Магістерська дисертація

на тему: Комп'ютерно-інтегрована система контролю граничних напружено-деформаційних станів металургійного обладнання

Київ – 2018 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудування
(повна назва інституту/факультету)

Приладобудування
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 531.787.2
(універсальна десятична класифікація.
Для визначення УДК конкретної дисертації
студенту слід звернутися в 1-й зал бібліотеки)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ М.Д. Гераїмчук
(підпис) (ініціали, прізвище)
"___" грудня 2018 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістр

зі спеціальності (спеціалізації) 151 Автоматизація та компьютерно-інтегровані технології (комп'ютерно-інтегровані технології приладів точної механіки)
(код і назва)

на тему: Комп'ютерно-інтегрована система контролю граничних напружено-деформаційних станій металургійного обладнання

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ПМ-71мп
(шифр групи)

Особливець Олександр Володимирович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник старший викладач, Зайцев В.М. _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант Розробка СТАРТАП-проекту доцент, Бояринова К.О. _____
(назва розділу) (посада,вчене звання,прізвище,ініціали) (підпис)

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

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	А4		Завдання на магістерську дисертацію	3	
2	А4	МД.ПМ71мп.16.000.00ПЗ	Пояснювальна записка	98	
3	А1	МД.ПМ71мп.16.02.01	Огляд аналогів	1	
4	А1	МД.ПМ71мп.16.02.02	Схеми	1	
5	А1	МД.ПМ71мп.16.02.03	Математична модель	1	
6	А1	МД.ПМ71мп.16.02.04	Складальні креслення	1	
7	А1	МД.ПМ71мп.16.02.05	Графіки	1	
8	А1	МД.ПМ71мп.16.02.06	Презентаційний аркуш	1	
Загальна кількість графічних документів - 6 арк.ф. А1					

				МД.ПМ71мп.16.000.01		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Особливець О.В			Відомість магістерської дисертації	Лист	Листів
Керівн.	Зайцев В.М.				3	98
Конс.					КПІ імені Ігоря Сікорського каф. ПБ гр. ПМ – 71мп	
Н/контр.						
Зав.каф.						

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Факультет Приладобудівний
(повна назва)

Кафедра Приладобудування
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність(спеціалізація) 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (комп'ютерно-інтегровані технолії приладів точної механіки)
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ М.Д.Гераїмчук
(підпис) (ініціали, прізвище)
«___» листопад 2018 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Особливцю Олександру Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Комп'ютерно-інтегрована система контролю граничних напружено-деформаційних станів металургійного обладнання

науковий керівник дисертації Зайцев Віктор Миколайович, старший викладач
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «05» листопада 2018 р. № 4078-с

2. Строк подання студентом дисертації 6 грудня 2018р

3. Об'єкт дослідження автоматизована система контролю ганичних напружено-деформаційних станів металургійного обладнання

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) 4.1 Вимірювальна фізична величина – відносна механічна деформація; 4.2 Тип перетворювача - тензорезисторний; 4.3 Діапазон

вимірюваних деформацій мінус $3000*10^{-6}$…$+3000*10^{-6}$; 4.4 Границі допустимих абсолютних похибок в діапазоні вимірювання ±0,5%; 4.5 Габаритні розміри, не більше, мм 10х90х30; 4.6 Діапазон робочих температур мінус 10…$+40^0$С; 4.7 Маса, не більше, кг 0,2.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Огляд матеріалів за темою магістерської дисертації. Розробка компьютерно-інтегрованої SCADA системи. Розробка структурної схеми перетворювача. Розрахунок статичних та динамічних характеристик. Метрологічний аналіз характеристик. Проведення експериментальних досліджень. Розробка стартап-проекту. Висновки.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу 6.1 Лист огляду аналогів – 1 арк. ф.А1; 6.2 Лист графічних залежностей та характеристик – 1 арк. ф.А1, 6.3 Лист математичної моделі – 1 арк. ф.А1, 6.4 Лист структурних та електричних схем – 1 арк. ф.А1; 6.5 Лист збіркового креслення – 1 арк. ф.А1; 6.6 Презентаційний лист – 1 арк. ф.А1.

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації[1]

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка СТАРТАП-проекту	Бояринова К.О. к.е.н, доцент		

9. Дата видачі завдання 2 листопада 2018р

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Ознайомлення з завданням	17.09.2018	
2	Проведення аналітичного огляду матеріалів	24.09.2018 – 28.09.2018	
3	Розробка принципових схем	28.09.2018 – 5.10. 2018	
4	Розрахунок метрологічних характеристик	5.10.2018 – 19.10.2018	
5	Проведення аналізу точності вимірювання	19.10.2018 - 5.11.2018	
6	Розробка стартап-проекту	5.11.2018 - 26.11.2018	

[1] Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

7	Оформлення текстової та графічної частини	26.11.2018 – 3.12.2018	
8	Представлення МД на перевірку науковому керівнику	3.12.2018 – 10.12.2018	
9	Передача матеріалів МД на перевірку виявлення збігів/схожості текстів сервісом Unicheck	10.12.2018 - 12.12.2018	

Студент _____ __Особливець О.В.____
(підпис) (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____ __Зайцев В.М._____
(підпис) (ініціали, прізвище)

Реферат

Магістерська дисертація на тему «Комп'ютерно-інтегрована система контролю граничних напружено-деформаційних станів металургійного обладнання » складається з 3 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Пояснювальна записка складається з 98 сторінок, містить 38 рисунків, 23 таблиці, список використаної літератури з 13 найменувань та 3 додатків.

Данна тема є актуальною, адже використання комп'ютерно-інтегрованих систем контролю граничних напружено-деформаційних станів на металургійному обладнанні дає переваги у вигляді покращення якості заготівок, збільшенні продуктивності виробництва та зменшенні кількості несправностей обладнання. Постійно зростаючі вимоги до вимірювання напружених-деформацій поставили ряд задач із забезпечення точності і підвищення надійності роботи металургійного обладнання у складних умовах експлуатації, тому дослідження вимірювальних тензорезисторних перетворювачів сили, які лежать у основі комп'ютерно-інтегрованих систем контролю, є важливим питанням, для отримання точних результатів.

Мета дослідження магістерської дисертації полягає в проведенні аналізу існуючих методів вимірювання сили, що використовуються у вимірювальних перетворювачах сили і розробці комп'ютерно-інтегрованої SCADA системи на основі данного аналізу. Розроблення структурної та електричної схеми. Створення математичної моделі вимірювального перетворювача сили. Дослідження статичної та динамічної характеристики на метрологічні характеристики тензорезисторного перетворювача сили з використанням сучасного програмного забезпечення.

Об’єктом дослідження є статічні і динамічні характеристики вимірювального перетворювача сили.

Предмет дослідження – вимірювальний перетворювач сили.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в систематизації методів вимірювання сили. Створенні комп'ютерно-інтегрованої SCADA системи для оптимізації режимів роботи металургійних станів на основі проведенного

аналізу статичних та динамічних характеристик вимірювального перетворювача сили.

Ключові слова: *вимірювальний перетворювач сили, комп*'ютерно-*інтегрована система, напружено-деформаційні стани, тензорезистор, мостова вимірювальна схема, пружній елемент, статична характеристика, динамічна характеристика.*

Abstract

The master's dissertation on the topic "Computer-integrated system of control of boundary tension-deformation states of metallurgical equipment" consists of 3 chapters, conclusions, a list of literature and applications. The explanatory note consists of 98 pages, 38 figures, 23 tables, a list of references from 13 titles and 3 application.

This topic is relevant, because the use of computer-integrated systems for monitoring the tension-strain states on the metallurgical equipment gives advantages in the form of improving the quality of blanks, increasing the productivity of production and reducing the number of equipment malfunctions. Constantly growing requirements for the measurement of tension-deformation set a number of tasks to ensure the accuracy and reliability of the operation of the metallurgical equipment in difficult operating conditions, so the study of measured voltage transducers, which are the basis of computer-integrated control systems, is an important issue for obtaining accurate results.

The purpose of the master's thesis research is to analyze the existing methods of measuring the force used in measuring converters of force and to develop a computer-integrated SCADA system based on this analysis. Development of structural and electrical scheme. Creation of a mathematical model of the measuring transducer of force. Investigation of static and dynamic characteristics on the metrological characteristics of the strain gauge transducer using modern software.

The object of the study is the static and dynamic characteristics of the measuring force transducer.

The subject of the study is a measuring transducer of force.

The scientific novelty of the results obtained is to systematize the methods of measuring power. Creation of computer-integrated SCADA system for optimization of operating modes of metallurgical states on the basis of the conducted analysis of static and dynamic characteristics of the measuring power converter.

Keywords: measuring power transducer, computer-integrated system, tension-deformation states, strain gauge, bridge measuring circuit, elastic element, static characteristic, dynamic characteristic.

Зміст

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів……..……13
1. Огляд та аналіз систем контролю напружено-деформаційних станів…….14
1.1 Прокатні стани……...…….……..….14
1.2 Правка металу……. ……..…...16
1.3 Багатороликові машини. Технологічні схеми правки……..…....…16
1.4 Установка секцій опорних роликів в багатороликових машинах.....19
1.5 Особливості конструкції семироликової правильної машини…..……22
1.6 Визначення основних параметрів правки……..……25
1.7 Прогини листів в роликах правильної машини…….……27
1.8 Швидкість правки…….30
1.9 Вплив швидкості на якість правки……..31
1.10 Розробка технічних умов на систему вимірювання зусиль……35
2. Науково-дослідницька частина……....36
2.1 Структурний аналіз системи вимірювання зусиль……...…36
2.2 Розрахунок електричної схеми системи вимірювання…..……38
2.3 Розрахунок статичної характеристики системи вимірювання…..…….39
2.4 Розрахунок динамічної характеристики системи вимірювання ….….41
2.5 Проведення експерементального навантаження датчику сили……46
2.6 Розрахунок радіуса кривизни…….. ……58
2.7 Програма розрахунку радіусу кривизни…….……62
2.8 Розробка системи автоматичного проектування……...72
2.9 Програмне забезпечення системи автоматичного проектування....….74
3. Розробка стартап проекту «Вимірювальний перетворювач тиску»…..……76
3.1 Опис ідеї проекту…….……76
3.2. Технологічний аудит ідеї проекту……..78
3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту……..79
3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту……..……...86
3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту…….....….88

3.6 Висновок до стартап проекту……91
Висновки……..93
Список використаної літератури…….....…….94
Додатки…….……96

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів

КІС – комп’ютерно-інтегрована система;

НДС – напружено-деформаційний стан;

БМ – багатороликова машина;

СПМ – семироликова правильна машина;

ПС – прокатний стан;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

АСКУП – автоматизована система контролю управління правкою;

РПМ – ролико-правильна машина.

