Аналіз таблиці 4.1 вказує на те, що категорія важкості праці – середня. Категорія напруженості праці – помірно-напружена. Льготи – пенсія за списком № 2, додаткова відпустка 7 днів, молоко.

#### 4.2 Заходи захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

На ділянці прокатного стану, внаслідок роботи основного і допоміжного устаткування, виникає підвищений рівень шуму.

Прокатний стан з усім допоміжним обладнанням розміщений так, що не створюються зворотні і перехресні вантажопотоки. Зміна валків і ремонт здійснюється за допомогою мостових кранів. Всі вантажно-розвантажувальні роботи виконуються згідно [27]. Для доступу до механізмів, розміщених над робочими клітками стану, встановлені спеціальні майданчики, огорожені перилами, доступ до яких забезпечується похилими сходами.

Категорія приміщення відповідно до [28] особливо небезпечна – хімічно активне середовище, де за умови виробництва постійно або довгий час утримуються пари і газу.

Управління двигунами прокатного стану здійснюється дистанційно з пульта керування. Двигуни приводу прокатного стану обладнані системою електродинамічного гальмування з аварійним відключенням з пульта управління і з робочих місць.

Згідно [29] для металургійних підприємств з виплавою сталі більше 1000000 тон на рік призначається санітарно-захисна зона в 1000 м – клас I. Щодо житлового селища приміщення підприємства розміщені з підвітряного боку до

вітропереважаючого напрямку, аналогічно розміщені будівлі цехів з шкідливими виділеннями по відношенню до інших будівель.

Згідно [30] для категорій робіт середньої важкості в холодний і перехідний період року температура в робочому приміщенні 18-20, відносна вологість 60-40 %, швидкість переміщення повітря 0,2; в теплий період року температура приміщення 21-23, відносна вологість 60-40 %, швидкість переміщення повітря 0,3. На постах управління та майстерень з ремонту вальниць передбачена штучна вентиляція – загальна та місцева.

Ртутні випрямлячі розміщені в ізольованому від машинного залу приміщенні, обладнаному системою припливно-витяжної вентиляції, що забезпечує вміст парів ртуті в повітрі не вище 0,01 мг/м. У приміщенні ртутних випрямлячів встановлені блокувальні пристрої, що виключають доступ до випрямлячів при їх роботі.

Забезпечення вибухобезпеки виконано відповідно до [31] цех відносимо до класу В- 1а за правилами конструкції електроустановок - приміщення в яких при нормальній експлуатації не утворюється вибухонебезпечні суміші, але це можливо при аваріях і поломки. Для транспортування газу до печей відпалу проведено газопровід з металевих труб, всі з'єднання якого для забезпечення герметичності виконані звареними. Газопровід встановлений на опорах і естакадах з вогнетривких матеріалів. Газопровід знаходиться під тиском не нижче 490 Па. Для відключення газу і регуляції його подачі встановлені перекриваючі пристрої та регулюючі прилади, пов'язані з системою автоматичного регулювання теплової роботи нагрівальних пристроїв.

Викид повітря відкачуваного витяжною вентиляцією проводиться вище світла аераційних ліхтарів. Повітря, перед викидом в атмосферу підлягає очищенню самоочищаються сітчастих фільтрах до вмісту в них шкідливих речовин не перевищуючи вимоги, а в повітрі входить всередину приміщення через приймальні отвори систем вентиляції не перевищує 30 % гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин в зоні виробничих приміщень. Подача зовнішнього повітря на одного працюючого в обов'язку не менше.



Роботи, що виконуються виробничим персоналом в прокатному цеху, відносяться до III розряду зорової роботи при тонколистової прокатці і різанні. Мінімальна освітленість робочих поверхонь при штучному освітленні 300 лк (контраст об'єкта з фоном середній, освітлення штучне загальне) [32].

У приміщеннях маслопідвалів, підвалів машинних вузлів, освітленість 30 лк і застосовуються тільки лампи розжарювання. Передбачено аварійне освітлення на випадок виходу з ладу робочого освітлення, встановлене на постах і пультах управління, в прокатному стані, в пунктах управління системою водопостачання вентиляції, маслопідвалах. Найменша освітленість робочих поверхонь, які потрібно обслуговувати при аварійному режимі – 2 лк. Аварійне освітлення для евакуації персоналу 0,5 лк на підлозі основних проходів.

