

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

КАФЕДРА ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий магістерський

(рівень вищої освіти)

на тему: «Оцінка впливу фізико-механічних властивостей та геометричних параметрів матеріалів на якість правки листового прокату»

Виконав: студент 2 курсу, групи МЕТ-18-3мз
спеціальності 136 Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми обробка металів тиском

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

О.О.Бондаренко

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, к.т.н., Ю.В. Бондаренко

(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент доцент, д.т.н. О.В. Явтушенко

(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет металургії
Кафедра обробки металів тиском
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 136 Металургія
(код та назва)
Освітня програма Обробка металів тиском
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОМТ
« _____ » _____ 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Бондаренко Оксані Олександрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту): «Оцінка впливу фізико-механічних властивостей та геометричних параметрів матеріалів на якість правки листового прокату»

керівник роботи Бондаренко Юлія Володимирівна, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «10» вересня 2019 року № 1540-с

2 Строк подання студентом роботи до 27 грудня 2019 року

3 Вихідні дані до роботи: методи математичного моделювання на базі положень теоретичної механіки та диференційного та інтегрального числень; вимірювальна та реєструюча апаратура.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ; 1. Аналітично-пошукова частина; 2. Дослідницько-розрахункова частина; 3. Дослідження параметрів приводу листопривальної машини; 4. Охорона праці та техногенна безпека; Загальні висновки; Перелік використаних джерел.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація до 15 слайдів (обов'язкові слайди з метою та задачами дослідження, методикою дослідження, результатами дослідження та висновки.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Бондаренко Ю.В., доцент		
2	Бондаренко Ю.В., доцент		
3	Бондаренко Ю.В., доцент		
4	Бондаренко Ю.В., доцент		

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітично - пошукова частина		
2	Дослідницько-розрахункова частина		
3	Дослідження параметрів приводу листоправильної машини		
4	Охорона праці та техногенна безпека		
5	Вступ, Загальні висновки, Реферат,		
6	Оформлення пояснювальної записки роботи		
7	Підготовки графічного матеріалу		

Студент _____ О. О. Бондаренко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ Ю. В. Бондаренко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ О. В. Явтушенко
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Бондаренко О.О. Оцінка впливу фізико-механічних властивостей та геометричних параметрів матеріалів на якість правки листового прокату.

Випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 136 – Обробка металів тиском, науковий керівник Ю.В. Бондаренко. Інженерний інститут Запорізького національного університету. Факультет металургії, кафедра обробки металів тиском, 2020.

Магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків та списку використаної літератури. Загальний обсяг роботи 94 сторінки, 33 рисунків, 9 таблиць та список використаних джерел з 28 позицій.

В роботі проаналізовано конструкцію листопривальної машини. Виявлені недоліки в її роботі та описані заходи щодо їх усунення. Проведений експеримент на фізичній моделі для визначення зусиль при правці та крутних моментів. Підібрані оптимальні параметри налаштування роликів.

ПРАВИЛЬНА МАШИНА, ПРИВОД, МОМЕНТ, НАПРУЖЕННЯ, ВИГИН, ЗУСИЛЛЯ, МОДЕЛЬ, ПРАВКА, РОЛІКИ, МУФТА, ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ

ABSTRACT

Bondarenko O.O. The Assessment of Influence of Physical-Mechanical Properties and Material Geometrical Parameters on the Rolled Sheet Mandrel Quality

Graduation work for obtaining a higher education degree of a master's degree in specialty 136 - Metal forming by pressure, scientific adviser Y. V. Bondarenko. Engineering Institute of Zaporizhzhya National University. Faculty of Metallurgy, Department of Metal Processing by pressure, 2020.

The master's work consists of an introduction, 4 chapters, conclusions and a list of used literature. The total amount of work is 94 pages, 33 figures, 9 tables and a list of sources used from 28 positions.

The paper analyzed the design of the blade machine. Deficiencies in its work are identified and measures for their elimination are described. A physical model experiment was conducted to determine the straightening effort and torques. Selected optimal settings rollers.

MACHINE FOR EDITION, ACTUATOR, STRESS, BEND, FORCE, MODEL, EDITING, ROLLERS, CLUTCH, ENERGY POWER PARAMETERS

РЕФЕРАТ

Бондаренко О.О. Оценка влияния физико-механических свойств и геометрических параметров материалов на качество правки листового проката.

Выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 136 – Обработка металлов давлением, научный руководитель Ю.В. Бондаренко. Инженерный институт Запорожского национального университета. Факультет металлургии, кафедра обработки металлов давлением, 2020.

Магистерская работа состоит из введения, 4 глав, выводови списка использованной литературы. Общий объем работы 94 страницы, 33 рисунка, 9 таблиц и списка использованных источников из 28 позиций.

В работе проанализирована конструкция листопрямительной машины. Определены недостатки в ее работе и описаны мероприятия по их устранению. Проведен эксперимент на физической модели для определения усилий при правке и крутящих моментов. Подобраны оптимальные параметры настройки роликов.

ПРАВИЛЬНАЯ МАШИНА, ПРИВОД, МОМЕНТ, НАПРЯЖЕНИЯ, ИЗГИБ, УСИЛИЕ, МОДЕЛЬ, ПРАВКА, РОЛИКИ, МУФТА, ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. Аналітично - пошукова частина. Огляд та аналіз науково-технічних рішень щодо вдосконалення параметрів приводу листоправильних машин.....	11
1.1 Опис технологічного процесу. Вимоги до агрегату.....	11
1.2 Аналіз структури обладнання та його технічних характеристик.....	13
1.3 Пропозиції щодо поліпшення технічних характеристик обладнання, на підґрунті патентного пошуку та відомих технічних рішень.....	15
1.4 Обґрунтування обраного напрямку.....	19
2 Дослідницько – розрахункова частина. Розрахунок основних параметрів листоправильної машини.....	21
2.1 Розрахунок енергосилових параметрів правильної машини.....	21
2.2 Розрахунок редуктора правильної машини	26
2.2.1 Розрахунок кутових швидкостей, частоти обертання і крутних моментів приводу правильної машини.....	26
2.2.2 Геометричний розрахунок зачеплення швидкохідного ступеня редуктора.....	29
2.2.3 Розрахунок зусиль в зачепленні швидкохідного ступеня редуктора.....	31
2.2.4 Розрахунок швидкохідного валу редуктора.....	32
2.2.5 Розрахунок підшипників валу редуктора.....	36
2.2.6 Геометричний розрахунок зачеплення валів і V ступеня редуктора.....	37
2.2.7 Розрахунок зусиль в зачепленні тихохідного V ступеня редуктора.....	39

2.2.8 Розрахунок тихохідного валу редуктора.....	40
2.2.9 Розрахунок підшипників валу редуктора.....	45
2.3 Вибір стандартних елементів.....	46
3 Дослідження параметрів приводу листоправильної машини.....	47
3.1 Характеристика моделі правильної машини.....	47
3.2 Дослідження та визначення навантажень роликової правильної машини експериментальним методом.....	49
3.2.1 Вибір обладнання та датчиків для проведення експериментальних досліджень.....	51
3.2.2 Визначення розрахункових тисків і крутних моментів і порівняння їх з експериментальними даними.....	58
3.3 Підбір оптимальних режимів налаштування роликів.....	70
3.4. Техніко-економічне обґрунтування впровадження запропонованих пропозицій в виробництво.....	76
4. Охорона праці та техногенна безпека.....	82
4.1 Виявлення та оцінка шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища.....	82
4.2 Розробка засобів захисту від дії шкідливих факторів виробничого середовища.....	83
4.3 Заходи щодо техніки безпеки.....	86
4.4 Ймовірність аварій та план їх ліквідації.....	87
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	90
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	91

ВСТУП

Актуальність теми. Для безперервного зростання металургійного виробництва України необхідне щорічне введення в експлуатацію нових, вдосконалених, могутніших металургійних агрегатів і постійної модернізації і реконструкції встановленого обладнання з метою підвищення його продуктивності, рівня механізації і автоматизації.

Всі металургійні машини, незалежно від призначення та конструктивних особливостей мають загальну властивість – пружність ланок та здатність них під дією зовнішніх навантажень к демфуванню, тобто виникненню в них коливань. В свою чергу ці коливання негативно впливають не лише на міцність основних деталей та вузлів, а й в значній мірі ускладнюють, або порушують нормальний технологічний процес машини. Найбільш жорсткі динамічні режими властиві саме основному та допоміжному прокатному обладнанню, характер навантаження якого наближається до ударного. Майже 90% руйнувань деталей машин носять втомний характер в результаті дії динамічних навантажень. Робота привода п'ятироlikової правильної машини, пов'язана з динамічними навантаженнями та перенавантаження приводу. Необхідність дослідження динамічних навантажень підвищує достовірність розрахунків на міцність, дозволяє оптимізувати технологічні режими та здійснити конструктивні заходи для підвищення надійності та довговічності обладнання.

Таким чином, робота, спрямована на дослідження та вдосконалення листоправильної машини є актуальною.

Метою роботи є оцінка впливу фізико-механічних властивостей матеріалу та геометричних параметрів на динамічні характеристики приводу листоправильної машини та підбір оптимальних параметрів налаштування роликів для підвищення технологічного рівня обладнання та якості правки.

Задачі роботи. Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі:

- 1) Огляд і аналіз діючих технічних рішень;
- 2) Розрахунок навантажень на привод машини;
- 3) Встановлення закономірності впливу технологічних чинників на енергосилові показники процесу правки та на динаміку привода;
- 4) Відбір оптимального налаштування положення роликів машини;
- 5) Економічне обґрунтування запропонованих технічних рішень.

Об'єкт дослідження Листоправильна машини.

Предмет дослідження Енергосилові параметри, необхідні для проектування обладнання та залишкової кривизни листів.

Методи дослідження Теоретичні дослідження використовувались з використанням методів математичного моделювання на базі положень теоретичної механіки та диференційного та інтегрального числень.

Експериментальні дослідження виконувались з використанням відповідної вимірювальної та реєструючої апаратури.

Структура роботи Магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків та списку використаної літератури. Загальний обсяг роботи 94 сторінки, 33 рисунків, 9 таблиць та список використаних джерел з 28 позицій.

1 Аналітично пошукова частина

Огляд та аналіз науково-технічних рішень щодо вдосконалення параметрів приводу листопробірних машин

1.1 Опис технологічного процесу. Вимоги до агрегату

Кінцевою продукцією цехів холодної прокатки є листи і штаби завтовшки 0,3-3,0 мм, шириною до 2350 мм, з вуглецевої сталі звичайної і підвищеної якості, а також з низьколегованих сталей. Значна частина листів і штаб випускається із захисними антикорозійними покриттям – цинковим, алюмінієвим, полімерними і ін.

Поверхня початкових гарячекатаних штаб покрита окалиною (оксидами). Якщо проводити холодну прокатку заготовок в такому стані, то окалина вдавлюватиметься в метал, різко погіршуючи якість його поверхні. Крім того, окалина, володіючи відносно високою твердістю, сприяє зносу прокатних валків. Тому першою необхідною технологічною операцією являється видалення окалини з поверхні гарячекатаних штаб хімічним або механічним методами. Хімічний спосіб полягає в розчиненні оксидів в кислотах; механічний в здійсненні пластичної деформації, сприяючої відлущуванню окалини з поверхні штаби. У сучасних крупних цехах холодної прокатки травлення гарячекатаних штаб здійснюється в травильних агрегатах безперервної дії.

Протравлені і промаслені штаби в рулонах поступають на стани холодної прокатки.

Рулони ланцюговим транспортером подаються в розмотувач стану. Передній кінець штаби відгинається спеціальним пристроєм і задається в ролики, що тягнуть, які підводять штабу до валків кліті. Пройшовши через кліті (із заданим обтисканням), передній кінець штаби потрапляє на барабан моталки. За допомогою захватувача починається намотування штаби на барабан.

П'ятироликів листоправильна машина встановлена в лінії агрегату поперечного різання №1 в цеху холодної прокатки №1 ПАТ «Запоріжсталь», та призначена для попереднього правлення штаби після розмотування її із рулону для подальшого різання.

Наступною основною технологічною операцією є відпал, який необхідний для усунення наклепу, отриманого при холодній деформації, і відновлення пластичних властивостей металу. Температура нагріву металу (низьковуглецевій сталі) 650-720 °С. З погляду структурних перетворень цей відпал є рекристалізацією.

Відпал здійснюється в ковпакових пічах в рулонах (іноді в пачках) або в безперервних агрегатах з протяжними печами. Найбільш поширені ковпакові печі одностопні.

Після відпалу тонколистова сталь піддається дресируванню. Це процес обробного холодної прокатки з дуже невеликим обтисканням, зазвичай в межах 0,8-1,5 %. Дресирування штаб товщиною 0,3 мм ведеться в один пропуск.

При рулонному способі виробництва дресирування ведеться з переднім і заднім натягом. На практиці величина питомого натягу найчастіше знаходиться в межах: передній $(0,2-0,5)\sigma_T$, задній $(0,1-0,2)\sigma_T$. Величина вживаних натягнень росте із зменшенням товщини прокатуваних штаб.

Раніше дресирування проводилося на сухих валках. Нині доведено, що кращі результати дає дресирування з технологічним змащуванням. Застосування змащування (емульсії) дозволяє декілька понизити тиск на валки і, найголовніше, сприяє видаленню забруднень з поверхні штаб.

Іноді дресирування являється останньою технологічною операцією в цеху холодної прокатки.

В даний час значна кількість тонколистової сталі, випускається із захисними антикорозійними покриттями, в першу чергу – цинковим і полімерними. Нанесення цинкового покриття здійснюється методом

занурення в розплав цинку (гаряче цинкування) або електролітичним методом. При гарячому цинкуванні товщина покриття досягає 50 мкм, при електролітичному – до 10 мкм.

До правильної машини пред'являються високі вимоги до надійності та безвідмовності в експлуатації, довговічності, простоти технічного обслуговування та ремонту.

1.2 Аналіз структури обладнання та його технічних характеристик

Правку листового прокату здійснюють на валкових правильних машинах. Правлять переважно в холодному стані, оскільки при охолодженні після гарячої правки можливе викривлення заготовки. Конструкції правильних машин відрізняються особливостями, викликаними відмінністю лінійних параметрів. Правильні машини для листових заготовок розрізняються числом валків і їх розташуванням [3]. У будь-якій правильній машині має бути непарне число валків. Найбільш поширені машини з числом валків від 3 до 13.

П'яти роликів правильна машина (рис. 1.1) з паралельними рядами роликів складається з нижньої (нерухомої) станини 1, встановленої на фундаменті, в якій розташовані нижні робочі (приводні) 2 та опорні ролики 3, а також механізм налаштування зазору між валками 4. Верхня станина 5, представлена у вигляді литої рами, яка шарнірно закріплена на нижній станині 1. Відкриття верхньої станини для завдання листа відбувається за допомогою гідроциліндрів 6. У верхній станині 5, закріплені робочі 7 і опорні ролики, встановлені в підшипниках ковзання 8. Приводні ролики 2,7 через карданні вали 9 сполучені з комбінованим редуктором приводу 10, який зв'язаний з електродвигуном 11 зубчастою муфтою 12. Лінійна швидкість правки синхронізована з лінійними

швидкостями всіх механізмів АПР–1, управління швидкістю реалізується за допомогою тахогенератора 13 із зворотним зв'язком по струму. Діаметр валків визначають по вимогах технології, тому їх жорсткість в більшості випадків недостатня. Для її збільшення в конструкції передбачені опорні ролики, що встановлюються в один або декілька рядів. Змащення вузлів правильної машини – пластичне, здійснюється через живильники. Редуктор приводу має рідинну циркуляційну систему змащення.

Технічна характеристика п'ятироlikової листопрilьної машини наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики листопрilьної машини

№	Найменування	Величини
1	Крок між осями роликів	160 мм
2	Ролики робочі:	
	– кількість	5 шт
	– діаметр	150 мм
	– довжина бочки	1700 мм
3	Ролики опорні:	
	– кількість	15 шт
	– діаметр	150 мм
	– довжина бочки	160 мм
4	Хід верхніх робочих роликів від загальної дотичної:	
	– нагору	30 мм
	– униз	10 мм
5	Рамки що подають:	
	– кількість	4 мм
	– діаметр	180 мм
	– довжина бочки	1700 мм
	– поточне зусилля	300 кг
6	Розкриття подаючих роликів	60 мм
7	Сумарний крутний момент на прilьній машині	3140 Нм
8	Зрівноважування верхньої станини	пружинне

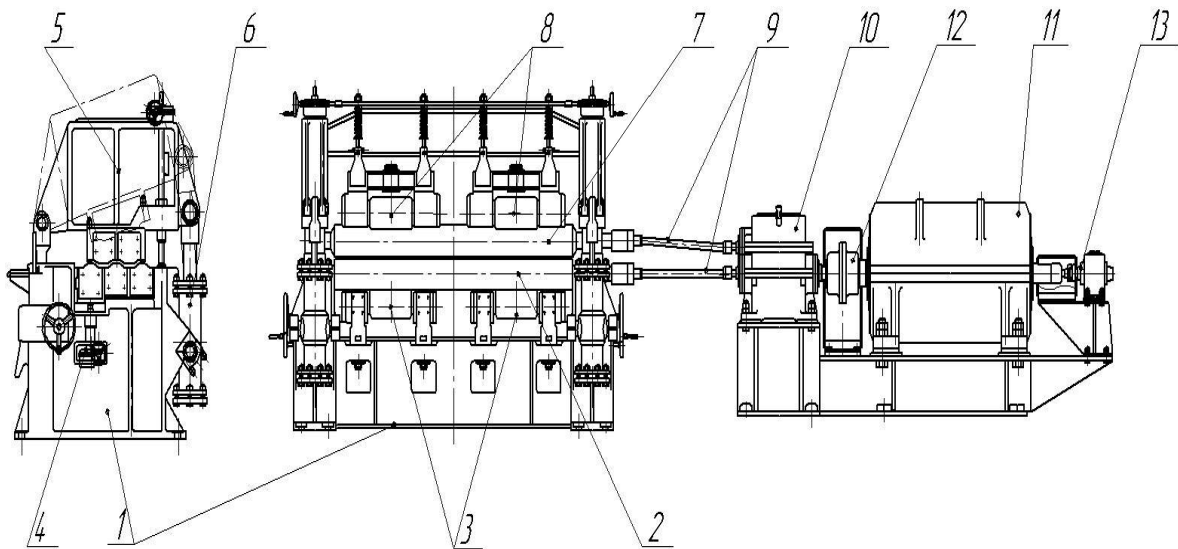


Рисунок 1.1 – Загальний вид правильної машини з приводом (позиції наведено в тексті)

1.3 Пропозиції щодо поліпшення технічних характеристик обладнання, на підґрунті патентного пошуку та відомих технічних рішень

П'ятироликівна правильна машина працює в важких виробничих умовах її вузли та деталі мають нормальне зношування, але виникають аварійні ситуації в наслідок яких трапляються поломки вузлів правильної машини. Наприклад в валки машини на повному ходу потрапляє подвійна складка штаби в наслідок чого руйнуються підшипники, ламаються зуби зубчастих коліс приводу, скручуються шпинделі та інші поломки, які призводять до аварійних простоїв агрегату та витрат на нові деталі.

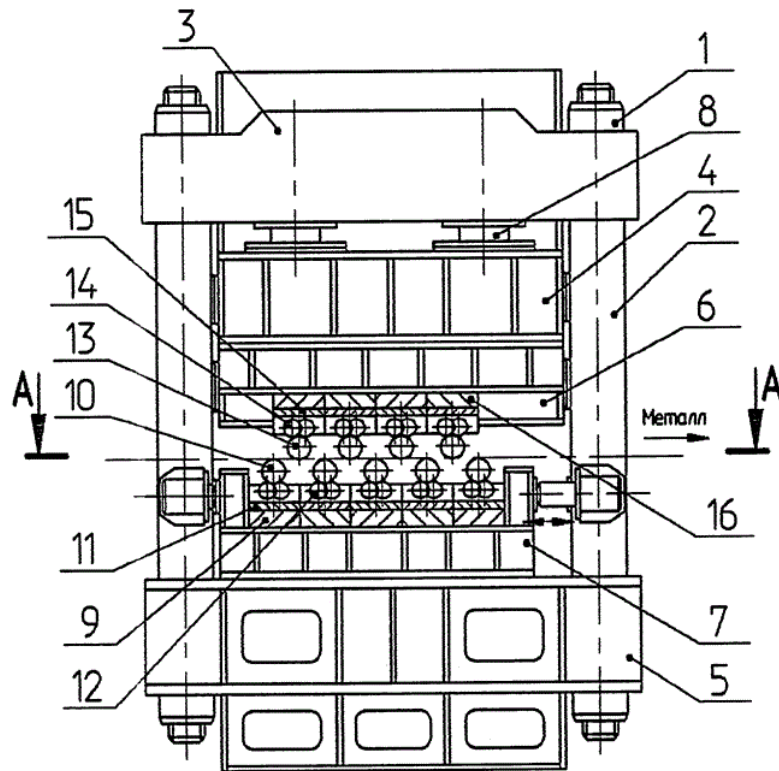
Питанням підвищення технічного рівня правильних машин присвячено багато робіт. Так, в [4], запропонована конструкція правильної машини, правильні ролики якої спираються на ряд опорних, при чому верхній ряд роликів має можливість похилих переміщень у напрямі проходження металу, що підлягає правці. Проте дана конструкція має вузькі технологічні можливості.

