

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 БАКАЛАВРА**

На тему Удосконалення вузла опорних роликів тринадцятироlikової листопрямильної машини в машини в умовах прокатного цеху ПАТ «Запоріжсталь»

Виконав: студент групи 6.1331-с

Починок А. Ю.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

спеціалізація

\_\_\_\_\_ (шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

133.00.12 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

Керівник Васильченко Т.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2024 року

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти магістр

(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма 133.00.12 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедру А.О. Власов

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**Завдання**

до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

Починка Артема Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема бакалаврської роботи: Удосконалення вузла опорних роликів тринадцятироlikової листоправильної машини в машини в умовах прокатного цеху ПАТ «Запоріжсталь»  
керівник бакалаврської роботи викладач Васильченко Т.О. \_\_\_\_\_  
затвердені наказом вищого навчального закладу від “26” грудня 2023 року № 2215-с.
2. Строк подання студентом магістерської роботи 14 червня 2024 року.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи техніко-економічні показники роботи цеху холодної прокатки \_\_\_\_\_.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Загальна частина; 2. Спеціальна частина; 3. Експлуатаційна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека. Загальні висновки та рекомендації \_\_\_\_\_.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Складальні креслення та загального виду машини – 2 аркуша А1; 2. Креслення вузлів – 2 аркуша А1; 3. Монтажне креслення – 1 аркуш А1; 4. Пост керування (охорона праці) – 1 аркуш А1.



6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Васильченко Т.О., доцент		
2	Васильченко Т.О., доцент		
3	Васильченко Т.О., доцент		
4	Васильченко Т.О., доцент		

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проектування	13.05.2024 – 20.05.2024	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проектування	21.05.2024 – 27.05.2024	
3	Виконання теоретичної частини проекту	26.05.2024 – 29.05.2024	
4	Виконання графічної частини проекту	30.05.2024 – 05.06.2024	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	06.06.2024 – 10.06.2024	
6	Перевірка проекту консультантами	11.06.2024 – 13.06.2024	
7	Попередній захист проекту	14.06.2024	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проекту у ДЕК	Згідно з графіком	

Студент \_\_\_\_\_  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник бакалаврської роботи \_\_\_\_\_  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Починок А.Ю. Удосконалення вузла опорних роликів тринадцятироlikової листопрямуючої машини в машини в умовах прокатного цеху ПАТ «Запоріжсталь»

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

Установлено, що оптимальним устаткуванням для правлення металу в лінії АПР є тринадцятироlikова правильна машина, тому був проведений розрахунок найбільш навантажених вузлів правильної машини і підібраний електродвигун.

Ключові слова: РОЛИК, КЛІТЬ, РЕДУКТОР, ЗУБЧАТЕ КОЛЕСО, ПРИВОД, ФУНДАМЕНТ.

## ABSTRACT

Pochinok A. Yu. Improvement of the Assembly of the Support Rollers of the Thirteen Roller Sheet Straightening Machine in the Conditions of the Rolling Shop of Zaporizhstal PJSC

Qualifying thesis for obtaining a bachelor's degree in higher education, specialty 133 - Industrial engineering, adviser T.O. Vasilchenko. Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2024.

It was established that the optimal equipment for straightening metal in the APR line is a thirteen-roller leveling machine, so the calculation of the most loaded units of the straightening machine was carried out and an electric motor was selected.

Keywords: ROLLER, STAND, GEARBOX, GEAR, DRIVE, FOUNDATION.

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	8
1.1. Загальна характеристика підприємства	8
1.2. Перспективи розвитку підприємства	10
1.3. Цех гарячої прокатки тонкого листа	12
1.3.1. Характеристика основних виробів цеху та вантажопотоки	12
Геометричні розміри виробленого прокату, мм	13
1.3.2. Технологія виробництва листа в ЦГПТЛ	14
1.3.3. Основне й допоміжне механічне устаткування цеху	16
Тиск, що допускається, на ножі, кг	18
1.4. “Вузькі” місця ЦГПТЛ	19
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	21
2.1. Огляд й аналіз конструкцій машин для правлення штаби	21
2.1.2. Листопрямильна машина 7×50×2600 з верхньою траверсою	23
2.1.3. Листопрямильна семи роликів машина 32 x 2600 для виправлення товстої штаби після її термообробки	25
Рисунок 2.2 – Листопрямильна роликів машина 32×2600 для виправлення товстої штаби після її термообробки (позиції наведено в тексті)	27
2.1.4. Листопрямильна машина 17×155×2800	27
2.1.5. Сортопрямильні машини	29
2.2. Місце правильної машини в технологічному процесі та її технічні характеристики	30
2.3. Опис проекту модернізації правильної машини з приводом	31
2.4. Розрахунок найбільш навантажених вузлів для виконання модернізації листопрямильної машини	32
2.4.1. Розрахунок потужності та вибір електродвигуна листопрямильної машини	32
2.4.2. Розрахунок круговинтового зубчастого зачеплення шестеренної кліти	42
2.4.3. Розрахунок зубчастого зачеплення шестеренної кліти на міцність	46
2.4.4. Розрахунок шестеренного валка на міцність	51
2.4.5. Розрахунок опорного ролика на міцність	56
2.4.6. Вибір муфти зі зрізними пальцями	62
3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА	65
3.1. Послідовність монтажу редуктора	65
3.2. Розрахунок стропів	65
3.2.1. Розрахунок стропів для строплення швидкохідного валу при монтажі редуктора	<b>Помилка!</b>
<b>Закладку не визначено.</b>	
3.2.2. Розрахунок стропів для строплення редуктора	68
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	74
4.1. Аналіз потенційних і шкідливих факторів виробничого середовища	74

	2
4.2 Опалення й вентиляція	75
4.3 Природне й штучне освітлення	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
4.4 Заходи пожежної безпеки	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
4.5 Шум і заходи захисту від шуму	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
ВИСНОВКИ	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	86
ДОДАТКИ	89

## ВСТУП

Модернізація обладнання у металургійній промисловості є одним із найважливіших напрямків підвищення ефективності виробничих процесів та якості кінцевої продукції. У сучасних умовах ринкової економіки підприємства повинні постійно вдосконалювати свої технологічні процеси та обладнання, щоб зберігати конкурентоспроможність і відповідати вимогам міжнародних стандартів.

У дипломній роботі розглядається питання модернізації 13 роликової правильної машини, яка є ключовим елементом у процесі виробництва високоякісних металевих виробів. Правильна машина використовується для виправлення деформацій металевих прутків та листів, що виникають у процесі прокатки. Від точності та ефективності її роботи залежить якість кінцевої продукції, а також економічні показники підприємства.

Актуальність даної теми полягає в необхідності підвищення продуктивності та точності роботи правильної машини, зменшення витрат на ремонт та обслуговування, а також у забезпеченні стабільної якості продукції. Модернізація обладнання дозволяє не лише підвищити технічні характеристики машини, але й знизити енергоспоживання та екологічний вплив виробничого процесу.

У вступі до дипломної роботи висвітлюються основні аспекти проблеми, мета та завдання дослідження, обґрунтовується вибір об'єкта дослідження та методи, які будуть використовуватися для досягнення поставлених цілей.

Основною метою дипломної роботи є розробка проекту модернізації 13 роликової правильної машини, яка дозволить підвищити ефективність її роботи та покращити якість виробленої продукції.

Метод дослідження об'єкту – аналіз аналогічного обладнання, аналітичні дослідження кінематичних і динамічних параметрів машини.

## 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1. Загальна характеристика підприємства

Публічне акціонерне товариство “Запорізький металургійний комбінат “Запоріжсталь” - одне з найбільш великих промислових підприємств України, продукція якого добре відома й користується попитом у споживачів на внутрішньому ринку й у багатьох країнах миру.

Комбінат «Запоріжсталь» створений на базі сировини Криворізького залізно-рудного басейну. Будівництво комбінату було почато в 1930 році на підставі рішення Верховної Ради народного господарства СРСР від 3 травня 1930 року й мало на меті забезпечення потреб машинобудівної промисловості, що бурхливо розвивається, листовим металом для виробництва автомобілів, тракторів, залізничних вагонів й іншої техніки.

16 листопада 1932 року був виданий перший чавун, а в 1935 році дала плавку перша мартенівська піч, а в 1935 році почав працювати слябінг. У наступні роки були побудовані й уведені в експлуатацію цеха для виробництва гарячекатаного й холоднокатаного листа.

Робота комбінату була перервана після нападу фашистської Німеччини.

18 серпня 1941 року робота комбінату була припинена, впродовж декількох місяців, в умовах Фронту, запоріжсталевці, проявляючи мужність і героїзм, демонтували й вивезли на схід все встаткування заводу.

За короткий період окупації Запоріжжя німецько-фашистські загарбники знищили завод дощенту.

У жовтні 1943 року відразу ж після звільнення від загарбників міста, відбувалось відновлення заводу.

Уже у вересні 1947 року завод відвантажив перший ешелон листової сталі автомобільним підприємствам міст Москви й Горького. Були



реконструйовані три доменні печі зі збільшенням їхнього обсягу, п'ять мартенівських печей.

В 1962 році почав працювати найбільший у Європі ливарний цех, що робить виливниці.

Комбінат «Запорожсталь» є одним з основних постачальників високоякісного листового металу для потреб машинобудування, поставляє економічні гнуті профілі, жерсть для потреб харчової промисловості.

Комбінат «Запоріжсталь» експортує свою продукцію в багато країн світу. Запорізький чавун, лист, виливниці охоче купують у Кореї, Індії, Пакистані, Туреччині, Англії, що розвиваються країни Близького Сходу й інші країни миру.

Комбінат робить високоякісний листовий прокат (гарячкатаний і холоднокатаний) товщиною 0,5-4,0 мм із вуглецевих, низьколегованих, легуваних і нержавіючих сталей.

Основними споживачами продукції комбінату є підприємства автомобільного, авіаційного, сільськогосподарського, транспортного машинобудування, виробники зварених труб, виробів побутової техніки й інших.

Комбінат «Запоріжсталь» складається з 8 основних й 56 допоміжних цехів у яких трудяться 14 тисяч чоловік. Щорічно підприємство робить 3,8 млн. тонн чавуну, 4,3 млн. тонн сталі й 3,7 млн. тонн прокату.

Основними цехами комбінату є:

- доменні;
- сталеливарний;
- прокатні.

Технологічну схему виробництва ПАТ «Запоріжсталь» показано на рисунку 1.1.

У червні 2012 р ПАТ «Запоріжсталь» увійшов до складу найбільшої на Україні компанії гірничо-металургійного комплексу «Метінвест». На протязі 5 років на комбінаті проведена масштабна модернізація виробництва: реконструйовані 2 агломашини, 2 доменні печі і побудований безперервно-

травильний агрегат №4 ЦХП-1, де першорядну увагу приділено вирішенню екологічних питань. В даний час ПАТ «Запоріжсталь» є самим передовим серед підрозділів в компанії і найбільшим платником податків України. За підсумками 2015 року комбінат перерахував в бюджет усіх рівнів 2,5 мільярда гривень

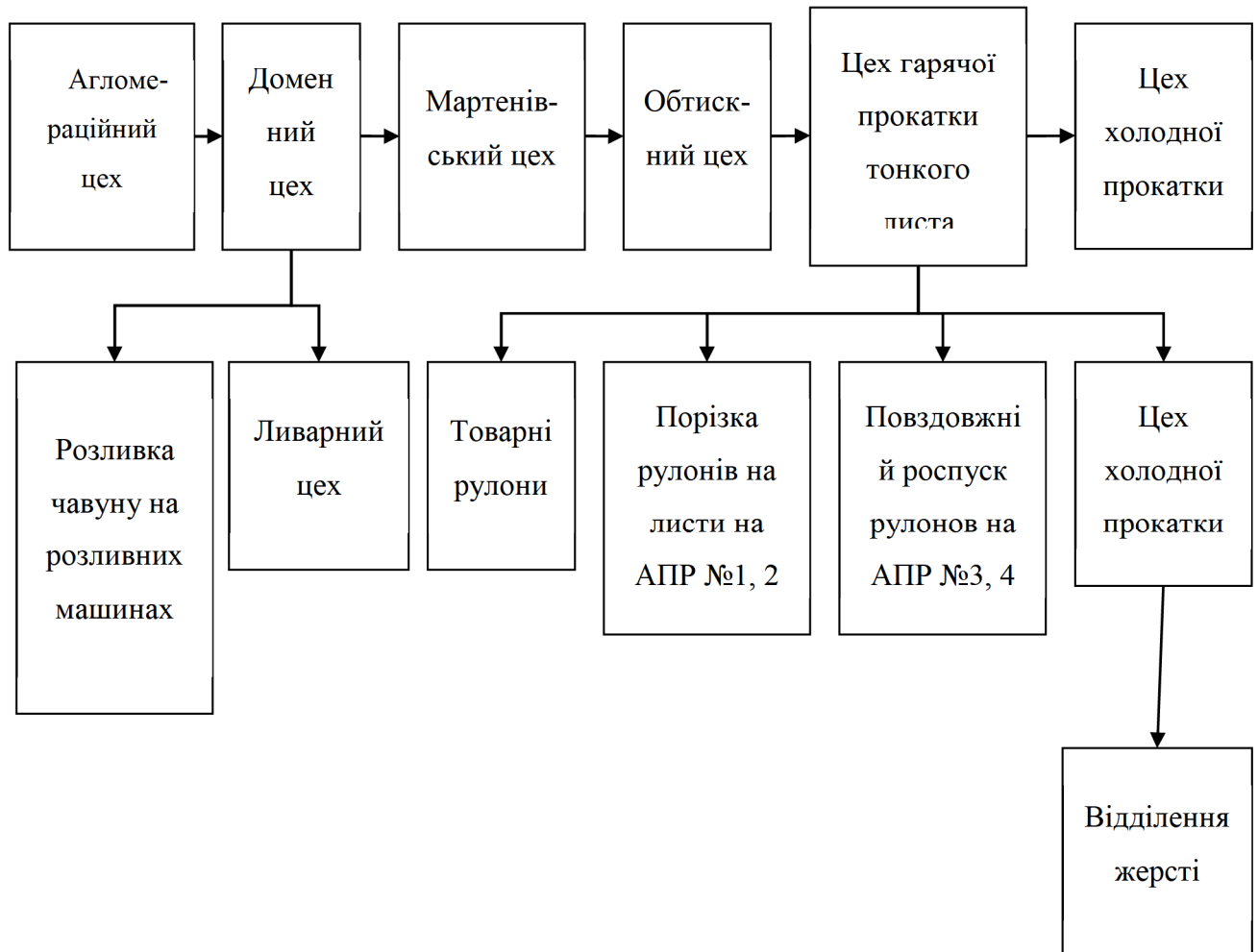


Рисунок 1.1 Технологічна схема виробництва ПАТ «Запоріжсталь»

## 1.2 Перспективи розвитку підприємства

Прокатне виробництво є завершальною ланкою металургійного циклу.

Проблеми зниження трудових та матеріальних затрат на виробництво прокату, забезпечення його конкурентних переваг є актуальним і повинно вирішуватися в наступних напрямках:

- підняття точності розмірів прокатуємих профілів.
- підняття якості метала термічним або термомеханічним зміцнюванням.
- нанесення спеціального покриття для надання поверхні вимагаємих фізико – хімічних якостей.

Одночасно з проблемою підняття якості метала повинна вирішуватися проблема підняття продуктивності праці та зниження капітальних затрат.

Зростання продуктивності металургійних агрегатів досягається збільшенням розмірів агрегату, інтенсифікацією технологічного процесу та переходом на роботу агрегата на принципово нову технологію.

В прокатних станах – це підняття швидкості прокатки, зниження терміну пауз між виходом попереднього та входом послідуємого злитка або заготовки і часу, який витрачається на заміну прокатних валків.

Подальшим етапом в інтенсифікації прокатки буде введення без паузного режиму. Такий безкінечний режим практично здійснюється поєднанням прокатного стану з машиною безперервного лиття заготовки.

В теперішній час практично всі закордонні металовиробники гарячекатаного листа товщиною 0,8...12 мм успішно використовують ливарно – прокатні модулі (ЛПМ), працюючи по схемі:

- виплавка сталі в дуговій печі або конвекторі
- доведення сталі на установці «ковш – піч»
- розлив сталі на тонкі сляби і їх гаряча прокатка в технологічному ланцюзі ЛПМ

Перспективним напрямком розвитку прокатного виробництва є розробки наближення профіля безперервної заготовки до профіля кінцевої продукції, базуючого на прямому отриманню штаби шляхом її виливки на двухвалкових МНЛЗ. Ця технологія отримання тонкого листа опанована на досвідно – промисловому рівні фірмою «Castrip LLC» (США).

Вищеназвані схеми отримання листового прокату мають істотний енергозберігаючий потенціал.

Для вирішення вищеназваних проблем на ВАТ «Запоріжсталь» також прийнята перспективна програма реконструкції сталеплавильного виробництва разом з прокатним виробництвом по будівництву киснево – конверторного цеху з ливарно – прокатним модулем.

Базовий інжинірінг по будівництву конверторного цеху та ливарно – прокатного модуля розроблений іноземними фірмами, маючими великий досвід в проектуванні та будівництві даних об'єктів, розроблений.

Планується за 3,5 роки виконати будівництво всього комплексу.

Рішення виробничих проблем нерозривно зв'язано з прискоренням науково – технічного прогресу в металургійному машинобудуванні, зі створенням економічних, високопродуктивних машин і агрегатів високої надійності та довговічності.

### 1.3 Цех гарячої прокатки тонкого листа

#### 1.3.1 Характеристика основних виробів цеху та вантажопотоки

Тонколистовий стан зданий в експлуатацію 1 травня 1938 року. Безперервний тонколистовий стан гарячої прокатки “1680” виробничою потужністю 3,0 млн. тонн у рік робить штаби товщиною 2,0-7,0 мм, шириною 1000-1500 мм, масою рулону до 16,0 тонн.

Цех гарячої прокатки тонкого листа оснащений агрегатами для забезпечення поставки прокату в листах довжиною до 5850 мм й у рулонах - шириною від 1000 до 1500 мм із внутрішнім діаметром 750 мм.

Товщина гарячекатаного листа визначається споживачем у межах від 2,0 до 6,0 мм.

На трьох профілезгинальних агрегатах виробляються більше 500 сортів (куточки, швелери й ін.) і спеціальних фасонних профілів з вуглецевої, низьколегованої й нержавіючої сталі з товщиною стінки від 1,0 до 7,0 мм і із шириною розгорнення профілю до 1450 мм.

Сировиною для ЦГПТЛ є сляби, що йде в лист, а частина йде у відходи, які виникають при аваріях на стані, при обрізці кінців листа ножицями перед чистовою групою клітей, а також вдруге обрізуються кінці листа після змотування листа в рулон. У ЦГПТЛ листовий метал відвантажують як у рулонах так й у пачках (лист порізаний на довжину, установлену замовником). Рулони відвантажують на подальший переділ у цехи холодної прокатки, а також замовникам. Пачки відвантажують тільки замовникам.