### 4.3 Технічні рішення по гігієні праці та виробничій санітарії

#### 4.3.1 Мікроклімат

Під вентиляцією розуміють систему заходів і обладнань, призначених для забезпечення на робочих місцях, у робітників, що їй обслуговується зонах приміщень метеорологічних умов і чистоти повітряного середовища. Залежно від способу переміщення повітря розрізняють природню й механічну вентиляцію. Для усунення осідання пилу в приміщенні, зменшуючи його кількість у повітрі, усе встаткування закрито парасолями (витяжна вентиляція), з'єднаними за допомогою повітреводів з обладнаннями для очищення повітря, що видаляється.

Також у прольоті металургійної ділянки використовують природню вентиляцію повітря. У такому виді вентиляції повітря надходить і видаляється через вікна, двері, ворота, ліхтарі.

Опалення побутових приміщень здійснюється за допомогою панелей (батарей) у яких як теплоносії використовують пару. Опалення побутових приміщень здійснюється від цеху тепловодопостачання.

Ефективним засобом забезпечення необхідних гігієнічних якостей повітря, що сприяють нормальній роботі, і відповідних до вимог БНіП передбачена вентиляція деяких робочих місць. Норми мікроклімату на постійних робочих місцях зазначено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Нормативні допустимі параметри мікроклімату [30]

Категорія робіт	Температура повітря у приміщеннях, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с	Темпер. повітря для непостійних робочих, °С
Середня 2б (теплий період року)	27/16	75 при 25°С	0,4	29/15
Важка 3б (теплий період року)	26/15	75 при 24°С	0,5	28/13
Середня 2б (холодний період року)	21/15	75	0,4	23/13
Важка 3б (холодний період року)	19/13	75	0,5	20/12

#### 4.3.2 Освітлення виробничих приміщень

У цеху використовується комбіноване освітлення: у світлий час доби – природне, а в темний і перехідний – штучне. Природне освітлення здійснюється через бічні скляні отвори і верхні ліхтарі.

Штучна освітленість характеризується VII розрядом зорової роботи (робота з світяться матеріалами і виробами в гарячих цехах) [32]. При використанні газорозрядних ламп типу ДРЛ 400 зі світильниками типу Астра-3, рівень освітленості становить 200 лк.

#### 4.3.3 Виробничий шум, виробнича вібрація

По походженню шум буває механічний, що виникає в результаті тертя вузлів і деталей механізмів і машин на холостому й робочому ході; аерогідродинамічній, що виникає при більших швидкостях руху потоків повітря, газів, рідин; імпульсний, що виникає в результаті зіткнення твердих тіл; термічний, генеруючий при згорянні газоподібного палива в горілочних і форсуночних приладах.

Шум різної інтенсивності й частоти, довгостроково впливаючи на працюючих, приводить до зниження гостроти слуху, а згодом до розвитку професійної глухоти. Шум також негативно впливає на фізіологічні функції організму людини. Будучи зовнішнім подразником, який сприймається й аналізується корою головного мозку, шум приводить до перенапруги центральної нервової системи й розладу функцій внутрішніх органів і систем людини [33].

Для зменшення шуму в джерелі його утворення заміняють ударні взаємодії деталей тихими, зворотно-поступальні рухи — обертальними; демпфірують коливання сумісноударних деталей і окремих вузлів агрегату шляхом зчленування їх з матеріалами, що мають велике внутрішнє тертя: гумою, пробкою, бітумом, бітумними картонами, повстю, азбестом і ін.; зменшують інтенсивність вібрацій деталей агрегатів шляхом облицювання цих поверхонь.

Для ослаблення вібрацій усі агрегати, що створюють вібрації (робочі машини, двигуни, вентилятори й т.п.), установлюють на самостійних фундаментах, віброізолюючих від підлоги й інших конструкцій будинків, або на спеціально розрахованих амортизаторах зі сталевих пружин або пружних

матеріалів. Для ослаблення передачі вібрацій і шуму по повітреводам і трубопроводам приєднання їх до вентиляторів і насосам проводиться за допомогою гнучкої вставки із прогумованої тканини або гумового патрубка [34].

#### 4.4 Техногенна безпека

##### 4.4.1 Електробезпека

Тяжкість ураження електричним струмом залежить від цілого ряду чинників: значення сили струму, електричного опору тіла людини і тривалості протікання через нього струму, шляху струму, роду і частоти струму, індивідуальних властивостей людини і умов навколишнього середовища,

Електричний опір організму людини падає при збільшенні струму і тривалості його проходження внаслідок посилення місцевого нагріву шкіри, що приводить до розширення судин, а, отже, до посилення постачання цієї ділянки кров'ю і збільшення виділення поту.