1.Огляд та аналіз систем контролю напружено-деформаційних станів

1.1 Прокатні стан

Прокатні стани – це одна машина або лінія машин, які використовуються для обробки під напруженням (прокатки) металів та інших матеріалів між обертовими валками. Головний елемент, який забезпечує зміну форми заготівки в результаті пластичної деформації, це робоча кліть. Кліть складається з прокатних валків, підшипників станини, механізму установки валків в задане положення, проводок для направлення металу при вході і виходу з валків, пристроїв для передачі обертання від електродвигуна до валків – редуктора, шпинделя, муфти (рис.1.1).

В робочій лінії встановлюють декілька клітей (чорнових та чистових), якщо в валках однієї кліті не вдається розташувати необхідне число калібрів для досягнення необхідної зміни форми або забезбечити високу продуктивність та якість. У чорнових клітях здійснюється максимально допустиме для оброблюваного матеріалу обтиснення і значній мірі формується профіль прокату, а в чистових – заключна стадія прокатки. Лінія ПС включає також автоматичну систему управління станом і комплекс допоміжного обладнання для різноманітних операцій (транспортування заготівок, зміна калібру, очищення поверхні, різання, змотування, розмотування рулонів та ін.)[1].

ПС – розрізняють: по числу валків в кліті (дуо, тріо, кварто та багатовалкові); по розташуванню валків в кліті (горизонтальні, вертикальні і по куту до напряму подачі заготівки); розташуванню клітей (лінійні, безперервні і напівбезперервні); типу приводу (реверсивні та нереверсивні); температурним режимам прокатки; по призначенню (обтискні та заготівельні, сортові, листові, холодної прокатки, трубопрокатні, спеціальні)[2].

Обтискні, заготівельні і сортові ПС характеризуються діаметром робочих валків, листові – довжиною бочки валків, трубопрокатні – зовнішнім діаметром труб.

Для гарячої деформації великих злитків використовують заготівельні ПС: Слябінги – для прокатки заготівок квадратного перетину (блюмів). Лінії станів для гарячої прокатки смуг шириною до 2500 мм і більше, товщиною 4-20 мм включають до 10-15 чорнових і чистових клітей кварто, за вертикальними валками і моталки для змотування смуг в рулон. Нині широко використовують ПС, що встановлюються безпосередньо за машиною безперервного лиття (ливарно-прокатний агрегат)[3].

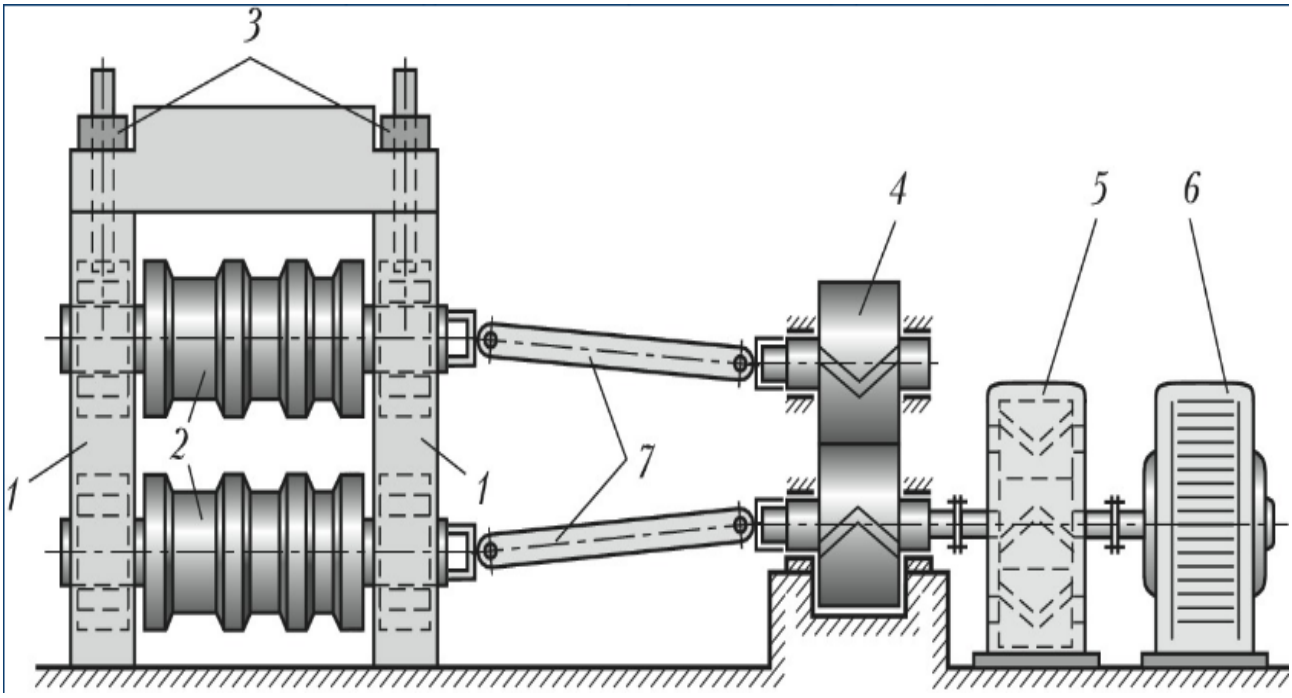

Рисунок 1.1 – Схема основної лінії прокатного стану:

1 – станина робочої кліті, що прикріплюється до фундаменту;

2 – прокатні валки;

3 – механізми для регулювання зазору між валками;

4 – привід валків від електродвигуна;

5 - редуктор;

6 – кліть розподілення моменту;

7 – шпинделі, які передають крутних момент на валки.

1.2 Правка металу

Правкою називається операція з усунення дефектів заготовок і деталей у вигляді опуклості, хвилястості, викривлення, вгнутості та короблення.Її сутність полягає в стисненні опуклого шару металу і розширенні вгнутого.

Метал піддається виправленню як в холодному, так і в нагрітому стані. Вибір того чи іншого способу правки залежить від величини прогину, розмірів і матеріалу заготівки.

Обов'язковий технологічним процесом металургійного виробництва сталевого листа є його правка на багатороликових листоправильних машинах. При розрахунку потужності електродвигунів приводів листоправильних машин в основу закладають дуже грубі припущення про величину згинальних моментів в точах торкання листа з роликами. Постулюється, що ці моменти дорівнюють нулю на крайніх роликах, а моменти на внутрішніх роликах однакові і рівні напівсумі моментів при чисто пружному і чисто пластичному вигині листа. Остаточні енергосилові оцінки робіт відрізняються один від одного в 2-3 рази і, головним чином, призначені для конструкторів правильних машин. Потужність електродвигунів приводів листоправильних машин, які поставляються на металургійні заводи, задана виробником в технічній документації.

Тому основне завдання технологів при правці листа полягає в розрахунку оптимальних режимів обтиску виправляємого металу робочими роликами листоправильних машин таким чином, аби на виході з машини лист мав мінімальні залишкові напруги і кривизну[5].

1.3. Багатороликові машини. Технологічні схеми правки.

Багатороликові машини характеризуються великою продукривністю, тому їх широко використовують для редагування різноманітних видів виробів, зокрема листів з сталей и кольорових металів товщиною до 50 мм і шириною до 5000 мм.

Правка на багатороликових машинах здійснюється шляхом переміщення, виправляємого виробу між обертовими роликами розташованими в шаховому порядку. Відстань між рядами роликів регулюється і встановлюється менше ніж товщина листа для забезпечення багаторазових знакозмінних вигинів, що

чергуються. При цьому використовують різні поєднання за величиною, послідовнісю прогинів листа кожним роликом або різні технологічні схеми правки, які залежать від розмірів, механічних властивостей матеріалу, вимог до точності правки виробів, виду і розмірів вихідного дефекту.

Технологічні схеми правки листів зображено на рис 2.а.