Таблиця 1.1 - Геометричні розміри виробленого прокату

Геометричні розміри виробленого прокату, мм	
Горячекатаный прокат	
лист	рулон
2,00...2...2,50×1000...1260×1800...4000	1,80...2...2,50×1000...1250
2,60...3...3,00×1000...1400×1800...5000	2,60...3...3,00×1000...1400
3,10...3...3,90×1000...1500×1800...5850	3,10...3...3,90×1000...1500
4,00...8...8,00×1000...1500×1800...5850	4,00...8...8,00×1000...1500

Сировиною для ЦГПТЛ є сляби, що поставляють із обтискного цеху. Поставка в цех слябів залежить тільки від обсягу металу, що прокатується.

При прокатці слябів на НТЛС-1680 не вся маса сировини прокатується в лист, а частина йде у відходи, які виникають при аваріях на стані, при обрізці кінців листа ножицями перед чистовою групою клітей, а також вдруге обрізуються кінці листа після змотування листа в рулон. У ЦГПТЛ листовий метал відвантажують як у рулонах так й у пачках (лист порізаний на довжину, установлену замовником). Рулони відвантажують на подальший переділ у цехи холодної прокатки, а також замовникам. Пачки відвантажують тільки замовникам.



### 1.3.2 Технологія виробництва листа в ЦГПТЛ

На безперервному тонколистовому стані НТЛС-1680 листи прокатуєть винятково зі слябів, розміри яких коливаються в широких межах. Найбільша довжина слябів залежить від ширини застосовуваних нагрівальних печей і досягає 9200 мм, найменша 1800 мм. Ширина слябів становить 1500-1560 мм. Максимальна товщина сляба становить 160 мм.

Для підігріву слябів застосовують п'ятизонні методичні печі з керамічними рекуператорами для підігріву повітря до 850<sup>0</sup>С. Печі опалюються змішаного, природним і коксовим газів, а також мазутом. Нормальна продуктивність печей при холодному всаді становить 95 т й 200 т при гарячому всаді. На стані встановлено 5 нагрівальних печей.

Першою кліттю стана є чорновий окалиноломач дуо з валками розміром 1100x2000 мм, після чого розташована кліть із вертикальними валками. Призначення цієї кліті - зменшення ширини сляба, що дозволяє скоротити сортамент слябів по ширині. Після чого встановлені чотири чорнові кліті кварто, з передньої сторони яких перебувають вертикальні валки розміром 850x450 мм для обтиснення крайок. Привод цих валків у кожній кліті здійснюється від електродвигуна постійного струму потужністю 750 кВт. Перед чистовою групою клітей встановлені летючі ножиці барабанного типу для обрізки кінців прокату.

Чистова група клітей містить у собі окалиноломач і шість безперервних клітей кварто (рисунок 1.2). Швидкість прокатки в останній кліті стана досягає 10 м/с.

Сляб нагрівають до 1180-1200<sup>0</sup>С і видають із печей, покритий шаром окалини. Першою операцією при прокаті є видалення окалини, щоб вона не була загорнена в метал. Тому перша кліть стана являє собою окалиноломач дуо з валками діаметром 950-1100 мм. Обтиснення в цій кліті становить 5-20%, щоб окалина могла бути роздроблена, після чого вона видаляється водою під тиском від 10 до 12 МПа.



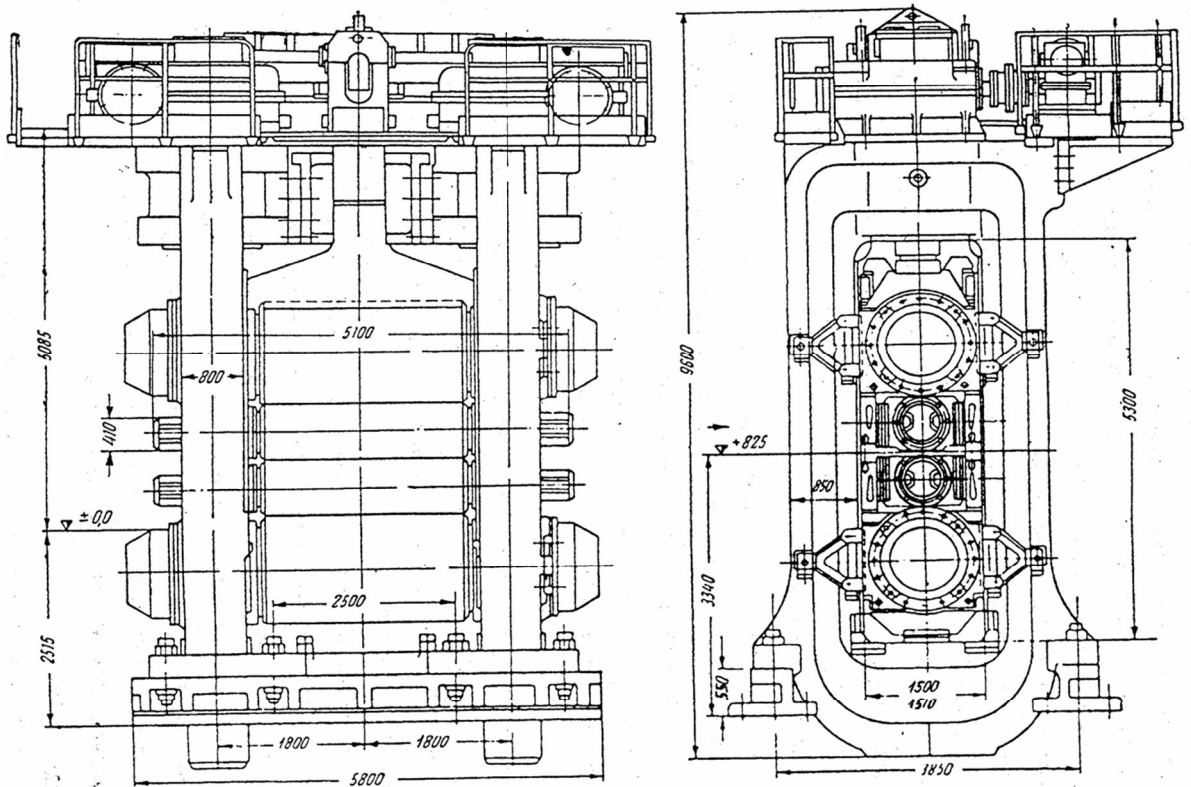


Рисунок 1.2 Кліть кварто НТЛС-1680

По виходу з окалиноломача метал надходить в кліть, у якій метал розкочується завширшки або прокатується «на пряму». Перед наступними трьома чорновими клітями перебувають вертикальні валки для обтиснення бічних країв.

Першою кліттю чистової групи є окалиноломач для видалення окалини, що утворилася під час прокатки в чорнових клітях. Перед входом у чистову групу клітей кінці прокату обрізуються летючими ножицями. Обрізка кінців необхідна і тому, що кінці прокату після прокатки в чорнових клітях виходять витягнуті. Якщо ці кінці не обрізати, то в чистових клітях кінці витягнуться ще більше. Тому що у самого кінця метал сильно остигає, то він псує поверхню валків, а зубці, що вийшли з боку, заважають правильному завданню штаби у валки, а далі після прокатки в моталку. Далі штаба проходить шість чистових клітей кварто, у яких прокатка супроводжується утворенням невеликих петель, що перебувають під натягом, що забезпечує петлетримач.

Валки чорнових клітей приводяться від двигунів змінного струму, для чистових клітей - від двигунів постійного струму з регульованою швидкістю. Загальна потужність двигунів стана складає з 10 клітей близько 60 000 кВт.

Товщина й ширина штаби, що виходить й останньої чистової кліті, регулюється автоматично рентгенівським мікрометрами.

Після виходу з останньої кліті штаба направляється до моталок. Вони розташовані послідовно одна за іншою нижче рівня рольганга.

Штаба по рольгангу попадає в тягнучі ролики, які направляють, згинаючи штабу до барабана, за рахунок різниці діаметрів і верхній тягнучий ролик небагато зміщений уперед і має діаметр 700 мм, а нижній тягнучий має діаметр 400 мм. Штаба потрапляючи між першим формуючим роликом і барабаном закручується й робить перший виток навколо барабана. Після намотування 3-4 витків формуючі ролики відділяються від барабана за допомогою пневмоцилиндра через систему важелів. При закінченні змотування формуючі ролики знову притискаються до рулону, щоб не дати бити кінцем листа по машині. Барабан стискується й рулон знімається з барабана гідроштовхачем на кантувач. З кантувача рулон лягає на ланцюговий конвеєр і транспортуються або на склад, або в ЦХП, або на обробні агрегати.

### 1.3.3 Основне й допоміжне механічне устаткування цеху

Коротка характеристика основного устаткування безперервного тонколистового стана гарячої прокатки “1680”.

Стан складається із двох груп клітей:

- чорнова;
- чистова.

До складу чорнової групи входять:

- одна двовалкова кліть;
- чотири чотиривалкові (№1,2,3,4);
- три вертикальні кліті (№1,2,3).

До складу чистової групи входять:

- одна двовалкова кліть (чистовий окалиновідламувач);
- шість чотиривалкових клітей (№5,6,7,8,9,10).

Коротка технічна характеристика допоміжного устаткування безперервного тонколистового стана гарячої прокатки “1680”.

Таблиця 1.2 Характеристика клітей НТЛС-1680

Кліті	Діаметр валків, мм		Довжина бочки валків, мм	Потужність двигунів, квт	Рід струму	Відстань між клітьями, м
	Робочих	Опорних				
Черновій окалиновідламувач	900	----- -	1680	3680	Пере м	6,25
Чорнова кліть №1	940	1320	2440	7360	Пере м	17,25
Чорнова кліть №2	850	1240	1680	7360	Пере м	15,35
Чорнова кліть №3	593	1240	1680	7360	Пере м	15,35
Чорнова кліть №4	593	1240	1680	7360	Пере м	17,35
Чистовий окалиновідламувач	700	-----	1680	1200	Пост	47,65
Чистова кліть №5	610	1240	1680	7000	Пост	6,6
Чистова кліть №6	610	1240	1680	7000	Пост	5,5
Чистова кліть №7	610	1240	1680	7000	Пост	6,1
Чистова кліть №8	610	1240	1680	7000	Пост	5,8
Чистова кліть №9	610	1240	1680	7000	Пост	5,6
Чистова кліть №10	610	1240	1680	7000	Пост	5,8

До складу допоміжного устаткування входять:

- лівий і правий рольганги зі шлеперними пристроями;
- летючі ножиці з доданим устаткуванням для порізки гарячекатаних смуг на листи;

- ножиці з нижнім різом;
- намотувальний пристрій у лінії лівого рольганга;
- моталки №1,2,3,4,5 й 6;
- кантувач рулонів;
- душуюча установка;
- відвідний конвеєр;
- підйомно-поворотний стіл;
- ваги й прийомний рольганг.

Летючі ножиці призначені для різання штаб товщиною від 2 до 6 мм і шириною від 850 до 1500 мм на листи довжиною від 1500 до 6000 мм

Таблиця 1.3 Технічна характеристика летючих ножиців

1	Тиск, що допускається, на ножі, кг	106594
2	Ухил ножів	1:263
3	Зазор між ножами, мм	0,125
4	Максимальне перекриття ножів, мм	6
5	Швидкість подачі смуги, м/хв	55,5...111,0
6	Діаметр роликів, що подають, мм	221
7	Ексцентриситет ротора, мм	245
8	Середнє число різів у хвилину	60

Моталки барабанного типу призначені для створення натягу й змотування штаби в рулон.

Таблиця 1.4 Технічна характеристика моталки № 1,2,3

1	Тип	Ролико-барабанні
2	Товщина штаб, що змотують, мм	1,7-9
3	Ширина штаб, що змотують, мм	720-1550
4	Максимальна вага рулону, кг	15000
5	Температура змотування смуг, °С	500-800
6	Швидкість змотування смуг, м/с	6-15
7	Заправна швидкість, м/с	до 10
8	Діаметр барабана, мм	750 мм
9	Довжина барабана, мм	2150
10	Потужність електродвигуна, кВт	610
11	Число обертів, в хвилину	210/450

#### 1.4 “Вузькі” місця ЦГПТЛ

Стани безперервної прокатки характеризуються тим, що у випадку виходу з ладу одного з механізмів потокової лінії, зупиняється весь стан. Тому основним заходом щодо усунення “вузьких” місць є виконання правил технічної експлуатації, ремонтів й технічного обслуговування всього устаткування стана в цілому.

На пічній ділянці “вузьким” місцем є нижній пічний рольганг із груповим приводом роликів через конічні шестерні від трансмісійного вала. Через нерівномірне температурне нагрівання зубчасті зачеплення конічних шестерень швидко зношуються, тому пічний рольганг доцільно виконати як рольганг із груповим приводом від окремих редукторів із циліндричними шестірнями.

У хвостовій частині стана “вузьким” місцем є моталки. Найбільше часто виходить із ладу пневматичний циліндр зіштовхувача рулонів і підшипники тягнучих роликів перед моталками. Своєчасна заміна монтажних ущільнень у циліндрі зіштовхувача, реконструкції станин тягнучих роликів із заміною підшипників на більше довговічні дозволить усунути позапланові ремонти.



У приводі летучих ножиць з ковзним кривошипом часто руйнуються підшипник вузла повзуна, зуби шестерень роторних валів, руйнуються шийки колінчатого вала шатуна. Усунення цих недоліків можна отримати шляхом збільшення діаметра шийки колінчатого вала, а також заміною підшипників на більш довговічні.

Через високі навантаження привод правильної машини так само виходить із ладу, зокрема шестеренна кліть. Цей недолік можна усунути заміною косозубого евольвентного зачеплення на зачеплення Новікова, зі збереженням колишньої міжосьової відстані й збільшення діаметра валів- шестерень. Вирішенню данної проблеми і присвячено розрахункову частину курсового проекту.



## 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 2.1 Огляд й аналіз конструкцій машин для правлення штаби

В світовій практиці застосовують наступні листопрямильні машини – роликові (валкові) і розтяжні. Розтяжні машини служать тільки для виправлення тонких листів і головним чином листів зі сталі спеціальних марок і сплавів алюмінію, коли до якості поверхні цих листів пред'явлені підвищені вимоги.

Для виправлення листів і штаби найбільше широко розповсюджені багатороликові правильні машини.

Роликові листопрямильні машини розділяють на дві групи: машини з паралельним розташуванням роликів і з похилим розташуванням роликів. На перших здійснюють виправлення товстих (понад 12 мм) і в деяких випадках попереднє виправлення тонких листів. На других – виправлення тонких листів (до 4 мм). У машині з паралельним розташуванням роликів лист прогинається однаково під всіма роликами; у машині з похилими роликами між першими роликами лист одержує найбільший прогин; далі, у міру просування листа, прогин його зменшується й в останніх роликів кривизна листа повністю виправляється – у цьому перевага виправлення листів на машинах з похилим розташуванням роликів.

Основними параметрами листопрямильних багатороликових машин є: крок роликів  $t$ , діаметр роликів  $D$ , довжина бочки роликів  $L$  і товщина листів, що піддають виправленню на даній машині,  $h$ . Крок роликів обумовлює якість виправлення й величину тиску на рамки правильної машини. Занадто великий крок не забезпечує необхідної точності виправлення, а при малому кроці збільшується тиск на ролики, що змушує ускладнювати конструкцію машини.

Визначення оптимальної величини кроку роликів на підставі теоретичних розрахунків ще не досить розроблено, тому крок роликів вибирають на підставі практичних даних залежно від перетину листів, що піддають виправленню на даній машині. Діаметр роликів звичайно приймають рівним  $D=0,9t$ .

Швидкість виправлення вибирають залежно від продуктивності машини й товщини листів. На підставі практичних даних приймають наступні значення швидкості виправлення: для тонких листів (0,5–4 мм) 6,0–0,5 м/сек; для товстих листів (4–30 мм) при холодному виправленні 0,5 м/сек і при гарячому виправленні 1,0–0,3 м/сек.

Якість виправлення залежить також від якості поверхні робочих роликів і ступеня їхнього зношування. В зв'язку з тим, що при холодному виправленні зношування роликів залежить від контактних напружень, тому ці напруження не повинні бути занадто великими. Орієнтовно їх можна визначити по формулі Герца, припускаючи, що пружно–деформуємий ролик (циліндр) радіусом  $R$  і довжиною бочки  $L$  лежить на нестисливій площині (лист) і навантажений силою  $P$ .

$$\sigma_{\text{конт. макс}} = 0,418 \sqrt{\frac{PE}{bR}} \leq 2\sigma_s$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу ролика, Н/мм<sup>2</sup>;

$\sigma_s$  – межа плинності матеріалу листа, що піддається виправленню, Н/мм<sup>2</sup>;

$P$  – максимальне зусилля на ролик, Н;

$b$  – ширина листа, деформуємого роликом, мм;

$R$  – радіус ролика, мм;

Підраховане по цій формулі максимальне контактне напруження не повинне перевищувати значення подвоєної межі плинності матеріалу штаби, вираженого в Н/мм<sup>2</sup>.

Для підвищення жорсткості листоправильної машини й досягнення необхідної якості й точності виправлення робочі ролики опираються на опорні ролики. Діаметр опорних роликів приймають рівним або перевищуючим діаметром робочих роликів.

Робочі й опорні ролики виготовляють із легованої сталі марок 9Х, ШХ15 й 12ХН2А (остання для роликів діаметром менш 90–100мм), характеризуємий

великою міцністю, високою твердістю й підвищеним опором зношування. Бочки роликів піддають поверхневому загартуванню струмами промислової або високої частоти до твердості 55–65 HRC. Ролики для гарячого виправлення виготовляють зі середньовуглецевої сталі й наплавляють їх твердим сплавом.

### 2.1.2 Листопрямильна машина 7×50×2600 з верхньою траверсою

На рисунку 2.1 показаний загальний вид семироликової листопрямильної машини 50 × 2600 мм конструкції УЗТМ із верхньою траверсою, що паралельно переміщається 1. Машина призначена для гарячого виправлення товстих листів шириною до 2600 мм і товщиною 25-50 мм при межі плинності матеріалу листа відповідно 48 – 120 МПа.