Крім того, є особливо уразливі ділянки тіла до дії електричного струму. Це так звані акупунктурні зони (область обличчя, долоні і ін) площею 2-3 мм<sup>2</sup>. Їх електричний опір завжди менше електричного опору зон, що лежать поза акупунктурних зон.

Тривалість протікання струму через тіло людини дуже сильно впливає на результат поразки в зв'язку з тим, що з плином часу падає опір шкіри людини, більш імовірним стає ураження серця.

Індивідуальні властивості людини та стан навколишнього середовища також роблять помітний вплив на тяжкість ураження.

Згідно з вимогами нормативних документів, безпека електроустановок забезпечується наступними основними заходами:

- 1) недоступністю струмоведучих частин;
- 2) належної, а в окремих випадках підвищену (подвійний) ізоляцією;

- 3) заземленням або занулення корпусів електроустаткування і елементів електроустановок, які можуть опинитися під напругою;
- 4) надійним і швидкодіючим автоматичним захисним відключенням;
- 5) застосуванням знижених напруг (42 В і нижче) для живлення переносних струмоприймачів;
- 6) захисним розділенням ланцюгів;
- 7) блокуванням, попереджувальною сигналізацією, написами і плакатами;
- 8) застосуванням захисних засобів і пристосувань;
- 9) проведенням планово-попереджувальних ремонтів і профілактичних випробувань електрообладнання, апаратів і мереж, що знаходяться в експлуатації.

#### 4.4.2 Заходи пожежної безпеки

Відповідно до [31, 35] цех відноситься до категорії Г за пожежною небезпекою. Виходячи з категорії Г за пожежною небезпекою ступінь вогнестійкості будинку II. Найбільш допустима відстань від найвіддаленішого робочого місця до евакуаційного виходу не обмежується. Забезпечення безпечної евакуації досягається використанням двох виходів автомобільних воріт. Для захисту будівлі від блискавки застосовані стрижневі громовідводи.

У будинках II ступеня вогнестійкості, виробництва категорії Г незалежно від об'єму будівлі, а також у приміщеннях, що складаються з вогнетривких матеріалів, внутрішнє пожежне водозабезпечення не передбачено.

Роботи з ремонту підшипникових вузлів, в маслопідвалах і трубопроводах виконані на вимогу [36]. Цех забезпечується засобами первинного пожежегасіння. Для виробничого приміщення категорії Г за пожежною небезпекою з передбачуваними класами пожеж В, С і Е на кожні площі передбачені: вогнегасники ВП - 5 - 4 одиниці, ВВ - 5 - 2 одиниці.

Відстань від можливого місця пожежі до місця розміщення вогнегасника не перевищує 40 м

До первинних засобів пожежогасіння на комбінаті відносять: вогнегасники, пожежний інвентар ( покривало з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати); пожежний інвентар ( багри , ломи , сокири тощо) .

Цех має внутрішній протипожежний водогін з пожежними кранами і рукавами, а також і розташовує пожежними щитами , які встановлені на ділянках цеху, в комплект яких входять:

- вогнегасники ВП- 2 шт ,
- ящик з піском 1 шт ,
- ломи 2 шт, багри 3 шт. ,
- лопати 2 шт.

У складських приміщеннях стоять бочки з водою місткістю 0,2 м<sup>3</sup> з укомплектованими відрами місткістю 0,008 м<sup>3</sup>.

#### 4.4.3 Виробничі випромінювання

Температурний режим у виробничих приміщеннях або в ізольованих його частинах залежить від величини тепловиділень устаткування, агрегатів, нагрітих напівфабрикатів і готової продукції, а також від сонячної радіації, що проникає в цех через відкриті й заклені прорізи. Частина тепла видаляється назовні, а решта, так зване явне або надлишкове тепло, нагріває повітря робочих приміщень.

Робітники цехів металургійних підприємств постійно або періодично зазнають впливу інфрачервоного випромінювання. Інтенсивність опромінення на робочих місцях залежно від розмірів і температури джерел випромінювання й відстані від нього змінюється в широких межах.

Для поліпшення умов праці в цехах і захисту працюючих від теплового впливу застосовують наступні способи:

- теплоізоляцію поверхонь, що випромінюють тепло, за допомогою водоохолоджувальних екранів, рам, щитів, завіс і ін.; теплоізоляцію й

охолодження робочих місць (постів керування, кабін машиністів кранів і ін.) [37];

- природню й механічну вентиляцію;
- водороспилення на робочих місцях і в приточних віконних прорізах;
- спецодяг і індивідуальні захисні пристосування – щитки, екрани, окуляри, світлофільтри;
- раціональну організацію режиму праці й відпочинку.