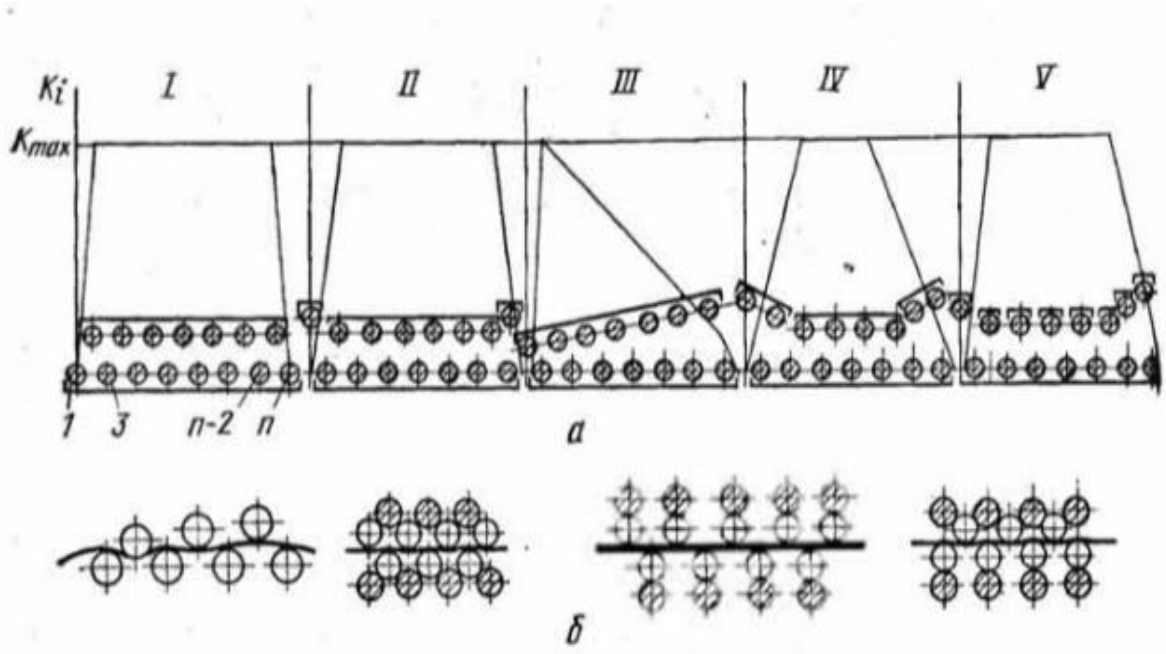

Рисунок 1.2 - Правка листів на багатороликових машинах:

а — технологічні схеми правки;

б — схеми розміщення роликів в машинах

Схема 1 на рис. 1.2 передбачає обробку кожного листа (смуги) багаторазовим з знакозмінним вигином при сталості прогинів по абсолютній величині. Досягається це при паралельному розташуванні верхнього ряду робочих роликів щодо нижнього в машині. Застосовується така схема для гарячої правки переважно товстих листів при відсутності підвищених вимог до точності правки, а також в разі грубої холодної правки смуг з рулонної вихідної кривизною.

Схема 2 на рис. 1.2 передбачає обробку листів в основному також з постійними по абсолютній величині багаторазовими прогибами, але на відміну від Минулої схеми перший і останній по ходу листа прогини є регульованими, що відрізняються за величиною від всіх проміжних.

При цьому полегшуються умови подачі листів в машину, а при підборі оптимальної величини останнього прогину створюється можливість усунення залишкової кривизни листів, одержуваної при значно більшій суммарній деформації її попередніх вигинів.

Така схема застосовується як для гарячої, так і для холодної правки переважно товстих листів з вихідної хвилястістю і коробоватістю. Точність такої правки порівняно невисока, метал після обробки в холодному стані характеризується підвищеними залишковими напруженнями.

Схема 3 на рис. 1.2 передбачає багаторазові знакозмінні зменшувані за абсолютною величиною прогини листів (смуг) з вихідної хвилястістю і коробковатістю, які після правки отримують порівняно невеликі залишкові напруги. Використовується для редагування переважно тонких листів в холодному стані.

Схема 4 на рис. 1.2 характеризується зростаючими прогинами листів (смуг) на початковій ділянці входу їх в машину, зменшуваними прогинами на останній ділянці виходу з машини та постійними за величиною максимальними прогинами.

Отримують в процесі редагування великої сумарної деформації і незначні залишкові напруги.

Схема 5 на рис.1.2 є універсальною, вони при достатній кількості послідовних знакозмінних прогинів може бути виконана з різним поєднанням їх по абсолютній величині, в тому числі і з повторенням кожного зі згаданих вище варіантів.

При великій ширині випрямляємих листів міцності робочого ролика і його підшипникових вузлів в машинах часто буває недостатньо. У цих випадках правильні машини забезпечують опорними роликами. Відносно робочих роликів опорні встановлюють в шаховому порядку, або попарно чи змішано (див. Рис 1.2.б с. 3).

1.4. Установка секцій опорних роликів в багатороликових машинах.

Шахове розташування опорних роликів щодо робочих є найбільш поширеним, так як при ньому можливо отримати високу міцністну характеристику правильних машин. Попарне розташування опорних і робочих роликів застосовується переважно в машинах гарячої правки. При цьому наявна на листі окалина не скупчується між опорними і робочими роликами, а падає вниз в спеціальний короб.

Холодні листи при наявності окалини виправляють на машинах зі змішаними взаємним розташуванням робочих і опорних роликів. Для вільного видалення окалини робочі та опорні ролики нижнього ряду встановлюються попарно, а в верхньому ряду з метою підвищення міцності робочі та опорні ролики розміщують в шаховому порядку. По ширині листа опорні ролики розташовують в кілька рядів рис 3. Опорні ролики кожного ряду монтують в одну секцію. Положення кожної секції по висоті регулюється спеціальними механізмами.

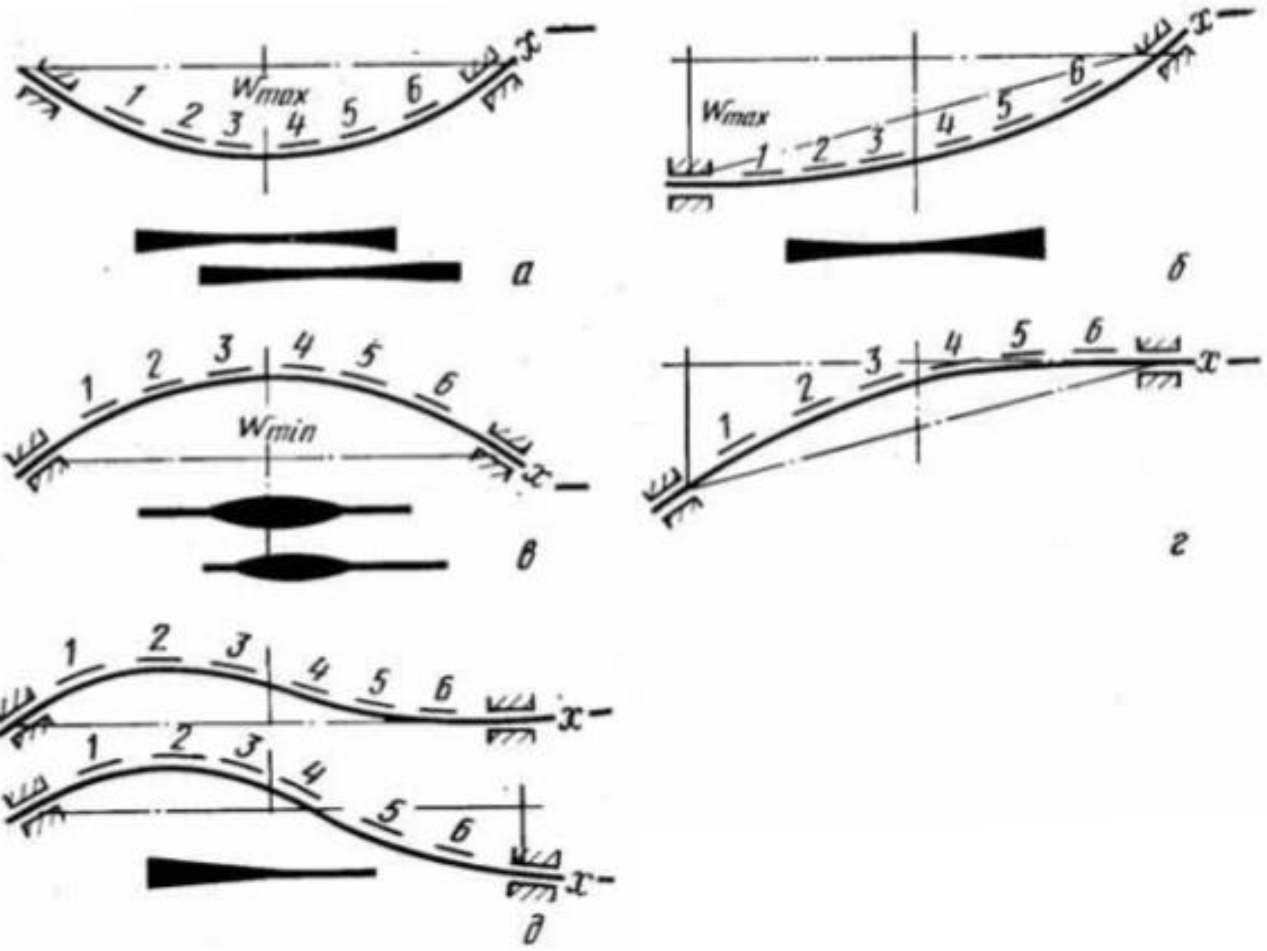

Рисунок 1.3 - установка секцій опорних роликів в машинах при різній коробоватості листів.

Опорні ролики кожного ряду монтують в одну секцію. Положення кожної секції по висоті регулюють спеціальними механизом. Крім того, в залежності від виду виправляємої коробоватості іноді доцільно регулювати не тільки положення окремих секцій опорних роликів, але і кут нахилу всієї верхньої траверси в площині поперечного перерізу листа. Таке регулювання дозволяє

отримати під час правки різний по ширині смуги прогин, що визначає можливість зниження коробоватості різного виду.

На рис 1.3.а показана установка шести опорних секцій по довжині вигнутого робочого ролика. Цей варіант правка коробоватості по краях листів умовно показаный на тому ж рисунку. Максимальну деформацію вигину в цьому випадку отримують середні (найкоротші) ділянки листа.

На рис 1.3.б представлено поєднання вказаної установки шести опорних секцій з поперечним нахилом всієї верхньої траверси. Такий варіант правки доцільний тоді, коли коробоватість на одному краї листа перевищує коробоватість на іншому.

Коробоватість посередині листів виправляють при установці опорних секцій за схемою на рис 1.3.в.

Установку опорних секцій за схемами, представленим на рис 1.3.г і 1.3.д, застосовують для правки несиметричної по ширині листа коробоватості.