У машині передбачено п'ять приводних робочих роликів 2 діаметром 400 мм (два середні вгорі й три внизу): верхні крайні ролики 4 діаметром 450 мм неприводні й призначені для правильного (горизонтального) напрямку металу й усунення загальної кривизни вихідного листа; ці ролики переміщаються незалежно у вертикальному напрямку за допомогою натискних гвинтів, постачених ручним приводом натискних гайок. Для зменшення прогину робочих роликів до них попередньо притискають опорні ролики 3 діаметром 650 мм. Всі ролики встановлені в опорах на сферичних роликотішипниках. Верхні ролики змонтовані у верхній рухливій траверсі; нижні - у нижній траверсі 5, що опирається на фундамент. У нижній траверсі по кутах змонтовані чотири тверді колони 6 діаметром 320 мм; угорі вони опираються на траверсу своїми заплічками, унизу колони з'єднані із траверсою гайками 7.

Завдяки гарячому затягуванню гайок у площині стику заплічок 7 із траверсою попередньо створені напруження стиску, тому при розтяганні колон зусиллям виправлення щільність стику заплічок із траверсою зберігається, що необхідно для забезпечення твердості всього з'єднання й підвищення точності виправлення.

Для установки необхідного розчину між робочими роликми верхня траверса переміщається паралельно по вертикалі за допомогою черв'ячних передач 8, 9, установлених на кінцях колон які приводяться від електродвигуна 10 потужністю 22 кВт, 690 об/хв, швидкість переміщення 20 мм/хв. При цьому нижня гайка - маточина 11 приводиться черв'яком і за допомогою, проміжного кільця 12 із внутрішнім зубчастим зачепленням передає обертання верхній гайці 13; остання, обертаючись і переміщаючись нагору (долілиць) по різьбленню втулки, піднімає (опускає) траверсу з роликми. Таким чином, різьбове черв'ячне колесо (маточина) 11 не сприймає зусиль від ваги траверси.

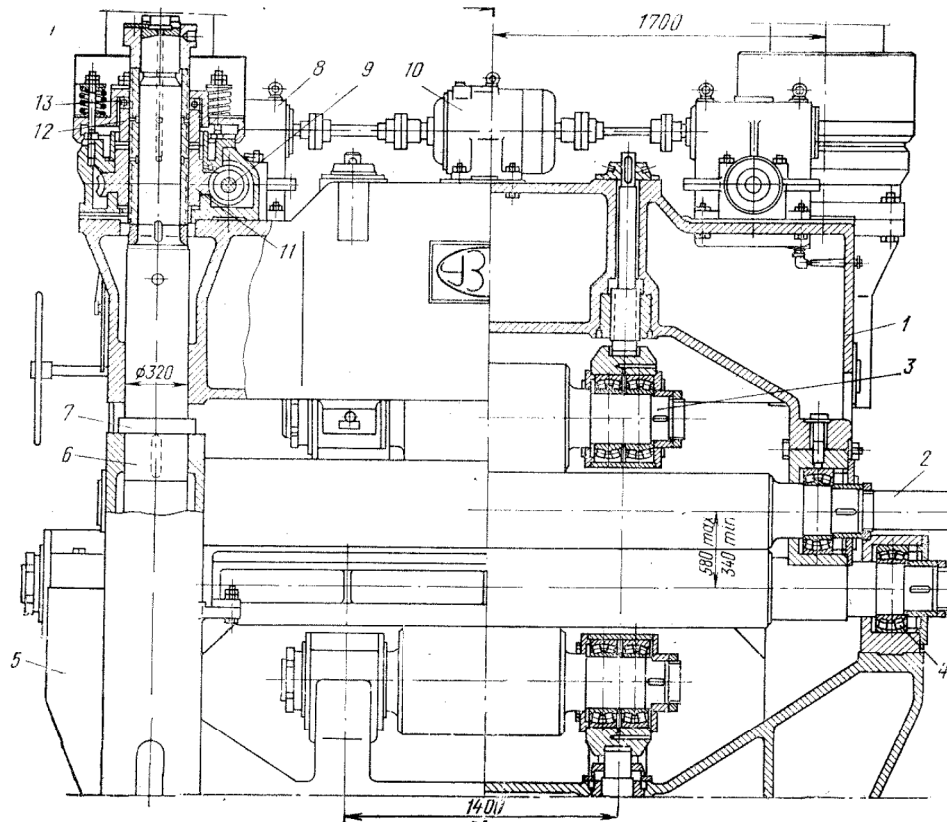


Рисунок 2.1 – Листопрямильна машина 7 × 50 × 2600 з верхньою траверсою що паралельно переміщується (позиції наведено в тексті)

Робочі ролики приводяться в рух п'ятьма універсальними шпинделями, з'єднаними з комбінованим редуктором - шестеренною кліткою; останній приводиться від електродвигуна постійного струму потужністю 100 кВт, 475/950 об/хв; швидкість роликів (швидкість виправлення) 0,4-0,8 м/сек.



Достоїнством цієї машини є те, що верхня траверса разом із приводом її переміщення може бути легко знята за допомогою крана, що спрощує ремонт машини й зміну роликів.

У листоправильних машинах конструкції СКМЗ аналогічного призначення для регулювання піджиму опорних роликів замість натискних гвинтів застосовані клинові пристрої.

### 2.1.3 Листоправильна семи роликів машина 32 x 2600 для виправлення товстої штаби після її термообробки

На рисунку 2.2 показана правильна машина нової конструкції УЗТМ, призначена для виправлення товстої штаби після її термообробки: товщина штаби 12-32 мм, ширина до 2600 мм, межа плинності матеріалу штаби до 650 МПа. Як описана вище, ця машина має чотири колони: нижня частина станини складається із двох стійок 1, з'єднаних унизу траверсою 2 і вгорі стяжками 3. У стійках станини шляхом гарячого затягування нижніх гайок 4 попередньо створені напруженні стиску для зменшення результуючої деформації станини при розтяганні колони під час виправлення. На стійки зверху встановлені два траверси 5, закріплені на колонах гайками 6, що опираються на сферичні шайби.

Для збільшення твердості машини й підвищення якості виправлення застосовані опорні ролики (валки) великого діаметра. Нижні два опорних ролики 7 діаметром 930 мм установлені в подушках на чотирирядних конічних роликотопідшипниках і можуть переміщатися по вертикалі за допомогою натискних гвинтів, що приводяться від електродвигуна; при прогині цих роликів їхньої подушки мають можливість самоустановки на сферичних під'ятниках натискних гвинтів.

Три нижні робочі ролика 8 і 9 мають різні діаметри: крайні 368 мм і середній 538 мм; крайні ролики 8 установлені на підшипниках ковзання в подушках, розташованих у пазах опорних роликів; середній ролик 9 не має

підшипників, він установлений у западині, утвореної бочками двох крайніх робочих роликів.

У верхньому ряді встановлені чотири робочі ролика 10 і 11 різного діаметра: крайні 490 мм і середні 445 мм. Крайні ролики встановлені в подушках на чотирирядних конічних роликотішипниках і можуть переміщатися по вертикалі за допомогою натискних пристроїв, що живляться від електродвигуна 12; подушки мають пружинне зрівноважування. Середні робочі ролики з кожної сторони встановлені в загальній подушці на підшипниках ковзання й опираються на верхній опорний ролик 13 великого діаметра (1600 мм); притиск верхніх роликів до опорного здійснюється за допомогою штирів 14, які внизу опираються на стійки станини через тарілчасті пружини.

Верхній опорний ролик (валок) 13 установлений на чотирирядних конічних роликотішипниках, розташованих у розточеннях верхніх траверс 5; ролик має більшу твердість; для зменшення його ваги він зроблений порожнім; ролик складається з гільзи, до якої приварені цапфи. Крок нижніх опорних роликів більше двох кроків робочих роликів, що створює більшу стійкість системи роликів.

Всі сім роликів живляться від двох електродвигунів через комбінований редуктор і універсальні шпинделі.

Достоїнством цієї правильної машини є більша жорсткість всієї конструкції завдяки застосуванню опорних роликів і їхніх опор великого діаметра, а також масивних станин, траверс і колон; все це дозволило підвищити допускні зусилля на ролики при виправленні й тим самим розширити діапазон штаби, що виправляється, по товщині. У порівнянні з машиною, що має тільки паралельне переміщення верхньої траверси з роликами, на цій машині можливе регулювання положення верхніх роликів і нижніх опорних роликів за допомогою механізованих пристроїв із приводом від електродвигунів, завдяки чому підвищується якість виправлення.



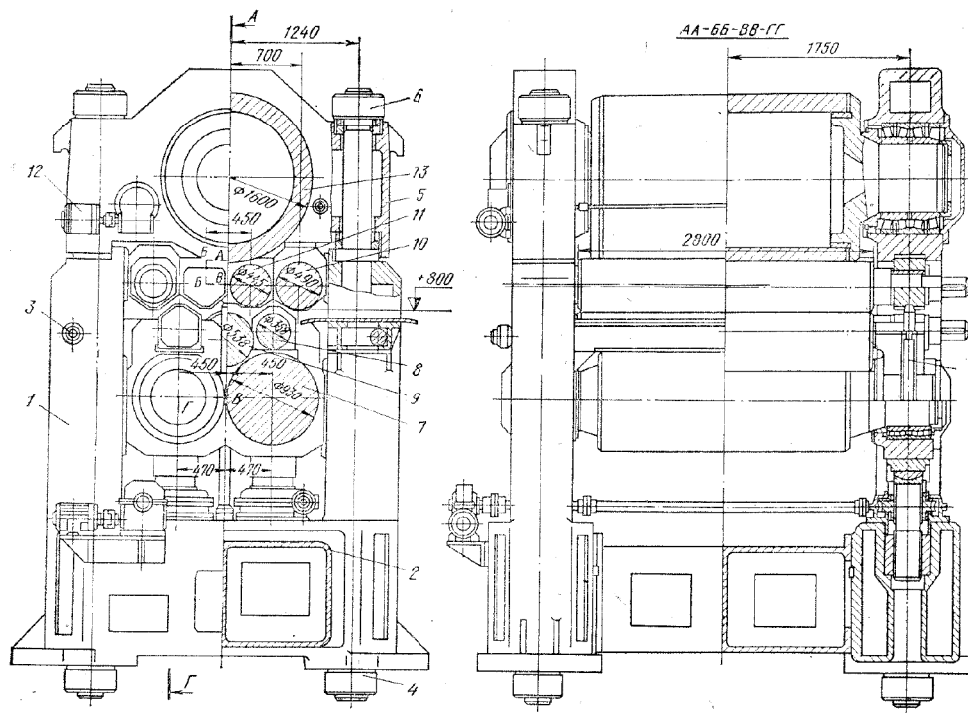


Рисунок 2.2 – Листопрямильна роликів машина 32×2600 для виправлення товстої штаби після її термообробки (позиції паведено в тексті)

#### 2.1.4 Листопрямильна машина 17×155×2800

Правильна машина призначена для виправлення листів, що надходять від робочої кліти стана «2800». Виправлення листів відбувається за рахунок почергового згинання його в протилежні сторони з поступовим зменшенням величини вигину. Для здійснення цього процесу правильна машина постачена непарним числом робочих роликів розташованих у шаховому порядку.

Основними вузлами листопрямильної машини (рис. 2.3) є робоча кліть і головний привод робочих роликів. Робоча кліть складається з верхньої 1 і нижньої 2 станини звареної конструкції. У верхній станині змонтовані дев'ять роликів (7 - робочих і 2 - напрямних) а в нижній станині - вісім робочих роликів 3. Верхня станина підвішена на пружинах 5 і може переміщатися у вертикальному напрямку залежно від товщини листа, що виправляється, за допомогою чотирьох натискних гвинтів 6 які приводяться в обертання від електродвигуна 7 через черв'ячний редуктор 8. Кожний робочий ролик має три

секції опорних роликів 9. Таким чином, у верхній станині закріплені 24 опорних ролика, а в нижній станині 21 опорний ролик. Довжина бочки опорного ролика дорівнює 400 мм.

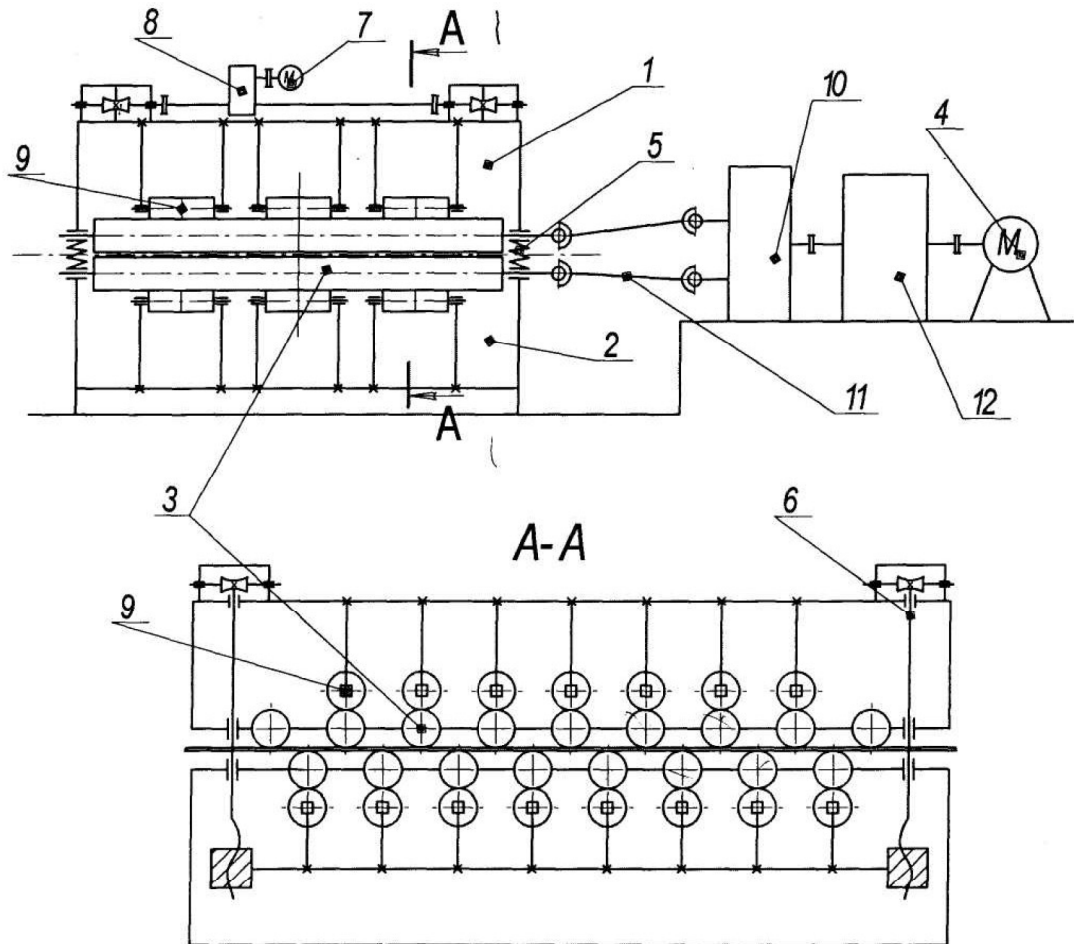


Рисунок 2.3 – Кінематична схема листоправильної машини 17×155×2800  
(позиції наведено в тексті)

Всі робочі ролики приводяться в обертання електродвигуном постійного струму 4 через шестеренну кліть 10 і редуктор 12 за допомогою карданних валів 11. Кардани застосовані, для того щоб мати можливість верхньому ряду роликів разом з рамою переміщатися у вертикальному напрямку під час настроювання машини й працювати зі зміщеними осями по відношенню осей шестеренної кліті.

Необхідність у зазначеному підйомі буває також при звільненні застряглого аркуша між робочими роликами. Величина регульованого підйому вказується стрілками на кругових циферблатах, установлених для кожного

натискного механізму. Механізм регулювання верхнього ряду робочих роликів передбачає крім паралельної, також і похилу установку верхнього ряду роликів стосовно нижньої станини: Цим досягається можливість правити лист з поступовим зменшенням величини прогину, що є необхідною умовою виправлення.

### 2.1.5 Сортоправильні машини

Роликові сортоправильні машини застосовують для холодного виправлення сортового металу всіх перетинів, передбачених відповідними ДСТУ (рейок, балок, швелерів, кутів сталі, квадратних і круглих профілів і т.д.).

Сортоправильні машини із профільованими роликами конструктивно виконують двох типів:

- а) з відкритим консольним розташуванням роликів;
- б) із закритим розташуванням роликів на валах між двома опорами останніх.

У правильних машин з консольними однорядними роликами найбільш навантажені передні опори. Ці машини більш зручні в експлуатації (легко доступні для спостережень і зміни роликів), тому їх застосовують не тільки для виправлення дрібних і середніх, але й великих профілів (наприклад, рейок).

Правильні машини закритого типу дозволяють монтувати на приводних валах кілька рядів роликів для виправлення різних профілів, що скорочує час на зміну й настроювання роликів (у порівнянні з машиною, що має консольні ролики).

Основними параметрами сортоправильних машин є: крок роликів  $t$  мм, максимальна висота профілю, що виправляється,  $h$  мм, момент опору перетину профілю  $W$  см<sup>3</sup>, діаметр роликів  $D$  мм, швидкість виправлення  $V$  м/сек і число роликів -  $n$ .

Для виправлення рейок і великих сортових профілів застосовують правильні машини з 7 - 9 роликами, а для виправлення середніх і дрібних

профілів з 11 - 13 роликами. Швидкість виправлення залежно від необхідної продуктивності машини приймають у межах 0,5 - 3,0 м/сек.

При виборі сортоправильної машини для конкретних вимог виробництва варто керуватися таблицями заводів - виготовлювачів цих машин УЗТМ і СКМЗ.

## 2.2 Місце правильної машини в технологічному процесі та її технічні характеристики

На комбінаті ПАТ «Запоріжсталь» основним напрямком цеху гарячого прокату тонкого листа є виробництво тонкої штаби у вигляді рулонів. Частина рулонів упаковується й відправляється покупцеві, а частина рулонів відправляється на АПР-2 (агрегат поперечного різання) для подальшої порізки його на листи заданих розмірів.

Після різання лист проходить виправлення в 13-ти роликовій правильній машині №4 і далі надходить на викидаючі ролики які викидають лист на листоукладчик, звідки пачка листів переміщується ланцюговим конвеєром з якого її перевозять електромостовим краном на ділянку упакування.