#### 4.4.4 Ймовірність аварій та заходи щодо їх ліквідації

План ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС) – нормативний документ, який є у кожному цеху будь-якого заводу, що є первинним документом який треба наслідувати у разі виникнення небезпеки будь-якого роду [38].

Прокатне виробництво характеризується складністю і різноманітністю механічного обладнання, у зв'язку з чим виробничому процесі в основному мають місце небезпечні фізичні фактори: фізико-хімічні фактори є основними тільки при нагріванні металу перед прокаткою, вогневої зачистки поверхні прокату, термообробці, холодної прокатки та нанесення захисних покриттів.

Основними небезпечними факторами при прокатці є порушення режиму прокатки, що викликаються руйнуванням оброблюваного металу, поломками або несправністю з'єднувальних пристроїв, валків, натискних механізмів, напрямних проводок та ін.

Значно підвищує фактор небезпеки виробничого процесу використання в потоці машин вогневої зачистки металу, разом з тим цей процес дуже впливає на поліпшення умов праці, сприяючи ліквідації шкідливих і небезпечних факторів на інших стадіях процесу. Під час вогневої зачистки металу можливий вибух газів.

Використання як палива доменного, коксового та природного газів нагрівальних пристроїв цехів холодної прокатки пов'язане з небезпекою утворення вибухонебезпечних сумішей і їх займання. Джерелами займання

вибухової суміші в цеху є відкрите полум'я, електрична скра, нагрітого металу т.д.

Найчастіше спостерігаються вибухи в лежаках нагрівальних колодязів. Якщо температура в чані вище  $500^{\circ}\text{C}$  вибухова суміш не утворюється, так як при цій температурі газ згорає. При температурі нижче  $500^{\circ}\text{C}$  і наявності в лежаках повітря утворюється вибухова суміш, яка при подальшому надходженні в насадку регенератора зривається.

Вибухи в регенераторних колодязях при перекидуванні клапанів запобігають усуненням підсосів повітря в регенератори і борова. Не допускається одночасний перекид газового і повітряного клапанів.

При експлуатації прокатних станів можливі наступні небезпеки: захоплення валками або обертовими шпинделями та з'єднувальними муфтами частин одягу і кінцівок вальцювальника і механічні пошкодження частинами металу. Всі з'єднувальні шпинделі, муфти корінні вали прокатних станів огорожують з боків ґратчастими щитами або кожухами.

При холодній прокатці листової сталі можливі обриви штаби як на заправній, так і на робочій швидкості стана. Відлітаючі шматки листової сталі мають високу швидкість розльоту і можуть вразити персонал стану. Для попередження обриву смуг при холодній прокатки слід підвищувати якість пластичної властивості катаної листової сталі, яка використовується для підкату.

#### 4.5 Розробка повітряної завіси цехових воріт

Для створення нормального повітрообміну в стінах цеху передбачені для природної вентиляції три ряди отворів:

- 1 ряд - на рівні 1,5 м від підлоги;
- 2 ряд - на рівні 4,5 м від підлоги;
- 3 ряд - на рівні 8,5 м від підлоги.

На стані передбачена місцева витяжна вентиляція у вигляді витяжних зонтів. Місцева припливна вентиляція у вигляді повітряних душів на робочих



містах, вальцювальника і оператора, також повітряна завіса присутня на транспортних воротах.

Для опалення цеху в зимовий час року вздовж капітальних стін по периметру цеху, в кімнатах відпочинку та приймання їжі, на ділянках встановлено опалення. Для обігріву та перемішування повітря встановлені калорифери типу СТД - 300, 90 штук. На ділянках цеху вони розташовані так, що струмінь повітря безпосередньо спрямований на робоче місце. Для огороження припливу холодного повітря автотранспортні та залізничні ворота оснащені повітряними системами для створення завіси з теплого повітря.

Повітряна завіса являє собою плоский струмінь повітря, який спрямовується зі спеціальної насадки під деяким кутом до площини отвору з однієї або двох сторін. У прорізів воріт виробничих приміщень повітряна завіса встановлюється з метою зменшення надходження зовнішнього повітря, а у прорізів технологічного обладнання для запобігання надходження шкідливих речовин в приміщення. Повітряні завіси необхідно встановлювати:

а) у різного роду отворів (воріт, дверей) опалювальних приміщень при розрахунковій температурі холодного періоду року мінус  $15^{\circ}\text{C}$  і нижче при відсутності можливості пристрою шлюзів і тамбурів;

б) біля воріт, що відкриваються частіше п'яти разів або не менше ніж на 40 хвилин у зміну;