В роботі [5] пропонується оснастити правильну машину механізмом горизонтального зсування нижньої касети у напрямі проходження штаби з гідравлічним приводом (рис.1.2). На думку авторів це підвищить надійність машини з одночасним підвищенням якості правки. Проте це нате ускладнює конструкцію машини в цілому і вимагає додаткового встановлення помпувало-акумуляторної станції.

Відома також листоправильна машина по проекту фірми SMS (W.Benz, U.Kaden, A. Kцnig. Warm - und kaltrichtmaschine fьr Grobbleche), Німеччина, яка містить чотири верхні та п'ять нижніх правильних валків, які взаємно здвигнуті на половини кроку між ними. Валки спираються на групи розташованих по їх довжині опорних роликів. Машина також містить пару установочних клинів у кількості, яка дорівнює кількості опорних роликів, розташованих в вальцевих касетах. Вони в свою чергу спираються на поперечні траверси. Ця машина дозволяє проводити правку листів у великому діапазоні товщин завдяки наявності механізмів індивідуального налаштування вертикальних положень правильних валків шляхом пар установочних клинів, які дозволяють мобільно переналаджувати машину з дев'яти роликової правки на п'яти зі збільшенням радіуси гибу обробляємих штаб.

Суттєвим недоліком даної конструкції є те, що перший та останній ролики верхньої касети сприймають підвищені технологічні навантаження, що знижує надійність та довговічність цих вузлів та машини в цілому.

Роликоправильна машина, представлена в роботі [6] містить два ряди правильних роликів, розташованих в шаховому порядку. Вона складається з трьох секцій: вхідної, середньої та вихідної, причому у вхідній секції крок роликів поступово зменшується, в середній секції крок сталий, а у вихідній – поступово збільшується. Така конструкція машини виходить дуже складна та громізка, а заявлена підвищена якість правки не забезпечується по причині збільшеного кроку на виході машини та відсутності додаткового регулювання з боку привода.



1 – станина, 2 – стойка, 3- верхня рама, 4 – верхня поперечина, 5 – нижня поперечина, 6 – верхня касета, 7 – нижня касета, 8 – гідроциліндр, 9 – встановчі клини, 10 – нижній робочий ролик, 11 – клин, 12 – опорний ролик, 13 – верхній робочий ролик, 14 – опорний ролик, 15 – несучий клин, 16 – встановчий клин

Рисунок 1.2 – Схема листопрямуючої машини з механізмом горизонтального зсування нижньої касети

Машини з роботи [7] складаються з двох рядів роликів, верхній ряд яких встановлений на рухомій траверсі, а нижній – стаціонарно на станині. Ця машина більш проста за конструкцією, проте навіть наявність великої кількості правильних роликів не завжди забезпечує необхідну якість правки, особливо високоміцних листів. Окрім цього, правка на подібних машинах листів з сильно викривленими кінцями завжди пов'язана з проблемами по їх задачі до правильних роликів.

Недоліком конструкції машини зі змонтованими на підшипниках в станині робочими та опорними роликами [8] є жорсткість закріплення

підшипників на загальний траверсі, що не дає змоги при роботі машини забезпечувати правильне навантаження усіх підшипників машини. Часткове це питання вирішується за рахунок проміжної балки [9], шарнірно пов'язаної за станиною через регулювальний гвинт. Ця конструкція дозволяє більш ефективно розподілити навантаження між усіма підшипниками робочих та опорних роликів. Однак шийки робочих роликів будуть також сприймають навантаження від крутних моментів з боку приводу, від зусилля правки та від згинальних моментів, в результаті чого загальна дія на робочий ролик значно зменшуватиме навантажувальну здатність машини.

Проаналізувавши конструкцію вузлів п'яти роликової правильної машини, а також прийнявши до уваги всі вищезазначені технічні рішення в проекті пропонується установка попереджувального заходу, а саме захисної муфти замість звичайної зубчастої муфти. У разі виникнення ситуації коли робочий момент на роликах перевищить розрахунковий момент приводу попереджувальна муфта припинить передачу крутного моменту до робочих роликів, таким чином уникнуть руйнування ключові деталі та вузли правильної машини.

Проектом пропонується замінити муфту, що з'єднує шпинделі із комбінованим редуктором, на пружинно-кулькову муфту рис. 1.3.

Ця муфта зберігає вали від перевантажень які виникають через порушення завданих технологією параметрів правки, при виникненні яких підпружинені кульки, що знаходяться в трапецеїдальних ложементів, виходять зі своїх штатних місць, стискаючи пружини, при цьому вали шпинделів відокремлюються, попереджуючи їхню поломку.

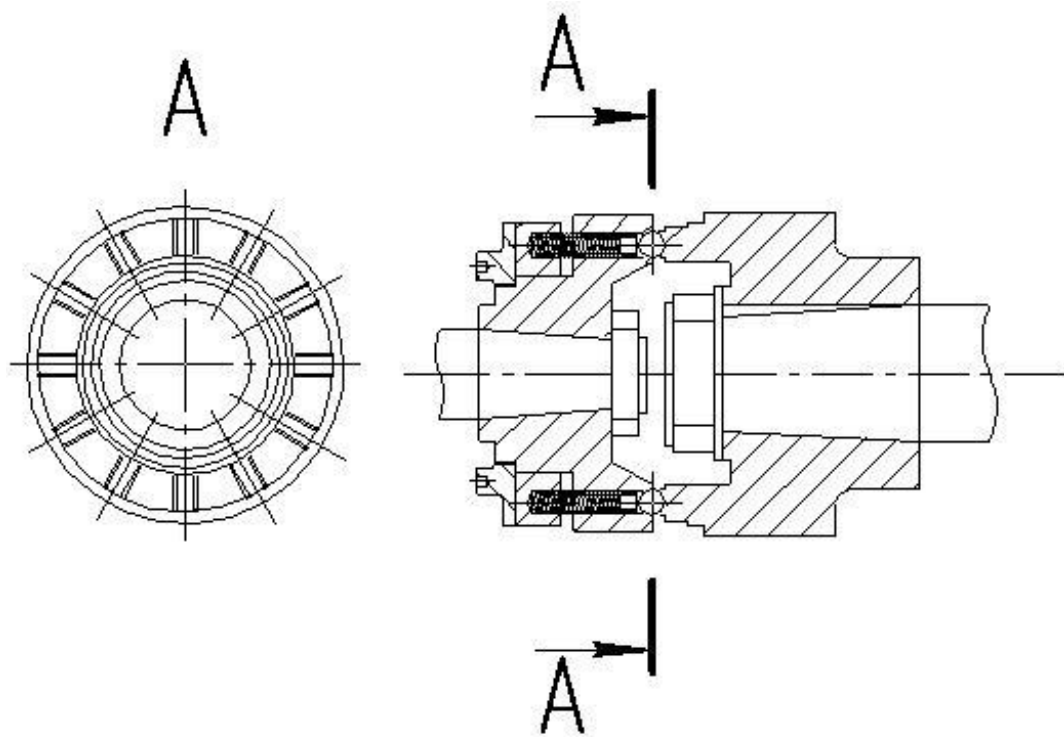


Рисунок 1.3 – Попереджувальна пружинно–кулькова муфта граничного моменту

1.4 Обґрунтування обраного напрямку

З огляду на все вищезазначене, жодне з запропонованих технічних рішень в повному обсязі не вирішують проблем в роботі правильного обладнання, тому робота, спрямована на дослідження та вдосконалення листоправильної машини є актуальною. Метою роботи є оцінка впливу фізико-механічних властивостей матеріалу та геометричних параметрів на динамічні характеристики приводу листоправильної машини та підбір оптимальних параметрів налаштування роликів для підвищення технологічного рівня обладнання та якості правки.

Задачі роботи:

- 1) Огляд і аналіз діючих технічних рішень;
- 2) Розрахунок навантажень на привод машини;
- 3) Встановлення закономірності впливу технологічних чинників на енергосилові показники процесу правки та на динаміку приводу;

- 4) Відбір оптимального налаштування положення роликів машини;
- 4) Економічне обґрунтування запропонованих технічних рішень.

2 Дослідницько – розрахункова частина.

Розрахунок основних параметрів листопрямильної машини

2.1 Розрахунок енергосилових параметрів правильної машини

Початкові дані для розрахунку приведені в табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Початкові дані

№	Найменування	Позначення	Величина	Розмірність
1	Товщина листів, що виправляються	h	0,35...2,5	мм
2	Ширина листів, що виправляються	b	710...1520	мм
3	Межа плинності матеріалу штаби	σ_r	$300 \cdot 10^6$	Па
4	Швидкість правки	v	1...2,3	м/с
5	Діаметр роликів	D	150	мм
6	Крок між роликами	t	160	мм

Розрахункова схема 5 РПМ показана на рисунку 2.1.

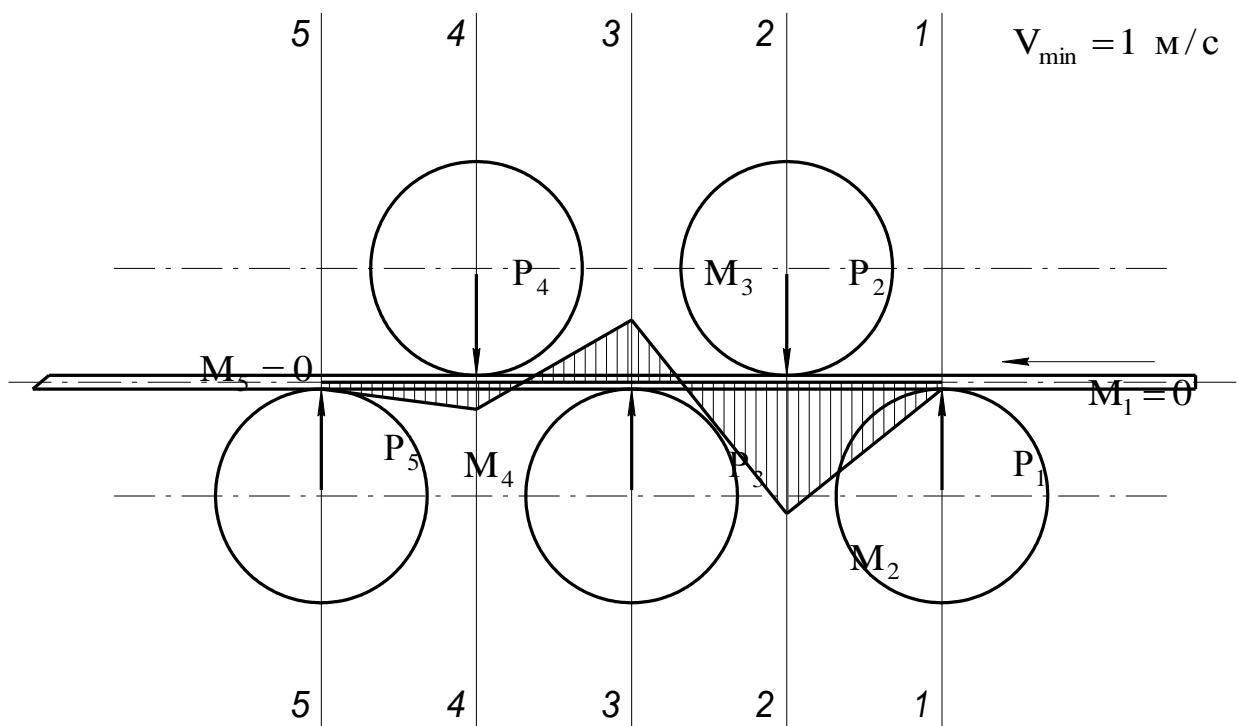


Рисунок 2.1 – Схема до розрахунку силових параметрів РПМ

Для розрахунку приймаємо: $h = h_{\max} = 2,5$ мм – максимальна товщина листів, що виправляються; $\vartheta = \vartheta_{\max} = 2,3$ м/с – мінімальна швидкість правки; $k_2 = 0,7$ – коефіцієнт проникнення пластичної деформації під другим роликом.

Сумарне зусилля на всі верхні і нижні ролики

$$P = \frac{8}{t} (M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5), \quad (2.1)$$

де $t = 0,160$ м – крок між роликами; $M_1 = M_5 = 0$ – моменти вигину 1-м і 5-м роликом; $M_2 = M_3 = M_{\text{п}}$ – моменти пластичного вигину від 2-го і 3-го роликів; $M_4 = M_{\text{уп}}$ – момент пружно-пластичного вигину від 4-го ролика.

Момент пластичного вигину визначимо по формулі

$$M_{\text{п}} = M_2 = M_3 = \sigma_{\text{т}} b h^2 / 4, \quad (2.2)$$

де $\sigma_{\text{т}} = 300 \cdot 10^6$ МПа – межа плину матеріалу штаби; $b = 1,520$ м – ширина листа, що виправляється; $h = 2,5$ мм – товщина листа, що виправляється.

Підставивши значення в 2.2, отримаємо

$$M_{\text{п}} = M_2 = M_3 = 300 \cdot 10^6 \cdot 1,520 \cdot 2,5^2 / 4 = 1425 \text{ Нм.}$$

Момент пружно-пластичного вигину

$$M_{\text{уп}} = M_4 = \frac{5}{24} \sigma_{\text{т}} b h^2. \quad (2.3)$$

Підставивши значення в 2.3 і 2.1 отримаємо:

$$M_{\text{уп}} = M_4 = \frac{5}{24} \cdot 300 \cdot 10^6 \cdot 1,520 \cdot 2,5^2 = 593,75 \text{ Нм}.$$

$$P = \frac{8}{0,160} (1425 + 1425 + 593,75 + 0) = 172187,5 \text{ Н}.$$

Визначимо момент тертя кочення роликів з урахуванням ковзання по штабі

$$M_{\text{тр.кач.}} = P \cdot m, \quad (2.4)$$

де $m = 0,6 \text{ мм} = 0,0006 \text{ м}$ – коефіцієнт тертя кочення, з урахуванням можливого прослизання між роликами і штабою для сталевий штаби.

Підставивши значення в 2.4, отримаємо

$$M_{\text{тр.кач.}} = 172187,5 \cdot 0,0006 = 103,3125 \text{ Нм}.$$

Момент тертя в підшипниках всіх роликів

$$M_{\text{тр.п.}} = P \mu \left(\frac{d}{2} \right), \quad (2.5)$$

де $\mu = 0,005$ – коефіцієнт тертя в підшипникових опорах роликів (для роликів підшипників); $d = 0,0875 \text{ м}$ – середній діаметр підшипників.

Підставивши значення в 2.5, отримаємо

$$M_{\text{тр.п.}} = 172187,5 \cdot 0,005 \cdot 0,0875 = 75,3320 \text{ Нм}.$$

Потужність і момент правки штаби визначимо по формулі

$$N_{\text{деф}} = \frac{\sigma_r^2}{2E} bh\vartheta K_{\text{п}}, \quad (2.6)$$

$$M_{\text{деф}} = \frac{N_{\text{деф}}}{\omega} \quad (2.7)$$

де $E = 2 \cdot 10^{11}$ МПа – модуль пружності матеріалу; $K_{\text{п}} = 8$ – коефіцієнт пластичної деформації при правці штаби; ω – кутова швидкість обертання роликів, с^{-1}

$$\omega = \frac{\vartheta}{R} = \frac{\vartheta}{0,5 \cdot D}, \quad (2.8)$$

де $\vartheta = 2,3$ м/с – швидкість правки штаби; $D = 0,15$ м – діаметр роликів.

Підставивши значення в 2.8, отримаємо:

$$\omega = \frac{2,3}{0,5 \cdot 0,15} = 30,6667 \text{ с}^{-1}.$$

Підставивши значення в 2.6, отримаємо:

$$N_{\text{деф}} = \frac{300000000^2}{2 \cdot 200000000000} 1,520 \cdot 2,5 \cdot 2,3 \cdot 8 = 15732 \text{ Вт}.$$

Підставивши значення в 2.7, отримаємо:

$$M_{\text{деф}} = \frac{15732}{30,6667} = 513 \text{ Нм}.$$

Загальний момент для обертання всіх роликів

$$M_{кр} = M_{деф.} + M_{тр.п.} + M_{тр.кач.} \cdot \quad (2.9)$$

Підставивши значення в 4.9, отримаємо:

$$M_{кр} = 513 + 75,3320 + 103,3125 = 691,6445 \text{ Нм.}$$

Визначимо необхідну потужність правки:

$$N_{пр.} = M_{кр} \cdot \omega. \quad (2.10)$$

Підставивши значення в 2.10, отримаємо:

$$N_{пр.} = 691,6445 \cdot 30,6667 = 22 \text{ кВт.}$$

Для приводу правильної машини по каталогу приймаємо ближчий по потужності електродвигун:

Тип	-4ПН225М ХЛ4
Потужність	- P= 32 кВт
Швидкість обертання	-n=750–1500хв ⁻¹ .

Редуктор з передаточним відношенням на кожен ролик 3,36; ККД приводу $\eta \approx 0,80$.

2.2 Розрахунок редуктора правильної машини

2.2.1 Розрахунок кутових швидкостей, частоти обертання і крутних моментів приводу правильної машини

1) Швидкохідний вал n_1 редуктора комбінованого

Частота обертання

$$n_1 = n_{дв} = \frac{30 \cdot \omega}{3,14} \cdot u_{p1} = \frac{30 \cdot 30,6667}{3,14} \cdot 3,36 = 985 \text{об/хв} \quad (2.11)$$

де u_{p1} - передатне число I ступеня $u_{p1} = 3,36$.

Кутова швидкість

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 985}{30} = 103,1 \text{с}^{-1}. \quad (2.12)$$

Крутний момент

$$M_{кр1} = \frac{9,55 \cdot N_{дв}}{n_1} = \frac{9,55 \cdot 22,1}{985} = 0,214 \text{кНм}. \quad (2.13)$$

2) Тихохідний вал n_2 першого ступеня редуктора

Частота обертання

$$n_2 = \frac{n_1}{U_{p1}} = \frac{985}{3,36} = 293 \text{об/хв}. \quad (2.14)$$

Кутова швидкість:

$$\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30} = \frac{3,14 \cdot 293}{30} = 30,66 \text{с}^{-1}. \quad (2.15)$$

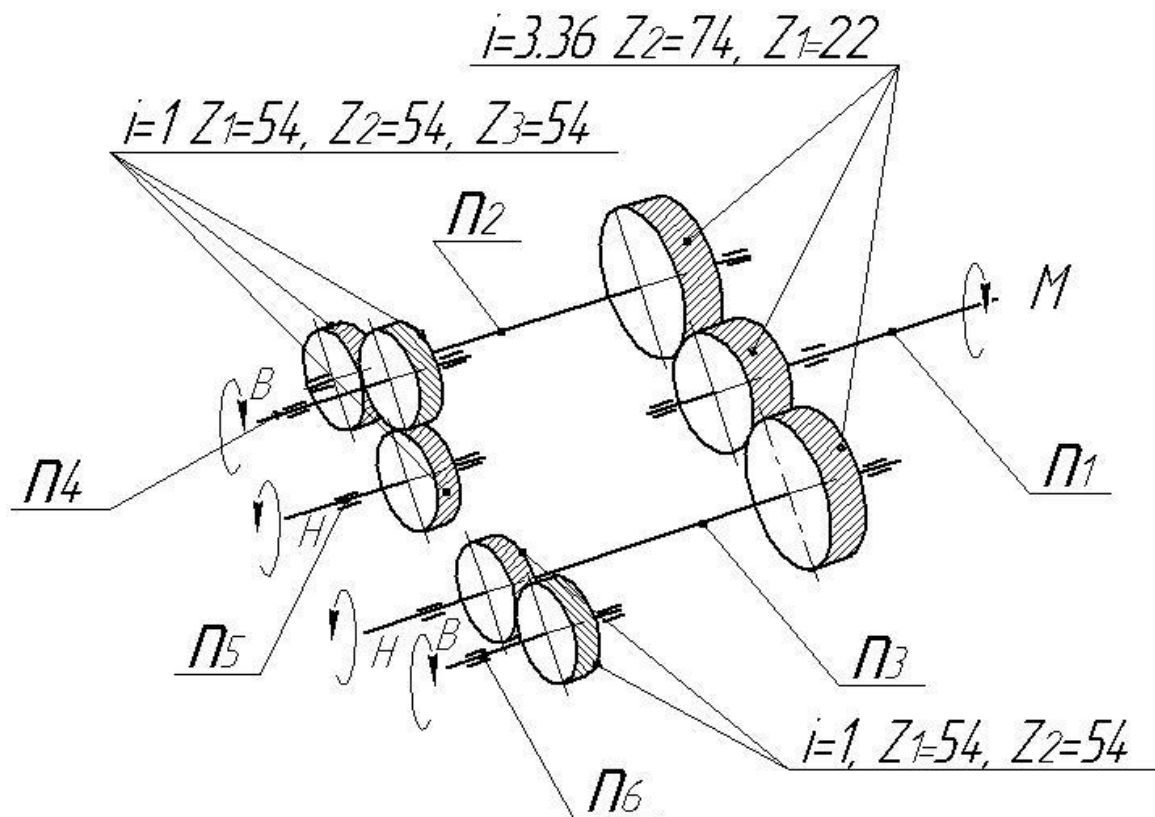


Рисунок 2.2- Кінематична схема комбінованого редуктора

Крутний момент:

$$M_{кр2} = 0,5 \cdot M_{кр1} \cdot u_{p1} \cdot \eta_1 = 0,5 \cdot 0,214 \cdot 3,36 \cdot 0,95 = 0,342 \text{кНм}, \quad (2.16)$$

де η_1 - К.К.Д. I ступеня редуктора - 0,95.