Найбільш відповідальними деталями листоправильних машин є робочі та опорні ролики. Від правильного вибору їх розмірів і якості виготовлення багато в чому залежить якість правки. Робочі ролики, особливо прим малих діаметрах і великих довжинах, повинні мати високу твердість поверхні бочки і шийки, бути достатньо пружними і міцними при роботі на вигин і кручення.

Для холодної правки високоміцних листів великої ширини з мінімальною товщиною ролики виготовляють з хромонікелевої сталі 12ХН2А з відповідною термічною обробкою (нормалізація, цементація, гартування, відпуск). Такі ролики мають достатню міцність, пружність, допускає багатократне прогин ролика в межах 1/500 відстані між опорами, твердість поверхні HRC 60-65.

При виготовленні роликів малого діаметра зі сталі 9Х широко використовується високочастотне поверхневе гартування. При цій обробці роликів діаметром 40 мм глибина загартованного шару с міцністю HRC 60-65 досягає 3-5 мм.

Характеристики міцності таких роликів при необхідній твердості поверхні отримують порівняно більш високими. Поверхні робочих і опорних роликів шліфують, а в окремих випадках хромують на глибину 0,1-0,2 мм для запобігання корозії і підвищення зносостійкості.

Для здійснення перерахованих вище технологічних схем правки машини можуть бути виконані в варіантах з похилими рядами роликів; зі змінним кроком роликів; з паралельними рядами роликів; з індивідуальним налаштуванням роликів.

1.5. Особливості конструкції семироликової правильної машини.

Семироликова листоправильна машина призначена для холодної правки листа шириною 1500 ÷ 4850 мм, товщиною 7 ÷ 50 мм, довжиною до 40 м, з межею плинності металу до 1000 МПа при температурі листа до 150^0. Максимальне зусилля правки 4000 т. дозволяє правити високоміцні товстолистові заготівки. Система управління і настройки машини забезпечують можливість редагування листа в реверсивному режимі.

Перед правильної машиною розташовані паралельні центральні направляючі, призначені для центрування листа перед його подачею в правильну машину. Для заповнення простору між рольгангом і правильними роликами на вході і виході з правильної машини розташовані по одному привідному станинному ролику[6].

Для зручності заправки тонких листів використовується притискний ролик з гідравлічним приводом, встановлений на вхідній стороні правильної машини. Кліть правильної машини закріплена на бетонному фундаменті і складається з двох станин, нижньої поперечної балки і верхніх розпірних балок.

На рис. 1.4 та рис. 1.5 показана самироликова листоправильна машина для правки стального листа.

Рисунок 1.4 - Семироликова листоправильна машина.

Рисунок 1.5 — Стальний лист між робочими роликами машини.

Рами верхніх і нижніх роликів призначені для розміщення правильних роликів з підшипниками і опорних роликів з п'ятами і пружинами.Над верхньою опорною рамою встановлені чотири головних циліндра настройки,які можуть її піднімати, опускати, нахиляти і повертати. В силу цього правильна машина може правити конусний лист. Касета нижніх роликів встановлена на нижній поперечній балці. Кінематична схема гідравлічної семироликової правильної машини показана на рис. 1.6.

Правка сталевого листа здійснюється за допомогою семи приводних правильних роликів - трьома верхніми правильними роликами і чотирма нижніми правильними роликами. Нижні вхідні і вихідні правильні ролики забезпечені окремими системами настройки їх вертикального положення за допомогою клинових пар і гідроциліндрів з позиційним керуванням.

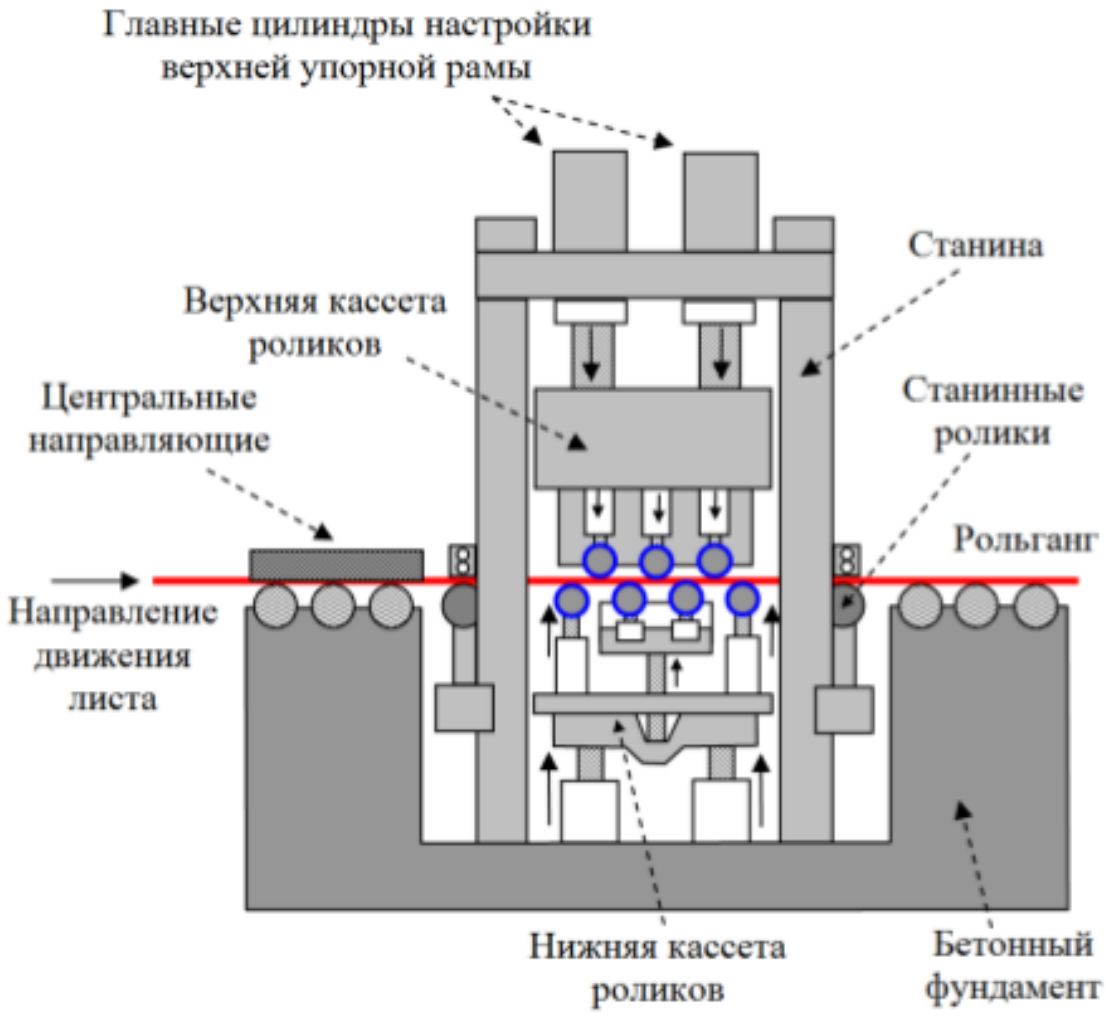

Рисунок 1.6 — Кінематична схема семироликової листоправильної машини.

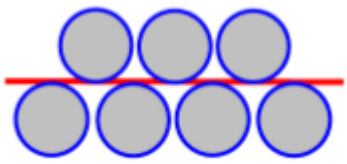

Рисунок 1.7 — Росположення семи активних роликів на листоправильній машині.

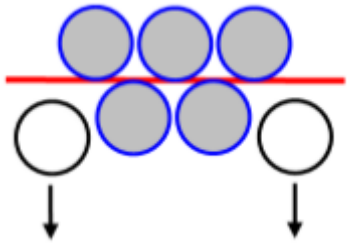

Рисунок 1.8 — Росположення п'яти активних роликів на листоправильній машині.

Роздільне регулювання правильних роликів дозволяє вивести окремі верхні і нижні ролики з процесу правки шляхом їх вертикального переміщення за допомогою системи регулювання клинів. Подібним чином можно зменшити кількість активних правильних роликів, наприклад, з 7 до 5, що дозволяє збільшити діапазон правки приблизно на 50%. Зменшення активних роликів зображено на рис. 1.7 та рис. 1.8.

1.6. Визначення основних параметрів правки.

До основних параметрів багатороликових машин відносяться расчтояніе між осями (крок), діаметр, довжина бочки і кількість робочих роликів. Крім того, технологів і конструкторів зазвичай цікавлять розрахункові значення прогинів, необхідних для правки, зусиль крутних моментів на роликах і потужності головного приводу, а також розрахункове прогнозування якості правки.

Найбільш ефективною робота машини може бути тільки при оптимальному виборі необхідних прогинів і деформацій листа. Максимальна розрахункова кривизна, необхідна для правки листа другим роликом, залежить від вихідної кривизни і визначається аналітично або за помощью графіка. При подачі в машину викривленого листа з опуклістю, спрямованої в бік другого ролика, сумарна кривизна при вигині буде складатися з максимальною вихідною і кривизни при перегині другим роликом. Аналогічно буде відбуватися деформація ділянок листа третім роликом, якщо опуклість спрямована в бік ролика. Для того щоб прямі ділянки листа, що поступають до передостаннього ролику, після виходу з машини не мали залишкової

деформації, кривизна при останньому вигині не повинна бути більше ніж гранично пружна.

Зусилля на кожному ролику можна розрахувати, розглядаючи послідовному суму моментів всіх сил, прикладених до листу, щодо перетинів, що проходять через центр кожного ролика. Для такого розрахунку необхідно знати розподіл деформацій і відповідних згинальних моментів проти кожного ролика.

Для розрахунку найбільш навантаженого ролика і його шпинделя, а також редуктора багатороликових правильної машини необхідно визначити максимальний крутний момент.