### Технічна характеристика листоправильної машини 13×190×1700

1. Товщина штаби, мм	$h = 2,0 \div 6,0$
2. Ширина штаби, мм	$b = 1520$
3. Матеріал штаби	Сталь
4. Межа плинності матеріалу штаби, МПа	$G_T = 400$
5. Швидкість виправлення, м/с	$V_n = 0,5 \div 2$
6. Діаметр робочого ролика, мм	$D_p = 190$
7. Крок між опорними роликами, мм	$T = 200$
8. Довжина бочки робочого ролика, мм	$L_p = 1700$
9. Кількість робочих роликів, шт.	$n = 13$
10. Діаметр напрямного ролика, мм	$D_o = 160$
11. Довжина бочки напрямного ролика, мм	$L_o = 400$



12. Кількість напрямних роликів, шт.	$n = 2$
13. Хід верхніх робочих роликів від загальної дотичної Нагору - + 70 мм; Вниз - -15 мм;	
14. Зрівноважування верхньої станини	пружинне
15. Натискний пристрій опорних роликів	механічний
16. Швидкість переміщення верхньої станини, мм/с	$V_B = 0,17$
17. Діаметр гвинта механізму натиску	$T_T 220 \times 8$
18. Момент при пластичному вигині штаби, Нм	$M_{\Pi} = 8000$

### 2.3 Опис проекту модернізації правильної машини з приводом

Однією із причин частих простоїв технологічної лінії АПР-2 в цілому є часті ремонти приводу тринадцятироlikової правильної машини, що в свою чергу пов'язані з виходом з ладу опорних роликів в зв'язку із розширенням асортименту готової продукції та підвищенням продуктивності лінії в цілому та збільшенням, як наслідок, навантаження особисто на привод листопрямильної машини. Також через високі навантаження на привод машини часто виходить із ладу шестеренна кліть. Крім великого зношування робочих роликів по всій ширині бочки, має місце недолік системи подачі змащення в підшипники робочих і опорних роликів. Так як це змащення попадає на штабу при роботі машини й порушує безпосередньо сам процес виправлення. Даний недолік вирішується заміною системи подачі змащення в опорні ролики на закладну систему подачі, що практично виключає влучення змащення на штабу під час роботи машини.

Проаналізувавши вищенаведені недоліки приводу правильної машини, в якості модернізації пропонується виконати наступні конструктивні зміни – збільшити діаметр шийки опорних роликів з 80 мм до 90 мм., а також виконати заміну косозубого евольвентного зачеплення на зачеплення Новікова, зі збереженням колишньої міжосьової відстані й збільшення діаметра валів-



шестірень, а також встановленням замість проміжної муфти (МП), втулочно-пальнової з гумовими втулками (МУВП), що дозволить запобігти перевантаженням привода.

Для зміни роликів необхідно розбирати більшу частину машини. Необхідно застосовувати касетний метод зміни роликів. Це дозволить значно збільшити навантажувальну здатність, забезпечить більш плавний рух роботи механізму, що в цілому сприятливо позначиться на роботі всього механізму, забезпечить безаварійність роботи й збільшить міжремонтний період.

### Розрахунок найбільш навантажених вузлів для виконання модернізації листоправильної машини

#### 2.4.1 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна листоправильної машини

Процес виправлення на багатороликових правильних машинах заснований на пружньопластичному знакозмінному вигині листа (рис. 2.4), що рухається між роликами, розташованими в шаховому порядку.

Для вигину листа до неї треба прикласти такий зовнішній згинальний момент, який подолав би момент внутрішніх сил, що виникають внаслідок появи в штабі внутрішніх напружень протилежного знаку.

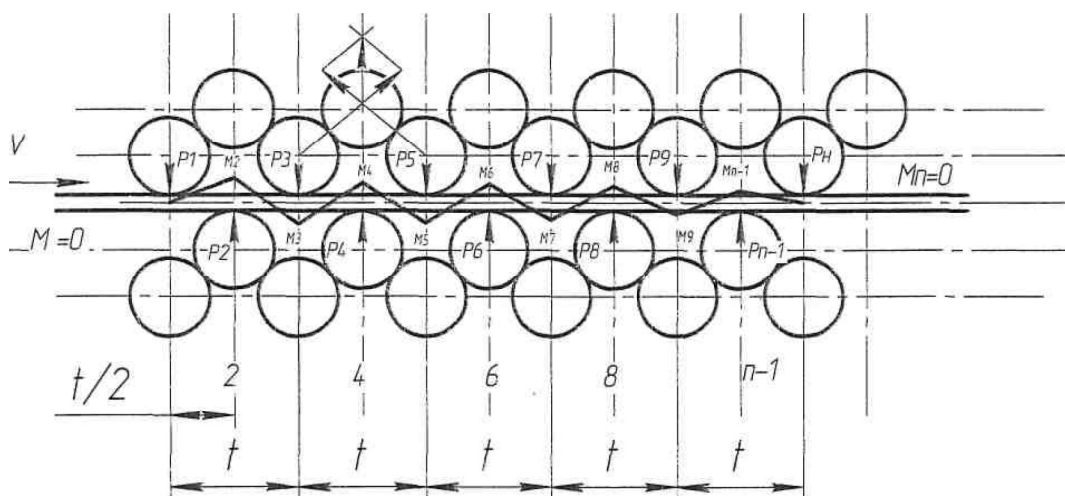


Рисунок 2.4 – Схема виправлення листа

Під першими трьома роликами ( другим, третім і четвертим ) увесь перетин штаби деформується (правиться) пластично й моменти дорівнюють моменту пластичної деформації ( $M_2, M_3, M_4 = M_{\text{пластич}}$ )

Під останніми трьома роликами (n-3; n-2; n-1;) увесь перетин штаби деформується тільки пружньо й моменти дорівнюють моменту пружньої деформації ( $M_{10}, M_{11}, M_{12} = M_{\text{пруж}}$ ).

Під іншими середніми (n-5) роликами значення моменту вигину усереднене між пластичним і пружним моментами ( $M_5, M_6, M_7, M_8, M_9 = M_{\text{у пл}}$ ). Моменти на першому й останньому роликах дорівнюють нулю ( $M_1, M_{13} = M_0$ )

Момент пружного вигину штаби визначається по формулі:

$$M_{\text{п}} = \sigma_{\text{т}} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (2.1)$$

де  $\sigma_{\text{т}} = 400$  МПа – межа плинності матеріалу листа;

$W_i = \frac{b \cdot h^2}{6}$  – момент опору перетину штаби при пружному вигині, щодо нейтральної осі, м<sup>3</sup>.

Підставивши числові значення у вираз (2.1) і одержимо:

$$M_{\text{п}} = 400 \cdot \frac{1520 \cdot 6^2}{6} = 3648 \text{ Нм}.$$

Момент пластичного вигину штаби визначається по формулі:

$$M_{\text{пл}} = \sigma_{\text{т}} \cdot \frac{b \cdot h^2}{4}, \quad (2.2)$$

де  $W_{III} = \frac{b \cdot h^2}{4}$  – момент опору перетину штаби при пластичному вигині щодо нейтральної осі, м<sup>3</sup>.

Підставивши числові значення у вираз (2.2) одержимо:

$$M_{III} = 400 \cdot \frac{1520 \cdot 6^2}{4} = 5472 \text{ Нм.}$$

Пружно-пластичний згинальний момент визначається по формулі:

$$M_{III} = M_{II} \cdot (1 + K_{III}), \quad (2.3)$$

де  $K_{III}$  – коефіцієнт пружньо-пластичного вигину штаби одним і тим же роликом.

$$K_{III} = K_{II} \cdot \left(1 - \frac{K_{II}}{2}\right), \quad (2.4)$$

де  $K_{II}$  – коефіцієнт пружньо - пластичного вигину штаби роликом визначається по формулі:

$$K_{II} = K_2 \cdot \left(1 - \frac{i-2}{n-3}\right), \quad (2.5)$$

де  $n_1 = 13$  шт – кількість роликів у машині;

$i$  – порядковий номер ролика;

$K_2$  – коефіцієнт проникнення пластичної деформації в штабі під другим робочим роликом.

У практиці коефіцієнт проникнення пластичної деформації в штабі під другим робочим роликом лежить у межах  $K_2 = 0,75 \sim 0,26$ .

Т.я. при виправленні м'яких матеріалів  $K_2$  може мати верхню межу, а при виправленні високоміцних матеріалів - нижню межу зазначених вище значень, приймаємо  $K_2 = 0,7$ ,

Для другого робочого ролика.

Підставивши числові значення у вираз (2.5) і одержимо:

$$K_{II} = 0,7 \cdot \left(1 - \frac{2-2}{13-3}\right) = 0,7.$$

На першому й останньому роликах  $K_{II}$  відсутній. Коефіцієнт  $K_{II}$  – визначається тільки для 5, 6, 7, 8, 9, робочих роликів.

Для п'ятого робочого ролика.

Підставивши числові значення у вираз (2.4) і одержимо:

$$K_{III} = 0,49 \cdot \left(1 - \frac{0,49}{2}\right) = 0,36995.$$

Підставивши числові значення у вираження (2.3) і одержимо:

$$M_{III} = 3648 \cdot (1 + 0,36995) = 4997,58 \text{ Нм}.$$

Результати всіх розрахунків наведені в таблиці 2.1.

Для одержання гладкої штаби, що мала до виправлення хвилястість і місцеве жолоблення на поверхні, знакозмінний поперечний вигин її між роликами повинен зменшуватися від другого ролика до передостаннього.

Розрахункова схема для визначення зусилля на ролики при виправленні штаби представлена на рисунку 2.4.

Складемо рівняння моментів послідовно для перетинів 2, 3, 4 ... (n-1) і (n-2), а також n, одержимо:

$$P_1 \cdot \frac{t}{2} = +M_2; \quad P_1 = M_2 \cdot \frac{2}{t}, \quad (2.6)$$

$$P_1 \cdot t - P_2 \cdot \frac{t}{2} = -M_3; \quad P_2 = \frac{2}{t} \cdot (M_3 + 2 \cdot M_2), \quad (2.7)$$

$$P_1 \cdot \frac{3}{2} \cdot t - P_2 \cdot t + P_3 \cdot \frac{t}{2} = +M_4; \quad P_3 = \frac{2}{t} \cdot (M_4 + 2 \cdot M_3 + M_2), \quad (2.8)$$

$$P_1 \cdot 2 \cdot t - P_2 \cdot \frac{3}{2} \cdot t + P_3 \cdot t - P_4 \cdot \frac{t}{2} = -M_5; \quad P_4 = \frac{2}{t} \cdot (M_5 + 2 \cdot M_4 + M_3), \quad (2.9)$$

І т.д. можна визначити для кожного ролика по формулі:

$$P_i = \frac{2}{t} \cdot (M_{i+1} + 2 \cdot M_i + M_{i-1}), \quad (2.10)$$

де  $t$  – крок між роликами,  $t=200$  мм.

Підставивши числові значення у вираз (2.6) одержимо:

$$P_1 = 5472 \cdot \frac{2}{0,200} = 5472 \text{ Н.}$$

Підставивши числові значення у вираз (2.7) одержимо:

$$P_2 = \frac{2}{0,200} \cdot (5472 + 2 \cdot 5472) = 164160 \text{ Н.}$$

Підставивши числові значення у вираз (2.8) одержимо:

$$P_3 = \frac{2}{0,200} \cdot (5472 + 2 \cdot 5472 + 5472) = 218880 \text{ Н.}$$

Підставивши числові значення у вираз (2.9) одержимо:



$$P_4 = \frac{2}{0,200} \cdot (4997,6 + 2 \cdot 5472 + 5472) = 214136 \text{ Н.}$$

Для останнього й передостаннього робочого ролика зусилля виправлення штаби визначається по формулах:

$$P_{n-1} = \frac{2}{t} \cdot (0 + 2 \cdot M_{n-1} + M_{n-2}), \quad (2.11)$$

Підставивши числові значення у вираз (2.11) одержимо:

$$P_{12} = \frac{2}{0,200} \cdot (0 + 2 \cdot 2648 + 3648) = 109440 \text{ Н.}$$

$$P_n = \frac{2}{t} \cdot (0 + 0 + M_{n-1}), \quad (2.12)$$

Підставивши числові значення у вираз (2.12) одержимо:

$$P_{13} = \frac{2}{0,200} \cdot (0 + 0 + 3648) = 36480 \text{ Н.}$$

Усі інші результати розрахунків зводимо в таблицю 2.1.

Одержуємо: сумарне зусилля на всі ролики:

$$P = P_B + P_H = 2031096 \text{ Н,}$$

де  $P_B, P_H$  – верхні та нижні зусилля на всі ролики,  $P_B = P_H = 1015548 \text{ Н.}$

Максимальне зусилля на третьому ролику  $P_3 = 218800 \text{ Н.}$

Визначаємо крутний момент деформування правки листа

$$M_{\text{ДЕФ}} = \frac{\sigma_T^2}{4 \cdot E} \cdot b \cdot h \cdot D_P, \quad (2.13)$$

де  $h = 6$  мм – товщина листа, що виправляється;

$b = 1520$  мм – ширина листа, що виправляється;

$E = 2,12 \cdot 10^5$  МПа – модуль пружності матеріала листа;

$D_p = 190$  мм – діаметр ролика;

$\sigma_T = 400$  МПа – межа плинності матеріалу листа.

Підставивши числові значення в вираз (2.13) одержимо:

$$M_{\text{ДЕФ}} = \frac{(400 \cdot 10^6)^2}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}} \cdot 1,520 \cdot 0,006 \cdot 0,190 = 1307,8 \text{ Нм}.$$

У відповідності зі значенням  $K_{\Pi}$  (друга графа в табл. 2.1) знаходимо значення крутного моменту на роликах, необхідного для пластичного згину штаби  $M_{\text{ДЕФ},i}$  по виразу:

$$M_{\text{ДЕФ},i} = M_{\text{ДЕФ}} \cdot K_{\Pi,i}, \quad (2.14)$$

Підставивши числові значення у вираз (2.14) одержимо:

Для другого робочого ролика

$$M_{\text{ДЕФ},2} = M_{\text{ДЕФ}} \cdot K_{\Pi,2} = 1307,8 \cdot 0,7 = 915,46 \text{ Нм}.$$

Усі інші результати розрахунків зводимо в таблицю 2.1.

Визначаємо крутний момент тертя у підшипникових опорах роликів

$$M_{\text{тер},i} = P_i \cdot \mu \cdot \frac{d_{\text{CP}}}{2}, \quad (2.15)$$

де  $\mu = 0,005$  – коефіцієнт тертя у підшипникових опорах роликів;

$d_{\text{CP}} = 150$  мм – середній діаметр тертя у підшипникових опорах;

$P_i$  – зусилля виправлення штаби для  $i$ -того робочого ролика, (Н).

Підставивши числові значення у вираз (2.15) одержимо:

Для першого робочого ролика

$$M_{\text{тер.1}} = 54720 \cdot 0,005 \cdot \frac{0,15}{2} = 19,15 \text{ Нм} .$$

Усі інші результати розрахунків зводимо в таблицю 5.1.

Визначаємо крутний момент тертя качіння роликів по штабі

$$M_{\text{кач.і}} = P_i \cdot m , \quad (2.16)$$

де  $m$  – коефіцієнт тертя кочення; з урахуванням можливого просковзування між роликами й штабою слід приймати: для сталюї штаби  $m = 0,8 \div 1$ , приймаємо  $m = 1$ ;

$P_i$  –зусилля виправлення штаби для  $i$ -того робочого ролика, Н.

Підставивши числові значення у вираз (2.16) одержимо:

Для першого робочого ролика

$$M_{\text{кач.1}} = 54720 \cdot 0,001 = 54,7 \text{ Нм} .$$

Усі інші результати розрахунків зводимо в таблицю 5.1.

Визначаємо сумарні значення крутних моментів на кожному ролику

$$M_{\text{кр.с.}} = M_{\text{кач.і.}} + M_{\text{тер.і.}} + M_{\text{деф.і.}} , \quad (2.17)$$

Підставивши числові значення у вираз (2.17) одержимо:

Для першого робочого ролика

$$M_{\text{кр.с.1}} = 54,7 + 19,15 + 0 = 73,85 \text{ Нм} .$$

Усі інші результати розрахунків зводимо в таблицю 5.1.

Таблиця 2.1 – До розрахунку потужності електродвигуна листоправильної машини 13×190×1700

№ ролика	K <sub>п</sub>	K <sub>шп</sub>	Зусилля на роликe P <sub>i</sub> , кН		M <sub>i</sub> , кН м	M <sub>деф</sub> , кН м	M <sub>тер</sub> , кН м	M <sub>кач</sub> , кН м	M <sub>кр.с</sub> , кН м
			Верхній	нижній					
1	–		54,7			–	19,15	54,7	73,85
2	0,7			164,1	5,47	915,46	57,46	164,2	1137,12
3	0,63		218,8		5,47	823,91	76,61	218,9	1119,42
4	0,56			214,1	5,47	732,37	74,95	214,1	1021,42
5	0,49	0,3699	203,2		4,99	640,82	71,14	203,3	915,26
6	0,42	0,3318		194,1	4,85	549,28	67,96	194,2	811,44
7	0,35	0,2887	187,8		4,7	457,73	65,76	187,9	711,39
8	0,28	0,2408		180,8	4,52	366,18	63,31	180,9	610,39
9	0,21	0,1879	168,4		4,33	274,64	58,95	168,4	501,99
10	0,14			152,7	3,65	183,09	53,47	152,8	389,36
11	0,07		145,9		3,65	91,55	51,07	145,9	288,52
12	0			109,4	3,65	0	38,3	109,4	147,7
13	–		36,4		–	–	12,77	36,5	49,27
	3,85		1015,54	1015,54		5035,03	711	2031,2	7777,23

Визначаємо коефіцієнт корисної дії робочої кліти листоправильної машини (без урахування втрат у приводі)

$$\eta = \frac{M_{\text{ДЕФ}}}{M_{\text{ДЕФ}} + M_{\text{ТР}} + M_{\text{КАЧ}}}, \quad (2.18)$$

Підставляємо числові значення у вираз (2.18) одержимо:

$$\eta = \frac{5035,03}{5035,03 + 711} = 0,647.$$

Втрати на тертя становлять близько 35% і тільки 65% витрачається на виправлення штаби.

Визначаємо кутову швидкість робочих роликів

$$\omega = \frac{V_{\Pi}}{R} = \frac{2 \cdot V_{\Pi}}{D_p}, \quad (2.19)$$

де  $V_{\Pi} = 2 \text{ м/с}$  – швидкість виправлення;

$D_p = 190 \text{ мм}$  – діаметр роликів.

Підставляємо числові значення у вираз (2.19) одержимо:

$$\omega = \frac{2 \cdot 2}{0,190} = 21,05 \text{ с}^{-1}.$$

Визначаємо потужність виправлення

$$N_{\text{пр}} = M \cdot \omega, \quad (2.20)$$

де  $M = 7777,23 \text{ Нм}$  – максимальний крутний момент для обертання усіх роликів;

$\omega = 21,05 \text{ с}^{-1}$  – кутова швидкість робочих роликів.

Підставляємо числові значення у вираз (2.20) одержимо:

$$N_{\text{пр}} = 7777,23 \cdot 21,05 = 163 \text{ кВт}.$$

Визначаємо необхідну потужність електродвигуна

Для приводу роликів правильної машини встановлені роздатна двупоточна шестерінна кліть ( $\eta_{\text{ш}}=1$ ) й двуступеневий комбінований редуктор ( $\eta_p=2,8$ ).