3) Тихохідний вал n_3 другого ступеня редуктора:

$$u_{p2} = 3,36$$

Параметри валу n_3 аналогічні параметрам валу n_2 .

Частота обертання $n_3 = 293 \text{об/хв}$.

Кутова швидкість $\omega_3 = 30,66 \text{с}^{-1}$.

Крутний момент $M_{кр3} = 0,342 \text{кН} \cdot \text{м}$.

4) Вал верхній ведений n_4 третього ступеню редуктора

Частота обертання:

$$n_4 = \frac{n_2}{U_{p3}} = \frac{293}{1} = 293 \text{об/хв.} \quad (2.17)$$

Кутова швидкість:

$$\omega_4 = \omega_3 = 30,66 \text{с}^{-1}.$$

Крутний момент

$$M_{кр4} = M_{кр2} \cdot U_{p3} \cdot \eta_3 = 0,342 \cdot 1 \cdot 0,95 = 0,325 \text{кНм.} \quad (2.18)$$

5) Вал нижній ведений n_5 четвертому ступеню редуктора

Частота обертання

$$n_5 = \frac{n_4}{U_{p4}} = \frac{293}{1} = 293 \text{об/хв.} \quad (2.19)$$

Кутова швидкість:

$$\omega_5 = \omega_4 = 30,66 \text{с}^{-1}.$$

Крутний момент :

$$M_{кр5} = M_{кр4} \cdot U_{p4} \cdot \eta_4 = 0,325 \cdot 1 \cdot 0,95 = 0,309 \text{кНм.} \quad (2.20)$$

6) Вал верхній ведений n_6 п'ятого ступеню редуктора

Частота обертання:

$$n_6 = \frac{n_3}{U_{p5}} = \frac{293}{1} = 293 \text{ об/хв.} \quad (2.21)$$

Кутова швидкість:

$$\omega_6 = \omega_3 = 30,66 \text{ с}^{-1}.$$

Крутний момент:

$$M_{кр6} = M_{кр3} \cdot U_{p5} \cdot \eta_5 = 0,342 \cdot 1 \cdot 0,95 = 0,325 \text{ кНм.} \quad (2.22)$$

2.2.2 Геометричний розрахунок зачеплення швидкохідного ступеня редуктора

Число зубів шестерні	- $Z_1 = 22$
Число зубів колеса	- $Z_2 = 74$
Кут нахилу лінії зуба	- $\beta = 8^\circ 47' 50''$
Модуль нормальний	- $m_n = 3,5 \text{ мм}$

Окружний(торцевий) модуль:

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta} = \frac{3,5}{\cos 8^\circ 47' 50''} = \frac{3,5}{0,98824} = 3,5416 \text{ мм.} \quad (2.23)$$

Дільний діаметр

а) шестерні $d_{ш} = m_t \cdot Z_1 = 3,5416 \cdot 22 = 77,91\text{мм}$

б) колеса $d_k = m_t \cdot Z_2 = 3,5416 \cdot 74 = 262,07\text{мм}$

Міжосьова відстань I ступеня(II ступеня):

$$A = \frac{m_n \cdot (Z_1 + Z_2)}{2 \cdot \cos \beta} \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{tw}} = \frac{3,5 \cdot (22 + 74)}{2 \cdot 0,98824} \cdot \frac{0,93839}{0,93969} = 170\text{мм}. \quad (2.24)$$

$$\text{де } \operatorname{tg} \alpha_t = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta} = \frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 8^\circ 47' 50''} = \frac{0,364}{0,98824} = 0,36833;$$

$\alpha_t = 20^\circ 13'$ (кут профілю);

$\alpha_{tw} = 20^\circ$ - кут зачеплення.

Діаметр вершин:

а) шестерні

$$d_{ав} = d_{ш} + 2 \cdot (h_a^* + x_1) \cdot m_n = 77,91 + 2 \cdot (+0) \cdot 3,5 = 84,91\text{мм}. \quad (2.25)$$

де $h_a^* = 1$ - коефіцієнт висоти голівки початкового контура; $x_1 = 0$ - коефіцієнт корекції.

б) колеса

$$d_{ак} = d_k + 2 \cdot (h_a^* + x_2) \cdot m_n = 262,07 + 2 \cdot (+0) \cdot 3,5 = 269,07\text{мм} \quad (2.26)$$

Діаметр западин:

а) шестерні:

$$d_{фш} = d_{ш} - 2 \cdot (c^* - x_1) \cdot m_n, \quad (2.27)$$

де c^* - коефіцієнт радіального проміжку нормального початкового контура.

$$d_{\text{fu}} = 77,91 - 2 \cdot (+0,25 - 0) \cdot 3,5 = 69,16 \text{ мм}$$

б) колеса:

$$d_{\text{fk}} = d_{\text{к}} - 2 \cdot (+c_a^* + c^* - x_2) \cdot m_n = 266,07 - 2 \cdot (+0,25 - 0) \cdot 3,5 = 253,32 \text{ мм} \quad (2.28)$$

2.2.3 Розрахунок зусиль в зачепленні швидкохідного ступеня редуктора

Зачеплення є циліндричною косозубою передачею при паралельних валах. Косозуба передача плавніша і передає більшу потужність, ніж прямозуба, при тих же розмірах. Недоліком косозубої передачі є додаткова осьова сила, що виникає в зачепленні, відсутня у прямозубих колесах.

При визначенні зусиль в зачепленні нехтуємо силами тертя, викликаними ковзанням профілів; розподілене навантаження замінюємо зосередженою силою, прикладеною в середині зубчастого вінця.

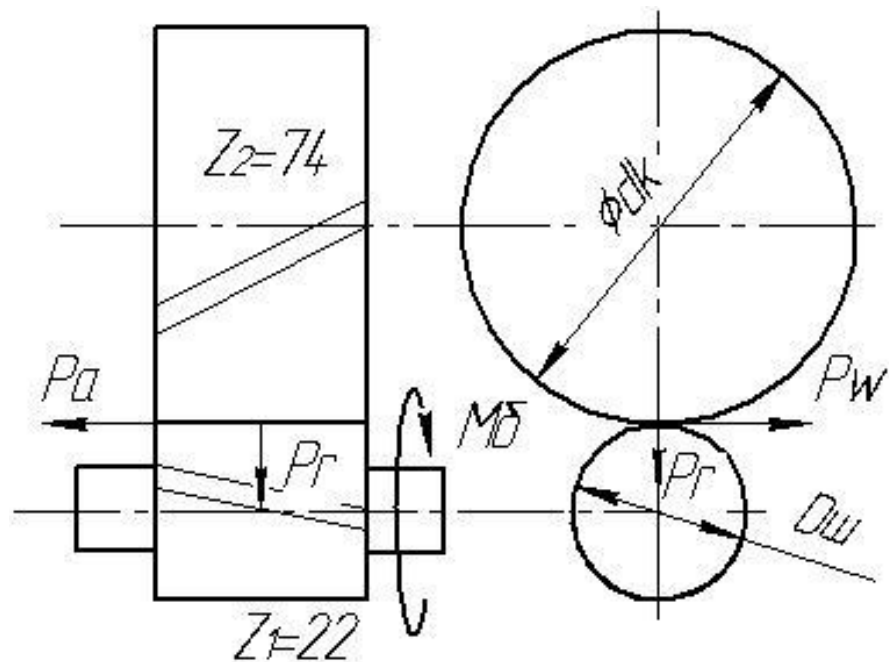


Рисунок 2.3- Складові нормального зусилля в зачепленні циліндричній косозубої передачі.

Колове зусилля:

$$P_w = \frac{2M_6}{d_{ш}}, \quad (2.29)$$

де $M_6 = M_{кр1}$; $d_{ш} = 77,91\text{мм}$ - діаметр ділильного кола шестерні.

Підставивши значення в 2.29, отримаємо:

$$P_w = \frac{2 \cdot 0,214}{0,07791} = 5,49\text{кН}.$$

Радіальне зусилля:

$$P_r = P_w \cdot \text{tg}\alpha = 5,49 \cdot 0,364 = 2\text{кН}, \quad (2.30)$$

де $\alpha = 20^\circ$ - кут зачеплення; $\text{tg}20^\circ = 0,364$.

Осьове зусилля:

$$P_a = P_w \cdot \text{tg}\beta = 5,49 \cdot 0,15481 = 0,85\text{кН}, \quad (2.31)$$

де $\beta = 8^\circ 47' 50''$; $\text{tg}\beta = 0,15481\text{кН}$.

2.2.4 Розрахунок швидкохідного валу n_1 редуктора

Переносимо силу P_w на вісь і урівноважуємо її моментом:

$$M_6 = M_{кр1} = P_w \cdot a = 5,49 \cdot 0,03896 = 0,214\text{кНм}, \quad (2.32)$$

де a - радіус ділительного кола шестерні:

$$a = \frac{d_{\text{ш}}}{2}; d_{\text{ш}} = 77,91 \text{ мм}; a = \frac{77,91}{2} = 38,96 \text{ мм} = 0,03896 \text{ м}.$$

Момент вигинає від осьової сили :

$$M' = P_a \cdot a = 0,85 \cdot 0,03896 = 0,0331 \text{ кНм}. \quad (2.33)$$

Сила P є геометричною сумою сил P_w і P_r :

$$P = \sqrt{P_w^2 + P_r^2} = \sqrt{5,49^2 + 2^2} = 5,84 \text{ кН}. \quad (2.34)$$

Визначимо реакції в опорах :

$$\Sigma M_{\leftarrow} = 0;$$

$$R_A \cdot (l_2 + l_3) - P \cdot l_3 - M' = 0. \quad (2.35)$$

З формули 2.35 визначимо реакцію:

$$R_A = \frac{P \cdot l_3 + M'}{l_2 + l_3} = \frac{5,84 \cdot 0,09 + 0,0331}{0,09 + 0,09} = 3,1 \text{ кН}. \quad (2.36)$$

З рівняння

$$R_A - P + R_B = 0 \quad . \quad (2.37)$$

$$R_B = P - R_A = 5,84 - 3,1 = 2,74 \text{ кН}.$$

Вигинаючий момент в небезпечному перерізі (max):

$$M_U = R_A \cdot l_2 = 3,1 \cdot 0,09 = 0,279 \text{кНм.}$$

По теорії найбільшої дотичної напруги:

$$M_\Sigma = \sqrt{M_u^2 + M_{\text{кр1}}^2} = \sqrt{0,279^2 + 0,214^2} = 0,352 \text{кН} \cdot \text{м}. \quad (2.38)$$

Напруга в небезпечному перерізі:

$$\sigma = \frac{Q}{F} + \frac{M_\Sigma}{W} + \frac{N}{F} \leq \sigma_{\text{п}}, \quad (2.39)$$

де $N = P_a = 0,85 \text{кН}$; F - площа поперечного перерізу

$$F = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,06916^2}{4} = 0,00375 \text{м}^2 \quad (2.40)$$

W - момент опору вигину $W = 0,1 \cdot d_{\text{вн}}^3 = 0,1 \cdot 0,06916^3 = 0,0000331 \text{м}^3$.

Підставивши значення в 2.39, отримаємо:

$$\sigma = \frac{5,84}{0,00375} + \frac{0,352}{0,0000331} + \frac{0,85}{0,00375} = 12418 \text{кН/м}^2 \approx 12,42 \text{МПа} < \sigma_{\text{п}}$$

Вал виготовлений із сталі 40ХН напруга вигину якої $\sigma_{\text{п}} = 490 \text{МПа}$
HRC48...52

Висновок: розміри швидкохідного валу, матеріал і термообробка задовольняють умові міцності.

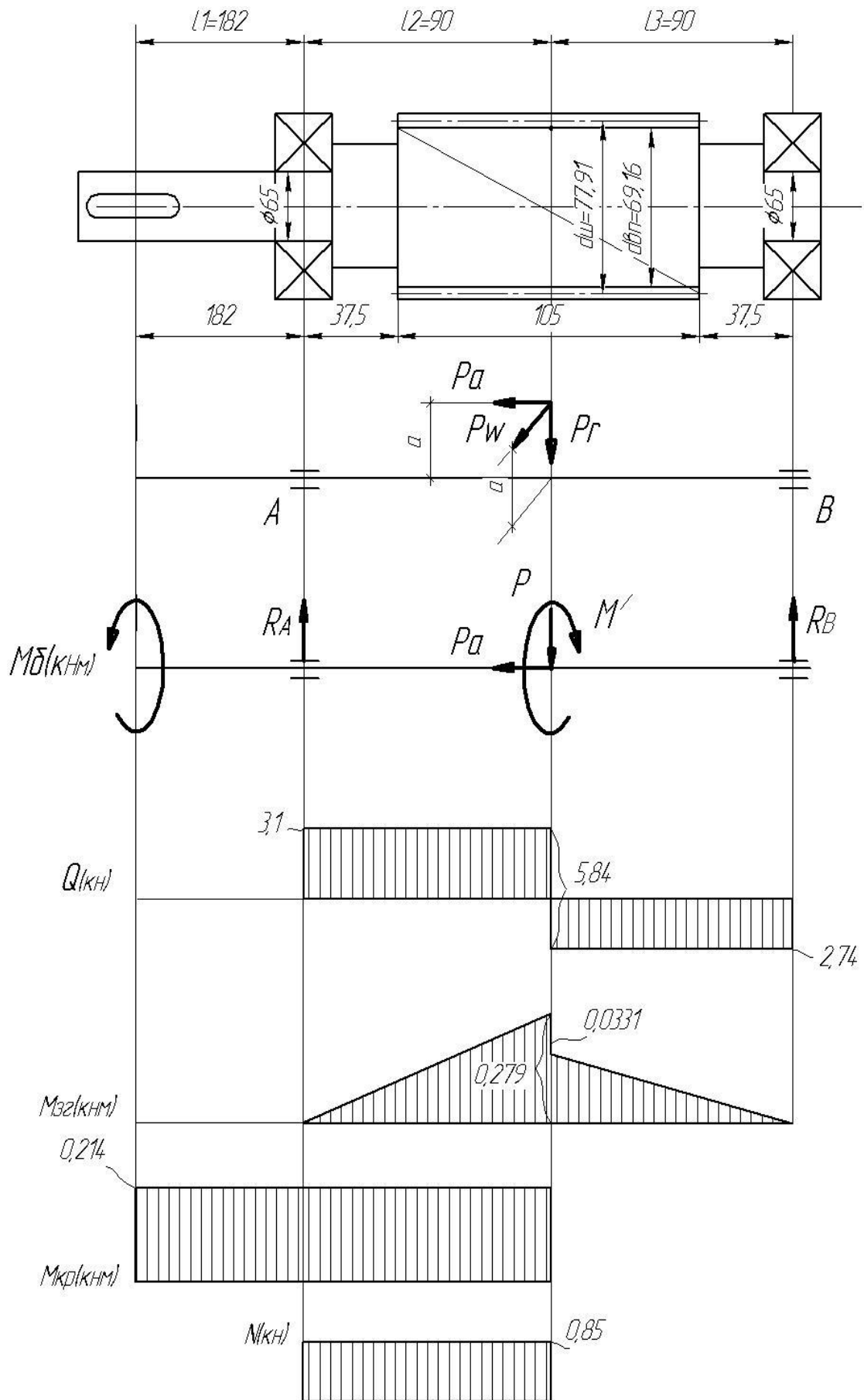


Рисунок 2.4- Схема вантаження швидкохідного валу

2.2.5 Розрахунок підшипників валу n_1 редуктора

Вал встановлений на 2-х роликів конічних однорідних підшипниках 7513 ГОСТ 333-71

$$d = 65\text{мм}; D = 120\text{мм}; B = 32,75\text{мм}$$

$$\text{Динамічна вантажопідйомність} \quad - C = 109\text{кН}$$

$$\text{Статична вантажопідйомність} \quad - C_0 = 98,9\text{кН}$$

$$\text{Гранична частота обертання} \quad - n_{\text{пр}} = 4000\text{об/хв}$$

$$\text{Радіальне навантаження max на 1 підшипник} \quad - R_A = 3,1\text{кН}$$

n_6 - число обертів швидкохідного валу редуктора

$$n_6 = 985\text{об/хв} < n_{\text{пр}} = 4000\text{об/хв}$$

Номінальна довговічність підшипника в мільйонах обертів

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^\rho, \quad (2.50)$$

де $C = 109\text{кН}$; $\rho = \frac{10}{3}$ (для роликів підшипників); P - еквівалентне

динамічне навантаження:

$$P = x \cdot V \cdot R_A + K_\sigma \cdot K_T, \quad (2.51)$$

де $x = 0,43$ - коефіцієнт радіального навантаження; $V = 1,2$ - коефіцієнт обертання; $K_\sigma = 1,2$; - коефіцієнт безпеки; $K_T = 1,05$. - температурний коефіцієнт.

Підставивши значення в 2.51, отримаємо:

$$P = 0,43 \cdot 1,2 \cdot 3,1 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 2,015 \text{кН.}$$

Підставивши значення в 2.29, отримаємо:

$$L = \left(\frac{109}{2,015} \right)^{\frac{10}{3}} = 5,2 \cdot 10^5 \text{ обертів}$$

Довговічність підшипника в годинах

$$L_h = \frac{10^6 \cdot L}{60 \cdot n} = \frac{10^6 \cdot 5,2 \cdot 10^5}{60 \cdot 985} = 8,8 \cdot 10^6 \text{ годин.} \quad (2.52)$$

2.2.6 Геометричний розрахунок зачеплення валів n_3 і n_6 V ступеня редуктора

Число зубів шестерні	- $Z_3 = 37$
Число зубів колеса	- $Z_4 = 37$
Кут нахилу лінії зуба	- $\beta = 9^\circ 24' 20''$
Модуль нормальний	- $m_n = 4 \text{мм}$
Окружний (торцевий) модуль:	

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta} = \frac{4}{\cos 9^\circ 24' 20''} = \frac{4}{0,98657} = 4,0545 \text{мм.} \quad (2.53)$$

Дільний діаметр:

а) шестерні

$$d_{ш} = m_t \cdot Z_3 = 4,0545 \cdot 37 = 150 \text{мм.} \quad (2.54)$$

б) колеса

$$d_k = m_t \cdot Z_4 = 4,0545 \cdot 37 = 150 \text{ мм.} \quad (2.55)$$

Міжосьова відстань V ступню:

$$A = \frac{m_n \cdot (Z_3 + Z_4)}{2 \cdot \cos \beta} \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{\omega}} = \frac{4 \cdot (7 + 37)}{2 \cdot 0,98657} \cdot \frac{0,93819}{0,93969} = 150 \text{ мм,} \quad (2.56)$$

$$\text{де } \operatorname{tg} \alpha_t = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta} = \frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 9^\circ 24' 20''} = \frac{0,364}{0,98657} = 0,36896,$$

$\alpha_t = 20^\circ 15'$ - (кут профілю);

$\alpha_{\omega} = 20^\circ$ - кут зачеплення.

Діаметр вершин:

а) шестерні

$$d_{\text{аш}} = d_{\text{ш}} + 2 \cdot (h_a^* + x_1) \cdot m_n = 150 + 2 \cdot (1 + 0) \cdot 4 = 158 \text{ мм,} \quad (2.57)$$

де $h_a^* = 1$ - коефіцієнт висоти голівки початкового контура;

$x_1 = 0$ - коефіцієнт корекції;

б) колеса

$$d_{\text{ак}} = d_k + 2 \cdot (h_a^* + x_2) \cdot m_n = 150 + 2 \cdot (1 + 0) \cdot 4 = 158 \text{ мм,} \quad (2.58)$$

де $x_2 = 0$.

Діаметр западин:

а) шестерні

$$d_{\text{ш}} = d_{\text{ш}} - 2 \cdot \left(\frac{c^*}{\sin \alpha} + c^* - x_1 \right) m_n = 150 - 2 \cdot \left(+0,25 - 0 \right) 4 = 140 \text{ мм},$$

де c^* - коефіцієнт радіального проміжку нормального початкового контура.

б) колеса:

$$d_{\text{fk}} = d_{\text{к}} - 2 \cdot \left(\frac{c^*}{\sin \alpha} + c^* - x_2 \right) m_n = 150 - 2 \cdot \left(+0,25 - 0 \right) 4 = 140 \text{ мм}.$$

2.2.7 Розрахунок зусиль в зачепленні тихохідного V ступеня редуктора

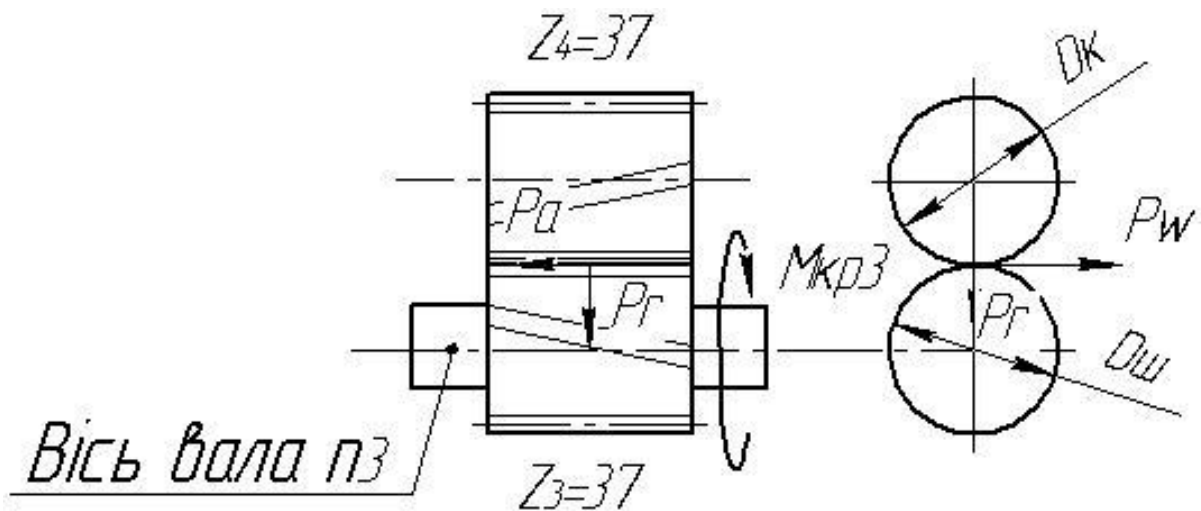


Рисунок 2.5- Складові нормального зусилля в зачепленні циліндричній косозубої передачі

При визначенні зусиль в зачепленні нехтуємо силами тертя, викликаними ковзанням профілів; розподілене навантаження замінюємо зосередженою силою, прикладеною в середині зубчастого вінця.