в) у зовнішніх дверей приміщень будь-якого призначення з кондиціонуванням повітря;

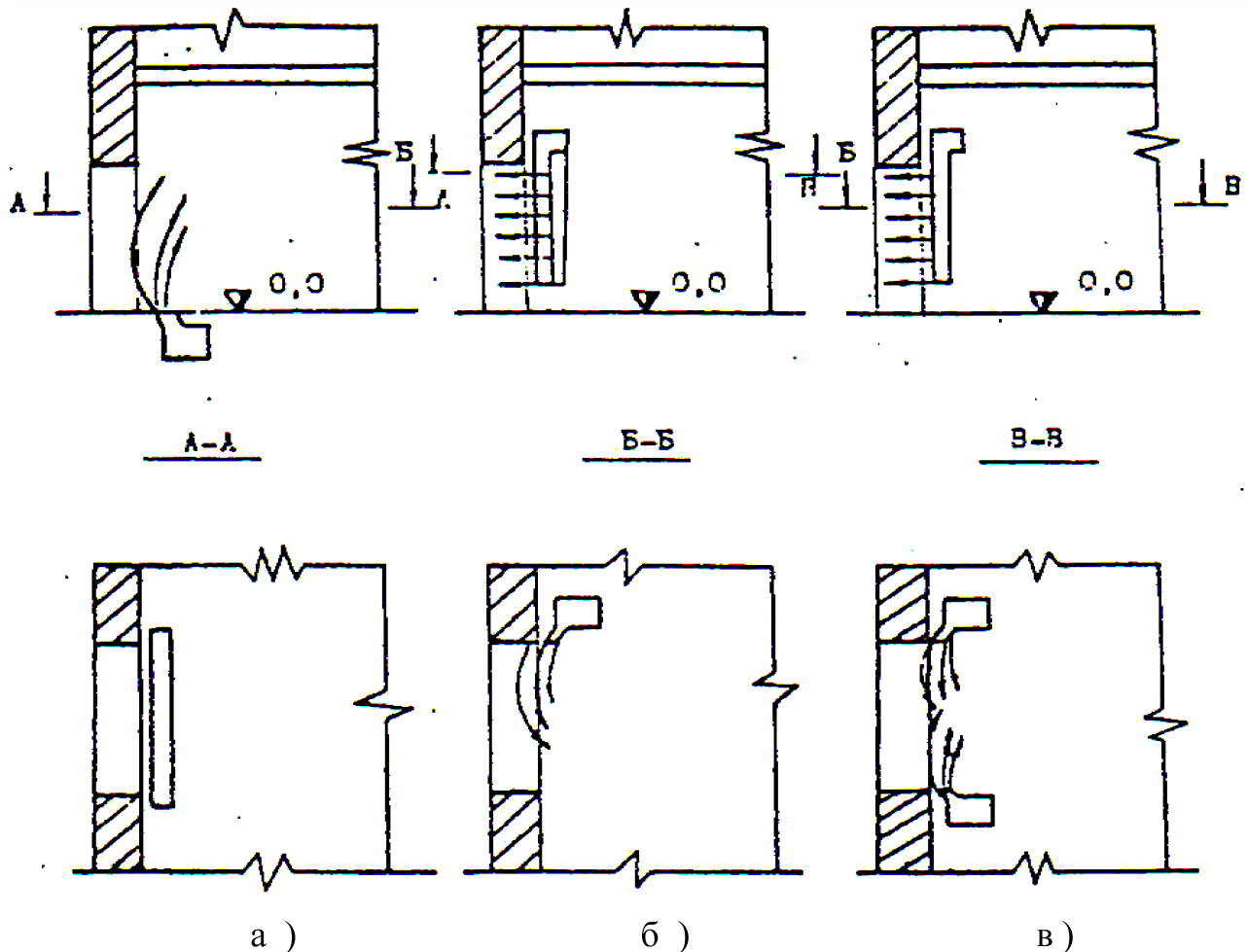
г) в тамбурах і шлюзах виробничих приміщень зі значним виділенням вологи або при розміщенні постійних робочих місць поблизу зовнішніх дверей.

Швидкість виходу повітря з щілин повітряних завіс не повинна перевищувати:

- у зовнішніх дверей –  $8\text{ м / с}$ ,
- біля воріт і технологічних прорізів –  $25\text{ м / с}$ .