Енергія, споживана кожним роликом, витрачається, з одного боку на подолання сил тертя кочення з проковзуванням роликів по листам і сил тертя в підшипниках опор, з ішного, - на залишкову деформацію вигину листів в роликах машини. Пружна (поворотна) деформауція вигину листів створює симетричне навантаження на ролики машини і не впливає на потужність приводу.

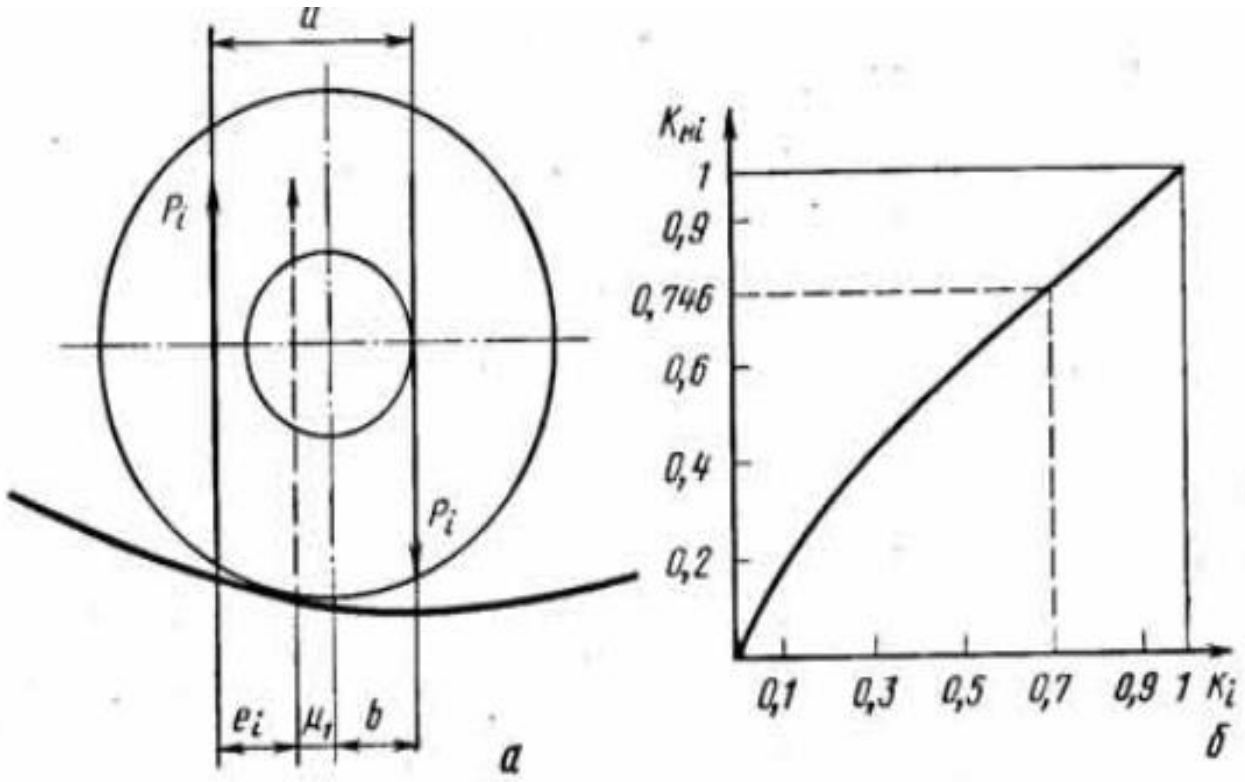

Рисунок 1.9 — Схема зусиль:

а - діючих на робочий ролик;

б - залежність між дійсними і настроюваними коефіцієнтами пружної зони при правці смуг.

Тоді крутний момент на *i*-тому ролику рис. 1.9 виражається формулою:

$$M_{кі} = M_T + M_{ост} = P_i a, \quad (1.1)$$

де M_t - сумарний момент тертя;

$M_{ОСТ}$ - момент залишкової деформації вигину.

Потужність, споживана головним двигуном в процесі правки выражається формулою:

$$N = 2\upsilon /(D\eta\Sigma(M_{кі})), \quad (1.2)$$

де $\Sigma(M_{кі})$ — сума крутних моментів на всіх роликах;

D — діаметр ролика;

υ — швидкість правки;

η — коефіцієнт корисної дії двигуна і передачі.

1.7. Прогини листів в роликах правильних машин.

Необхідна для правки деформація листів може бути досягнута при відповідній установці робочих роликів. Попереднім розрахунком зазвичай потрібно визначити орієнтовні значення оптимальних прогинів листів в машинах.

Для цієї мети найчастіше використовуються відомі з теорії пружності залежності, а при деформаціях за межею плинності - схеми статичного навантаження, придатні в основному для визначення режимів правки металу на пресах.При безперервної викочуванні листів, що деформуються за межею плинності в роликових машинах, залежність кривизни від прогинів дещо змінюється через вплив на таку залежність залишкових деформацій вигину кожного листа на ділянці розвантаження. На рис. 1.10.а представлена схема (1) безперервного викочування в варіанті двухопорного навантаження листа з вільними кінцями симетричним по середині навантаженням і відповідною епюрою моментів вигину (2).

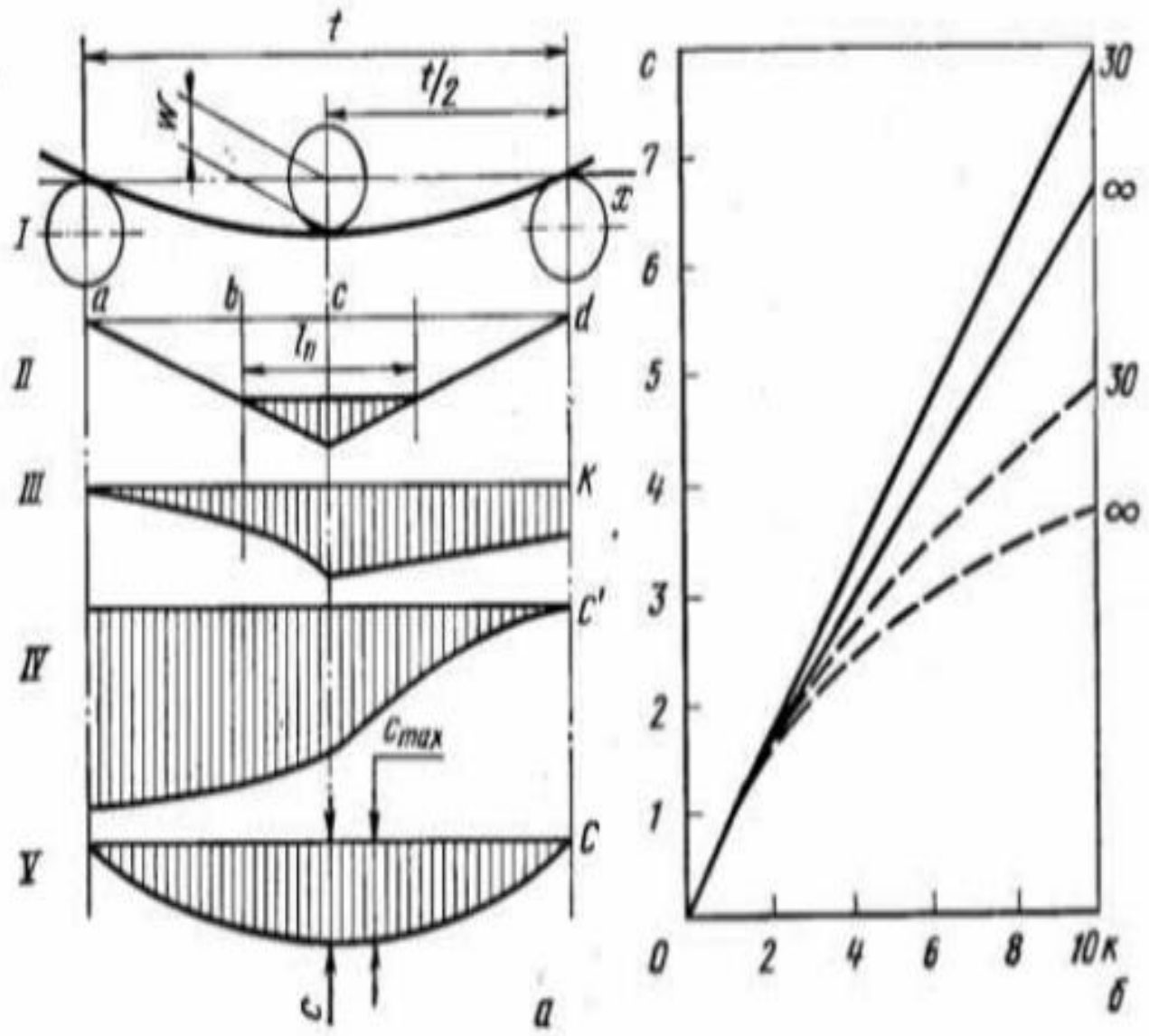

Рисунок 1.10 — Визначення прогинів при безперервному викочуванні:

а — розрахунок прогинів;

б - залежність між кривизною вигину та кривизною прогину.

На ділянці навантаження *a-b* при поступальному русі листа в розглянутому його перетині мають місце тільки пружні деформації, а на ділянці *b-c* - пластичні. У результату розвантаження при подальшому русі листа на ділянці *c-d* він набуває залишкову кривизну. Отже, при відомій симетричній епюрі моментів і вигині в умовах безперервного викочування деформація листа визначається на ділянках *a-c* і *c-d* по різним залежностям.

На тому ж малюнку подана епюра кривизни (3) (деформація) вигину спочатку прямого листа, отримана за відомою розрахункової залежності деформацій від відомих моментів вигину.

Користуючись способом графічного інтегрування кривої:

$$k = f(x), \tag{1.3}$$

можна побудувати епюру кутових переміщень (4) і траєкторію руху листа, що згинається, при безперервному викочуванні (5), розраховуючи тим самим прогини в перетині, який нас цікавить. Результате таких розрахунків прогинів листа під середнім роликом приведені на рис. 10.б в відносних одиницях.