Окружне зусилля :

$$P_w' = \frac{2M_{\text{кр3}}}{d_{\text{ш}}}, \quad (2.59)$$

де $M_{\text{кр3}} = 0,342 \text{ кН} \cdot \text{м}$; $d_{\text{ш}} = 150 \text{ мм}$ - діаметр діляльного кола шестерні.

Підставивши значення в 2.59, отримаємо:

$$P_w' = \frac{2 \cdot 0,342}{0,15} = 4,56 \text{кН.}$$

Радіальне зусилля

$$P_r' = P_w' \cdot \text{tg}\alpha = 4,56 \cdot 0,364 = 1,66 \text{кН}, \quad (2.60)$$

де $\alpha = 20^\circ$ - кут зачеплення; $\text{tg}20^\circ = 0,364$.

Осьове зусилля:

$$P_a' = P_w' \cdot \text{tg}\beta = 4,56 \cdot 0,16555 = 0,75 \text{кН}, \quad (2.61)$$

де $\beta = 9^\circ 24' 20''$; $\text{tg}\beta = 0,15481 \text{кН}$.

2.2.8 Розрахунок тихохідного валу n_3 редуктора

З подібності трикутників визначимо C :

$$\frac{0,237}{0,288} = \frac{40 \cdot C}{C}$$

Звідки $C = 132 \text{мм}$

Тоді :

$$M_{III} = \frac{0,288 \cdot 0,082}{0,132} = 0,179 \text{кНм}$$

Переносимо силу P'_w на вісь і урівноважуємо її моментом :

$$M_{\text{кр3}} = P'_w \cdot b = 4,56 \cdot 0,075 = 0,342 \text{кН} \cdot \text{м}, \quad (2.62)$$

де b - радіус ділительного кола шестерні:

$$b = \frac{d_{\text{ш}}}{2}; \quad d_{\text{ш}} = 150 \text{мм};$$

$$b = \frac{150}{2} = 75 \text{мм} = 0,075 \text{м}.$$

Вигинаючий момент від осьової сили:

$$M'' = P'_a \cdot b = 0,75 \cdot 0,075 = 0,0563 \text{кН} \cdot \text{м}.$$

Сила P' є геометричною сумою сил P'_w і P'_r :

$$P' = \sqrt{\left(P'_w\right)^2 + \left(P'_r\right)^2} = \sqrt{4,56^2 + 1,66^2} = 4,85 \text{кН}. \quad (2.63)$$

Визначимо реакції в опорах :

$$\Sigma M_{\text{в}} = 0,$$

$$R_A \cdot (l_2 + l_3 + l_4) + M'' - P' \cdot (l_3 + l_4) + P \cdot l_4 - M' = 0.$$

$$R_A \cdot (0,068 + 0,240 + 0,088) + 0,0563 - 4,85 \cdot (0,240 + 0,088) + 5,84 \cdot 0,088 - 0,0331 = 0$$

$$R_A = \frac{0,0563 - 1,59 + 0,514 - 0,0331}{0,396} = 2,66 \text{кН}.$$

$$\Sigma F_{\text{в}} = 0;$$

$$R_A - P' + P - R_B = 0;$$

$$R_B = R_A - P' + P = 2,66 - 4,85 + 5,84 = 3,65 \text{ кН}$$

Згинаючий момент в перерізі I

$$M_I = R_A \cdot l_2 = 2,66 \cdot 0,068 = 0,181 \text{ кНм}$$

Згинаючий момент в перерізі II

$$M_{II} = R_B \cdot l_4 = 3,65 \cdot 0,088 = 0,321 \text{ кНм}$$

Результуюча осьова сила

$$N = P_a - P'_a = 0,85 - 0,75 = 0,1 \text{ кН}$$

Небезпечним перерізом, як видно з епюр, є переріз II, оскільки в нім поперечні сили, згинаючий та крутний моменти, а так само осьова сила максимальні. Проте, враховуючи велику різницю в діаметрах, що розраховуються, можна припустити, що переріз III знаходиться в найбільш гірших умовах, і тому розрахунок напруги проведемо по перерізу III.

По теорії найбільшої дотичної напруги:

$$M_{\Sigma(III)} = \sqrt{M_{уIII}^2 + M_{крIII}^2} = \sqrt{0,179^2 + 0,342^2} = 0,386 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (2.64)$$

Напругення в перерізі III:

$$\sigma_{III} = \frac{Q_{III}}{F_{III}} + \frac{M_{\Sigma(III)}}{W_{III}} + \frac{N_{III}}{F_{III}} \leq \sigma_{\text{д}}, \quad (2.65)$$

де F_{III} - площа поперечного перерізу

$$F_{III} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,08^2}{4} = 0,00502 \text{ м}^2.$$

W_{III} - момент опору вигину

$$W_{III} = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,08^3 = 0,0000512 \text{ м}^3$$

Підставивши значення в 2.65, отримаємо:

$$\sigma_{III} = \frac{2,19}{0,00502} + \frac{0,386}{0,0000512} + \frac{0,1}{0,00502} = 7995 \text{ кН/м}^2 \approx 8 \text{ МПа} < \sigma_{\text{д}}^-$$

Вал виготовлений із сталі 40ХН допустиме напруження вигину, $\sigma_{\text{д}}^- = 320 \text{ МПа}$.

Висновок: розміри тихохідного валу n_3 , матеріал і термообробка задовольняють умові міцності.

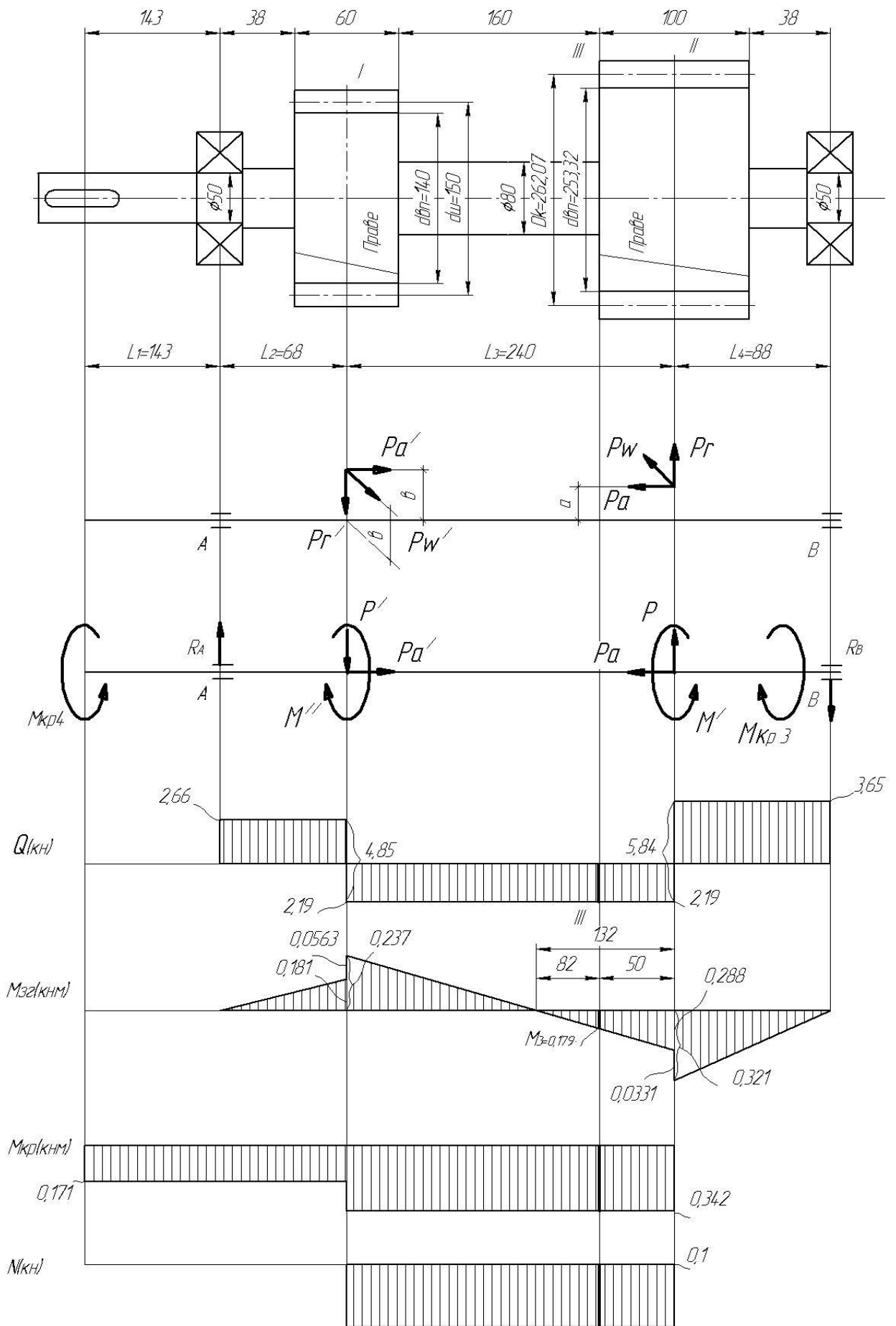


Рисунок 2.6- Схема вантаження тихохідного валу n_3

2.2.9 Розрахунок підшипників валу n_3 редуктора

Вал встановлений на 2-х роликових конічних однорідних підшипниках 7510 ГОСТ 333-71: $d = 50\text{мм}$; $D = 110\text{мм}$; $T = 24,75\text{мм}$

Динамічна вантажопідйомність	- $C = 59,8\text{кН}$
Статична вантажопідйомність	- $C_0 = 54,5\text{кН}$
Гранична частота обертання	- $n_{np} = 4000\text{хв}^{-1}$
Радіальне навантаження m_{ax} на 1 підшипник	- $R_B = 3,65\text{кН}$
n_3 - число обертів тихохідного валу редуктора	

$$n_3 = 293\text{хв}^{-1} < n_{np} = 4000\text{хв}^{-1}$$

Номінальна довговічність підшипника в мільйонах обертів:

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^p, \quad (2.66)$$

де $C = 59,8\text{кН}$;

$$p = \frac{10}{3} \quad (\text{для роликових підшипників})$$

P - еквівалентне динамічне навантаження:

$$P = x \cdot V \cdot R_B + K_\sigma \cdot K_T, \quad (2.67)$$

де $x = 0,43$ - коефіцієнт радіального навантаження; $V = 1,2$ - коефіцієнт обертання; $K_\sigma = 1,2$ - коефіцієнт безпеки; $K_T = 1,05$ - температурний коефіцієнт.

Підставивши значення в 2.67, отримаємо:

$$P = 0,43 \cdot 1,2 \cdot 3,65 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 2,373 \text{кН}.$$

Підставивши значення в 2.66, отримаємо:

$$L = \left(\frac{59,8}{2,373} \right)^{\frac{10}{3}} = 4,2 \cdot 10^{10} \text{об.}$$

Довговічність підшипника в годинах:

$$L_h = \frac{10^6 \cdot L}{60 \cdot n} = \frac{10^6 \cdot 4,2 \cdot 10^4}{60 \cdot 293} = 2,4 \cdot 10^6 \text{год.}$$

2.3 Вибір стандартних елементів

Вибір муфти з'єднання швидкохідного вал редуктора з двигуном.

Для з'єднання цих валів застосована пружинно-кулькова муфта. Ця муфта оберігає вали від перевантажень, при виникненні яких підпружинені кульки, що знаходяться в трапецеїдальних ложементях, виходять зі своїх штатних місць, стискаючи пружини. Вали відокремлюються.

Муфту вибираємо по крутному моменту

Момент крутний $M_{кр.1} = 0,214 \text{кНм}$

Позначення муфти МПМ I-120x60,

де I - 120 - зовнішній діаметр муфти ,мм;

60 - діаметр валу,мм.

Межі регулювання крутного моменту $M_{рег} = 0,160 \dots 0,216 \text{кНм}$

3 Дослідження параметрів приводу листопрямильної машини

3.1 Характеристика моделі правильної машини

Так як проведення експерименту для дослідження навантажень на реальному обладнанні у умовах роботи цеху є майже неможливим, проведення досліджень в лабораторних умовах більш прийнятне. Експерименти по дослідженню навантажень приводу проводились на моделі правильної машини та за допомогою програмного моделювання.

Фотографія моделі правильної машини представлена на рисунку 3.1.

Основним документом, який відображає характеристики, будову, принцип роботи і кінематичні схеми основних механізмів машини, є його паспорт.

Таблиця 3.1 – Паспорт моделі правильної машини

№	Найменування	Величина
1	Габарити моделі роликової правильної машини, мм	1800x1150x1200
2	Електродвигун А-62-8 - потужність, кВт - частота обертання, хв ⁻¹ - сила струму при напрузі 380 В, А - ККД, % - кратність пускового моменту $M_{п}/M_{ном}$ - кратність максимального моменту, $M_{max}/M_{ном}$	10 725 22,1 87 1,2 1,7
3	Редуктор	Черв'ячний
4	Довжина шпинделя, мм	600
5	Діаметр шпинделя, мм	50
6	Діаметр головки шпинделя, мм	150
7	Кількість роликів	7
8	Діаметр роликів, мм	120
9	Довжина бочки роликів, мм	250
10	Довжина шийки роликів, мм	50
11	Діаметр шийки роликів, мм	60
12	Підшипники правильних роликів	Тип ковзання
13	Крок роликів, мм	65



Рисунок 3.1 – Фотографія моделі правильної машини

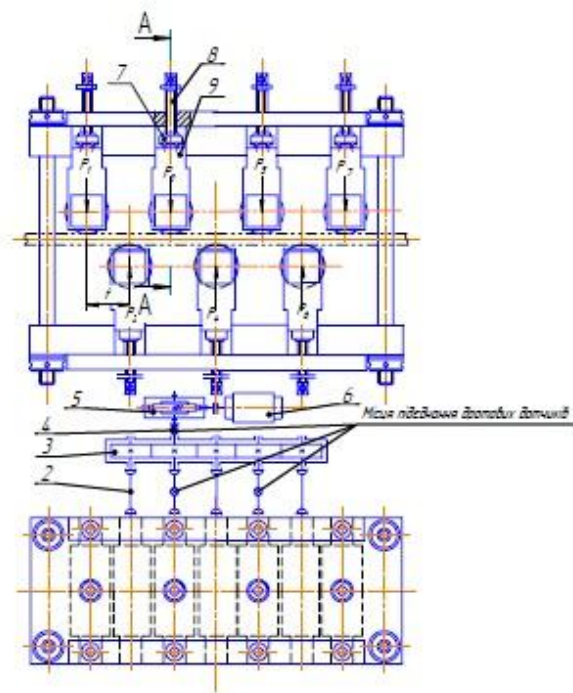
3.2 Дослідження та визначення навантажень роlikової правильної машини експериментальним методом

Дослідження тиску і крутних моментів при правці проводять на моделі правильної машини (рис.3.1), кінематична схема якої представлена на рисунку 3.2.

Обертання роликів 1 здійснюється від електродвигуна 6 через редуктор 5, шестеренну коробку 3 і універсальні шпинделі 2. Положення роликів по висоті при настроюванні регулюють гвинтовими настановними механізмами, кожен з яких складається із двох натискних 8 і одного фіксуєчого 10 гвинтів. Гайки гвинтів закріплені в поперечках станини 11.

Тиски й крутні моменти заміряють на третіх роliках з початку й з кінця, на яких навантаження визначаються відповідно пластичними й пружними деформаціями полоси при виправленні. Крім того, вимірюється повний момент, що потрібен для обертання роликів машини.

Тиск визначають месдозами 7 мембранного типу, встановленими між натискними гвинтами 8 і підшипниками 9. Дротові датчики двох месдоз, що вимірюють тиск на один ролик, включають у плечі вимірювального мосту послідовно так, як це показано на рисунку 2.2, б. Крутні моменти визначають дротовими датчиками, що наклеєні на універсальні шпинделі й на ведучий вал шестеренної коробки. З'єднання вимірювальних мостів та дротових датчиків з підсилювачем здійснено кільцевими струмознімальними пристроями. Наклейка й з'єднання дротових датчиків на валах виконані за схемою з чотирма робочими датчиками.



1 – робочий ролик; 2 – універсальний шпindel; 3 – шестеренна коробка; 4 – дротовий датчик; 5 – редуктор; 6 – електродвигун; 7 – месдоза; 8 – натискний гвинт; 9 – упорний підшипник; 10 – фіксуєчий гвинт; 11 – станина

Рисунок 3.2, а – Кінематична схема лабораторної роlikової правильної машини

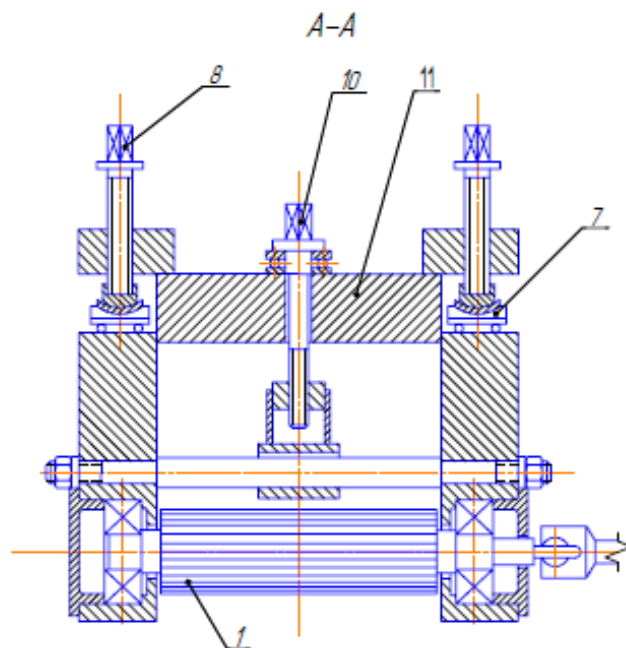


Рисунок 3.2, б – Кінематична схема лабораторної роlikової правильної машини (перетин А-А)

Порядок дій при дослідженні навантажень роликової правильної машини :

1. Налаштувати обчислювально-вимірювального комплексу МС-212 та програму Recorder-3.0.5.17b на одночасний запис по двом каналам.

2. Вибрати відповідно до навантажень необхідні ступені посилення тензOMETричного підсилювача, збалансувати вимірювальні мости й налаштувати обчислювально-вимірювальний комплекс МІС-18 та програму Recorder-3.0.5.17b на одночасний запис по двом каналам на одночасний запис зусиль виправлення й крутних моментів.

3. Зробити зовнішній огляд установки, переконавшись в її справності, подати напругу на пульт керування (загорілася сигнальна лампочка – пульт включений).

4. Включити роликову правильну машину й записати діаграму навантажень при виправленні полоси.

5. Зняти месдозу й протарувати їх на лабораторному гідравлічному пресі; тарування крутних моментів зробити непрямим методом із застосуванням тарувальної балки. Визначити масштаби тисків і крутних моментів.

6. Обробити діаграму навантажень роликової правильної машини, визначивши наступні величини: $P_{3(E)}$, $M_{3(E)}$, $P_{5(E)}$, $M_{5(E)}$ – відповідно тиски й крутні моменти на третьому й п'ятому роликах машини; $M_{n(E)}$ – повний момент, що витрачається на обертання роликів при виправленні полоси.

3.2.1 Вибір обладнання та датчиків для проведення експериментальних досліджень

В якості основного обладнання для збору та обробки експериментальних даних обрано модуль для роботи з тензOMETричними датчиками МС-212. Модуль МС-212 призначений для роботи із

мостовими, полумостовими тензодатчиками й одиночними тензорезисторами опором $0,100...1$ кОм при проведенні статичних і динамічних вимірів. Керування модулями, вимір і реєстрація сигналів здійснюється засобами програми Recorder. Для відображення, обробки, детального аналізу зареєстрованих сигналів і виводу на друк результатів служить програма WinПОС. Схема під'єднання датчика зі станцією збору даних представлена на рис.3.3.