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{пр}}}{\eta_{\text{заг}}}, \quad (2.21)$$



де  $N_{\text{пр}} = 163$  кВт – потужність виправлення;

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_{\text{ш}} \cdot \eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{м}}^2 \cdot \eta_{\text{п.м}} = 0,96 \cdot 0,96 \cdot 0,99^2 \cdot 0,647 = 0,58.$$

Підставляємо числові значення у вираз (2.21) одержимо:

$$N_{\text{дв}} = \frac{163,7}{0,58} = 285,2 \text{ кВт.}$$

На підставі отриманих даних по каталогу обираємо електродвигун з наступною характеристикою:

Тип	П2ПМ–500–145–7У3.
Потужність	$P = 300$ кВт.
Число обертів	$n = 400 / 1200$ хв <sup>-1</sup> .
Робоча напруга	$U = 400$ В
Момент інерції якоря	$I = 18,8$ кг·м <sup>2</sup>
Коефіцієнт перевантаження двигуна при пуску	$\lambda_{\text{п}} = 2,2$

#### 2.4.2 Розрахунок кругогвинтового зубчастого зачеплення шестеренної кліті

Вихідні дані для розрахунку згідно паспорта листопральної машини [4]:

Частота обертання вала електродвигуна	$n_{\text{д}} = 500$ хв <sup>-1</sup> .
Частота обертання шестеренного валка	$n = 178$ хв <sup>-1</sup> .
Передаточне число редуктора	$U_{\text{р}} = 2,8$ .
Передаточне число шестеренної кліті	$U = 1$ .

Шестеренна кліть повинна працювати 24 год. у добу, 300 днів у році протягом 10 років. Передача працює в середньому режимі.

Вал–шестірню виготовляємо зі сталі 40Х ГОСТ 4543–71. [13] Термообробка – азотування.

Приймаємо  $\psi_{\text{ба}} = 1,5$  – коефіцієнт торцевого перекриття,

$z_{1,2} = 23$  – число зубів,

$T = 15402$  Нм – крутний момент на валу шестерні,

$U = 1$  – передаточне число,

З конструктивних міркувань, з огляду на міжосьову відстань валів роликів, приймаємо міжосьова відстань валів шестеренної кліті  $a_w = 186$  мм.

Визначимо ділительний діаметр шестерні:

$$d_1 = (530 \dots 550) \sqrt[3]{\frac{T(U+1)}{U \cdot [\sigma_H]^2 \cdot \psi_{ba}}}; \quad (2.22)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.22) одержимо:

$$d_1 = 530 \sqrt[3]{\frac{15402(1+1)}{1 \cdot 875^2 \cdot 1,5}} = 186 \text{ мм};$$

Визначимо ширину шестерні

$$b = d_1 \cdot \psi_{bd}; \quad (2.23)$$

$$\psi_{bd} = \psi_{ba} \frac{a_w}{d_1}; \quad (2.24)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.24) одержимо:

$$\psi_{bd} = 1,5 \frac{186}{186} = 1,5;$$

Підставивши числові значення у вираження (2.23) одержимо:

$$b = 186 \cdot 1,5 = 200 \text{ мм}.$$

Визначимо модуль зачеплення:

$$m = \frac{d_1}{z_1}; \quad (2.25)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.25) одержимо:

$$m = \frac{186}{23} = 8,08;$$

Згідно рекомендацій приймаємо  $m = 8$  [8].

Визначимо кут зачеплення:

$$\sin \beta = \frac{\pi \cdot m}{b} \varepsilon_\beta; \quad (2.26)$$

де  $\varepsilon_\beta = 1,3$  – коефіцієнт осьового перекриття,

Підставивши числові значення у вираження (2.26) одержимо:

$$\sin \beta = \frac{3,14 \cdot 8}{200} \cdot 1,3 = 0,16328;$$

$$\beta = 8^{\circ}6'34''.$$

Визначимо модуль торцевий:

$$m_t = \frac{m}{\cos \beta}; \quad (2.27)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.27) одержимо:

$$m_t = \frac{8}{\cos 8^\circ} = 8,08;$$

Уточнюємо параметри зачеплення:

Діаметр окружності виступів

$$d_a = d_1 + 1,8m; \quad (2.28)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.28) одержимо:

$$d_a = 186 + 1,8 \cdot 8 = 200,4\text{мм.}$$

Діаметр окружності западин

$$d_f = d_1 - 2,1m; \quad (2.29)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.29) одержимо:

$$d_f = 186 - 2,1 \cdot 8 = 169,2\text{мм.}$$

Визначимо окружну швидкість шестерень:

$$V = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n}{60 \cdot 10^3}; \quad (2.30)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.30) одержимо:

$$V = \frac{3,14 \cdot 186 \cdot 500}{60 \cdot 10^3} = 4,87\text{м/с.}$$

Визначимо сили в зачепленні.

Колова сила:

$$F_t = \frac{2T}{d_1}; \quad (2.31)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.31) одержимо:

$$F_t = \frac{2 \cdot 15402}{0,186} = 165,6126 \text{кН.}$$

Радіальна сила:

$$F_r = \frac{F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha_k}{\cos \beta}; \quad (2.32)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.32) одержимо:

$$F_r = \frac{165,6 \cdot \operatorname{tg} 27^\circ}{\cos 8^\circ} = 85,2 \text{кН.}$$

Осьова сила:

$$F_a = F_r \cdot \operatorname{tg} \beta; \quad (2.33)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.33) одержимо:

$$F_a = 165,6 \cdot \operatorname{tg} 8^\circ = 23,3 \text{кН.}$$

#### 2.4.3 Розрахунок зубчастого зачеплення шестеренної кліті на міцність

Вихідні дані для розрахунку:



Крутний момент	$T = 7861 \text{ Н м}$
Частота обертання шестеренного валка	$n = 178 \text{ хв}^{-1}$
Передаточне число	$U = 1$
Матеріал	Сталь 40Х
Термообробка	азотування
Твердість	HRC 36...50
Межа міцності матеріалу шестеренного валка	$\sigma_s = 1000 \text{ МПа}$
Межа плинності матеріалу шестеренного валка	$\sigma_m = 800 \text{ МПа}$
Ширина шестерні	$b = 200 \text{ мм}$
Діаметр шестерні	$d = 186 \text{ мм}$

Шестеренна кліть повинна працювати 24 год. у добу, 300 днів у році протягом 10 років. Передача працює в середньому режимі.

Приймаємо коефіцієнти приведення [4]  $K_{HE} = 0,25$ ;  $K_{FE} = 0,14$ .

Визначимо базове число циклів напружень за графіком [4] залежно від твердості вал–шестерні  $N_{HO} = 70 \cdot 10^6$ ;  $N_{FO} = 4 \cdot 10^6$ .

Час роботи передачі

$$\sum t = L_T \cdot 300 \cdot 8 = 10 \cdot 300 \cdot 8 = 24000 \text{ год.}$$

Суммарнае число циклів змінних напружень:

$$N = 60 \cdot \sum t \cdot n \cdot c_2; \quad (2.34)$$

де  $c_2 = 1$  – коефіцієнт, умов роботи.

Підставивши числові значення у вираження (2.34) одержимо:

$$N = 60 \cdot 24000 \cdot 201 \cdot 1 = 2,8 \cdot 10^8.$$

Еквівалентне число циклів змінних напружень:

$$N_{HE} = K_{HE} \cdot N > N_{HO} = 70 \cdot 10^7; \quad (2.35)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.35) одержимо:

$$N_{HE} = 0,25 \cdot 2,8 \cdot 10^8 = 7 \cdot 10^7 > N_{HO} = 70 \cdot 10^7$$

$$N_{FE} = K_{FE} \cdot N > N_{HO} = 4 \cdot 10^6; \quad (2.36)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.36) одержимо:

$$N_{FE} = 0,14 \cdot 2,8 \cdot 10^8 = 3,9 \cdot 10^7 > N_{HO} = 4 \cdot 10^6.$$

В зв'язку з тим, що  $N_{FE} > N_{FO}$ , коефіцієнт довговічності  $K_{KL} = 1$ .

Контактне допустиме напруження  $[\sigma_H]$ :

$$[\sigma_H] = \frac{1050}{S_H} \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}}; \quad (2.37)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.37) одержимо:

$$[\sigma_H] = \frac{1050}{1,2} \sqrt[6]{\frac{70 \cdot 10^6}{70 \cdot 10^6}} = 875 \text{ МПа.}$$

Допустиме напруження при перевантаженнях:

$$[\sigma_H]_{\max} = 30 \cdot HRC; \quad (2.38)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.38) одержимо:

$$[\sigma_H]_{\max} = 30 \cdot 50 = 1500 \text{ МПа.}$$

Допустиме напруження вигину  $[\sigma_F]$ :

$$[\sigma_F] = \frac{12 \cdot \text{HRC} + 300}{S_F} \cdot K_{FL} \cdot K_{FC}; \quad (2.39)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.39) одержимо:

$$[\sigma_F] = \frac{12 \cdot 36 + 300}{1,75} \cdot 1 \cdot 1 = 477 \text{ МПа.}$$

Допустиме напруження при перевантаженнях  $[\sigma_F = 1000]$  МПа.

Перевірка зубців по кантактним напруженням

$$\sigma_H = z_m z_\beta z_k \sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 T (U+1) \cdot K_{HV} \cdot K_{H\alpha}}{d_1^2 \cdot m \cdot U \cdot K_E}} < [\sigma_H]; \quad (2.40)$$

де  $Z_m$  – коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалу вал-шестерні:

$$z_m = \sqrt{\frac{E}{\pi \cdot (1 - \mu^2)}}; \quad (2.41)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.41) одержимо:

$$z_m = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{3,14(1 - 0,3^2)}} = 275 \text{ МПа.}$$

де  $Z_\beta$  – коефіцієнт, що залежить від кута нахилу зубців, вибираємо за графіком [4],  $Z_\beta = 0,25$ ;

$Z_k$  – коефіцієнт, що враховує довжину умовної лінії контакту по висоті зуба,  $Z_k = 0,8$ ;

$K_{HV}$  – коефіцієнт динамічності,  $K_{HV} = 1,05$ ;

$K_{H\alpha}$  – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантажень між головкою й ніжкою зуба

$$K_{H\alpha} = 1 + 0,7h_a \sqrt{\frac{U}{z_1}}; \quad (2.42)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.42) одержимо:

$$K_{H\alpha} = 1 + 0,7 \cdot 8 \sqrt{\frac{1}{23}} = 1,24,$$

де  $K_\varepsilon$  – коефіцієнт розподілу навантажень по площадках контакту для передач

$$K_\varepsilon = 2K_p + \frac{\Delta\varepsilon}{2K_p}; \quad (2.43)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.43) одержимо:

$$K_\varepsilon = 2 \cdot 2 + \frac{0,3}{2 \cdot 2} = 4,75,$$

де  $K_p$  – ціле число осьових кроків  $P_x$  на ширині зубчастого вінця

$\Delta\varepsilon$  – дробова частина осьового перекриття

Підставивши числові значення у вираження (2.40) одержимо:

$$\sigma_H = 275 \cdot 0,25 \cdot 0,8 \sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 \cdot 7861 \cdot 4,55 \cdot 1,24}{186^2 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 4,75}} = 497,2 \text{ МПа} < [\sigma_H] = 875 \text{ МПа}$$

Перевірка зубців по напруженнях вигину

$$\sigma_F = Y_F Y_\beta Y_K \frac{2 \cdot 10^3 \cdot T \cdot K_{FV} \cdot K_{F\alpha}}{m^3 \cdot z \cdot K_\varepsilon}; \quad (2.44)$$

де  $Y_F$  – коефіцієнт форми зубів обумовлений за графіком [4],  $Y_F=5,1$ ;

$Y_K$  – коефіцієнт зміни напружень вслідствии переміщення площадки контакту по довжині зуба, вибираємо за графіком [4],  $Y_K=1,09$ ;

$Y_\beta$  – коефіцієнт залежний від кута нахилу зубів, вибираємо за графіком [4],  $Y_\beta = 0,08$ ;

$K_{FV}$  – коефіцієнт динамічності навантаження,  $K_{FV} = 1,4$ ;

$K_{F\alpha}$  – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантажень між головкою й ножкою зуба

$$K_{F\alpha} = 1 + 0,08h_a \sqrt{\frac{1}{z}}; \quad (2.45)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.45) і одержимо:

$$K_{F\alpha} = 1 + 0,08 \cdot 8 \sqrt{\frac{1}{21}} = 2,33$$

Підставивши числові значення у вираження (4.44) одержимо:

$$\sigma_F = 5,1 \cdot 0,08 \cdot 1,09 \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 7861 \cdot 1,4 \cdot 2,33}{8^3 \cdot 23 \cdot 4,75} = 446 \text{ МПа} < [\sigma_F] = 477 \text{ МПа}$$

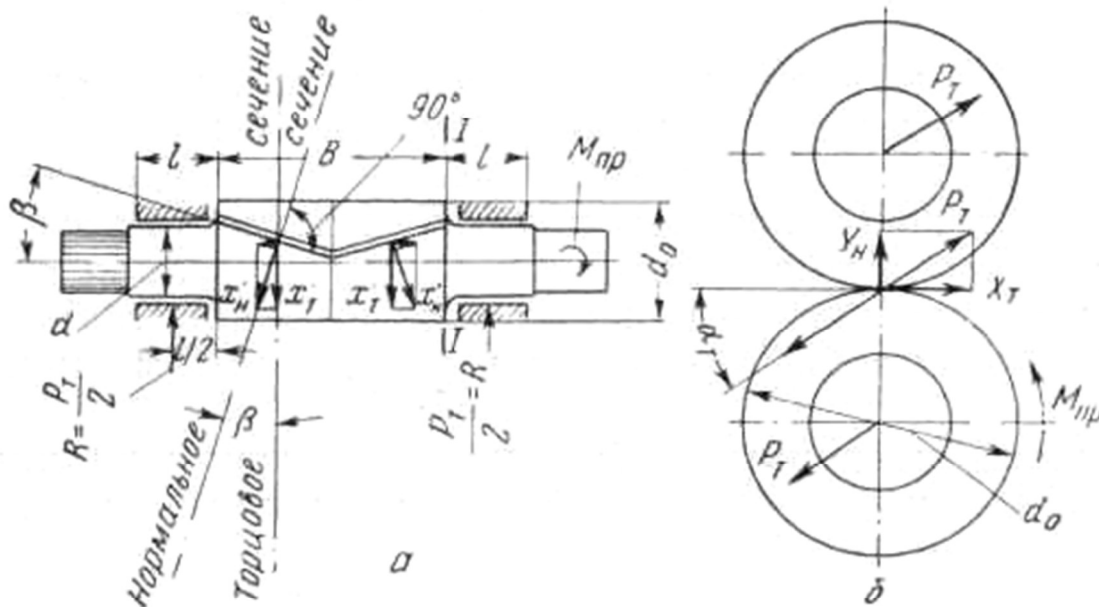
Умова виконується, що підтверджує правильність виконання розрахунків.

#### 2.4.4 Розрахунок шестеренного валка на міцність

Шестерні шестеренної кліті передають великі крутні моменти, їх виготовляють як одне ціле із шийками для підшипників і часто називають шестеренними валками. Розміри шийок шестеренних валків визначають розрахунком їх на міцність. У тому випадку, коли застосовують роликові конічні підшипники для шестеренних валків, розміри шийки необхідно погодити також із внутрішнім діаметром цих підшипників. На кінці шестеренних валків насаджують головки шарнірів шпінделів або лопатки для з'єднання зі шпінделями.



Розглянемо зусилля, що діють на зуби шевронної шестерні (рис.2.5).  
 При розрахунку шийки вала на міцність коефіцієнт концентрації  $k_2$   
 напружень у зубах не враховуємо.



а – сили діючі на зуби й шийки; б – дія сил у торцевому перетині

Рисунок 2.5 – До розрахунку шестеренного валка

Кут у торцевому перетині шестерні:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{\cos \alpha_0}; \quad (2.46)$$

Приймаємо  $\alpha_0 = 23^\circ$

Підставивши числові значення у вираження (2.46) одержимо:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 30^\circ} = \frac{0.36397}{0.866} = 0,421.$$

Знаючи  $\alpha_o$ , визначимо зусилля, що діє в зубах, у цьому перетині.

$$P_T = x_T / \cos \alpha_T, \quad (2.47)$$

де  $x_T$  – максимальне окружне зусилля в зачепленні шестерень.

Значення  $x_T$  можна визначити із крутного моменту, переданого зачепленням:

$$x_T = \frac{M_{\text{зап}}}{(d_o/2)} = \frac{2M_{\text{зап}}}{d_o} \quad (2.48)$$

При  $\alpha_o = 23^\circ$   $\cos \alpha_m = 0,92$ , тому формула має вигляд

$$P_T = 2,17 \cdot M_{\text{зап}} / d_o \quad (2.49)$$

Це зусилля, спрямоване під кутом  $\alpha_m = 23^\circ$  до горизонталі, згинає шийки шестеренного валка й сприймається підшипниками. На кожну шийку діє зусилля, рівне

$$R = \frac{P_T}{2} \quad (2.50)$$

Максимальне напруження вигину в перетині між шийкою й шестернею дорівнює

$$\sigma_{\text{зг}} = \frac{M_{\text{зг}}}{0,1d_{\text{ш}}^3} \quad (2.51)$$

Згинальний момент у цьому перетині буде дорівнювати добутку сили  $R$ , що діє на шийку, на відстані від осі шийки до небезпечного переріза. Цю відстань можна прийняти рівною половині довжини шийки шестеренного валка, тобто  $l_{ш} / 2$ , тоді

$$M_{зг} = R \cdot l_{ш} = \frac{R l_{ш}}{2} \quad (2.52)$$

Підставивши значення  $R$  з формули (2.51), одержимо формулу для визначення напруження вигину в небезпечному перерізі шийки:

$$\sigma_{взг} = 5,34 \cdot \frac{M_{зац} \cdot l_{ш}}{d_0 \cdot d_{ш}^3} \quad (2.53)$$

де  $l_{ш}$  й  $d_{ш}$  – довжина й діаметр шийки шестеренного валка.

Крім напружень вигину в шийках шестеренних валків виникають також напруження кручення. Максимальне напруження кручення буде в шийці шестерні з боку двигуна (або редуктора)

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{0,2 \cdot d_{ш}^3} = \frac{2 \cdot M_{зац}}{0,2 \cdot d_{ш}^3} \quad (2.54)$$

де  $M_{кр} = 2 \cdot M_{зац}$  – максимальний крутний момент, переданий шийкою двом шестерням від провідного вала (або редуктора).