Температуру повітря, що підігривається повітряними завісами (рисунок 4.1), рекомендується приймати не більше  $50^{\circ}\text{C}$  для зовнішніх дверей і  $70^{\circ}\text{C}$  для

воріт і технологічних прорізів. При цьому температура повітря на постійних робочих місцях повинна бути не більше  $14^{\circ}\text{C}$  при легкій фізичній роботі,  $12^{\circ}\text{C}$  - при роботі середньої тяжкості і  $8^{\circ}\text{C}$  - при важкій роботі.



а - з нижньою подачею повітря; б - бічна з одного боку; в - бічна з двох сторін

Рисунок 4.1 – Схеми повітряних завіс

При відсутності постійних робочих місць поблизу воріт, дверей, технологічних прорізів допускається зниження температури повітря в цій зоні при їх відкриванні до  $5^{\circ}\text{C}$ . Залежно від напрямку струменя, повітряні завіси можуть бути з нижньою подачею (рисунок 4.1 а), бічний з одного боку (рисунок 4.1 б) і з двох сторін (рисунок 4.1 в).

Завіси з нижньою подачею рекомендується до застосування, коли неприпустимо зниження температури в приміщенні поблизу прорізів. Схема на рисунку б, застосовується для прорізів невеликої ширини, схема на рисунку в, за умови відсутності шкідливих парів і газів у повітрі верхньої зони.

Завіса розраховується без урахування вітрового тиску.

Кількість повітря, що подається в сопла завіси, за відсутності в цеху механічного припливу і витяжки або при їх балансі визначається за формулою:

$$G_{зав.} = 1,42 \cdot q M_{пр} \cdot F_{пр} \sqrt{\Delta P \rho_{ср}}, \quad (4.1)$$

де  $q = G_{зав} / G_{пр}$ . – відношення витрати повітря, що подається вентилятором в сопло завіси, до витрати повітря, що проходить через проріз;

$M_{пр} = 0,25$  – коефіцієнт витрати;

$F_{пр} = 20 \text{ м}^2$  – площа відкритого прорізу;

$\Delta P$  – різниця тисків повітря ззовні і всередині приміщень на рівні отвору оснащеного завісою, визначається за формулою;

$\rho_{ср}$  – площа маси повітря завіси і зовнішнього повітря при температурі, що дорівнює нормованій, в районі воріт –  $1,26 \text{ кг/м}^3$ .

Розрахункова різниця тисків визначається за формулою:

$$\Delta P = h(\rho_{н} - \rho_{в})g,$$

$\rho_{н} = 1,29 \text{ кг/м}^3$  – щільність зовнішнього повітря при ( $-15^\circ \text{ C}$ );

$\rho_{в} = 0,126 \text{ МПа}$  – площа повітря в приміщенні при температурі ( $+14^\circ \text{ C}$ ).

Підставивши числові значення отримаємо:

$$\Delta P = 2,5(1,29 - 1,26) \cdot 0,65 = 0,049 \text{ Па}$$

$$G_{\text{зав}} = 1,42 \cdot 0,65 \cdot 0,25 \cdot 20 \sqrt{0,049 \cdot 1,26} = 1,147 \text{ кг /с}$$

Температура повітря, що подається в сопла завіси, визначається за формулою:

$$t_{\text{зав}} = \frac{t_{\text{см}} - t_{\text{н}}}{q(1 - \frac{Q}{Q_1})} + t_{\text{н}}, \quad (4.2)$$

де  $t_{\text{см}} = 14 \text{ }^\circ\text{C}$  – температура суміші повітря, що проходить через відкритий отвір;

$t_{\text{н}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  – зовнішня температура для холодного періоду;

$\frac{Q}{Q_1} = 0,125$  – відношення якості теплоти, що подається з повітрям, що

йде через відкритий проріз назовні  $Q$  до теплової потужності завіси.

Підставивши в числове значення, отримаємо:

$$t_{\text{зав}} = \frac{14 + 15}{0,65 \cdot (1 - 0,125)} - 15 = 36^\circ\text{C}$$

Теплова потужність колориферів повітряної завіси визначається за формулою:

$$Q_{\text{зав}} = G_{\text{зав}} \cdot (t_{\text{зав}} - t_{\text{нач}}),$$

де  $t_{\text{нач}} = 14 \text{ }^\circ\text{C}$  – температура повітря, що забирається вентилятором на завісу.