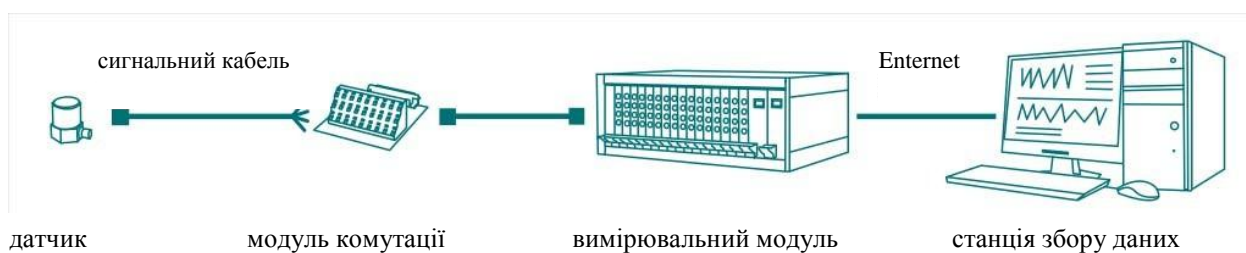
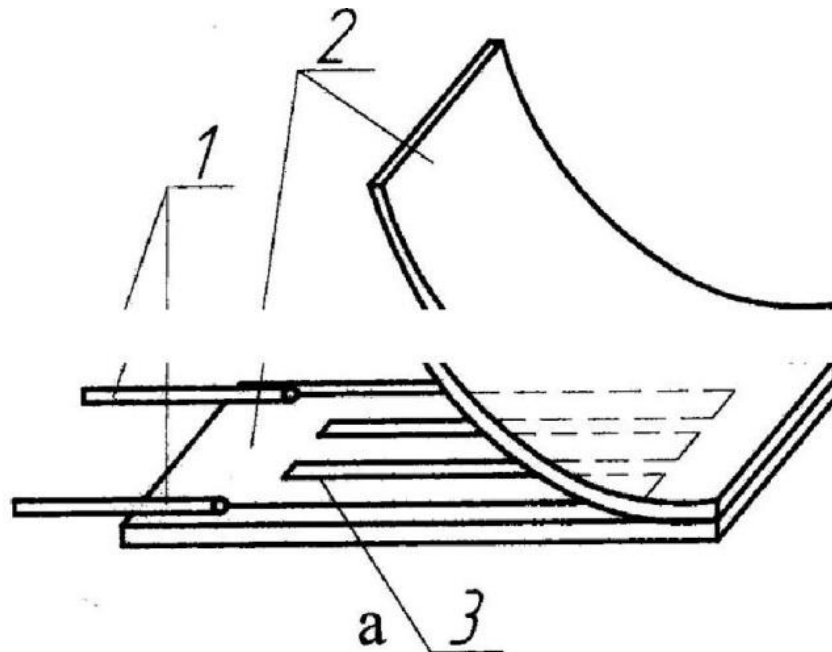


Рисунок 3.3 – Схема під'єднання датчика зі станцією збору даних

Для дослідження напружень і навантажень використані тензометричні датчики опору. Сутність тензометрування полягає в тому що на об'єкт, в якому потрібно визначити навантаження, кріпляться сприймаючі елементи з кількох тензодатчиків, зібраних у місткову схему з подачею на неї електроживлення. Разом з деформацією піддослідного об'єкту деформуються і тензодатчики, змінюючи свій опір. В результаті чого на виході моста виникає електричний сигнал розбалансу, пропорційний величини деформації (напруження, навантаження).

Дротяний тензодатчик (рисунок 3.4) складається з тонкого дроту діаметром $0,012...0,05$ мм з великим омичним опором (200 Ом), зигзагоподібно розташованих поміж двох шарів паперу або плівки. Як ізолююча підстилка використовується лакостійка плівка. Матеріалом для тензодатчиків є константан, манганін та ніхром.



1 – виведення; 2 – ізоляційна підкладка; 3 – спіраль

Рисунок 3.4 – Принципова схема устрою тензодатчиків

Зміна опору тензодатчика підкоряється лінійному закону. Згідно закону Ома, опір провідника дорівнює:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \text{ Ом} \quad (3.1)$$

де ρ – опір провідника, Ом·м;

l – довжина провідника, м;

S – площа поперечного перерізу, м².

Так як коефіцієнт Пуассона малий, S змінюється незначно. При постійних ρ і S опір прямо пропорційний l . Однак опір тензодатчика змінюється і при зміні температури навколишнього середовища:

$$R_t = a \cdot \rho \cdot \frac{l \cdot (t_1 - t_0)}{S}, \text{ Ом} \quad (3.2)$$

де a – коефіцієнт лінійного подовження;

$t_1 - t_0$ – перепад температур.

Один датчик здебільше не застосовують, а використовують спеціальні схеми їх з'єднання, виключаючи вплив температури навколишнього середовища.

Вимір зусиль під натискними гвинтами здійснюють за допомогою месдоз. У месдозі мембранного типу (рисунок 3.5) два робочих датчика 1, наклеєні на внутрішню поверхню мембрани 2, виконаної за одне ціле з корпусом 3. Знизу месдоза зачинена кришкою 4. Компенсаційні датчики 5 наклеєні на не навантажену пластину 6, розміщену у корпусі месдоз. Сферичні укладки 7 забезпечують центральне навантаження до месдоз.

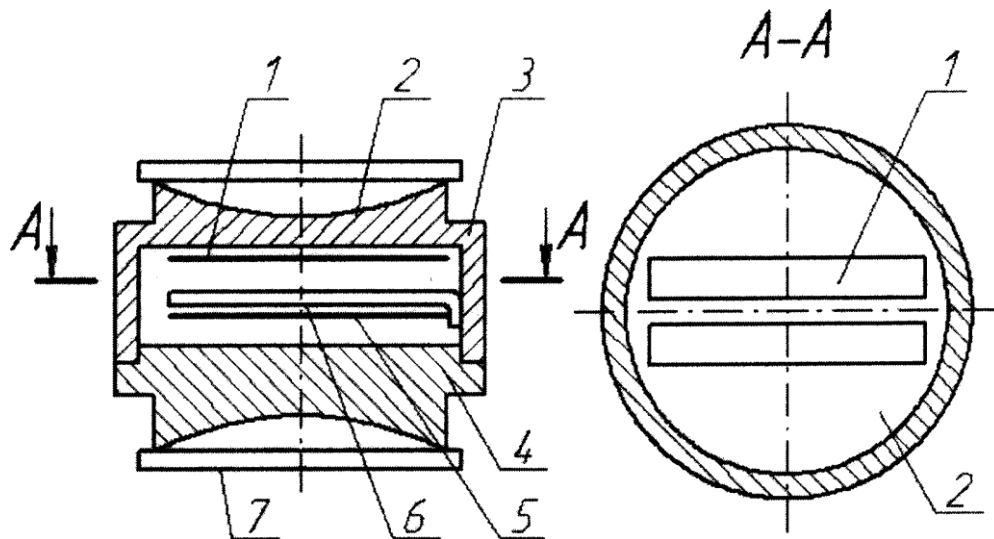


Рисунок 3.5 – Месдоза мембранного типу

Тарування месдоз мембранного типу виконуємо безпосереднім навантаженням на лабораторному пресі ПГПР-4, призначеному для вивчення дії гідравлічного преса і демонстрації різних фізичних дослідів, де потрібно значний тиск до 15МПа ($150\text{кгс}/\text{см}^2$), для випробування матеріалів на вигин, розтяг, стиск, розрив, штампування матеріалу і тарування.

При вимірюванні дотичних напружень і крутних моментів робочі датчики наклеюють на вал під кутом 45° до осі та під кутом 90° один до одного. Вони одержують різні по знаку напруження: один датчик працює

на стиск, другий – на розтягнення. Міст може бути складений з двох або чотирьох робочих датчиків. Схема розміщення тензодатчиків на валу показана на рисунку 3.6.

При наклеїці тензодатчиків на валу, який досліджується, тарування крутних моментів виконують, як правило, непрямим способом, так як вал механізму важко навантажувати тарувальними приладами. При безпосередній наклеїці тензодатчиків на досліджуваний вал тарування крутних моментів виконують, як правило, непрямим способом, тому що вал механізму важко навантажувати тарувальними машинами. Після запису осцилограми крутних моментів досліджуваного механізму до підсилювача підключають тарувальну балку й записують тарувальну осцилограму з ординатами $Y_1, Y_2 \dots Y_n$ при напрузі в балці b_1, b_2, b_n від дії вантажу $P_1, P_2 \dots P_n$. Зусилля від мас вантажів P и сигнал на виході із крейда Y

$P_1 = 2,28\text{H}$ ($Y_1 = 350\text{ mV}$); $P_{T2} = 12,1\text{H}$ ($Y_2 = 1900\text{ mV}$); $P_{T3} = 22,45\text{H}$ ($Y_3 = 3530\text{ mV}$).

Отриманий тарувальний графік представлено на рисунку 3.8.

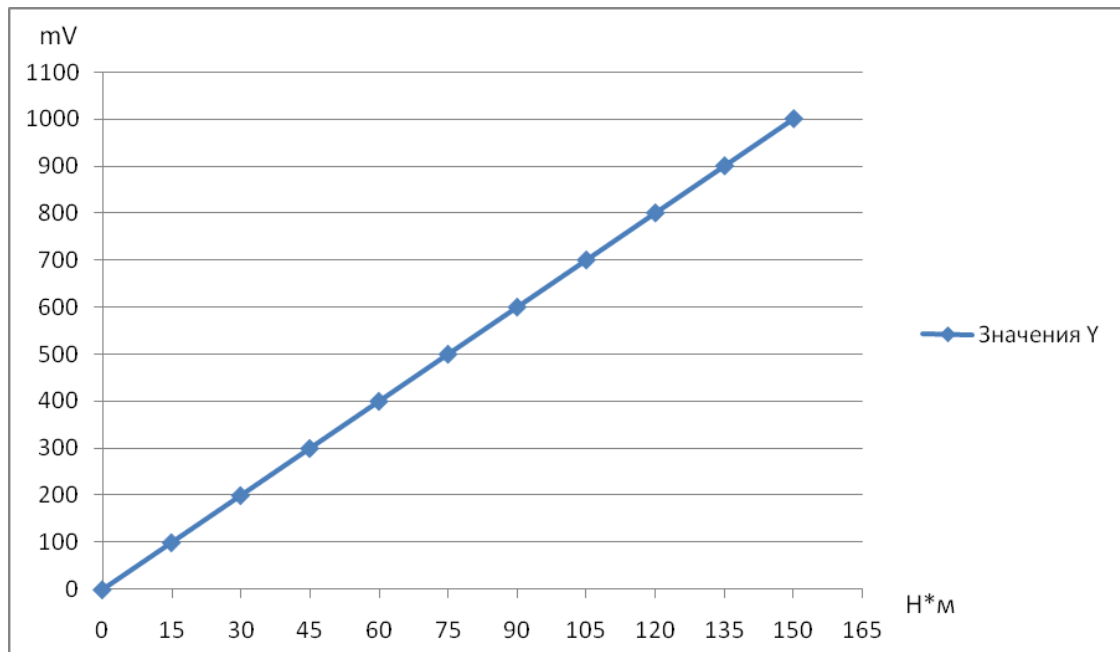
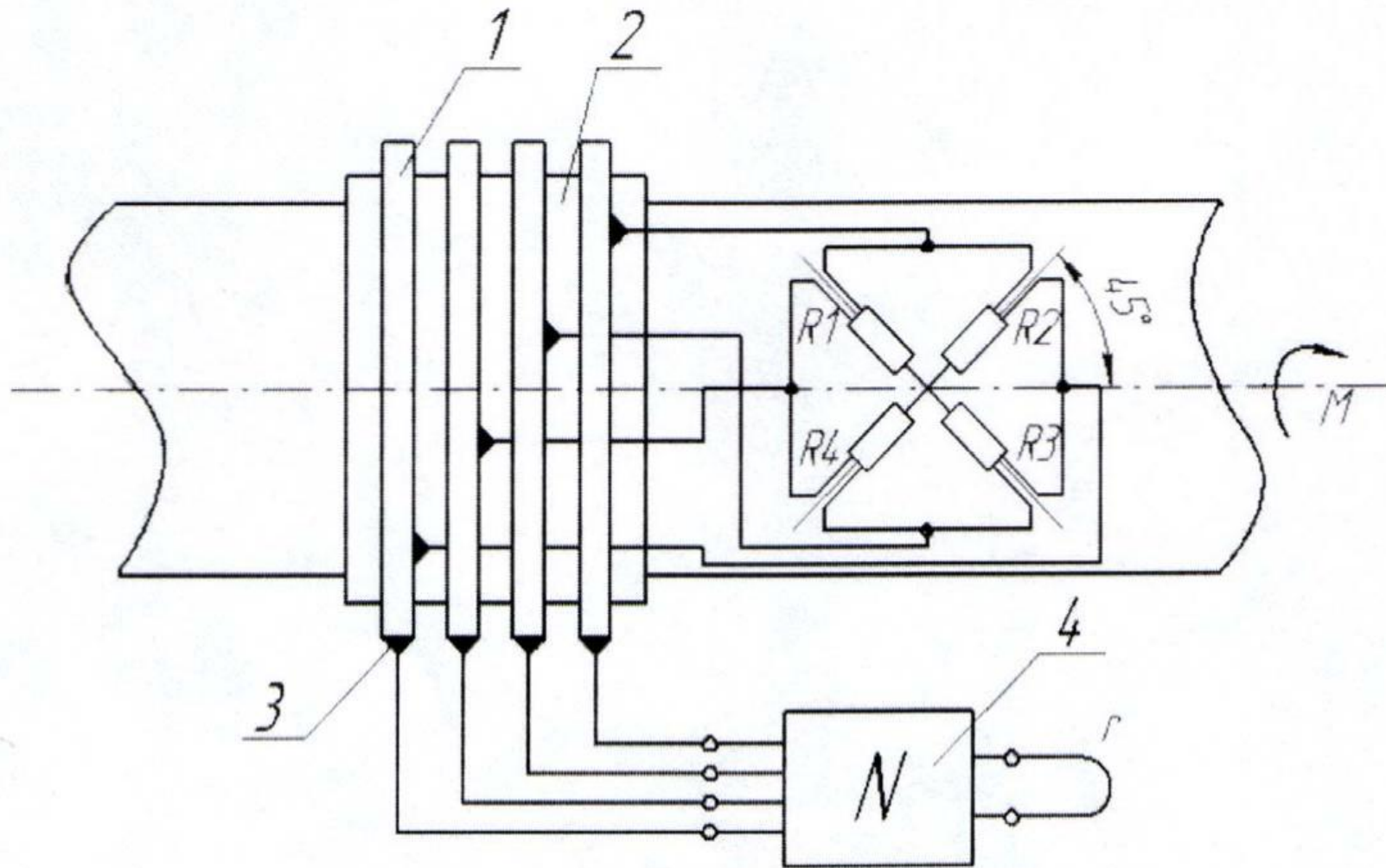


Рисунок 3.8 – Тарувальний графік крутних моментів $M=f(Y)$



1 – струмознімальні кільця; 2 – ізолююча втулка; 3 – контактні щітки; 4 – реєструюча апаратура

Рисунок 3.6 – Схема розташування тензодатчиків на валу

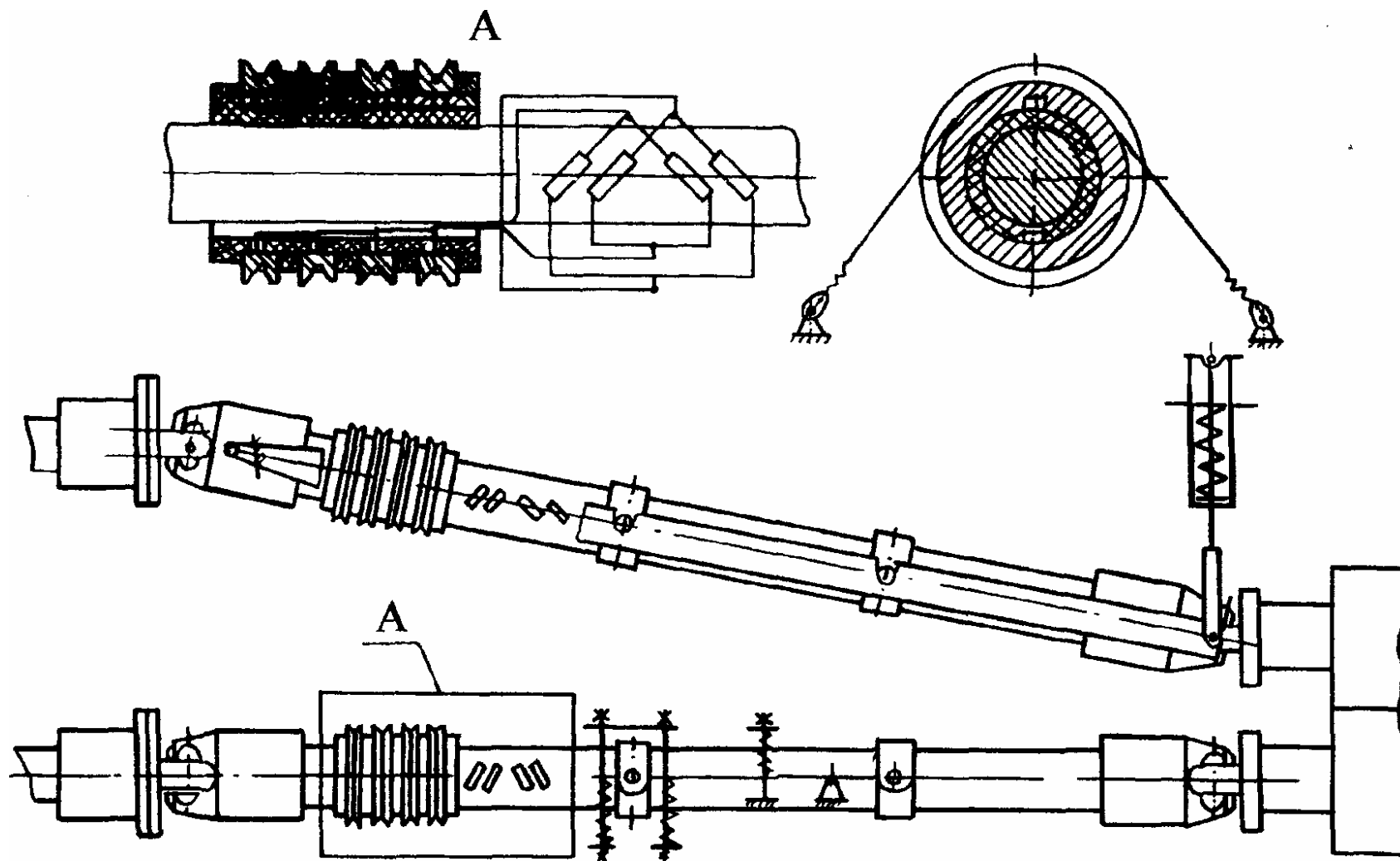


Рисунок 3.7 – Місце розташування датчиків струмоз’ємного приладу на універсальних шпинделях при дослідженні крутних моментів

3.2.2 Визначення розрахункових тисків і крутних моментів і порівняння їх з експериментальними даними

Процес виправлення на багатороликових правильних машинах заснований на пружно-пластичному знакозмінному вигині листа, що рухається між роликами, розташованими в шаховому порядку [9].

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

Роликову правильну машину налаштовуємо таким чином, щоб другий, третій і четвертий ролики створювали пластичний вигин листа, на передостанніх роликах має місце пружний вигин, перший і останній ролики не створюють деформації.

Згинальний момент при пластичному вигині дорівнює:

$$M_S = \sigma_S \cdot S, \quad (3.3)$$

де σ_S – межа плинності матеріалу листа; S – пластичний момент опору, m^3 .

Для прямокутного перетину S становить:

$$S = \frac{bh^2}{4} \quad (3.4)$$

де b і h – відповідно ширина й висота листа, m .

Згинальний момент при пружному вигині:

$$M_W = \sigma_S \cdot W \quad (3.5)$$

де W – момент опору перетину, який визначається за формулою:

$$W = \frac{bh^2}{6} \quad (3.6)$$

При прийнятому настроюванні роlikової правильної машини формули для визначення тисків будуть [15]:

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{2 \cdot M_s}{t}; & P_2 &= \frac{6 \cdot M_s}{t}; & P_3 &= \frac{8 \cdot M_s}{t}; \\ P_4 &= \frac{P_3 + P_5}{2}; & P_5 &= \frac{8 \cdot M_w}{t}; \\ P_6 &= \frac{6 \cdot M_w}{t}; & P_7 &= \frac{2 \cdot M_w}{t}, \end{aligned}$$

де t – крок роликів.

Крутні моменти на третьому й п'ятому роliках знайдемо за наступною методикою [16].

Коефіцієнт проникнення пластичної деформації K_{Π} , що представляє співвідношення пластичної зони до товщини штаби, для різних роликів знайдемо по формулі:

$$K_{\Pi(i)} = K_2 \cdot \left(1 - \frac{i-2}{n-3}\right), \quad (3.7)$$

де K_2 – коефіцієнт проникнення пластичної деформації в листі для другого роliка; i – порядковий номер роliка; n – кількість роликів у машині.

Практикою встановлено, що коефіцієнт проникнення пластичної деформації K_2 в листі лежить у межах $K_2 = 0,75 \sim 0,26$.