Результуюче напруження в цій шийці від дії згинаючого й крутного моментів буде дорівнювати

$$\sigma_{рез} = \sqrt{\sigma_{зг}^2 + 3 \cdot \tau_{кр}^2} \quad (2.55)$$

Напруження, що допускається, для шийок при виготовленні шестеренних валків з кутої сталі 40 або 40Х можна приймати  $[\sigma]$  = рівним 130–150 МПа.

Результуюче напруження повинне бути меншим за допустиме.

Визначимо максимальне окружне зусилля в зачепленні шестерень по формулі (2.48):

$$x_T = \frac{2 \cdot 7861}{0,182} = 86,38 \text{кН}.$$

Визначимо зусилля, що діє в зубах, у цьому перетині по формулі (2.49)

$$P_T = 2,17 \cdot \frac{7861}{0,182} = 93,73 \text{кН}.$$

Визначимо зусилля, що діє на кожну шийку по формулі (2.50)

$$R = \frac{93,73}{2} = 46,86 \text{кН}.$$

Визначимо згинальний момент у цьому перетині по формулі (2.52):

$$M_{зг} = R_c = \frac{46,86 \cdot 0,06}{2} = 1,41 \text{кНм}.$$

Визначення напруження вигину в небезпечному перерізі шийки по формулі (2.53):

$$\sigma_{изг} = 5,43 \frac{7861 \cdot 0,06}{0,182 \cdot 0,192^3} = 0,366 \text{МПа}.$$

Визначення напружень кручення в небезпечному перерізі шийки по формулі (2.54):

$$\tau_{кр} = \frac{2 \cdot 7861}{0,2 \cdot 0,192^3} = 11,106 \text{ МПа}.$$

Результуюче напруження в цій шийці від дії згинаючого й крутного моментів по формулі (2.55)

$$T = 5730 \cdot 2,8 \cdot 0,96 = 15402 \text{ Нм}.$$

Результуюче напруження в цій шийці від дії згинаючого й крутного моментів менше допустимого:

$$\sigma_{рез} = 19,24 \text{ МПа} < [\sigma] = 130 \text{ МПа}.$$

Умова виконується.

#### 2.4.5 Розрахунок опорного ролика на міцність

Як видно з табл. 2.1 при виправлення штаби найбільше зусилля приходиться на третій ролик:  $P_3 = 218,8$  кН. Знайдемо розподілене навантаження, яке діє на робочий ролик при виправленні штаби:

$$q = \frac{P_3}{b}, \quad (2.56)$$

де  $P_3$  – навантаження на ролик,  $P_3 = 218,8$  кН;

$b$  – найбільша ширина штаби,  $b = 1,520$  м.

$$q = \frac{218,8}{1,520} = 144 \text{ кН/м.}$$

Приймаємо робочий ролик у вигляді нерозрізної балки постійного перетину. Робочий ролик опирається по довжині на два опорні ролики. Трьохпрольотна нерозрізна балка.

Визначимо реактивні моменти й опорні реакції:

Згідно з розрахунковою схемою (рис. 2.6) знаходимо реактивні моменти:

$$M_1 = M_2 = -\frac{ql_1^2}{4} \cdot \frac{1 + \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^3}{2 + 3\left(\frac{l_2}{l_1}\right)}, \quad (2.57)$$

де  $q$  – розподілене навантаження, що діє на робочий ролик при виправленні штаби,  $q=144$  кН/м;

$l_1=0,73$  м;  $l_2=0,94$  м – відстань між опорами (рис.2.6);

Підставивши числові значення в формулу 2.57 отримаємо:

$$M_1 = M_2 = -\frac{144 \cdot 0,73^2}{4} \cdot \frac{1 + \left(\frac{0,94}{0,73}\right)^3}{2 + 3\left(\frac{0,94}{0,73}\right)} = -10,2 \text{ кНм.}$$

Знайдемо опорні реакції:

$$R_0 = R_3 = \frac{ql_1}{2} + \frac{M_1}{l_1}, \quad (2.58)$$



$$R_1 = R_2 = q \frac{l_1 + l_2}{2} - \frac{M_1}{l_1}, \quad (2.59)$$

Підставивши чисові значення в формули 2.58 та 2.59 отримаємо:

$$R_0 = R_3 = \frac{q l_1}{2} + \frac{M_1}{l_1} = \frac{144 \cdot 0,73}{2} + \frac{-10,2}{0,73} = 38,6 \text{ кН};$$

$$R_1 = R_2 = q \frac{l_1 + l_2}{2} - \frac{M_1}{l_1} = 144 \cdot \frac{0,73 + 0,94}{2} - \frac{-10,2}{0,73} = 134,2 \text{ кН}.$$

Перевірка:

$$R_0 + R_1 + R_2 + R_3 = q \cdot (l_1 + l_2 + l_1)$$

$$38,6 + 134,2 + 134,2 + 38,6 = 144 \cdot (0,73 + 0,94 + 0,73)$$

$$345,6 \text{ кН} = 345,6 \text{ кН}$$

виконано.

Таким чином, найбільше зусилля  $R_1=R_2=134,2$  кН припадає на середину опор робочих роликів

Знайдемо опорні реакції в опорному ролику згідно з розрахунковою схемою (рис.2.6):

Для цього складемо суму моментів щодо точки А:

$$R \cdot c - q \cdot a \cdot (0,5 \cdot a + b) = 0$$

$$R = \frac{q \cdot a \cdot (0,5 \cdot a + b)}{c}, \quad (2.60)$$

де  $a$  – довжина бочки опорного ролика,  $a=0,34$  м;

$b$  – відстань від точки опори до бочки робочого ролика,  $b=0,130$  м;

$c$  – відстань між опорами опорного ролика,  $c=0,600$  м.

$q$  – погонне навантаження по довжині опорного ролика:

$$q = \frac{R_1}{a} = \frac{134,2}{0,34} = 395 \text{ кН/м};$$

Підставивши значення в формулу 5.60 отримаємо реакцію опори:

$$R = \frac{395 \cdot 0,34 \cdot (0,5 \cdot 0,34 + 0,130)}{0,600} = 67,15 \text{ кН}.$$

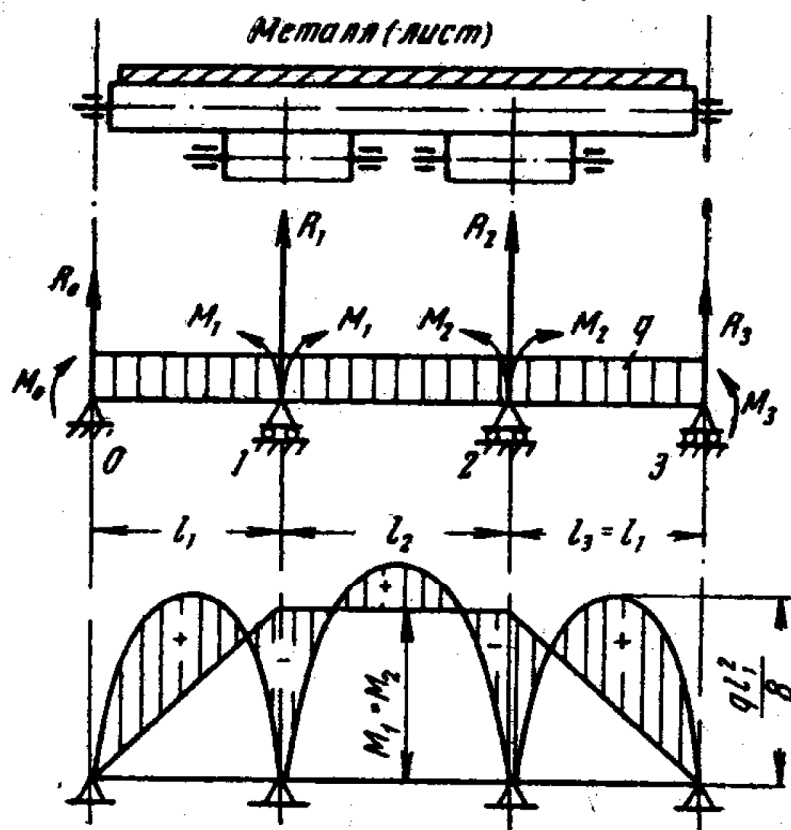


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема навантажень й епюри реактивних моментів

Знайдемо момент вигину, який діє в особливо навантаженому місці перетин 1–1 (рис.2.7):

$$M_{\text{изг}} = \frac{R \cdot c}{2} - \frac{q a}{2} \cdot \frac{a}{4} - \frac{R \cdot c}{2} + \frac{q a^2}{8};$$

$$M_{\text{изг.}} = \frac{67,15 \cdot 0,600}{2} - \frac{395 \cdot 0,34^2}{8} = 14,43 \text{ кНм.}$$

Перевірка бочки опорного ролика на міцність:

$$\sigma_{1-1} = \frac{M_{\text{зг}}}{0,1 \cdot d^3} \leq [\sigma], \quad (2.61)$$

де  $M_{\text{изг}}$  – момент вигину,  $M_{\text{изг}} = 14,43$  кНм;

$d$  – діаметр бочки опорного ролика,  $d = 0,195$  м.

$[\sigma]_{\text{изг}}$  – допустиме напруження вигину матеріалу ролика, для Ст.40Х,

$[\sigma]_{\text{изг}} = 120$  МПа.

$$\sigma_{1-1} = \frac{14,43}{0,1 \cdot 0,195^3} = 19 \text{ МПа} < [\sigma] = 120 \text{ МПа.}$$

Умову міцності бочки виконано.

Перевіримо небезпечний переріз опорного ролика, перетин 2–2 (шийка):

$$\sigma_{2-2} = \frac{M_{\text{зг}}}{0,1 \cdot d^3} \cdot k_{\sigma} \leq [\sigma], \quad (2.62)$$

де  $d$  – діаметр шийки опорного ролика,  $d = 0,090$  м.

$k_{\sigma}$  – коефіцієнт концентрації напружень у жолобу,  $k_{\sigma} = 1,7$ .

Момент вигину, який діє в особливо навантаженому місці перетин 2–2 (рис.2.6), дорівнює:

$$M_{\text{зг}} = R \cdot f;$$

де  $f$  – відстань від жолоба до опори ролика,  $f = 0,053$  м.

$$M_{3Г} = 67,15 \cdot 0,053 = 3,55 \text{ кНм};$$

$$\sigma_{2-2} = \frac{3,55}{0,1 \cdot 0,09^3} \cdot 1,7 = 83 \text{ МПа} < [\sigma] = 120 \text{ МПа}.$$

Умову міцності виконано.

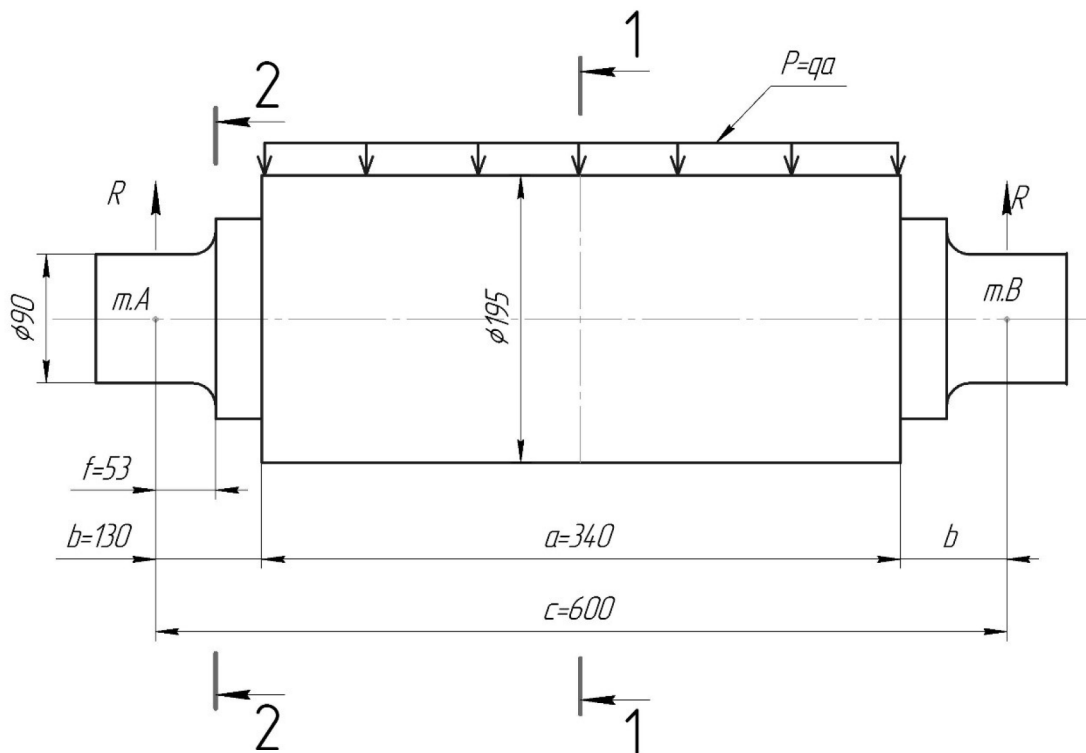


Рисунок 2.7 – Схема до розрахунку опорного валка на міцність

Контактні напруження між робочим та опорним роликками знаходимо згідно з формулою Герца:

$$\sigma_{\kappa} = 0,418 \sqrt{\frac{qE}{r_{\text{np}}}} \leq [\sigma_{\kappa}], \quad (2.63)$$

де  $r_{\text{np}}$  – наведений радіус ( $r_1=r_2=d/2$ ):

$$r_{\text{np}} = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} = \frac{d}{4} = \frac{0,195}{4} = 0,04875 \text{ м};$$

$E$  – модуль пружності матеріалу, сталь,  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа ;

$q$  – погонне навантаження по довжині опорного ролика,  $q = 395$  кН/м;

$[\sigma_k]$  – допустиме контактне напруження матеріалів:

$[\sigma_k] \approx 2\sigma_s = 2 \cdot 785 = 1570$  МПа,  $\sigma_s$  – межа плинності матеріалу Ст40Х,  $\sigma_s = 785$  МПа.

$$\sigma_k = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{395 \cdot 10^3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{0,04875}} \cdot 10^{-6} = 1304 \text{ МПа} < [\sigma_k] = 1570 \text{ МПа.}$$

Розрахунки підтвердили доцільність збільшення діаметра шийки опорних роликів. Але все ж таки запас міцності не дуже великий, тому рекомендується звернути увагу на виконання більш якісної термообробки робочої поверхні ролика.

#### 2.4.6 Вибір муфти зі різними пальцями

Муфти служать для поздовжнього з'єднання двох деталей машин, зв'язаних загальним обертовим рухом. Крім того муфти використовуються як попереджувальні засоби, для уникнення перевантажень.

Для з'єднання тихохідного вала редуктора й вала шестеренної кліти, в якості модернізації, використовуємо муфту МУВП (втулично–пальцева з гумовими втулками).

Вихідними даними для розрахунку є передавана потужність  $P_d = 300$  кВт;  $n_d = 500$  хв<sup>-1</sup>; матеріал пальців – ст 45; допустиме напруження  $[\sigma_F] = 90$  МПа.

Визначимо номінальний момент передаваний муфтою:

$$T = T_H \cdot U_P \cdot \eta_P; \quad (2.64)$$

де  $T_H$  – номінальний момент на валу двигуна;

$U_P$  – передаточне число редуктора,  $U_P = 2,8$ ;

$\eta$  – ККД редуктора,  $\eta = 0,96$ ;

Підставивши числові значення у вираження (2.64) одержимо:

$$T = 5730 \cdot 2,8 \cdot 0,96 = 15402 \text{ Нм.}$$

Розрахунковий момент:

$$T_P = T_M = K_1 \cdot K_2 \cdot T; \quad (2.65)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт, що враховує ступінь відповідальності й механізму,

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує режим роботи;

Приймаємо  $K_1 = 1,3$ ,  $K_2 = 1,1$

Підставивши числові значення у вираження (2.57) і одержимо:

$$T_P = T_M = 1,3 \cdot 1,1 \cdot 15402,2 = 22025,2 \text{ Нм.}$$

По довіднику вибираємо муфту МУВП–75, що може передавати найбільший момент  $T_{P \max} = 23600 \text{ Нм}$ ;  $n_{\max} = 1900 \text{ об/хв}$ ; діаметр валів  $d = 95 \text{ мм}$ . Параметри муфти:  $z = 10$  – число пальців;  $d_{\text{п}} = 16 \text{ мм}$  – діаметр пальців.

Зусилля діюче по колу радіусом  $R = 200 \text{ мм}$ :

$$F = \frac{T_P}{R}; \quad (2.66)$$

Підставивши числові значення у вираження (2.66) одержимо:

$$F = \frac{22025,2}{0,2} = 110,1 \text{ кН.}$$



Напруження вигину пальців при навантажені муфти моментом  $T_p$ :

$$\sigma_F = \frac{F \cdot l_2}{2 \cdot z \cdot W} < [\sigma_F] \quad (2.67)$$

де  $W$  – момент опору вигину для перетину пальця:

$$W = 0,1 \cdot d_n^3, \text{мм}^3 \quad (2.68)$$

$$W = 0,1 \cdot 16^3 = 409,6 \text{ мм}^3$$

Тоді

$$\sigma_F = \frac{110100 \cdot 55}{2 \cdot 10 \cdot 409,6} = 33 \text{ МПа} < [\sigma_F] = 90 \text{ МПа}$$

Тиск між пальцями й пружними гумовими втулками:

$$q = \frac{T_p}{z \cdot R \cdot l_5 \cdot d_n}, \text{МПа} \quad (2.69)$$

$$q = \frac{22025,2 \cdot 10^3}{10 \cdot 200 \cdot 63 \cdot 16} = 1,1 \text{ МПа} < [q] = 3 \text{ МПа}$$

Умова виконується, щр вказує на правильність підбраної муфти.

## 3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА

### 3.1 Послідовність монтажу редуктора

Привод тринадцятироlikової правильної машини складається з комбінованого редуктора, що з'єднаний за допомогою муфти з електродвигуном.

Ремонт привода правильної машини складається із двох частин. Перша частина – це заміна редуктора привода. При цьому редуктор, що відробив свій нормативний строк, або, що вийшов з ладу аварійно, замінюється заздалегідь відремонтованим редуктором. Одночасно може мінятися й електродвигун.

Друга частина ремонту – це ремонт раніше знятих редукторів. Цей ремонт виконується в майстерні ремонтного цеху й містить у собі заміну або ремонт зношених деталей.

Заміна редукторів виконується, в основному, залежно від стану зубчастих коліс, що визначає період роботи редукторів. Рідше – це випадки поломок.

Згідно ПТЕ ревізія й ремонт привода правильної машини виконується не рідше одного разу в місяць або для заміни правильних роликів при ослабленні їхньої посадки на валах редукторів, при наявності на валах поперечних тріщин.