При цьому відносний прогин, рівний одиниці, прийнятий відповідною граничною пружною деформацією вигину при відносній кривизні,

$$k = c = w/w_y = 1.0 \tag{1.4}$$

Похибка таких розрахунків пов'язана з точністю графічної побудови, з допущенням зразкової сталості точок розташування опор в процесі вигину, , з заміною дійсної характеристики матеріалу реально деформованого листа

$$m = f(k) \tag{1.5}$$

Штрихованою лінією на рис 10.б для зіставлення наведені значення статичного вигину.

Маючи в своєму розпорядженні отриманимі таким способом розрахункові значення, необхідні для правки фактичних прогинів, можна визначити і необхідні для цієї мети переміщення робочих роликів, тобто їх установку, контрольовану зазвичай за допомогою спеціальних покажчиків, якими обладнуються машини для правки.

Фактичними прогибами називають переміщення листів в площині правки від початку прямого положення в напрямку, поперечному їх подачі. Фактичні прогини залежать від переміщень роликів (від настройки машини за вказівниками), але не рівні їм. Це пояснюється відмінністю в конструкціях машин і в розташуванні покажчиків на машинах.

У частосні, на машинах з індивідуальною установкою робочих роликів, забезпечених кожен своїм покажчиком, а також з паралельними рядами роликів, налаштування машин за вказівниками в залежності від необхідних прогинів листа знаходять з наступного найпростішого співвідношення:

$$f_I = h + w_i _ w_0 \text{ ,} \tag{1.6}$$

де f_I - значення на шкалі покажчика i-того ролика, який починається від нульового положення, відповідного загальній дотичній до поверхні всіх робочих роликів (позитивними є значення, якы відповідні зазорам між дотичними до верхніх і нижніх роликів);

w_i - фактичні прогини (завжди негативні);

w_0 - поправка на відхилення роликів під навантаженням і на зазори в підшипниках (завжди позитивні).

1.8. Швидкість правки.

Найбільш економічним способом підвищення продуктивності металургійного обладнання, зокрема правильних машин, є підвищення швидкості обробки на них металу. Існує сучасна тенденція до пошуку можливостей подальшого підвищення швидкості обрабочткі металу як на основному, так і на допоміжному обладнанні[10].

Для підвищення швидкості правки металу необхідно перш за все з'ясувати, як впливає швидкість деформації при вигині на якість холодної правки, а також вирішити деякі пов'язані з цим експлуатаційні труднощі.

Зі зміною швидкості правки в межах 0,6 — 10,0 м/с сумарний крутний момент і зусилля на роликах семироликової машини збільшуються незначно, максимально на 10%, змінюється також розподіл крутних моментів між окремими роликами. Зазначені дані отримані при правці смуг прямокутного перерізу з розмірами 40х5 мм зі сталі 70 і 50х5 мм та сталей 45, 60 і 70.

Незначне зростання зусиль і сумарного крутного моменту пояснюється підвищенням опору пластичного вигину при збільшенні швидкості деформації. При цьому можна зробити висновок про доцільність і можливість підвищення швидкості правки до 10 м/с і вище за умови одночасної відповідної механізації подачі в машину і видачі з машини виправляється матеріалу.

Швидкість пластичних деформацій при вигині:

$$u = d\varepsilon_{\text{п}}/dT\,, \qquad (1.7)$$

де $d\varepsilon_n$ - перетворення відносних деформацій на поверхні смуги в тій її частині, де напруги перевищують істину межу плинності матеріалу;

dT - час перетворення деформацій.

1.9. Вплив швидкості на якість правки.

Залежність ефективності правки від швидкості деформації встановлена експериментально.

Як показник ефективності правки прийнято відношення активних і залишкових деформацій пружно-пластичного згину смуг.Завдання даного експерименту зводилася до визначення деформації вигину смуг під навантаженням і залишкового навантаженням в реальних умовах їх непреривного викочування.

При цьому визначена і пружна віддача при розвантаженні з урахуванням співвідношення:

$$1/p_{исх} + 1/p_{и} - 1/p_{у.о} = 1/p_{ост}, \quad (1.8)$$

де $p_{исх}$ — початковий радіус кривизни;

$p_{у.о}$ — радіус кривизни вихідного і граничного пружного вигину.

Вимірювання виконуються за допомогою дротяних датчиків (з базою 5 і 10 мм), що розміщуються в пазах смуг, що деформуються з сталей Ст3 і 65Г, як це показано на рис. 1.11. Умовою експеримент були порівняльні вимірювання активних і залишкових деформацій вигину при різних швидкостях, здійснювані на однакових зразках, вирізаних тільки з середньої частини одного листа з одним напрямком волокон (уздовж або поперек листа), при однаковій вихідній кривизні.

Швидкість подачі смуг при вигині їх в машині змінюється в межах 0,3 - 5 м/с, максимальна швидкість пластичної деформації вигину при наявності вихідної кривизни досягає 6,5$с^{-1}$, що відповідає швидкості подачі рівних смуг до 10 м/с.

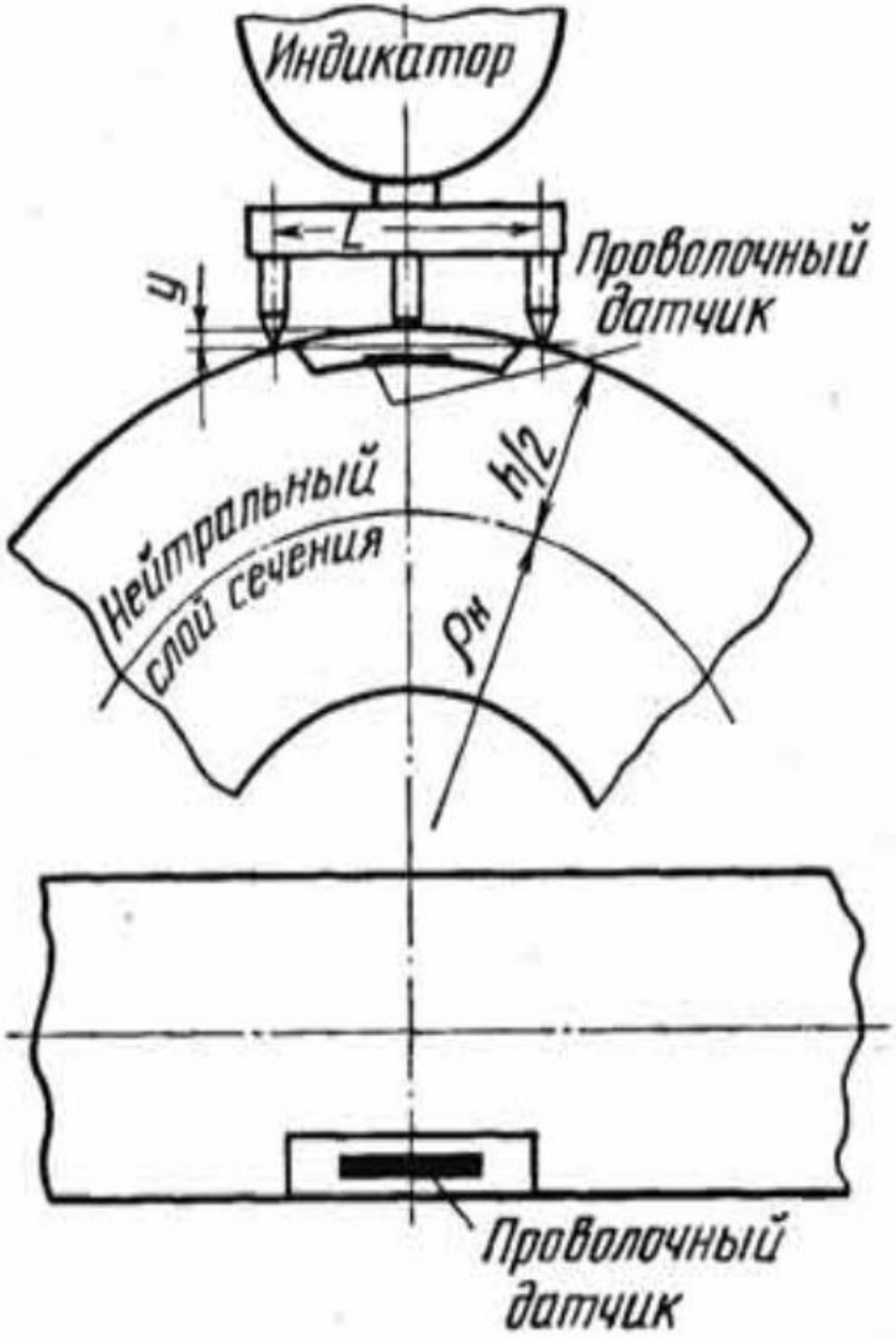

Рисунок 1,11 - Розміщення дротяних тензометрів на дослідних смугах.

Встановлено, що в результаті 10-15 кратного збільшення швидкості деформацій вигину смуг за межею плинності при безперервному їх викочуванні з подачею до 10м / с залишкові деформації легованої сталі (сталь 65Г) зменшуються приблизно на 7-12%, вуглецевих сталей (Сталь3) - на 28%.

Звідси випливає, що при сталості прогинів листів в роликоправильних машинах і підвищенні швидкостей правки в зазначених межах відбудеться відповідне зниження її ефективності. Або для збереження необхідної ефективності правки потрібно збільшити прогини листів в роликах з відповідним підвищенням навантажень на ролики і привід машини.

Збільшення кривизни пружної віддачі з підвищенням швидкості пластичної деформації можна пояснити тільки відповідним зростанням умовної межі текучості матеріалу листів, так як інші параметри від швидкості деформації не залежать.

Для підвищення швидкості правки таких і аналогічних сталей на багатороликових машинах до 10-15 м/с необхідно забезпечити перш за все умови безаваріайной подачі і видачі металу, а також збільшити прогини металу в роликах для збереження необхідної ефективності правки.