Крутний момент на ролику, необхідний для пластичної деформації, дорівнює:

$$M_{\Pi} = \frac{\sigma_s^2}{4 \cdot E} \cdot b \cdot h \cdot D_p \cdot \frac{K_{\Pi(i)}^2}{1 - K_{\Pi(i)}}, \quad (3.8)$$

де D_p – діаметр ролика, м; E – модуль пружності матеріалу листа;
Момент, що виникає внаслідок кочення ролика по листу, становить:

$$M_K = P_i \cdot k, \quad (3.9)$$

де P_i - тиск на ролик; k - коефіцієнт тертя кочення. При виправленні сталевих листів $k=0,05-0,08$ см; для листів з кольорових металів $k = 0,1-0,15$ см.

Момент тертя в підшипниках ролика:

$$M_T = P_i \cdot \mu \cdot \frac{d}{2},$$

де μ – коефіцієнт тертя у підшипникових опорах роликів; d – діаметр цапфи ролика.

Загальний крутний момент на ролику складе:

$$M_{I(P)} = M_{\Pi} + M_K + M_T, \quad (3.10)$$

Знаходження повного приводного моменту роликової правильної машини виконуємо в такий спосіб. д

Сумарний тиск на ролики машини буде дорівнювати:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7, \quad (3.11)$$

Суму коефіцієнтів проникнення пластичної деформації для роликів машини визначимо по формулі [16]:

$$\Sigma K_{\Pi(i)} \approx K_2^2 \cdot \left[\frac{1}{1 - K_2} + K_2(n - 3) \right],$$

Крутний момент, що вимагається для пластичної деформації листа, при виправленні, становить:

$$M_I = \frac{\sigma_s^2}{4 \cdot E} \cdot b \cdot h \cdot D_p \cdot \Sigma K_{\Pi(i)} \quad (3.12)$$

Момент тертя кочення ролика по листу:

$$M_{II} = P k, \quad (3.13)$$

Момент тертя в опорах роликів:

$$M_{III} = P \cdot \mu \cdot \frac{d}{2},$$

Повний момент, необхідний для обертання роликів машини при виправленні листа, дорівнює:

$$M_{\Pi(P)} = M_I + M_{II} + M_{III}, \quad (3.14)$$

Різниця між експериментальними й розрахунковими величинами тисків і крутних моментів буде становити:

$$\delta_1 \% = \frac{P_{3(E)} - P_{3(P)}}{P_{3(E)}} \cdot 100\% ,$$

$$\delta_2 \% = \frac{M_{3(E)} - M_{3(P)}}{M_{3(E)}} \cdot 100\% ,$$

$$\delta_3 \% = \frac{P_{5(E)} - P_{5(P)}}{P_{5(E)}} \cdot 100\% ,$$

$$\delta_4 \% = \frac{M_{5(E)} - M_{5(P)}}{M_{5(E)}} \cdot 100\% ,$$

$$\delta_5 \% = \frac{M_{\Pi(E)} - M_{\Pi(P)}}{M_{\Pi(E)}} \cdot 100\% ,$$

Для дослідів були використані металеві зразки з наступними параметрами:

Зразок 1

- матеріал зразка ВСт5пс;
- межа плинності матеріалу $\sigma_T=285$ МПа;
- межа міцності матеріалу $\sigma_B=560$ МПа
- товщина $h=6$ мм;
- ширина $b=35$ мм;
- довжина $l=620$ мм;
- радіус кривизни $R=1755$ мм.

Зразок 2

- матеріал зразка ВСт3кп;
- межа плинності матеріалу $\sigma_T=235$ МПа;
- межа міцності матеріалу $\sigma_B=410$ МПа
- товщина $h=6$ мм;
- ширина $b=80$ мм;
- довжина $l=620$ мм;
- радіус кривизни $R=1755$ мм.

Зразок 3

- матеріал зразка ВСт5пс;

- межа плинності матеріалу $\sigma_T=285$ МПа;
- межа міцності матеріалу $\sigma_B=560$ МПа
- товщина $h=6$ мм;
- ширина $b=35$ мм;
- довжина $l=620$ мм;
- радіус кривизни $R=500$ мм.

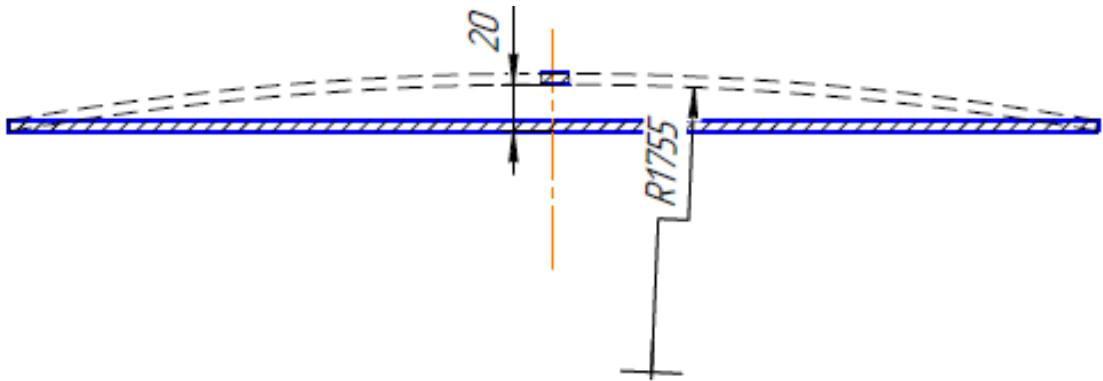


Рисунок 3.9 – Схема викривлення пластини зразків №1 та №2

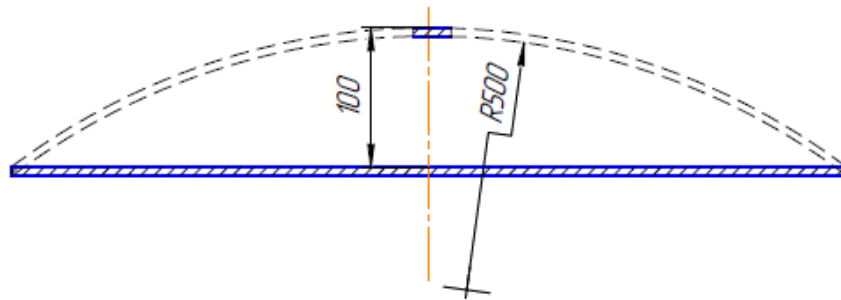


Рисунок 3.10 – Схема викривлення пластини зразка №3



Рисунок 3.11 – Фото зразка №1 до правки



Рисунок 3.12 – Фото зразка №2 до правки



Рисунок 3.13 – Фото зразка №3 до правки

Таблиця 3.2 – Розрахункові значення параметрів при виправленні зразка №1 та №3

№ ролика i	Момент вигину, Нм		Тиск P _i , Н	K _{Π(i)}	K _{Π(i)} ²	1-K _{Π(i)}	M's, Нм	M'', Нм	M''', Нм	P _Σ , Н	ΣK _{Π(i)}	M _I , Нм	M _{II} , Нм	M _{III} ,Нм	M _{Π(P)} ,Нм
	M _s	M _w													
1	89,775		2762,308	0,7	0,49	0,3	3,98	2,21	8,29	46038,46	4,293	10,462	36,381	138,115	185,408
2	89,775		8286,923					6,63	24,86						
3	89,775		11049,23	0,525	0,276	0,475	1,41	8,84	33,15						
4			9207,692	0,35	0,122	0,65	0,46	7,37	27,63						
5		59,85	7366,154	0,175	0,03	0,825	0,09	5,89	22,09						
6		59,85	5524,615	0	0	1	0	4,42	16,57						
7		59,85	1841,538					1,47	5,52						

Таблиця 3.3 – Розрахункові значення параметрів при виправленні зразка №2

№ ролика i	Момент вигину, Нм		Тиск P _i , Н	K _{Π(i)}	K _{Π(i)} ²	1-K _{Π(i)}	M's, Нм	M'', Нм	M''', Нм	P _Σ , Н	ΣK _{Π(i)}	M _I , Нм	M _{II} , Нм	M _{III} ,Нм	M _{Π(P)} ,Нм
	M _s	i													
1	169,2		5206,154	0,7	0,49	0,3	6,18	4,1649	15,618	86769,23	4,293	16,258	69,415	260,308	345,981
2	169,2		15618,46					12,494	46,855						
3	169,2		20824,62	0,525	0,27562	0,475	2,19	16,659	62,473						
4			17353,85	0,35	0,1225	0,65	0,71	13,883	52,061						
5		112,8	13883,08	0,175	0,03062	0,825	0,14	11,106	41,649						
6		112,8	10412,31	0	0	1	0	8,3298	31,236						
7		112,8	3470,769					2,7766	10,412						

Теоретичні розрахункові значення крутного моменту на 3-у ролику при виправленні першого та третього зразків становлять:

$$M_{\tau(3)} = M' + M'' + M''' = 1,4139 + 8,8393 + 33,1476 = 43,401 \text{ Нм.}$$

Теоретичне розрахункове значення крутного моменту на 3-у ролику при правці другого зразка становить:

$$M_{\tau(3)} = M' + M'' + M''' = 2,197 + 16,659 + 62,473 = 81,33 \text{ Нм.}$$

Фото зразків до та після виправлення представлені на рис. 3.14 та 3.15.



Рисунок 3.14 – Фото зразків до та після виправлення



Рисунок 3.15 – Фото зразків після виправлення

В результаті проведення експерименту були отримані навантажувальні діаграми, а саме: холостого руху машини та роботи машини при виправленні зразків №1, №2 та №3.

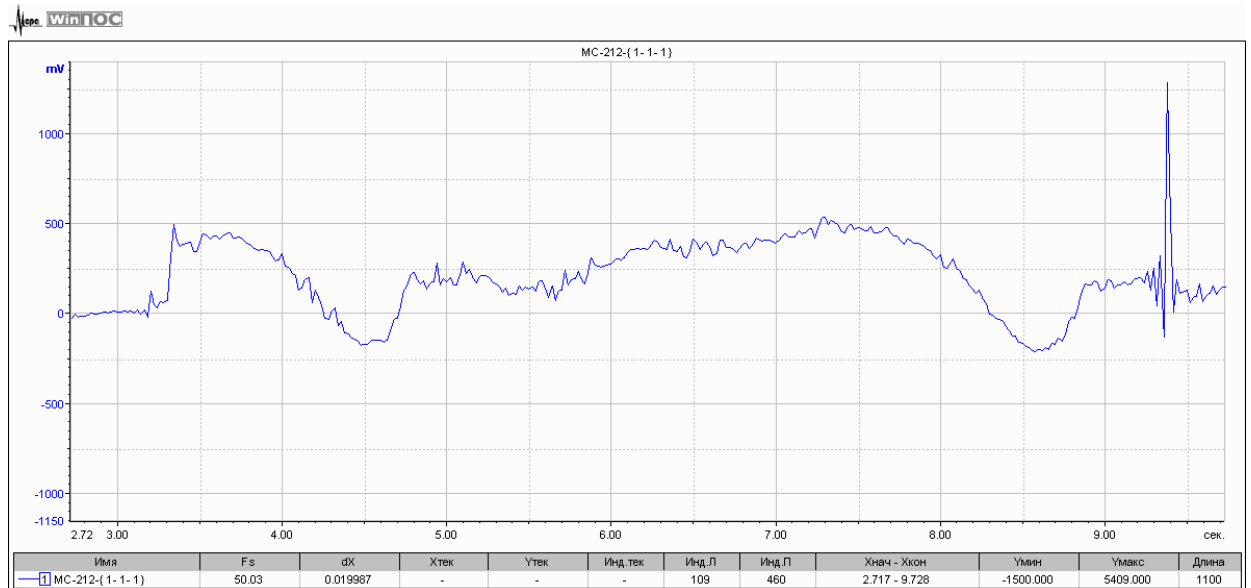


Рисунок 3.16 – Діаграма холостого руху машини

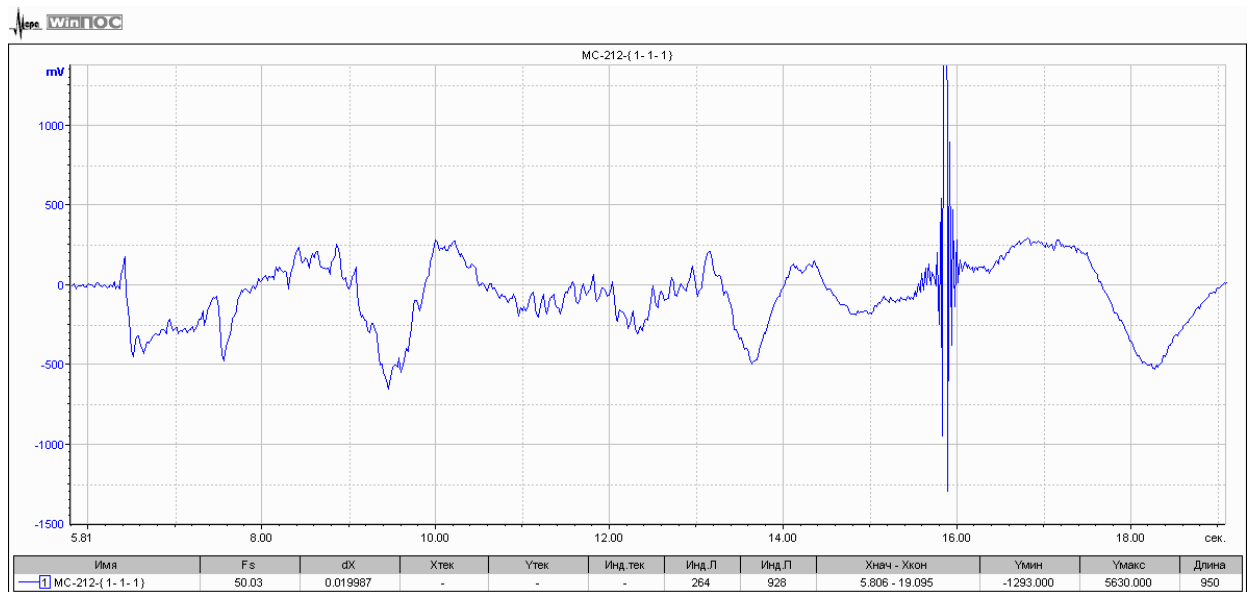


Рисунок 3.17 – Діаграма навантажень при правці зразка №1

(6x35x620, ВСт5пс, $Y_{\max}=290$ mV)

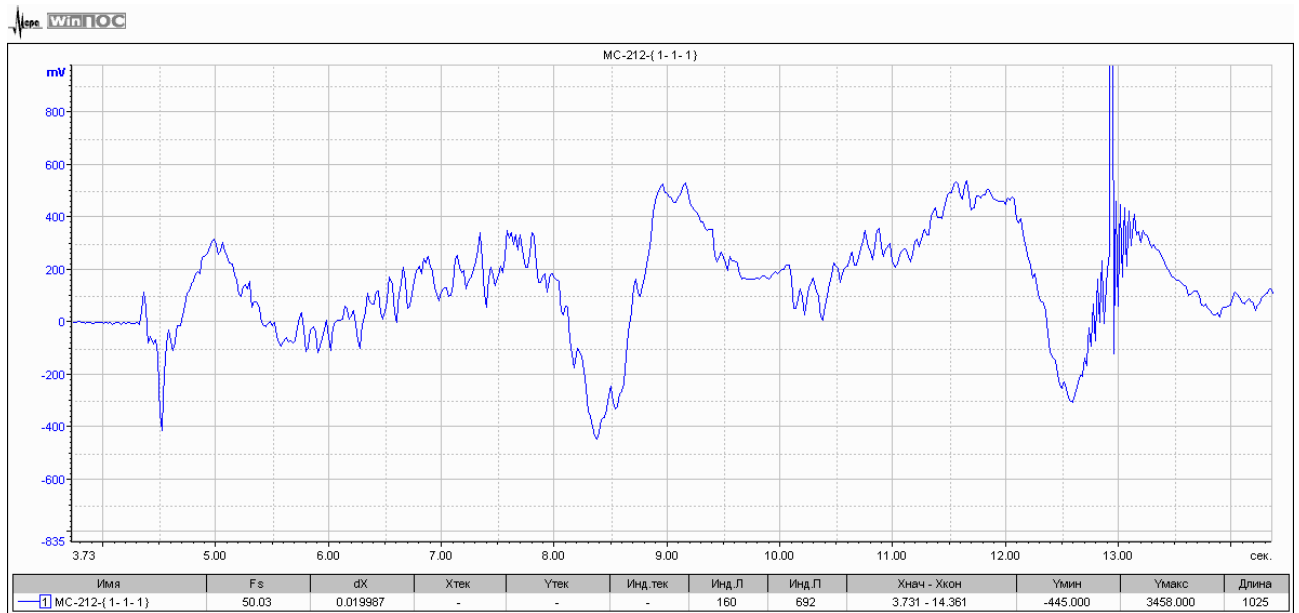


Рисунок 3.18 – Діаграма навантажень при правці зразка №2
(6x80x620, ВСт3кп, $Y_{\max}=540$ mV)

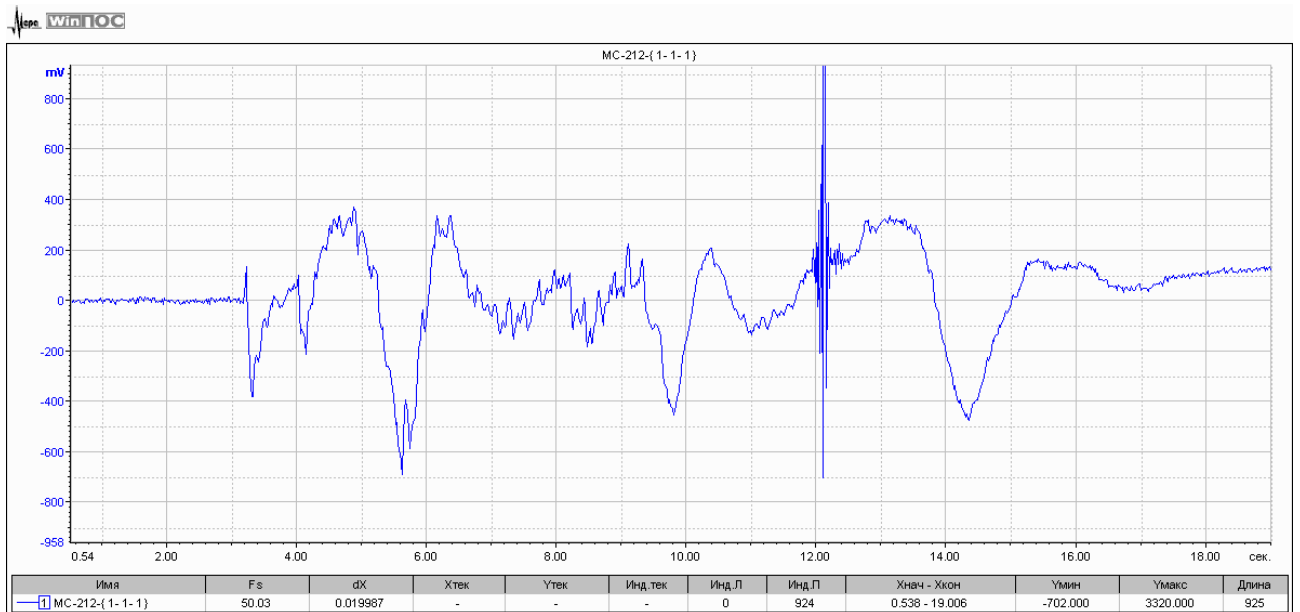


Рисунок 3.19 – Діаграма навантажень при правці зразка №3
(6x35x620, ВСт5пс, $Y_{\max}=380$ mV)

Для отримання значення крутного моменту на 3-у ролик скористаємось тарувальним графіком для переведення значень mV в значення Нм, згідно з прийнятим раніше масштабом крутних моментів, який становить $m_M = 0,15$ Нм/mV

Зразок №1

Експериментальне значення:

$$M_{3(E)} = Y_{MAX} \cdot m_M = 290 \cdot 0,15 = 43,5 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Теоретичне розрахункове значення:

$$M_{3(T)} = 43,401 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Відхилення становить:

$$\delta_1 \% = \frac{M_{3(E)} - M_{3(P)}}{M_{3(E)}} \cdot 100\% = \frac{43,5 - 43,401}{42} \cdot 100\% = 0,227\%.$$

Зразок №2

Експериментальне значення:

$$M_{3(E)} = Y_{MAX} \cdot m_M = 540 \cdot 0,15 = 81 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Теоретичне розрахункове значення:

$$M_{3(T)} = 81,33 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Відхилення становить:

$$\delta_2 \% = \frac{M_{3(E)} - M_{3(P)}}{M_{3(E)}} \cdot 100\% = \frac{81 - 81,33}{81} \cdot 100\% = -0,407\%.$$

Зразок №3

Експериментальне значення:

$$M_{3(E)} = Y_{MAX} \cdot m_M = 380 \cdot 0,15 = 57 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Теоретичне розрахункове значення:

$$M_{3(T)} = 43,405 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Відхилення становить:

$$\delta_3 \% = \frac{M_{3(E)} - M_{3(T)}}{M_{3(E)}} \cdot 100\% = \frac{57 - 43,401}{57} \cdot 100\% = 23,85\% .$$

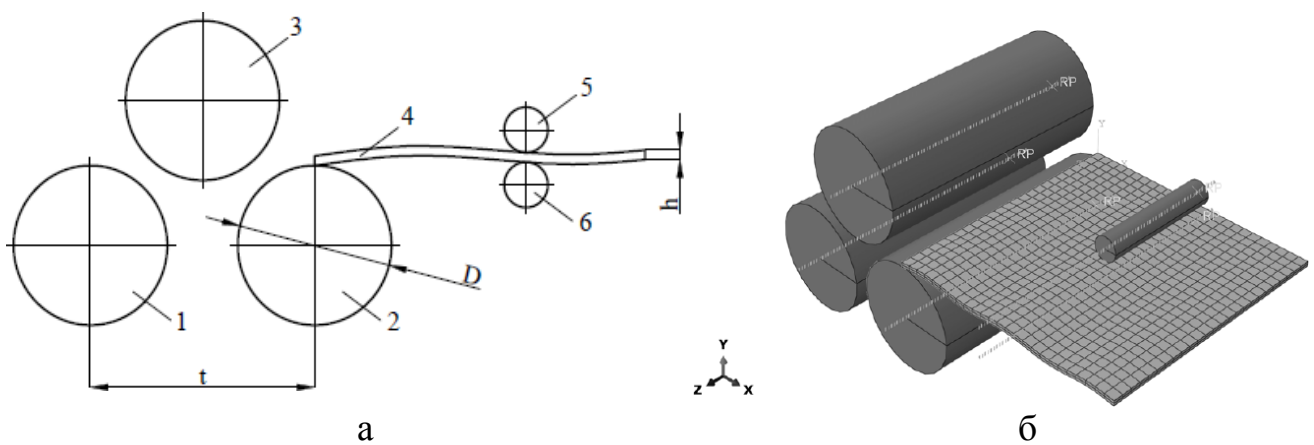
Аналізуючи результати досліджень зразків №1 та №2 можна зробити висновок, що відтворюваність досліду відбулося на високому рівні, а саме: відхилення теоретичних та експериментальних даних складають менше 5% для різних марок сталі.