Підставивши числові значення отримаємо:

$$Q_{\text{зав}} = 1,13 (36 - 14) = 24,86 \text{ кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C/с}$$

Приймаємо ширину щілини  $b = 0,15\text{ м}$ , тоді  $F_{\text{щ}} = 0,15 \cdot 5 = 0,75\text{ м}^2$

Швидкість виходу повітря з щілини визначаємо за формулою:

$$V_{\text{щ}} = Q_{\text{зав}} / (n_{\text{щ}} \cdot h_{\text{щ}} \cdot \beta_{\text{зав}}),$$

де  $n_{\text{щ}} = 2$  – число роздаючих повітроводів,

$\beta_{\text{зав}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$  – густина повітря;

$h_{\text{щ}} = 2,5 \text{ м}$  – відстань по вертикалі від центру отвору до нейтральної зони;

$$V_{\text{щ}} = 24,86 / (2 \cdot 2,5 \cdot 1,2) = 4,14 \text{ м/с}.$$

З виконаних розрахунків видно, що повітряна завіса встановлена з метою зменшення надходження зовнішнього повітря. У разі виявлених факторів, які так чи інакше впливають на здоров'я людини, необхідно механізувати й забезпечити робоче місце обслуговуючого персоналу. Усунути попадання хімічних речовин в атмосферу на робочих майданчиках.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Ознайомлення з технологією й устаткуванням прокатного цеху показало, що одним з «вузьких» місць цеху є недостатньо ефективна схема зупинки зливковоза перед приймальним рольгангом.
2. На підставі наведеного огляду й аналізу технічної й патентної літератури встановлено, що для доставки зливків з печей на приймальний рольганг використовуються різні конструкції зливковозів, які мають ті ж самі недоліки, що й устаткування ПАТ «Запоріжсталь».
3. В результаті модернізації схеми зупинки зливковоза перед приймальним рольгангом будуть досягнуті наступні цілі – збільшення продуктивності, терміну служби, та зменшення незапланованих простоїв.
4. В ході теоретичних досліджень встановлено, що оптимальним обладнанням для зупинки зливковоза перед приймальним обладнанням є упори сильфонного типу;
5. На підставі проведених досліджень можна стверджувати, що найбільш напруженим режимом є гальмування зливковоза при переміщенні двох зливків типу 4А, згідно цього режиму потрібно виконувати настройку роботи гідравлічної схеми запропонованого сильфонного упору.
6. Розроблена математична модель руху зливковоза на ділянці гальмування створює передумови для автоматизації процесу гальмування зливковоза згідно попередньо введеної технологічної схеми прокатки зливків.
7. Результати роботи можуть бути використані не тільки в доменному цеху ПАТ «Запоріжсталь», але й на інших підприємствах чорної й кольорової металургії.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ніколаєв В.О. Обтискне та сортове виробництво прокату: навч. посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 2015. 128 с.
2. Штода М. М. Основи калібровки валків : конспект лекцій. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016 р. 88 с.
3. Технологія прокатки – металургія чорних металів. *Металобаза «УМП»*  
URL: <https://ump-m.com/dovidnik/tehnologiya-prokatky-metalurgiya-chornyh-metaliv.html> (дата звернення: 25.12.2022).
4. Доброносів Ю. К. Механічне обладнання металургійних заводів : конспект лекцій. Краматорськ : Донбас. держ. машинобуд. акад., 2019. 82 с.
5. Ф. К. Іванченко, В. М. Гребеник, В. І. Ширяєв. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів. К: Вища шк., 1995. 455 с.
6. Федьков Г. О., Хімін В. М. Механічне устаткування металургійних заводів. Розділ «допоміжне обладнання прокатних цехів»: методичні вказівки Запоріжжя: ЗДІА, 2007. 93 с.
7. Федьков Г. О., Жук А. Я., Хімін В. М. Механічне устаткування металургійних заводів. Розділ «основне обладнання прокатних цехів» : учбово-методичний посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 2006. 91 с.
8. Рудь Ю. С. Основи конструювання машин : підручник. 2-ге вид. Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д.О., 2015. 492 с.
9. Мандрус В. І., Лещій Н. П., Звягін В. М. Машинобудівна гідравліка. Задачі та приклади розрахунків. Львів : Світ, 1995. 264 с.
10. Оніщенко О. Г., Дураченко Г. Ф. Гідро- та пневмоприводи. Полтава : Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2009. 202 с.
11. Мархель І. І. Деталі машин : навч. посіб. К. : Алерта, 2005. 368 с.
12. Кондратюк С.Ю. Основи конструювання: посібник. Черкаси: КНЗ «ЧОПОПП ЧОР», 2018. 38 с.