Особливістю роботи із заміни редуктора привода правильної машини є ретельна підготовка інструмента й пристосувань, обережна й уважна робота при викочуванні й заочуванні редукторів, та відвантаженні зламаного редуктора до майстерні. При необережних роботах при виконанні цих операцій можна порушити фундамент привода машини. А це вже велика додаткова робота. Тому, на керуванні лебідкою повинен стояти добре проінструктований і навчений робітник.

Підготовчі роботи перед початком демонтажу редуктора наведено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Підготовчі роботи

Заходи	Виконавець
Зупинка листоправильної машини	ЦГПТЛ
Від'єднання електропроводки	ЦГПТЛ
Установка електрозварювального апарата	ЦГПТЛ
Підключення й відключення електрозварювального апарата	ЦГПТЛ
Перевірка масла в гідросистемі	ЦГПТЛ
Перевірка роботи мостових кранів	ЦГПТЛ
Організувати присутність електрика й слюсара по кранам на період підйому й опускання редуктора	ЦГПТЛ
Підготовка пристосувань і оснащення	ЦРПО
Від'єднання мастилопроводів від редуктора	ЦГПТЛ
Розболтити редуктор з рами	ЦГПТЛ
Роз'єднати редуктор та електродвигун	ЦГПТЛ

#### Вантажопотоки

Зняття редуктора з електротранспорту – ЕК–2 – й установка його на ЕК–2, після заміни на приводі машини, здійснюється електромостовим краном відповідно до інструкції по техніці безпеки. Установка й зняття електродвигуна, з'єднувальних муфт і інших дрібних деталей здійснюється за допомогою електротельферів вантажопідйомністю 3 т відповідно до інструкції по техніці безпеки. Підйом вантажу, його транспортування й укладання вантажу здійснюється відповідно до інструкції, схеми вантажопотоку й схеми стропування вантажів. При цьому крановий машиніст керується своєю інструкцією.

Підкрановий робітник (старший по кваліфікації слюсар, що має посвідчення стропальника) при подачі команди крановому машиністові на підйом, транспортування й укладання вантажу перебуває в такому безпечному місці, звідки добре видні крановий машиніст і місце вантажу. Інші слюсарі

(також, що мають посвідчення, стропальника) виконують підкранові роботи під керівництвом старшого з дотриманням всіх правил безпечної роботи під краном. Електротранспорт для подальшого транспортування редуктора встановлюється на проїзній частині шляху. Звідси транспортування вантажу проводиться на відстані не більше 10–15 м від місця роботи.

Перед початком роботи із заміни редуктора привода правильної машини з діючою технологічною картою повинні бути ознайомлені крановий машиніст і робітники, що виконують цю роботу.

#### Заміна редуктора

Розпустити болти підбуксових планок, підкласти під них спеціальні підставки, потім зняти болти. Планки залишити на підставках так, щоб відстань між буксою й високою частиною планки було не менш 50 мм.

Закріпити букси осей до кришок редуктора дротом від їхнього провертання.

Закріпити кріплення муфти для зняття електродвигуна.

Розкріпити й зняти з букс редуктора розпірні тяги. Болти наживити на місце.

Застропить редуктор за монтажні гаки стропом вантажопідйомністю 1 т, довжиною 3...4 м, пропустиши канат стропа через гаки, а петлі стропів надіти на гак тельфера електромостового крана. Підняти редуктор та завантажити його на транспорт для перевезення в механічний цех на електрокар – ЕК–2.

Тельфер розстропити повністю.

Застропити відремонтований редуктор з електрокара стропом вантажопідйомністю 1 т, довжиною 3...4 м, пропустиши канат стропа через гаки, а петлі стропів надіти на гак тельфера електромостового крана, та встановити на раму привода виставивши його на пакет підкладок. Цим же стропом встановити електродвигун на раму привода.

Після установки електромотора, з'єднати за допомогою муфти його з редуктором.

Установити й закріпити гальма електродвигуна. Їх залишити розпущеними.

Обрубати й забрати дріт, що втримує букси від провертання. Забрати інструмент і оснащення.

### 3.2 Розрахунок фундаменту для установки вузла робочої кліті правильної машини

Фундаменти призначені для передачі зусиль на ґрунт і зменшення вібрації машин при експлуатації. Їх виконують з бетону у вигляді блоків, розділених деформаційними швами різного призначення (осадкові, усадкові і ін.). Початковими показниками для проектування фундаментів є параметри і габаритні розміри підстав машин, схема навантаження фундаменту, дані про геологію, гідрогеологію і фізико–механічні властивості ґрунту, схеми прив'язки фундаменту до будівлі, розташування закладних частин, приямків і каналів.

Анкерні болти служать для кріплення устаткування до фундаменту. Анкерні болти розрізняють на глухі й заводні. Глухі встановлюють до бетонування, приварюючи їх до арматур фундаменту, а заводні встановлюються в анкерні колодязі, виконані у фундаменті.

Відповідно до рекомендацій [11] на 1 тону ваги встановлюваного устаткування необхідно 3-5 м<sup>3</sup> бетону. Отже, при загальній вазі устаткування вузла робочої кліті правильної машини  $G_{об}=5,6$  т, обсяг фундаменту складе  $V_{\phi} = 4,5 \cdot 5,6 = 25,2$  м<sup>3</sup>, при щільності бетону  $\gamma = 2,1$  т/м<sup>3</sup> загальна маса фундаменту складе:

$$G_{\phi} = V_{\phi} \cdot \gamma = 25,2 \cdot 2,1 = 52,92 \text{ т} = 52920 \text{ кг} \quad (3.1)$$

Визначимо розміри фундаменту з умови, що загальні габарити робочої кліті правильної машини в плані складають:  $a = 2650$  мм,  $b = 2350$  мм.

$$a' = a + 2n_1, \quad (3.2)$$

$$, \quad a'' = a' + 2n_2 \quad (3.3)$$

$$b' = b + 2n_1, \quad (3.4)$$

$$b'' = b' + 2n_2, \quad (3.5)$$

де  $n_1 = 500$  мм – величина збільшення розміру фундаменту;

$n_2 = 600$  мм – величина збільшення розміру фундаменту;

$a', a'', b', b''$  – розміри фундаменту, мм.

Підставивши значення у вираження 3.2–3.5, одержимо:

$$\begin{aligned} a' &= 2650 + 2 \cdot 500 = 3650 \text{ мм}, \\ a'' &= 3650 + 2 \cdot 600 = 4850 \text{ мм}, \end{aligned}$$

Визначимо тиск на ґрунт, який створює устаткування:

$$\rho = \frac{G_{об} + G_{ф}}{a'' \cdot b''} \leq [\rho] \quad (3.6)$$

де  $G_{об} = 5600$  кг – вага устаткування;

$G_{ф} = 52920$  кг – маса фундаменту за середнім значенням обсягу;

$a'', b''$  – розміри фундаменту, 485 см, 455 см відповідно;

$[\rho] = 2$  кг/см<sup>2</sup> – припустимий тиск на ґрунт для Запорізької області.

Підставивши значення у вираз 3.6, одержимо:

$$\rho = \frac{5600 + 52920}{485 \cdot 455} = 0,26 \text{ кг/см}^2 < [\rho] = 2 \text{ кг/см}^2$$

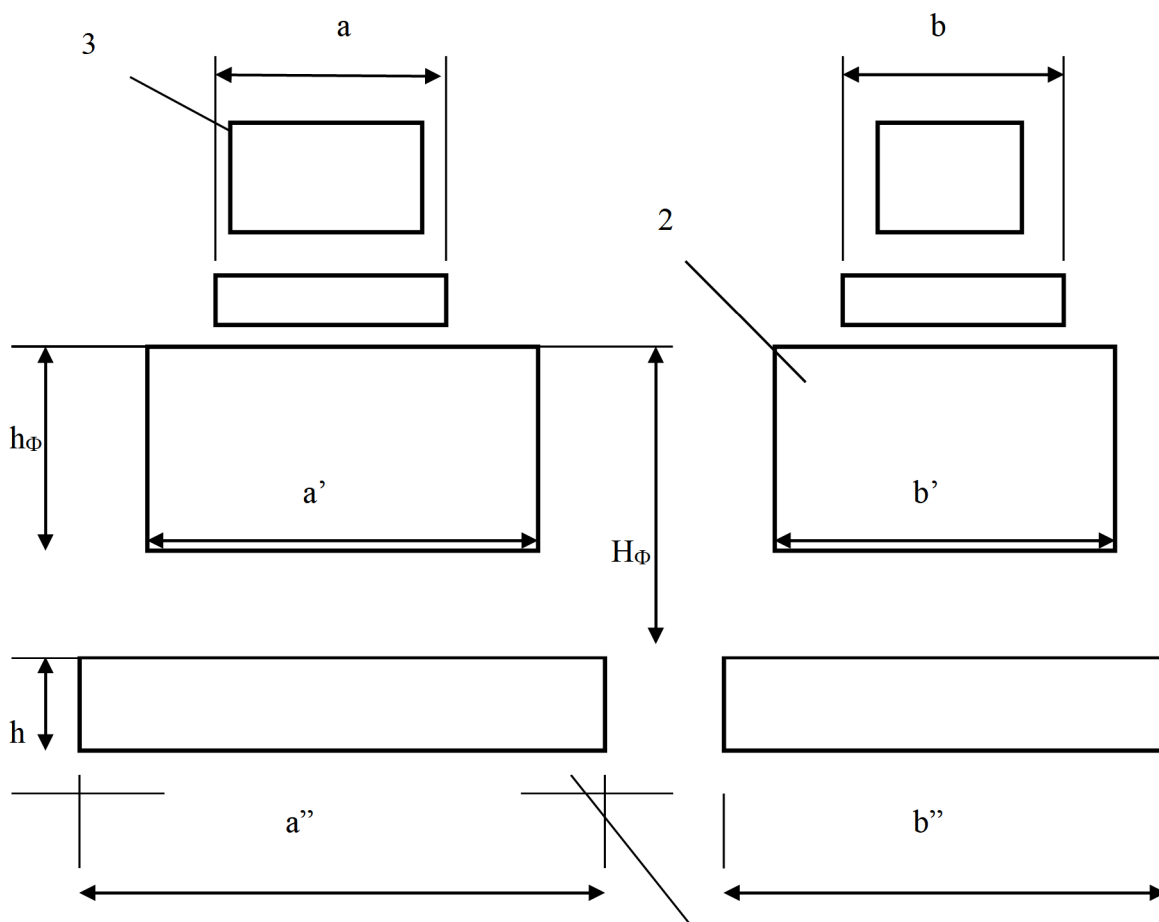
Висота фундаменту:

$$V_{ф} = a'' \cdot b'' \cdot H_{ф} \cdot \frac{1}{5} + a' \cdot b' \cdot H_{ф} \cdot \frac{4}{5}, \quad (3.7)$$

де  $a', a'', b', b''$  – габарити фундаменту (рис.2.1), м



$$V_{\phi} = 4,85 \cdot 4,55 \cdot H_{\phi} \cdot \frac{1}{5} + 3,65 \cdot 3,35 \cdot H_{\phi} \cdot \frac{4}{5} = 14,2 H_{\phi}$$



1 – підшва фундаменту; 2 – фундамент; 3 – устаткування

Рисунок 3.1 – Схема фундаменту

Підставивши значення обсягу бетону, одержимо висоту фундаменту

$$H_{\phi} = \frac{25,2}{14,2} = 1,77 \text{ м}$$

Приймаємо  $H_{\phi} = 2 \text{ м}$

Висота підшви фундаменту:

$$h_n = \frac{1}{5} \cdot H_\phi, \quad (3.8)$$

$$h_n = \frac{2}{5} = 0,4 \text{ м},$$

Висота властиво фундаменту:

$$h_\phi = H_\phi - h_n, \quad (3.9)$$

$$h_\phi = 2 - 0,4 = 1,6 \text{ м}.$$

Виходячи з даного розрахунку, можна зробити висновок, що для встановлення фундаменту під обладнання буде потрібно  $8,8 \text{ м}^3$  бетону марки Б–50 й  $19,6 \text{ м}^3$  бетону марки Б–200, та враховуючи те, що фундамент під правильну машину має складний рельєф в перетині, то можливе змінення габаритів фундаменту стосовно розрахункових.

### 3.3 Розрахунок анкерних болтів для закріплення робочої кліті правильної машини

Розрахункову схему до вибору анкерних болтів наведено на рисунку 3.2.

Анкерні болти вибираються з умови:

$$K_y = \frac{M_{\text{Відн}}}{M_{\text{Пер}}} \geq 1,4, \quad (3.10)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт стійкості,  $K_y=1,4$ ;

$M_{\text{Пер}}$  – перекидаючий момент;

$M_{\text{Відн}}$  – момент, що відновлює.

тоді  $M_{\text{Відн}} = 1,4 \cdot M_{\text{Пер}}$

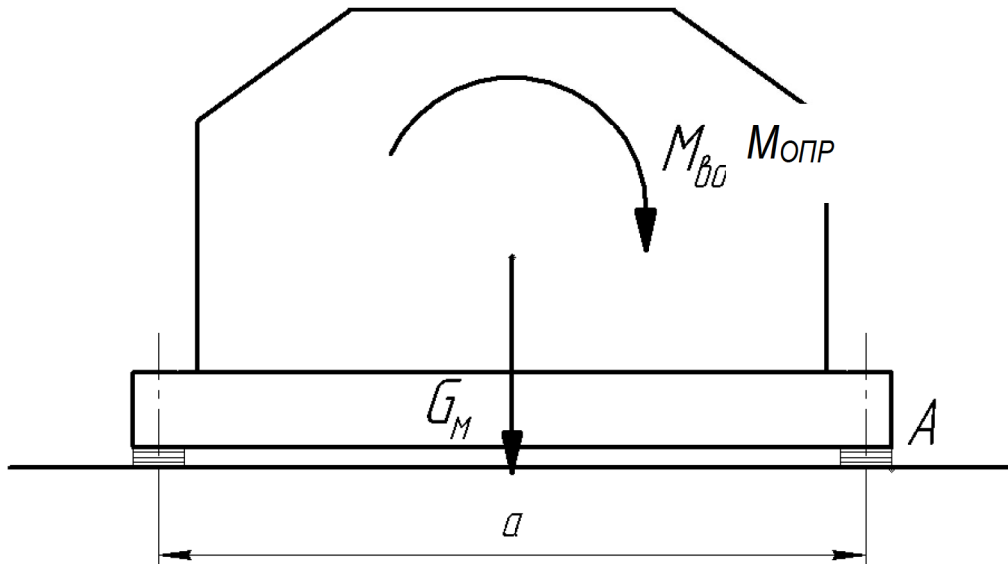


Рисунок 3.2– Схема до розрахунку анкерних болтів

$$M_{\text{вдн}} = (G_{\text{об}}) \cdot 0,5 \cdot a_{\text{б}} + Q_{\text{б}} \cdot a_{\text{б}} \cdot n_{\text{ряд}}, \quad (3.11)$$

де  $G_{\text{об}}$  – вага встановленого обладнання,  $G_{\text{об}}=5,6 \text{ т}=55 \text{ кН}$ ;

$a$  – відстань між анкерними болтами,  $a=1,6 \text{ м}$ ;

$Q_{\text{б}}$  – зусилля розтягання болта;

$n_{\text{ряд}}=2$  – число анкерних болтів з однієї сторони кліті.

$$M_{\text{опр}} = P_{\text{пр}} \cdot h, \quad (3.12)$$

де  $P_{\text{пр}}$  – зусилля виправлення,  $P_{\text{пр}}=120 \text{ кН}$ ;

$h$  – плечі зусилля виправлення,  $h=1,71 \text{ м}$ .

$$Q_{\text{б}} = \frac{1,4 \cdot P_{\text{пр}} \cdot h - G_{\text{об}} \cdot 0,5 \cdot a_{\text{б}}}{a_{\text{б}} \cdot n_{\text{ряд}}}, \quad (3.13)$$

$$Q_{\text{б}} = \frac{1,4 \cdot 120 \cdot 1,71 - 55 \cdot 0,5 \cdot 1,6}{1,6 \cdot 2} = 76 \text{ кН}$$

Визначимо діаметри анкерних болтів з умови:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_B}{\pi \cdot [\sigma]}}, \quad (3.14)$$

де  $Q_B$  – зусилля затягування анкерного болта,  $Q_B=76$  кН;

$[\sigma]=120$  МПа – допустиме напруження на розтягнення болта.

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 76000}{3,14 \cdot 120}} = 32,4 \text{ мм}$$

Такому діаметру відповідає болт М42.

Остаточно приймаємо анкерний болт М42 з параметрами: крок різблення  $t=1,5$  мм; діаметр за один різблення  $d_1=40,160$  мм; середній діаметр різблення  $d_2=41,026$  мм.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Аналіз потенційних і шкідливих факторів виробничого середовища

У цеху існує установка для вловлювання пару і мелкодисперсних часток емульсії, встановлено місцеві укоси.

Виробниче приміщення розташоване з урахуванням послідовності виробничих операцій, що виключає перетин технологічних потоків. Виробничий процес на ділянці практично автоматизований на 70%, управління технологією здійснюється в кабінах. Ділянка має примусове відведення тепла, газів і вологи через витяжні парасольки.

Конструкція стін, вікон, стель і тому подібне у виробничому приміщенні відповідає нормам санітарії і забезпечують сприятливі умови праці робочому персоналу.

До побутових відносяться приміщення для задоволення санітарних і побутових потреб трудящих під час перебування їх на роботі: приміщення для прийому їжі, вбиральні, душові, туалети, вмивальні, курильні, обігріву трудящих і питного водопостачання. Оскільки ділянка має велика кількість людей побутові приміщення розташовуються в безпосередній близькості з виробничою будівлею.

В таблиці 4.1 приведена оцінка факторів виробничого середовища трудового процесу.

Гігієнічна оцінка умов праці – умови й характер праці ставиться до III класу 2 ступеня.

Оцінка технічного й організаційного рівня – відповідає технологічному

Атестація робочого місця (згідно табл.4.1) – робоче місце має в наявності: 5 факторів 1 ступені, 5 факторів 2 ступені, 1 фактор 3 ступені. По показниках робоче місце слід вважати зі шкідливими й важкими умовами праці, що відповідає показникам Списку №2 п.2.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого середовища трудового процесу слюсара механіка

Фактори	Норматив не значення, ГДК, ГДУ	Фактичне значення	III клас шкідливих і небезпечних умов., і характер праці			Час дії фактора % у змін
			1 ступ.	2 ступ.	3 ступ.	
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup>						
1 клас безпеки						
Ангідрид хромовий	0,01	0,014	1,4			83,1
2 клас безпеки						
Марганцю оксиди (дезінтегр)	0,3	0,56	1,87			83,1
3-4 клас безпеки						
Масла мінеральні	5,0	6,5	1,5			83,1
Азоту діоксид	2,0	4,0	2			83,1
Ангідрид сірчистий	10,0	13,5	1,35			83,1
II. Пил переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>	4	11,3			7,3	83,1
III. Шум, дБ	80	94			14	100
IV. Мікроклімат у приміщенні (теплий період року)						
- температура повітря, °С	27	38			11	92,5
V. Робоча поза						
Важкість праці		Па		серед.		
Напруженність праці				помір.		
Кількість факторів			5	1	3	

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

На діючому стані передбачено теплозахист і герметизація, щоб забезпечити зниження температури зовнішніх поверхонь тепловіділяючого устаткування до 45°C (згідно СНП 2.04.05.06 – 86). Над пічами й робочими клітками встановлена вентиляція для видалення надлишкової теплоти, що виділяється.