Аналізуючи результати досліджень зразка №3 можна зробити висновок, що отримане відхилення теоретичних та експериментальних даних в розмірі 23,85% пояснюється тим, що зразок №3 попередньо був дуже сильно деформований, радіус кривизни складав $R=500$ мм, а в зразків №1 та №2 лише $R=1755$ мм, тобто в процесі виправлення реально відбувалося не пружно-пластичне деформування, а пластичне деформування зразка.

3.3 Підбір оптимальних режимів налаштування роликів

Одним із шляхів вдосконалення листопрального обладнання є створення вигину осі робочих роликів, що робить можливим додаткове виправлення поперечної кривизни листів [5]. При цьому актуальною є проблема визначення оптимального налаштування робочих роликів не

тільки в поздовжньому напрямку руху листа, але і в поперечному, тобто визначення крім величини перекриття роликів величину їх вигину. Зазначене можливо при використанні тривимірних математичних моделей процесу правки листів [5-9]. В рамках аналізу напружено-деформованого стану металу при виправленні поздовжньої і поперечної кривизни листів був виконаний розрахунок з використанням методу скінченних елементів в системі Abaqus [10]. Розрахункова схема машини та схема процесу правки представлені на рис.3.20



1-3 – робочі ролики, 4 – лист, 5,6 – направляючі ролики

Рисунок 3.20 – Розрахункова та кінцево-елементна модель процесу правлення

Для моделювання роликів використані тривимірні недеформовані елементи. Параметри машини відповідають параметрам п'ятироlikової правильної машини, розрахованої в розрахунковій частині роботи: шаг машини 160 мм, діаметр робочих роликів 150 мм. Для моделювання вигину осі робочих роликів їх бочка була виконана опуклою.

Для моделювання листа використані твердотільні лінійні елементи з нанесеною сіткою з контролем руйнування. Товщина листа, що правиться – 10 мм. В якості матеріалу листа прийнята сталь 08кп. Модель листа отримано в пакеті SolidWorks (рис. 3.21).

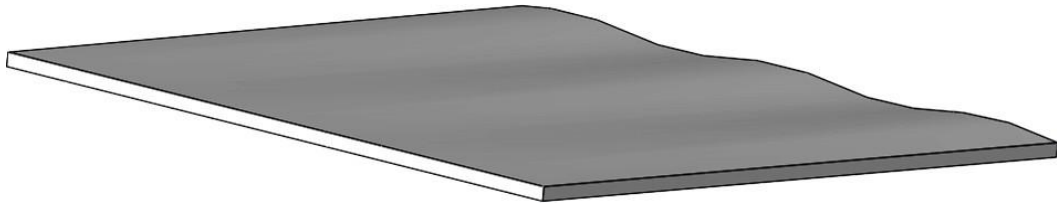


Рисунок 3.21 – Модель листа з крайовою хвилястістю

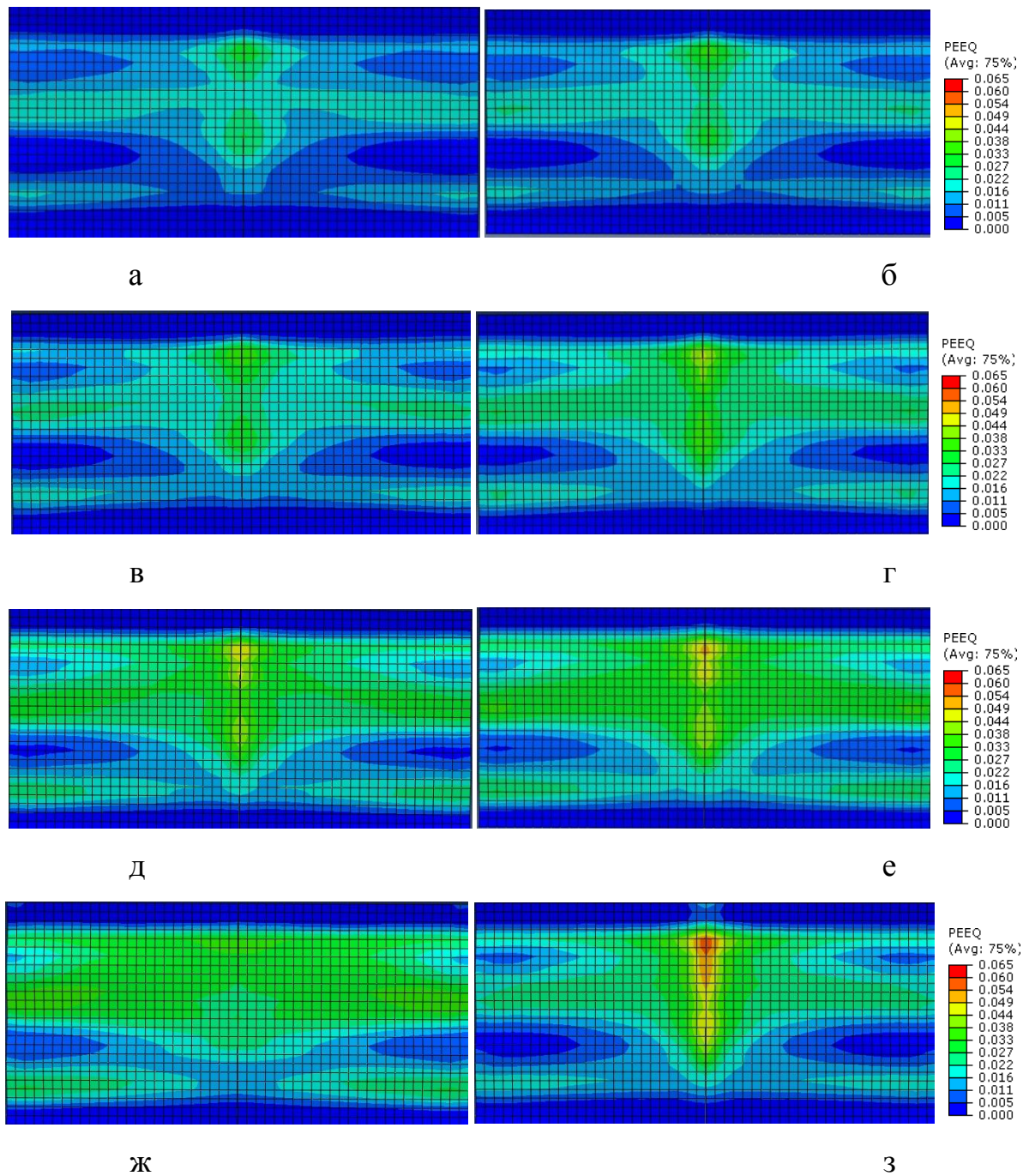
Вихідна модель має наступні граничні умови: нижні та спрямовуючі ролики машини мають одну обертову ступень волі, верхній ролик має два ступеня волі – можливість обертатись навколо своєї осі, а також переміщатись по осі «2» (рис.3.20).

Контакт між листом і роликками задається за допомогою моделі контакту «поверхня до поверхні» шляхом завдання коефіцієнта тертя $\mu=0,2$.

Після цього, всі робочі та спрямовуючі ролики приводилися в обертання з кутовою швидкістю 0,95 і 4 рад/с відповідно, що, з урахуванням їх діаметру, відповідає приблизній швидкості руху листа уздовж осі «1» глобальної системи координат 0,1 м /с. Час кроку було прийнято 6 сек.

Для оцінки отриманих результатів вихідними в даному випадку параметрами були обрані проекції реакцій в контрольних точках роликів в глобальній системі координат, а також переміщення, деформації та напруження в вузлах кінцевих елементів листа.

Розрахунки були проведені для різних перекриттів і різного вигину бочки роликів. На рис. 3.22 представлені поля розподілу еквівалентних деформацій по поверхні листа при різних перекриттях (а-е) і вигині робочих роликів (ж,з).



а – $W = 3$ мм, $dW = 2$ мм; б – $W = 4$ мм, $dW = 2$ мм; в – $W = 5$ мм, $dW = 2$ мм; г – $W = 7$ мм, $dW = 2$ мм; д – $W = 9$ мм, $dW = 2$ мм; е – $W = 10$ мм, $dW = 2$ мм; ж – $W = 10$ мм, $dW = 0$ мм; з – $W = 10$ мм, $dW = 5$ мм

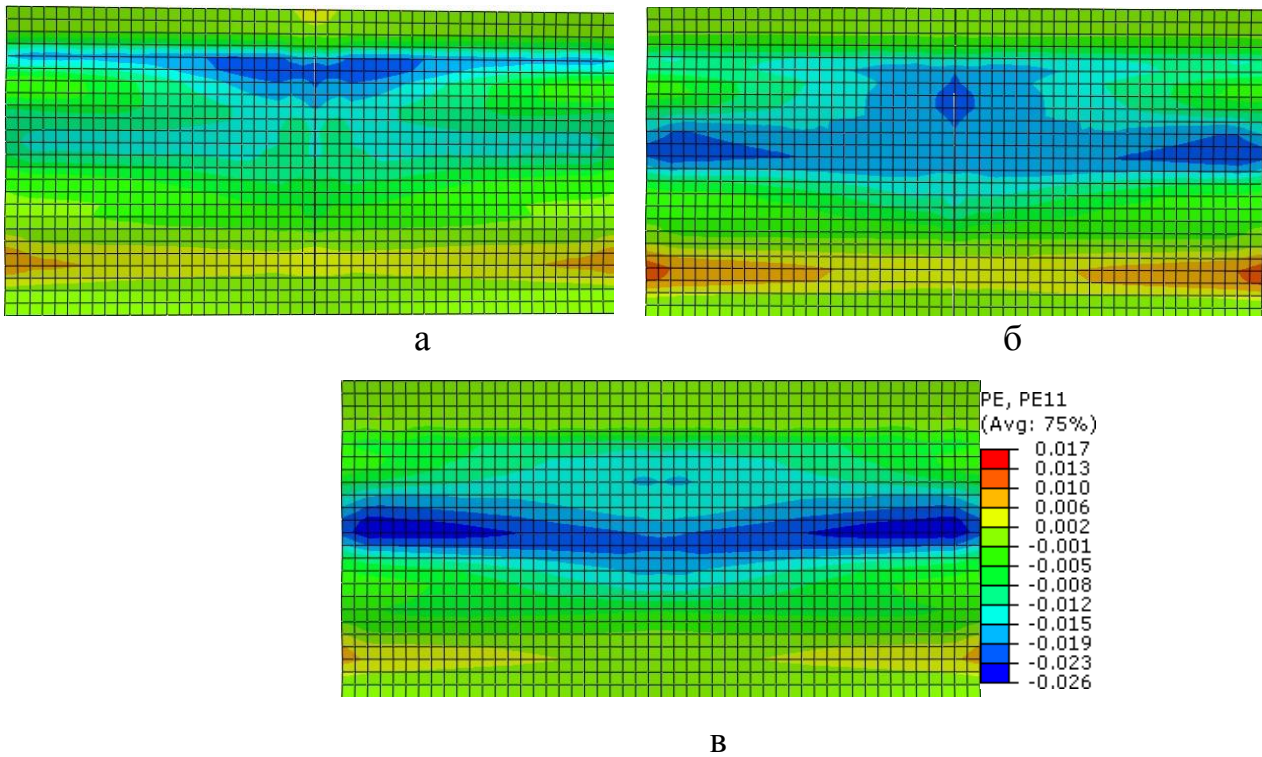
Рисунок 3.22 - Поля розподілу еквівалентних деформацій по поверхні листа при різних перекриттях (а-е) і вигині робочих роликів (ж,з).

З аналізу представлених розподілів видно, що зі збільшенням величини перекриття роликів W еквівалентна деформація в середній

частині листа (плоский ділянку) зростає, а характер розподілу визначається положенням хвилястістю бічних крайок. Зокрема, при збільшенні перекриття з 3 до 10 мм максимальне значення еквівалентної деформації зростає в 2 рази - з 3% до 6%. При зростанні величини вигину робочого ролика dW також спостерігається збільшення еквівалентної деформації в середній частині листа (плоский ділянку). При відсутності вигину ролика (рис. 3.22, ж) спостерігається приблизно однакову деформації по поверхні аркуша на рівні 3,5%. При зростанні вигину ролика деформація середніх ділянок листа збільшується (рис. 3.22, е, з) і при величині вигину 2 мм знаходиться на рівні 6,0%, а при величині вигину 5 мм - на рівні 6,5%, причому зона деформації зростає.

На рис. 3.23 представлені розрахункові розподілу поздовжньої деформації по нижній поверхні листів при різних вигинах робочих роликів. З аналізу даних розподілів можна зробити висновок, що при виправленні листів з крайової хвилястістю спостерігаються чергування деформації стиснення і розтягування по довжині листа. При цьому при збільшенні вигину ролика підвищується різниця деформації середніх і крайніх ділянок листів. На рис. 3.24 представлені розрахункові розподілу крайової хвилястості листів в залежності від величини вигину роликів dW . У зв'язку з великими витратами машинного часу на розрахунок був розглянутий лист завдовжки, рівній подвійному кроці правильної машини, що призвело до деякого спотворення даного результату по першій і третій хвилі через неповну обробки переднього і заднього кінця штаби.

З аналізу, представленого на рис.3.24, розподілу видно, що зі збільшенням вигину ролика крайова хвилястість зменшується. Зокрема, при відсутності вигину висота хвилі зменшилася з 4,0 мм до 3,65 мм, при вигині 1 мм - до 2,8мм, що складає 30%, при вигині 2 мм - до 1,04 мм (75%) , при вигині 5 мм - до 0,52 мм (87%). Даний факт підтверджує вплив величини вигину ролика на виправлення хвилястості листів і можливість використання даного підходу для підвищення якості правки листів.



а – $W = 10$ мм, $dW = 5$ мм; б – $W = 10$ мм, $dW = 2$ мм; в – $W = 10$ мм, $dW = 0$ мм

Рисунок 3.23 - Розподіл поздовжньої деформації на контактній поверхні листів в залежності від величини вигину робочих роликів

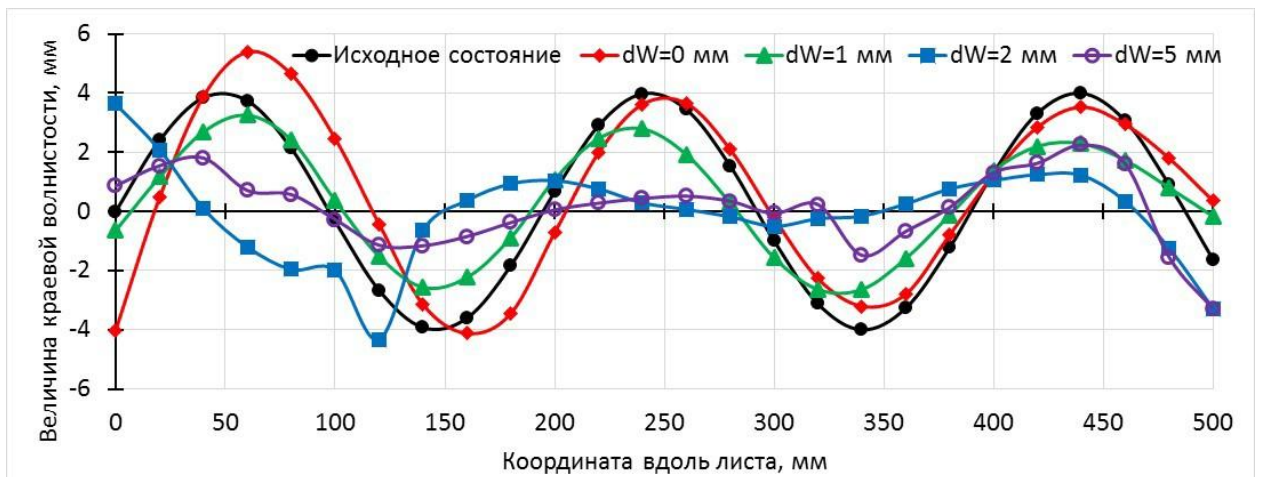


Рисунок 3.24 - Розподіл крайової хвилястості листів до і після редагування при різних вигинах робочих роликів

3.4 Техніко-економічне обґрунтування впровадження запропонованих пропозицій в виробництво

Робота привода правильної машини пов'язана з динамічними навантаженнями та перенавантаженнями приводу, що приводить до поломки шпинделів. Для запобігання виходу з ладу шпинделів та редуктора у цьому курсовому проекті планується проведення модернізації приводу правильної машини, та отримати економічний ефект після модернізації муфти приводу правильної машини. Модернізація шляхом заміни зубчастої муфти МЗ-4 на кульково-пружинну муфту 400-45-1УЗ ГОСТ 50893-96, яка дозволить компенсувати динамічну складову навантаження, в результаті очікується передбачуване збільшення міжремонтного періоду вузла з 4 до 6 років.

Розрахунок додаткових капітальних вкладень здійснимо за спрощеною методикою на основі укрупнених показників. Вихідні данні до розрахунку наведені в таблиці 3.4

Таблиця 3.4 – Вихідні данні до розрахунку

№ п/п	Показники	Од. вим	До модернізац ії	Після модернізаці ї
1	2	3	4	5
1	Ціна зубчастої муфти МЗ 4	тис.грн.	6,35	–
2	Ціна муфти 400-45-1УЗ	тис.грн.	–	7,48
3	Ліквідаційна вартість за ціною лому	грн	840	530
4	Термін служби	діб	146	360

Додаткові капітальні вкладення обчислюємо за формулою

$$K_{\text{дод}} = \Delta C \cdot \mu \cdot (1 + \alpha_{\text{тв}} + \alpha_{\text{бм}}), \quad (3.15)$$

де $\alpha_{\text{тв}} = (0,02 \dots 0,05)$ – коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні роботи;

$\alpha_{\text{бм}} = (0,1 \dots 0,2)$ – коефіцієнт, що враховує будівельно-монтажні роботи;

$\mu = (1,35 \dots 1,5)$ - коефіцієнт, що враховує витрати на складання;

$$\Delta C = C_{\text{після}} - C_{\text{до}} = 7480 - 6350 = 1130 \text{ грн}$$

Підставивши значення в 3.15, отримаємо:

$$K_{\text{дод}} = 1130 \cdot 1,4 \cdot (1 + 0,03 + 0,15) = 1866,76 \text{ грн}$$

Таким чином додаткові капітальні вкладення при заміні чотирьох муфт складуть 7467,04 грн.

В результаті очікуваного впровадження розробок на підприємстві досягається зміна собівартості продукції.

Зміну амортизаційних відрахувань обчислюють за формулою:

$$\Delta C_a = \frac{K_{\text{дод}} \cdot H}{100}, \quad (3.16)$$

де $K_{\text{дод}}$ – додаткові капітальні вкладення;

$H=6\%$ – норма амортизаційних відрахувань.

Підставивши значення в 3.16, отримаємо:

$$\Delta C_a = \frac{7467,04 \cdot 6}{100} = 448,02 \text{ грн}$$

Зміну вартості замінюваних деталей знаходимо по формулі

$$\Delta Y = 365 \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{\tau_{ci}} (C_c - L_c) - \frac{1}{\tau_{ni}} (C_n - L_n) \right], \quad (3.17)$$

де τ_{ci} , τ_{ni} – термін служби замінюваних деталей, відповідно до і після реконструкції машини, діб (146 і 360 діб відповідно табл.3.4);

i – кількість вузлів і деталей в новій конструкції, що мають різний термін служби по відношенню до порівнюваних варіантів (в даному випадку 1);

C_c , C_n – ціна замінюваних вузлів і деталей, відповідно до і після реконструкції, грн. (табл. 3.3);

L_c , L_n – ліквідація вартості вузлів і деталей за ціною лому, відповідно до і після реконструкції, грн. (згідно даних, отриманих на підприємстві складає 840 грн. і 530 грн. відповідно табл. 3.3).