В окремих випадках при цьому можливе невелике скорочення сортаменту листів, що виправляються на одній машині листів, яке визначається припустимим навантаженням на ролики.

Залежність якості правки листів шириною 1200 мм зі сталі 12Г2А і товщиною 0,5 мм з вихідною коробоватостью двох видів від числа роликів *n* показана на рис. 1.12.

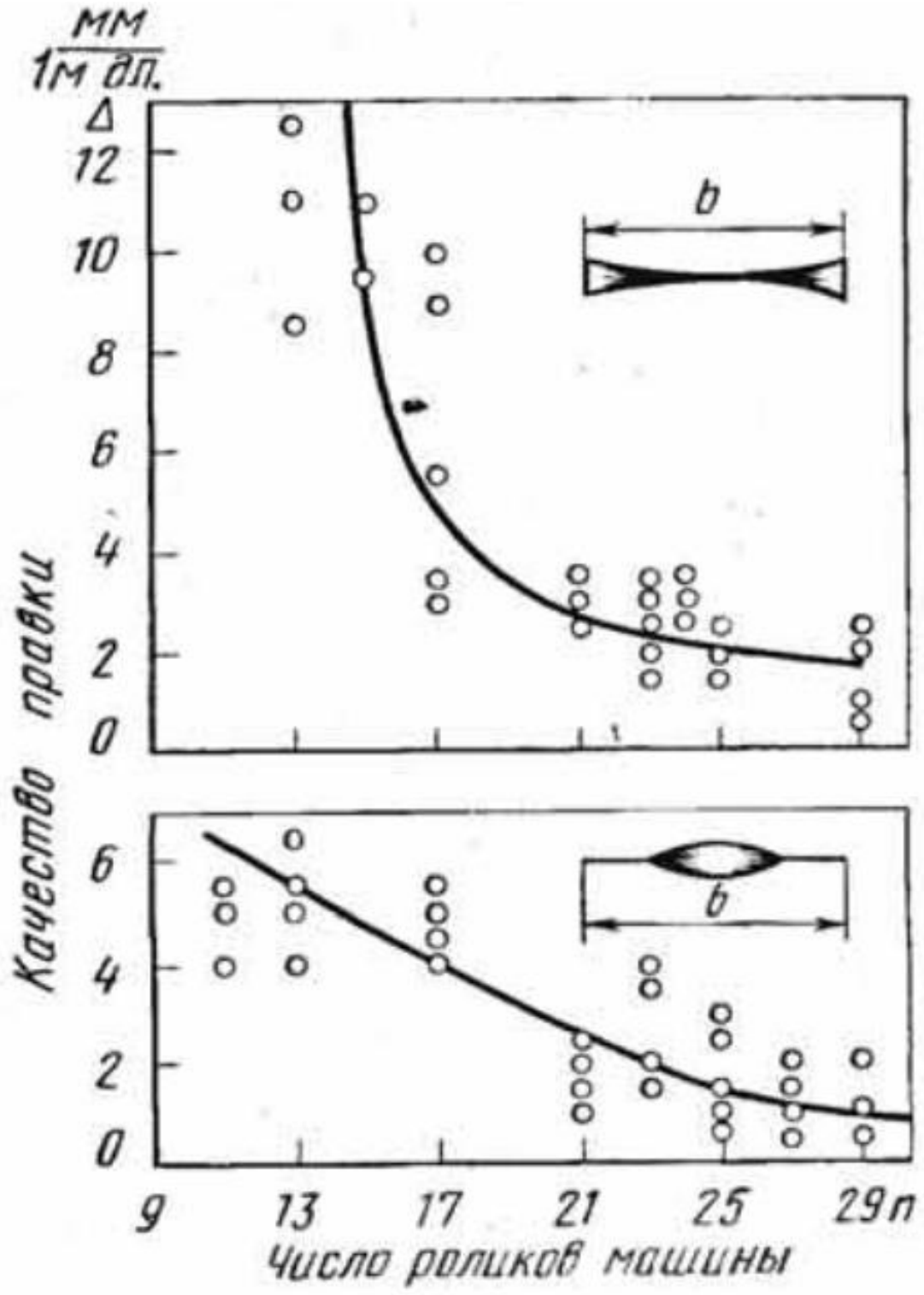

Рисунок 1.12 - Залежність залишкової коробоватості листів від числа роликів в машині.

1.10. Розробка технічних умов на систему вимірювання зусиль.

Проектований тензорезисторний перетворювач сили повинен відповідати наступним технічним умовам, вказаним в табл. 1.

Тип перетворювача	зсувний стиснення
Номінальне навантаження, Fн, тс	7000
Робочий коефіцієнт передачі (РКП) , Мв/в	2
Допуск РКП, %	+- 0,2
Вхідний опір, Ом	380 +- 2
Вихідний опір, Ом	400 +- 2
Максимальна напруга живлення, В	12
Номінальний температурний діапазон, С	-20...90
Температурний коефіцієнт нульової точки, %/С	+- 0,001
Температурний коефіцієнті, %/С	+- 0,001
Нелінійність, %	0,02
Гістерезис, %	0,02
Стабільність показів, %	0,02
Сумарна похибка, %	0,05
Габаритні розміри, мм	< 200x200x300
Маса, кг	< 20

Таблиця 1.1 — Технічні умови

2. Науково-дослідницька частина

2.1. Структурний аналіз системи вимірювання зусиль.

Вимірювання розглядається як процес прийому і перетворення інформації про вимірювану величину, яка відбувається в вимірювальних приладах. Структура вимірювальних пристроїв в зв'язку з цим представляється у вигляді сукупності вимірювальних перетворювачів які здійснюють функціональні вимірювальні перетворення сигналів різної фізичної природи. Існує безліч різновидів вимірювальних пристроїв, але всі ці пристрої виконуються на основі обмеженого числа вимірювальних перетворювачів.

Розроблено безліч різних типів тензорезисторних перетворювачів. Це перетворювачі для измения моментів, деформації, зусилля, тиску та інших фізичних величин. Перетворювачі мають різні межі вимірювання, відрізняються конструктивними особливостями і призначені для різних умов експлуатації. Кожен тензорезисторний перетворювач включає в себе такі перетворювачі, як тензорезистор і вимірювальна ланцюг, незалежно від того, чи є він перетворювачем сили або переміщення. Тензорезисторні перетворювачі включають в себе пружний елемент (ПЕ), що перетворює силу або тиск в деформацію.

На рис.2.1 представлена структурна схема тензорезисторного перетворювача сили. Вимірюване зусилля F пружним елементом 1 перетворюється в відносну деформацію зсуву E_τ. Деформація пружного елемента сприймається, наклеїннимі на нього тензорезисторами 2 і перетворюються в відносну зміну опору E, яка в вимірювальному ланцюзі 3 перетворюється в величину вихідної напруги $U_{вих}$.

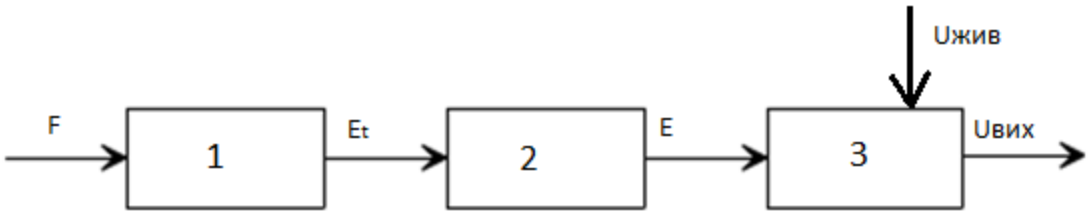

Рисунок 2.1. Структурна схема системи вимірювання зусиль:

1 — Пружний елемент;

2 — Тензорезистор;

3 — Вимірювальний ланцюг.

2.2. Розрахунок електричної схеми системи вимірювання зусиль.

У тензорезисторних перетворювачах сили застосовуються два види електричних ланцюгів: ланцюг дільника напруги і мостовий ланцюг. У даних схемах при зміні вимірюваної величини змінюється величина одного, або двох, або чотирьох опорів. Функція перетворення - загальна функція перетворення дільника напруги і мостового ланцюга ,незважаючи на те, скільки плечей і які в вимірювальному ланцюзі є робочими, виглядають наступним чином:

$$U_{вих} = U_{пит} * k/(k + 1) * K_T * (E_{t1} + E_{t2} + E_{t3} + E_{t4}), \qquad (2.1)$$

де k — коефіцієнт симетрії моста;

K_T — коефіцієнт тензочутливості, $K_T = 2,1$ для фольгових тензорезисторів;

E_{t1-4} - зсувні деформації, що виникають в пружному елементі, при впливі на останній вимірюваного зусилля на кожному тензоризисторі.

Номінали тензорезисторов обираємо рівними 100 Ом,

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 100$ Ом.

Тоді сумарний опір кожного окремого плеча становитиме 400 Ом

У цьому випадку коефіцієнт симетрії моста буде максимальним, а саме:

K = 400 / 400 = 1;

Для того що б дана мостовая схема працювала необхідно виконати наступні умови :

- у протилежні плечі моста підключати тензорезистори, що сприймають деформації одного знака;

- в суміжні плечі моста підключати тензорезистори, що сприймають деформації різних знаків.

2.3. Розрахунок статичної характеристики системи вимірювання зусиль.