Всі працівники цеху безкоштовно забезпечені спец одягом, спец взуттям і засобами індивідуального захисту. До складу спецодягу входять: костюм з х/б тканини, черевики типу "Праця –М". У зимовий час видається утеплена куртка й ватяні штани.

В таблиці 4.2 приведені технічні міри захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища.

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

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор виробничого середовища	Захисний пристрій	Тип пристрою	Параметри пристрою	Місце установки
1	Запиленість	Респіратор ЗІЗОД	ШБ–1М Пелюстка 5 Тополь	до 10 мг/м <sup>3</sup>	Індивідуально
2	Шум	Навушники протишумові	шумозахисні навушники	придатні до 110 дБА	Індивідуально
3	Температура -холодний період -теплий період	Утеплена куртка, ватяні брюки костюм х/б рукавиці	Тн 20  Ти	≤-20°С  ≤40°С	Індивідуально
4	Шкідливі хімічні речовини	Теж що й при запилованості + костюм х/б, рукавиці	Пм  Нм	≤30 мг/м <sup>3</sup>	Індивідуально

## 4.3 Технічні рішення по гігієні праці та виробничій санітарії

### 4.3.1 Опалення й вентиляція

Технологічний процес прокатки різноманітний, тому фактично на кожній ділянці свої шкідливі й небезпечні фактори праці. На ділянці нагрівальних печей сильна запилованість окислами заліза (ГДК  $10 \text{ мг/м}^3$ ) при фактичній  $18,4 \text{ мг/м}^3$ .

Ділянка чорнових і чистових груп клітей характеризується наявністю тепловипромінювання до  $654 \text{ Вт/м}^2$  (припустимий  $350 \text{ Вт/м}^2$ ); підвищеної вологості, при припустимій нормі 40 – 60 %, фактична становить 82%. У процесі розпечений метал випромінює інфрачервоне випромінювання потужністю  $980 \text{ кВт/м}^2$ , при нормі  $140 \text{ кВт/м}^2$ . наявність шкідливих газів в атмосфері цеху обумовлене порушенням режиму, несправністю й недосконалістю устаткування [9]. Склад газів на ділянці нагрівальних печей характеризується наступними компонентами: зміст вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  до 12%, оксиду вуглецю  $\text{CO}$  – до 9%.

Під вентиляцією розуміють систему заходів і пристроїв, призначених для забезпечення на робочих місцях, в робочих і обслуговуваних зонах приміщень метеорологічних умов і чистоти повітряного середовища. Залежно від способу переміщення повітря розрізняють природну й механічну вентиляцію. Для усунення осідання пилу в приміщенні, зменшуючи її кількість у повітрі, все устаткування має витяжні зонти (витяжна вентиляція), що з'єднані за допомогою воздуховодів із пристроями для очищення повітря.

Також у прольоті металургійної ділянки використовують природну вентиляцію повітря. У такому виді вентиляції повітря надходить і видаляється через щілини 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 відповідаючим вимогам ДСН 3.3.6.042-99

передбачена місцева вентиляція деяких робочих місць з підвищеною температурою. Норми мікроклімату на постійних робочих місцях зазначені в таблиці 4.3

Таблиця 4.3 – Допустимі норми температури, відносної вологості й швидкості руху повітря в робочій зоні при роботі середньої ваги (ДСН 3.3.6.042 – 99).

Період року	Параметри мікроклімату		
	t, °C	W <sub>пов</sub> , м/с	φ, %
Холодний	13÷19	не більше 0,5	75
Теплий	15÷26	0,6÷0,5	75 (при 24 °C та нижче)

#### 4.3.2 Природне й штучне освітлення.

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення утрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й працездатності очей і може бути причиною нещасних випадків і їхніх захворювань. В таблиці 4.3 приведена характеристика освітлення відділення прокатного стану 1680.

Таблиця 4.3 – Характеристика приміщення металургійної ділянки.

Параметр	Характеристика
характер робіт	середня точність
розмір об'єкта розпізнавання, мм	від 0,5 до 1
розряд зорової роботи	IV
підрозряд роботи	B
контрастність об'єкта розпізнавання	середня
E <sub>н</sub> – штучна, лк	300

Для ремонту устаткування передбачене штучне освітлення.

На промислових підприємствах штучне освітлення підрозділяється на робоче (для проведення робіт у темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення), аварійне (для проведення роботи при аварійному відключенні робочого освітлення), евакуаційне (аварійне освітлення для

евакуації людей із приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення) і охоронне. При необхідності частина світильників того або іншого виду освітлення може використовуватися для чергового освітлення.

Штучне освітлення проектується двох систем: загальне (рівномірне або локалізоване з урахуванням розташування робочих місць) і комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве. Застосування одного місцевого освітлення не допускається, тому що різкий контраст між яскраво освітленими й неосвітленими місцями стомлює очі сповільнює швидкість роботи й нерідко є причиною нещасних випадків.

Згідно ДБН 6.2.2.5-28-2006 для приміщень, у яких проводяться роботи 6 розряду, тобто спостереження за ходом виробничого процесу, передбачається сполучене освітлення.

Природне освітлення нормується. Основним показником нормування служить коефіцієнт природної освітленості (КПО).

Місто Запоріжжя перебуває в 4 поясі світлового клімату, тому КПО для нього буде обчислюватися по формулі:

$$\text{КПО}_m^4 = \text{КПО}_m^3 \cdot m \cdot e = 1,8 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 1,38\%, \quad (4.2)$$

де  $\text{КПО}_m^3$  – значення КПО для 3 поясу світлового клімату;

$m$  – коефіцієнт світлового клімату;

$e$  – коефіцієнт сонячності клімату.

Освітленість повинна бути забезпечена не менш 75% максимуму, що досягається застосуванням комбінованого освітлення.

#### 4.4 Розрахунок необхідної звукоізоляції кабіни пульта керування

Вихідні дані для розрахунків:

Октавний рівень звукової потужності на робочому місці  $L_{ш} = 94$  дБА.

Припустимий рівень звукової потужності у кабінах  $L_{доп} = 75$  дБА.

Площа передньої стінки кабіни  $S_{\text{общ}} = 9 \text{ м}^2$ .

Кількість вікон  $n = 3$  шт.

Площа одного вікна  $S_i = 1 \text{ м}^2$ .

Необхідне зниження шуму визначаємо по формулі:

$$R_{\text{каб тр}} = L_{\text{ш}} - L_{\text{доп}} = 94 - 75 = 19 \text{ дБА}, \quad (4.3)$$

Шумоізоляцію визначаємо по формулі:

$$R_{\text{тр}} = L_{\text{ш}} - 10 \cdot \lg V \cdot \kappa + 10 \cdot \lg \rho_i - L_{\text{доп}} + 10 \cdot \lg n, \quad (4.4)$$

де  $V_{\kappa}$  – постійне приміщення кабіни,  $\text{м}^2$ ;

$\rho_i$  – площа  $i$ -того елемента кабіни,  $\text{м}^2$ ;

$n$  – кількість однакових елементів.

$$V_{\kappa} = S_{\text{общ}} \cdot \frac{\alpha}{\alpha - 1} = 9 \cdot \frac{0,1}{1 - 0,1} = 1 \text{ м}^2;$$

де  $\alpha = 0,1$  – коефіцієнт звукопоглинання поверхні, що огорожує, приміщення.

Підставляючи в (7.4) одержимо:

$$R_{\text{тр}} = 94 - 10 \cdot \lg 1 + 10 \cdot \lg 1 - 75 + 10 \cdot \lg 3 = 25 \text{ дБА}.$$

Знаходимо необхідну середню звукоізоляцію:

$$R_{\text{ср}} = 10 \cdot \lg \left( \frac{S_{\text{общ}}}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{-0,1 \cdot R_i}} \right) = 10 \cdot \lg \left( \frac{9}{3 \cdot 10^{-0,1 \cdot 16}} \right) = 16 \text{ дБА}, \quad (4.5)$$

Звукоізоляція кожного з елементів:



$$R_{\text{прі}} = R_{\text{сп}} + 10 \cdot \lg\left(\frac{S_i}{S_{\text{об}}}\right) + 10 \cdot \lg n = 16 + 10 \cdot \lg\left(\frac{1}{9}\right) + 10 \cdot \lg 3 = 11,2 \text{ дБА}.$$

Вибираємо потрійне вікно із силікатним склом товщиною 3 мм.

Перевірочний розрахунки очікуваного зниження шуму кабіною  $R_{\text{каб}}$ :

$$R_{\text{каб}} = R_c + 2 \cdot 10 \cdot \lg B_{\kappa} - 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n I_i = 16 + 3 \cdot 10 \cdot \lg 3 - 10 \cdot \lg 1 = 30,3 \text{ дБА},$$

що більше необхідного зниження (21 дБА).

## 4.5 Ймовірність аварій та їх ліквідація

### 4.5.1 Заходи пожежної безпеки

В зв'язку з тим, що на стані прокатується нагрітий метал та встановлено промаслювачі листа ділянка має категорію по пожежонебезпеці Г (негорючі речовини, розпечені або розплавлені, і горючі речовини які спалюються або утилізуються як паливо). Будівля цеху відноситься до III ступеня вогнебезпечності (будинку з несучими й конструкціями, що обгороджують, із природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів).

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

Цех має внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами й рукавами.

В цеху застосовуються пінні вогнегасники ВП-5 і вуглекислотні вогнегасники ВВ-2, ВВ-5 і ВВ-8 і пересувні двухбалонні й однобалонні ВП-2 і ВП-1.



#### 4.5.2 Безпека при виконанні ремонтних робіт

Зменшити дію шкідливих факторів під час виконання ремонтних робіт покликане використання засобів індивідуального захисту: спец одягу, спец взуття, засобів захисту рук і головних уборів.

Для захисту від впливу високої температури, полум'я іскор, що відлітають, окалини й бризів розплавленого металу, застосовується спецодяг, як матеріал для виготовлення якого використовується сукно.

Для захисту органів подиху використовують респіратор типу «Тополь».

Спеціальне взуття забезпечує захист працюючих від механічних травм, теплових опіків, високих температур, пили, вологи й забруднюючих речовин.

Для захисту рук від механічних пошкоджень та травмування шкірного покриву під час ремонту використовують сукняні й брезентові рукавиці.

Для захисту шкіри особи й органів зору використовуються наголовні й універсальні щитки, що захищають очі й прилягаючі ділянки тіла людини.

Для запобігання дії небезпечного фактора виробництва під час ремонтів необхідно кожному робітникові знати й дотримуватися інструкцій з охорони праці. Усі механізми й агрегати повинні бути обладнані звуковою або світловою сигналізацією. На вході у виробничі приміщення розміщуються попереджуючі й заборонні знаки, що вказують на особливості даного приміщення. Усі електроустановки повинні бути закриті й мати маркування. Також повинні містити попереджуючі вказівки й інформацію про дії в аварійних ситуаціях.

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

Оперативною частиною плану ліквідації аварій (ПЛА) і аварійних ситуацій (ПЛАС) повинні охоплювати всі види можливих аварій.

При залишенні ПЛА так само враховується порушення нормальних виробничих умов і режимів роботи, відключення електроенергії, припинення роботи вентиляції, вимикання освітлення, припинення подачі сировини, палива,

газу, води, пара, порушення технологічного процесу або режиму роботи агрегатів, апаратів, пилоочисного і газових установок, комунікацій, загоряння від газових розривів і вторинних напрямків блискавок, які можуть привести до аварії. Аварії залежно від їхніх масштабів можуть бути трьох рівнів – А, Б, В.

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

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

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

Причинами виникаючих аварійних ситуацій є:

- неправильне настроювання стану;
- недотримання технології прокатки, транспортування й змотування штаби;
- незадовільне обслуговування електричного й механічного устаткування;
- порушення правил експлуатації устаткування;
- некваліфіковані дії обслуговуючого персоналу.

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

Наслідками аварійних ситуацій є:

- зрив виробничого завдання;
- підвищення травмобезпеки;
- збільшення ймовірності виходу з ладу іншого устаткування.

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

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

Можливі надзвичайні ситуації на прокатному стані 1680 наведено в таблиці 4.4

Таблиця 4.4 – Заходи попередження можливих аварійних ситуацій на стані 1680

Відхилення параметрів, виникнення аварійної ситуації	Можливий збиток							Заходи захисту
	Травма людини	Летальна поразка людини	Постійний шкідливий вплив	Відмова устаткування	Зрив завдання робіт	Руйнування будівлі і устаткування	Збиток навколишньому середовищу	
Вихід з ладу головного привода кліті	немає	немає	немає	так	так	немає	немає	Контроль стану й роботи устаткування
Поломка валків	немає	немає	немає	так	так	немає	немає	Дотримання технології прокатки, контроль якості валків
Коротке замикання	так	так	немає	так	так	немає	немає	Застосування захисного заземлення
Вибух у маслопідвалі	так	так	немає	так	так	так	так	Заходи щодо попередження аварій
Пожежа	так	так	немає	так	так	так	так	Дотримання ТБ, забезпечення засобами пожежогасіння, підтримка чистоти приміщень
Відключення електроенергії	так	немає	немає	так	так	так	немає	Аварійне включення додаткової електропідстанції

## ВИСНОВКИ

1. Визначені вузькі місця цеху гарячої прокатки тонкого листа і заходи щодо їх усунення.
2. У проєкті проведені розрахунки робочої та шестеренної клітей, а також в результаті модернізації досягнуто наступні цілі: зменшення навантаження на зубчасте зачеплення шестеренної кліті і збільшення її терміну служби.
3. Виконані розрахунки на міцність найбільш навантажених деталей і вузлів указують на досить високу працездатність і надійність механізму.
4. Для забезпечення необхідних показників роботи машини варто враховувати умови її монтажу й експлуатації, які наведені в розділі 3, а для ефективної роботи устаткування цеху в цілому необхідно врахувати умови які наведені в розділі 5.
5. Згідно розрахованій необхідній потужності правлення штаби і вимогам до електроприводу в даному технологічному процесі підібраний електродвигун постійного струму П2ПМ–500–145–7У3.
6. В результаті розрахунків рівнів звукового тиску в розрахунковій точці (місце розташування пульта керування 13-РПМ) доходимо висновку про доцільність установки кабіни із ступенем ізоляції від шуму 4 класу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Підприємство | PJSC "Zaporizhstal". ПАТ «Запоріжсталь». URL: <https://zaporizhstal.com/pidpriyemstvo/> (дата звернення: 28.03.2024).
2. Технологічні машини: підручник для студентів спеціальностей механічної інженерії закладів вищої освіти./ Гнітько С.М., Бучинський М.Я., Попов С.В., Чернявський Ю.А. - Харків: НТМТ, 2020. 258 с.
3. Жук А. Я., Желябіна Н. К. Основи розрахунків приводів машин: Навчальний посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 1996. 145 с.
4. Жук А. Я., Малишев Г. П. Основи технічного діагностування: навч-метод. посіб.- Запоріжжя: ЗДІА, 2007. – 114 с.
5. Васильченко Т.О, Шевченко І.А, Гречаний О.М. Опір матеріалів : навчально-методичний посібник Запоріжжя : ЗНУ, 2020. – 263 с.
6. Гайдамака А.В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник. Харків: Харківський політехнічний інститут, 2020.
7. Данченко В. М., Гринкевич В. О., Головка О. М. Теорія процесів обробки металів тиском: підручник. Дніпропетровськ : Пороги, 2008. 370 с.
8. Самохвал В.М. Конспект лекцій з дисципліни" Конструкції технологічних агрегатів в процесах ОМТ. Частина 4. Обладнання прокатних та волочильних цехів" для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 136 – Металургія за освітньо-професійною програмою «Металургія». Кам'янське, ДДТУ, 2017. - 91 с
9. Рудь Ю. С. Основи конструювання машин : підручник. 2-ге вид. Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д.О., 2015. 492 с.
- 10.Ф. К. Іванченко, В. М. Гребеник, В. І. Ширяєв . Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів. навч. посібник – Київ : Вища школа, 1995. – 455 с.
- 11.Листоправильные машины – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.stanki-snab.ru/listopravilnaya-mashina>



12. Листоправильная машина – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.deka-stanki.ru/stati/listopravilnaja-mashina/>
13. Листоправильная машина – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://stanokprom.ru/listopravilnaya-mashina>
14. Листоправильная машина – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://acl-russia.ru/katalog\\_produkcii/acl/listopravilnaya\\_mashina\\_acl/](http://acl-russia.ru/katalog_produkcii/acl/listopravilnaya_mashina_acl/)
15. Листоправильные машины – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kpo-ural.ru/atalog/rezhuschee/mashiny/>
16. Кухар В.В., Аніщенко О. С., Присяжний А. Г. Основи експериментальних методів дослідження процесів обробки металів тиском : навчальний посібник. Маріуполь : ПДТУ, 2019. 234 с
17. Хімін В. М., Фсдьков Г. О. Конструкції агрегатів цехів обробки металів тиском. Обладнання цехів обробки металів тиском : метод. посіб. для студентів ЗДІА спец. 7.090404, 8.090404 "Металургія" / ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 78 с. : іл., табл
18. Кравченко В. М., Іщенко А. О., Сидоров В. А., Буцукін В. В. Експлуатація та обслуговування машин. Донецьк: Донбас, 2014. 543 с.
19. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин: Підручник.– 3-є вид., перероб. і доп. – К.: НМК ВО, 1992. – 368 с.
20. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин : підручник. 4-е вид., перероб. і доп. Донецьк: ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2008. 379 с.
21. Ремонт металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. К. : вид. дім "Кондор", 2017. 236 с.
22. Технічне обслуговування металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. К. : вид. дім "Кондор", 2017. 288 с.
23. Охорона праці на гірничо–металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.



24. НПА ОП 0.00–4.01–08 Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту [Електронний ресурс] // Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id\\_doc=28566](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=28566).
25. ДСН 3.3.6.042–99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
26. 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).
27. Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / Е. О. Геврик. – К: Ельга, Ніка-центр, 2003. – 280 с.
28. 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).
29. 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.
30. Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч. посіб. / К. Н. Ткачук та ін. – К: Основа, 2009. – 360 с.

## ДОДАТКИ