Підставивши значення в 3.17, отримаємо наступні значення:

$$\Delta Y = 365 \cdot \left[\frac{1}{146} (350 - 840) - \frac{1}{360} (480 - 530) \right] = 6728,47 \text{ грн}$$

Таким чином при заміні чотирьох муфт вартість замінюваних деталей складе 26913,88 грн.

Зміна витрат на заробітну плату ремонтних робітників розраховується по формулі:

$$\Delta Z = 365 \sum_{i=1}^n K_{пр} K_c \left(\frac{1}{\tau_{ci}} \cdot C_{рci} \cdot t_{ci} \cdot d_{ср.ci} - \frac{1}{\tau_{ni}} \cdot C_{рni} \cdot t_{ni} \cdot d_{ср.ni} \right), \quad (3.18)$$

де $K_{пр}$ – коефіцієнт, що враховує премії і інші доплати до тарифної ставки, приймаємо $K_{пр}=1,35$;

K_c – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок, приймаємо $K_c=1,368$;

$Ч_{рсі}, Ч_{рні}$ – чисельність ремонтників, що здійснюють заміну вузлів і деталей, відповідно до і після реконструкції;

$t_{сі}, t_{ні}$ – тривалість одного ремонту, відповідно до і після реконструкції, ч;

$d_{ср.сі}, d_{ср.ні}$ – середньочасова тарифна ставка ремонтних робітників, відповідно до і після реконструкції, грн.

Підставивши значення у формулу 3.18, отримаємо:

$$\Delta Z = 365 \cdot 1,35 \cdot 1,368 \cdot \left(\frac{1}{146} \cdot 4 \cdot 16 \cdot 22,38 - \frac{1}{360} \cdot 4 \cdot 16 \cdot 22,38 \right) = 3996,59$$

Зміну витрат на поточний ремонт визначимо по формулі

$$\Delta C_{пр} = \Delta Y + \Delta Z, \quad (3.19)$$

де ΔY - зміна вартості замінюваних деталей;

ΔZ – зміна витрат на заробітну плату ремонтних робітників;

Підставивши значення у формулу 3.19, отримаємо:

$$\Delta C_{пр} = 26913,88 + 3996,59 = 30910,47 \text{ грн}$$

Зміну собівартості річного випуску продукції в результаті модернізації агрегату розрахуємо по формулі:

$$\Delta C = \Delta C_{пр} - \Delta C_a, \quad (3.19)$$

де ΔC_a – зміна амортизаційних відрахувань;

$\Delta C_{пр}$ – зміна витрат на поточний ремонт.

Підставивши значення у формулу 3.19, отримаємо:

$$\Delta C = 30910,47 - 448,02 = 30462,45 \text{ грн}$$

Стосовно модернізації розрахунок економії приведених витрат проведемо по формулі:

$$E_p = \Delta C - E_n \cdot K_{\text{дод}}, \quad (3.20)$$

де ΔC – зміна собівартості річного випуску продукції в результаті модернізації агрегату;

$E_n = 0,15$ – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності;

$K_{\text{дод}}$ – додаткові капітальні вкладення.

Підставивши значення в 3.20, отримаємо

$$E_p = 30462,45 - 0,15 \cdot 7467,04 = 29342,39 \text{ грн}$$

Абсолютна економічна ефективність визначається по формулі

$$E_{\text{абс}} = \frac{\Delta C}{K_{\text{дод}}}, \quad (3.21)$$

де ΔC – зміна собівартості річного випуску продукції в результаті модернізації агрегату;

$K_{\text{дод}}$ – додаткові капітальні вкладення.

Підставивши значення в 3.21, отримаємо:

$$E_{\text{абс}} = \frac{30462,45}{7467,04} = 4,08 \text{ грн/грн}$$

Термін окупності додаткових капітальних вкладень розрахуємо по формулі

$$T = \frac{K_{\text{дод}}}{\Delta C}, \quad (3.22)$$

Підставивши значення в 3.22, отримаємо

$$T = \frac{7467,04}{30462,45} = 0,25 \text{ року} = 3 \text{ міс.}$$

З огляду на високий показник економічної ефективності проекту який більше нормативного ($E > E_n$), можна вважати за доцільне впровадження даного проекту в виробництво. У таблиці 3.5 зведені основні економічні показники.

Таблиця 3.5 – Основні економічні показники:

№	Найменування показника	Одиниця виміру	Величина показника
1	Річна економія від зниження собівартості	грн	30462,45
2	Додаткові капітальні вкладення	грн	7467,04
3	Річний економічний ефект	грн	29342,39
4	Економічна ефективність капітальних вкладень	грн/грн	4,08
5	Строк окупності капітальних вкладень	міс.	3

4. Охорона праці та техногенна безпека

4.1 Виявлення та оцінка шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища

Розглянемо карту умов праці слюсаря-ремонтника відділення обробки холоднокатаного металу в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Оцінка факторів виробничого й трудового процесу

Фактори	Нормати вне значенн я	Фактич не значен ня	III клас шкідливих і небезпечних умови, і характер праці			Час дії фактор а за зміну, %
			1 ступі нь	2 ступі нь	3 ступі нь	
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³						
1 клас безпеки						
Ангідрид хромовий	0,01	0,011	1,1			94,6
2 клас безпеки						
Кислота сірчана	1,0	0,66				94,6
Оксид марганцю	0,3	0,37	1,23			94,6
3-4 клас безпеки						
Ангідрид сірчистий	5,0	5,84	1,17			94,6
Діоксид азоту	1,0	1,4	1,4			94,6
Масло мінеральне	5,0	6,05	1,21			94,6
Оксид вуглецю	7,5	8,7	1,16			94,6
II. Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³	4	19,2		4,8		94,6
III. Шум, дБА	80	85			15	100
IV. Мікроклімат у приміщенні						
- температура повітря, °C	16-27	34		7		94,6
- швидкість руху повітря, м/сек	0,2-0,5	0,3				94,6
- відносна вологість, %	55	31				94,6
V. Робоча сила						
Знаходження в похилому (змушеному) положенні, % до тривалості зміни	30	50,4			20,4	

4.2 Розробка засобів захисту від дії шкідливих факторів виробничого середовища

У таблиці 4.2 наведені фактори виробничого середовища трудового процесу й заходу щодо їхнього усунення, які мають місце у відділенні обробки холоднокатаного металу.

У прокатнім виробництві має місце випар технологічного змащення. Для видалення цих пар перед кліттю й за нею встановлюють витяжні парасолі.

У дресирувальному відділенні також використовують природню вентиляцію повітря. У такому виді вентиляції повітря надходить і віддаляється 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.

Природне й штучне освітлення

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне висвітлення. Незадовільне висвітлення утрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й працездатності око й може бути причиною їх захворювань і нещасних випадків.

На промислових підприємствах штучне висвітлення підрозділяється на робоче (для проведення робіт у темний час доби або в місцях без достатнього природнього висвітлення), аварійне (для проведення роботи при аварійнім відключенні робочого висвітлення), евакуаційне (аварійне висвітлення для евакуації людей із приміщення при аварійнім відключенні робочого висвітлення) і охоронне. При необхідності частина світильників того або іншого виду висвітлення може використовуватися для чергового висвітлення.

Таблиця 4.2 - Технічні заходи захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор виробничого середовища	Захисний пристрій	Тип пристрою	Параметри пристрою	Місце установки
1.	Масляний туман	Фільтруюча установка	Двоступінчастий волокнистий	Витрата газу 103 м ³ /с	Стаціонарна установка
2.	Запиленість	Витяжна вентиляція	Механічна	40000 м ³ /год	Стаціонарна установка
3.	Запиленість	Респіратор СИЗОД	«Пелюсток»- 40, РУ - 60	-	Індивідуально
4.	Шум	Навушники протишумові	-	Придатний до 110дБА	Індивідуально
5.	Температура	Утеплена куртка, ватяні штани,	-	-20°С	Індивідуально
6.	Шкідливі хімічні речовини	Теж що й при запиленості + костюм х/б рукавиці	-	ДСТУ 12.4.103-80	Індивідуально

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

Характер зорової роботи слюсаря-ремонтника - високої точності, розряд зорової роботи III, підрозряд роботи - В, контрастність об'єкта із

тлом - середня, тло - середній, висвітлення - комбіноване з газорозрядними лампами серії ДРЛ 400 (N=400Вт, Ф=24000 Лк). Освітленість ділянки не менш 250лк.

Виробничий шум

По походженню шум буває механічним, що виникає в результаті тертя вузлів і деталей механізмів і машин на холостому й робочому ході; аерогідродинамічний, що виникає при більших швидкостях руху потоків повітря, газів, рідин; імпульс, що виникає в результаті зіткнення твердих тіл; термічний, що генерирується при згорянні газоподібного палива в горілочних і форсуночних пристроях. Джерелами шуму у відділенні обробки холоднокатаного металу є: приводи механізмів станів і АПРів, гильотинових ножиців, пакувальних конвеєрів, пресів; також шум виникає при ударах рулону про рольганг і транспортер.

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

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

4.3 Заходи щодо техніки безпеки

Електроустаткування відділення ставиться до установок до 1000В. Умови безпечної експлуатації залежать значною мірою від захищених пристроїв (ДНАОП 0.00 - 5.07. – 94).

Усі струмоведучі частини ізольовані. У якості захисної ізоляції застосовують теплостійкі лаки, що електроізолюючі плівки, емалеві й олійні фарби.

Покриття повинні швидко сохнути, добре зв'язуватися з поверхнею, що покривається, утворювати на ній струмонепровідну плівку, вологонепроникну, механічно міцну плівку. Для захисту від короткого замикання використовують швидкодіючий релейний захист і вимикачі, установлені автомати й плавкі запобіжники. На всіх обертових частинах устаткування повинні бути встановлені захисні щити, кожухи.

На вантажопідйомнім устаткуванні крім перерахованих вище вимог установлені обмежники вантажопідйомності, а також пристрою для усунення мимовільного опускання вантажу (НПАОП 0.00 – 1.01 – 07). Робота вантажопідйомних машин і пристроїв для транспортування вантажів у момент пусків повинне супроводжуватися звуковими сигналами.

Дотримання всіх норм і правил техніки безпеки приводить до значного зниження нещасних випадків на виробництві.

Відділення має категорію по пожежонебезпеці В.

До первинних засобів пожежогасіння на комбінаті відносять: вогнегасники пінні серії ОХП-10, ОВП-10 і вогнегасники вуглекислотні серії ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8, пожежний реманент (покривало з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, пожежні цебра, совкові лопати, ломи, сокири, пожежні рукава)

(ДБН 8.1.1 – 7.2002).

Цех холодної прокатки №1 має ступінь вогнестійкості II.

Цех має внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами й рукавами.

На території комбінату забороняється:

- курити в неналежних місцях, а курити необхідно в спеціально відведених місцях;
- закривати й захаращувати проїзди, під'їзди й підходи до будинків, водопроводів і пожежним гідрантам;
- виключати окремі ділянки водопровідної мережі, внутрішні пожежні крани, знижувати встановлений тиск у мережах;
- допускати до вогневих робіт осіб не минулих інструктаж пожежного техмінімуму;
- користуватися водою з пожежних водойм і засобами пожежогасіння не по прямому призначенню;
- застосовувати відкритий вогонь при огляді встаткування.

З метою захисту від шуму обслуговуючого персоналу на виробничих місцях з шумними технологічними процесами або з шумним устаткуванням необхідно встановлювати кабінки спостереження і дистанційного контролю.

Використовуючи звукоізоляційні кабінки, можна забезпечити практично будь-яке необхідне зниження шуму. Кабінки виготовляють з цеглини, бетону і інших будівельних матеріалів. Внутрішня поверхня кабінки покрита звукопоглинальним матеріалом з максимальними коефіцієнтами звукопоглинання в діапазоні (250 - 2000 Гц).

4.4 Ймовірність аварій та план їх ліквідації

Для підприємств, які містять об'єкти підвищеної небезпеки, розробляються плани ліквідації та локалізації аварій. Оперативною частиною плану передбачаються можливі аварії та інші умови конкретного

виробництва, небезпечні для життя людей, а також заходи, скеровані на рятування людей, ліквідацію аварії в початковій стадії її виникнення і після ліквідації аварії. Крім того, цей документ визначає дії інженерно-технічних працівників і робітників під час аварій, а також дії рятувальних підрозділів. Технічні і матеріальні засоби для здійснення заходів з рятування людей і ліквідації аварії та її наслідків передбачаються в необхідній кількості та завжди підтримуються у справному стані. Відповідальність за своєчасне і правильне складання планів ліквідації аварій (ПЛАС) в підрозділах несуть керівник підрозділу та головний інженер підприємства.

Оперативна частина плану ліквідації аварії передбачає також способи повідомлення про аварію, шляхи виходу людей із небезпечних місць, ввімкнення аварійної витяжної вентиляції. Тут же встановлюється порядок вимкнення електроенергії, зупинки апаратів, перекриття комунікацій та інші заходи, необхідні для рятування людей та запобігання ускладненням аварії.

Шляхи виходу (евакуації) людей із будівлі вказуються від кожного робочого місця та для кожного варіанта розвитку аварії. В кожному випадку передбачається можливість і необхідність користування індивідуальними засобами захисту.

У додатках до ПЛАС наводять план приміщення цехів з розташуванням основного обладнання та вентиляції, щитів із первинними засобами пожежогасіння, місць розташування пожежних повідомлювачів та телефонів, схему розташування основних комунікацій цеху чи підприємства, а також трубопроводів, засувок та пускових пристроїв, стаціонарних засобів пожежогасіння, інструкції щодо аварійної зупинки виробництва, агрегатів, установок та ін., список газо- вибухо- і пожежонебезпечних місць і робіт технологічного, ремонтного та відновлювального характеру із зазначенням ступеня небезпеки.

План ліквідації аварії вивчають весь персонал та працівники цеху, а також працівники та персонал рятувальних служб та пожежних частин. Ознайомлення з планами оформляється під розписку. Особи, не знайомі з планом ліквідації аварії в частинах, що стосуються їхнього робочого місця, до роботи не допускаються.

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.

ПЛАС розробляється для аварій всіх рівнів, затверджується в різних інстанціях, для ліквідації їх наслідків призначаються оперативні штаби та відповідальні керівники.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті проведення літературного огляду та аналізу будови та умов роботи листопривільних машин виявлено, що робота привода п'ятироlikової правильної машини, пов'язана з динамічними навантаженнями та перенавантаження приводу, що приводить до поломки шпинделів.

2. В результаті модернізації проведення модернізації приводу правильної машини досягнуті наступних цілі – збільшення терміну служби шпинделів, вузлів редуктора, а також збільшення міжремонтних періодів.

3. Проведені розрахунки на міцність найбільш навантажених деталей і вузлів правильної машини, які вказують на високу працездатність і надійність машини.

4. Розроблена кінцево-елементна модель процесу правки листів з вигином робочих роликів дозволяє визначити характеров впливу величини перекриття та прогину робочих роликів на хвилястість готового прокату. Представлено результати розрахунку для листів товщиною 10 мм зі сталі 08кп с крайовою хвилястістю 4 мм. Показано, що при вигині робочих роликів на 1 мм крайова хвилястість зменшується на 30%, при вигині на 2 мм – на 75%, при вигині на 5 мм – на 87%. Дані результати підтверджують ефективність технології правки хвилястості на ЛПМ, а запропонована модель дозволяє розрахувати оптимальне налаштування робочих роликів.

5. Результати роботи можуть бути використані на підприємствах чорної й кольорової металургії.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. Учебник для вузов / Целиков А.И., Полухин П.И., Гребенюк В.М. и др.. 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Металлургия, 1988.– 680 с.
2. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1987. 480 с.
3. Паспорт машины листопрямительной 5x150x1700 СКМЗ им. Орджоникидзе, г. Краматорск №12334/1, 1957 г. (шифр В-422575).
4. Правильная машина, в частности для правки листов и полос: патент 2118920 Рос. Федерация: МПК С1, В 21 D 1/02/ Вилли Бенц; заявитель и преобладатель Смс Шлеманн-Зимаг АГ - № 94008753/02; заявл. 18.03.94; опубл.20.09.98, Бюл.№10.
5. Листопрямительная машина: патент 2228231 Рос. Федерация: МПК В 21 D 1/02/ Белобров Ю.Н., Смирнов В.Г., Титаренко А.Н.; заявитель и преобладатель Закрытое акционерное общество "Ново-Краматорский машиностроительный завод" - № 2002115677/02; заявл. 11.06.02; опубл.10.05.04, Бюл.№13.
6. Способ правки проката и роликотпрямительная машина для его осуществления: патент 2136421 Рос. Федерация: МПК С1, В 21 D 01/00/ Белоглазов Е.Г., Винокурский А.Х., Зуев Г.И., Исаков Л.М., Недорезов И.В., Орлов Б.Я.; заявитель и преобладатель Открытое акционерное общество "Уральский завод тяжелого машиностроения" - № 97111928/02; заявл. 09.07.97; опубл.10.04.99, Бюл. №2.
7. Листопрямительная машина: АС 551075: МПК В 21 D 1/02/ Э.Г. Копаев, Н.И. Крылов, В.И. Лебедев, Б.Г. Попов, А.З. Слонин, И.М. Сидоров - №2179945/27; заявл. 10.10.75; опубл.25.03.77, Бюл. №11.

8. Семененко Ю. П. Машины для правки проката, Москва, Metallurgizdat, 1961, стр.134-135, рис.84.

9. Машина для правки листового проката: патент 2100116 Рос. Федерация: МПК В 21 D 1/02/ Быков В.А; заявитель и преобладатель Акционерное общество открытого типа "Уральский завод тяжелого машиностроения" - № 95116022/02; заявл. 15.09.95; опубл.27.12.97, Бюл.№3.

10. Детали машин. Атлас конструкций. Колл. авторов под ред. д-ра техн. наук Д.Н. Решетова. Изд. 3-е перераб. и доп. М., изд-во «Машиностроение», 1968, 360 альбомных страниц чертежей.

11. Иванов М. Н. Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов/М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. — 12-е изд. испр. — М.: Высш. шк., 2008. — 408 с: ил.

12. Черменский О.Н., Федотов Н.Н. Подшипники качения: Справочник-каталог. - М: Машиностроение, 2003. - 576 с.

13. Слоним А. З. Правка листового и сортового проката / А. З. Слоним, А. Л. Сонин. – М. : Металлургия, 1981. – 232 с.

14. Недорезов И. В. Роликовые правильные машины АО «Уралмаш» и пути их совершенствования / И. В. Недорезов, Б. Я. Орлов, А. Х. Винокурский // Труды первого Конгресса прокатчиков. – Магнитогорск, 23-27 октября, 1995. – М., 1996. – С. 38–42.

15. Луговской В. М. Теория расчета листопрямильных машин и автоматизация их проектирования /В. М. Луговской. – Труды ВНИИМЕТМАШ. – М. : Металлургия, 1970. – № 26 – С. 8–30.

16. Шинкин В. Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироликовой листопрямильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate / В. Н. Шинкин // Производство проката. – 2014. – № 8.– С. 26–34.

17. Park K. Development of a Finite Element Analysis Program for Roller Leveling and Application for Removing Blanking Bow Defects of Thin

Steel Sheet / K. Park, S. Hwang // ISIJ International. – Vol. 42 (2002). – № 9. – P. 990–999. – <http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.42.990>.

18. Cui L. Analysis of Leveling Strategy for a plate Mill / L. Cui, X. Hu, X. Liu // Advanced Materials Research.– Vol. 145 (2011). – P. 424–428. – <http://doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.145.424>.

19. Cui L. Research on Mathematical Model of Leveling Process for Plate Mill / L. Cui, X. Hu, X. Liu // Advanced Materials Research. – Vol. 148–149 (2011). – P. 368–371. <http://doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.148-149.368>.

20. Doegea E. Analysis of the levelling process based upon an analytic forming model / E. Doegea, R. Menza, S. Huininka // CIRP Annals – Manufacturing Technology. – 2002. – Vol. 51. – Issue 1. – P. 191–194. – doi:10.1016/S0007-8506(07)61497-8.

21. Боровік П. В. Теоретичні дослідження процесів обробки металів тиском на основі методу скінчених елементів: навч. посіб. / П. В. Боровік. – Алчевськ : ДонДТУ, 2012. – 170 с.

22. Манилык Т. Практическое применение программного комплекса ABAQUS в инженерных задачах. Версия 6.5 / Т. Манилык, К. Ильин. — М. : МФТИ, ТЕСИС, 2006. – 99 с.

23. Кроха В. А. Кривые упрочнения металлов при холодной деформации / В. А. Кроха. – М. : Машиностроение, 1968. – 131 с.

24. Купчик М.П. та інші. Основи охорони праці. – К.: Основа, 2000. -416с.

25. Геврик Е.О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – К.:Ельга, Ніка-центр. 2003. – 280с.

26. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник.-Львів.: Афіша, 2003. – 320с.

27. Гадзюк М.П., Желібо Е.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Зав. ред. Гадзюк М.П. – К.: Каравелла, 2003. – 408с.

28. Магістерська робота. Методичні вказівки до підготовки випускної кваліфікаційної роботи магістра для студентів ЗДІА спеціальності 133 “Галузеве машинобудування”, ОПП – «Металургійне обладнання», рівень вищої освіти - магістр / Укл.: Огінський Й.К., Таратута К.В., Шевченко І.А., Ковязін О.С., Васильченко Т.О.– Запоріжжя, 2018. – 76с