- 13.Вергунов С. В., Вергунова Н. С., Звенігородський Л. А. Основи формоутворення: навч. посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 124 с.
- 14.Павленко І.В. Теорія пластин і оболонок. Суми: Видавництво СумДУ, 2010. 67 с.
- 15.Трач В. М., Подворний А. В. Опір матеріалів (спеціальний курс), теорія пружності та пластичності : підручник. Київ : Каравела, 2016. 434 с.
- 16.Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: підручник. 2–ге вид. – Львів: афіша, 2003. 560 с.
- 17.Бар'яхтар В. Г. Фізика. 10 клас. Академічний рівень: Підручник для загальноосвіт. навч. закладів / В. Г. Бар'яхтар. – Х.: Видавництво Ранок, 2010. – 256 с.
18. Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід. Київ : Інкос, 2006. 616 с.
- 19.Токар А. М. Теоретична механіка. Динаміка : Методи й задачі: Навч. посіб. для студентів техн. спец. вузів. Київ : Либідь, 2006. 440 с.
- 20.Лепетова Г. Л., Бейгул О. О. Методи теорії пружності для дослідження та розрахунків металургійного обладнання. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2013. 188 с.
- 21.Павловський М. А. Теоретична механіка : Статика абсолютно твердого тіла. Кінематика. Динаміка, Основи аналіт. механіки. Підруч. для студ. вищ. навч. закл. Київ : Техніка, 2002. 512 с.
- 22.Шевченко І. А. Динаміка та міцність машин : метод. вказівки до лаб. робіт. Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 60 с.
- 23.Шевченко І. А. Теорія механізмів, машин та деталей машин : лекції. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 120 с.
- 24.Шевченко І. А., Васильченко Т. О. Теорія механізмів і машин : навч.–метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 216 с.



- 25.Шубіна О. П. Теорія механізмів і машин. Структура, кінематика та динаміка важільних і зубчастих механізмів : метод. посіб. для вивчення курсу та самост. роботи. Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 112 с.
- 26.Охорона праці на гірничо–металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.
- 27.НПАОП 0.00–1.75–15. Правила охорони праці під час вантажно–розвантажувальних робіт. На заміну НПАОП 63.11–7.04–84, НПАОП 63.1–1.06–85 ; чинний від 2015–03–03. Вид. офіц. 2015.
28. Правила улаштування електроустановок. URL: <https://mev.gov.ua/storinka/pravyyla-ulashtuvannya-elektroustanovok> (дата звернення: 03.07.2023).
- 29.ДСП 3.3.1.038–99. Підприємства чорної металургії. Чинний від 1999–12–01. Вид. офіц.
- 30.ДСН 3.3.6.042–99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
- 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](http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/32.1.%20ДБН%20В.1.1-7~2016.%20Пожежна%20безпека%20об'єктів%20будівни.pdf).
- 32.ДБН В.2.5–28–2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс] // Мінбуд України. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/ДБН–В.2.5–28–2006.pdf](http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/ДБН-В.2.5-28-2006.pdf).
- 33.ДСН 3.3.6.037–99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Чинний від 1999–12–01. Вид. офіц.
- 34.Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / Е. О. Геврик. – К: Ельга, Ніка–центр, 2003. – 280 с.

- 35.СОУ 40.1–21677681–60:2012. Протипожежний захист машзалів електростанцій. Правила проектування та експлуатації протипожежного устаткування. На заміну НАПБ 05.030–2001 (ГКД 343.001.003.001–2001) ; чинний від 2012–03–29. Вид. офіц.
- 36.НАПБ А.01.001–2014. Правила пожежної безпеки в Україні. На заміну НАПБ А.01.001–2004 Правила пожежної безпеки в Україні ; чинний від 2023–04–07. Вид. офіц. 2014.
- 37.ДСТУ 2894–94. Пристрої екранувальні для захисту від інфрачервоного випромінювання. Параметри та загальні технічні вимоги. Чинний від 1996–01–01. Вид. офіц. 1994.
- 38.Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч.посіб. / К. Н. Ткачук. та ін. – К: Основа, 2009. – 360 с.
- 39.Румянцев В. Р. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та техногенна безпека» у дипломних роботах (проектах) для студентів ЗДІА спеціальностей МЧМ, МБ та інші / В. Р. Румянцев, І. О. Ткаліч. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 16 с.

## СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Форма т
1	Зливковоз	2	A1
2	Упор зливковоза пружинний	1	A1
3	Упор зливковоза гідравлічний	1	A1
4	Сильфон	1	A1
5	Розробка математичної моделі руху зливковоза на ділянці гальмування перед приймальним рольгангом	1	A1
6	Результати дослідження зупинки зливковоза при різних режимах навантаження	1	A1
7	Повітряна завіса	1	A1

## ДОДАТКИ