Статична характеристика - залежність зміни виходної величини від змін вхідної величини в установленому режимі. Статична характеристики розраховується за формулою 2.2, а графік статичної характеристики зображено на рис. 13.

$$РКП = k / (k + 1) * K_T * 2 * (1 + M) * F / (Snep * E * 4), \quad (1.10)$$

де k — коефіцієнт симетрії моста, дорівнює 1;

K_T — коефіцієнт тензочутливості, $K_T = 2,1$ для фольгових тензорезисторів;

M — коефіцієнт Пуассона, $M = 0,3$;

F — вимірюване зусилля в Н, (на 1 тензорезистор доводится $(F / 4)$];

$Snep$ — площа поперечного перерізу, $Snep = ПR^2 = 2920$ см^2;

E — модуль Юнга, $E = 2,1 * 10^7$ Н/мм^2

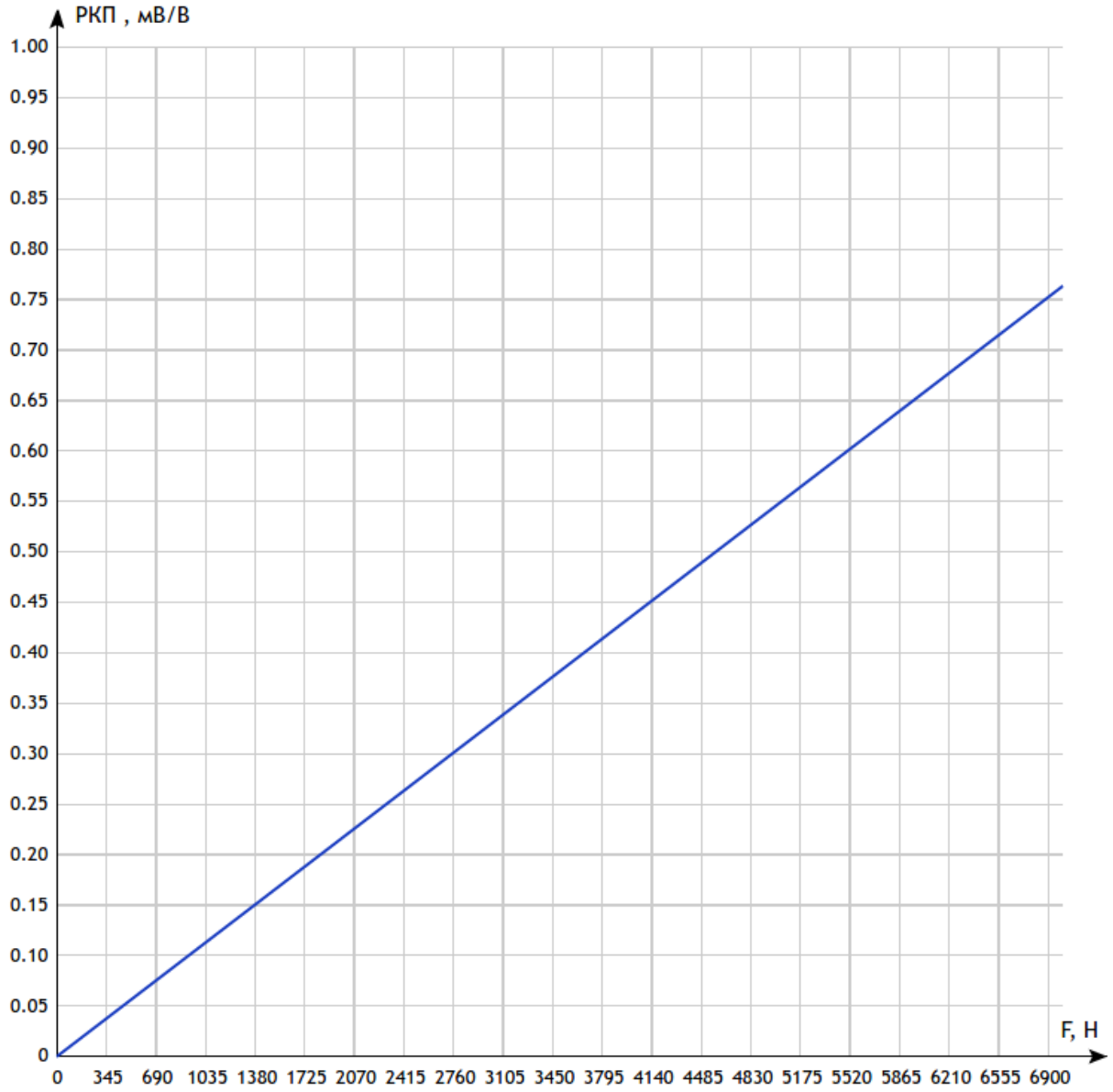

Рисунок 2.2 - графік статичної характеристики.

2.4. Розрахунок динамічної характеристики системи вимірювання зусиль.

Запишемо рівняння динаміки в наступних вигляді :

$$md^2x / dt^2 + bdx / dt + cx = F(t), \quad (2.2)$$

де x — переміщення силоприймаючої частини пружного елемента;

m — маса силоприймаючої частини пружного елемента;

b — коефіцієнт демпфування коливань;

c — жорсткість упругої частини прежного елемента;

F — збурююча сила;

md^2x — сила інерції;

bdx — сила демпфування;

cx — сила пружності.

Перепишемо рівняння в операторному вигляді :

$$mp^2x(p) + bpx(p) + cx(p) = F(p) \quad (2.3)$$

Звідки визначимо передавальний функцію перетворювача по формулі :

$$W(p) = X(p) / F(p) = 1 / (mp^2 + bp + c) \quad (2.4)$$

Запишемо формулу щодо визначення АЧХ в спрощеному вигляді :

$$A(w) = 1 / (\sqrt{((1 — j^2)^2 + 4\zeta^2 j^2)}), \quad (2.5)$$

де j — відношення частот вимушених коливань до частот коливань рухомої частити пружного елемента;

ζ — коефіцієнт загасання коливань, $\zeta = 0,15$.

Графік АЧХ зображено на рис. 2.3.

Розрахуємо частоту власних коливань за допомогою наступної формули :

$$w_0 = \sqrt{[(ES) / lM]}, \quad (2.6)$$

де E — модуль Юнга, $E = 2,1 * 10^7$ Н/мм^2;

S — площа поперечного перерізу, $S = ПR^2 = 2920$ см^2;

l — довжина до центра пружного елемента;

M — маса еквівалентна сприйманому номінальному зусиллю, M = 7000тс.

$$w_0 = \sqrt{[2,1 * 10^7 / 500 * 70000]} = 41.85 \text{ Гц}$$

Запишемо формулу щодо визначення ФЧХ:

$$\varphi(w) = -arctg((2\zeta w_0 w_в) / (w_0^2 — w_в^2)) \quad (2.7)$$

Графік АЧХ зображено на рис. 2.4.

Перехідну характеристику (рис. 2.5) розрахуємо за формулою :

$$h(t) = 1 — e^{t*cos(w0*\sqrt{(1 — \zeta\zeta)}*t + arctg(\zeta/\sqrt{(1 - \zeta\zeta)})/\sqrt{(1 — \zeta\zeta)}} \quad (2.8)$$

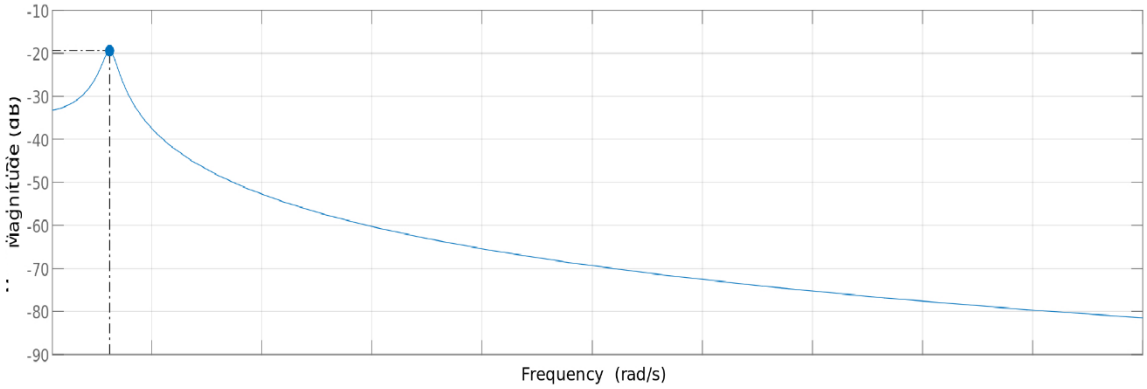

Рисунок 2.3 — Графік АЧХ системи вимірювання зусиль.

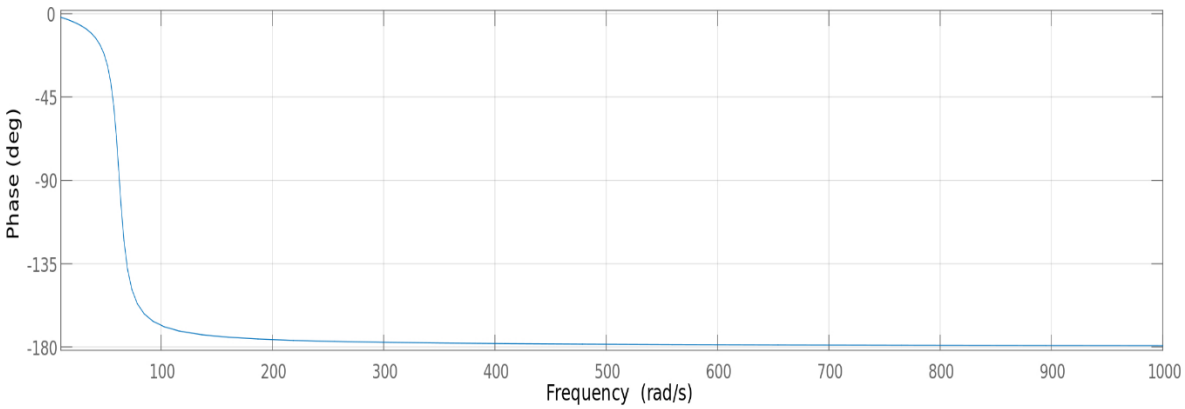

Рисунок 2.4 — Графік ФЧХ системи вимірювання зусиль.

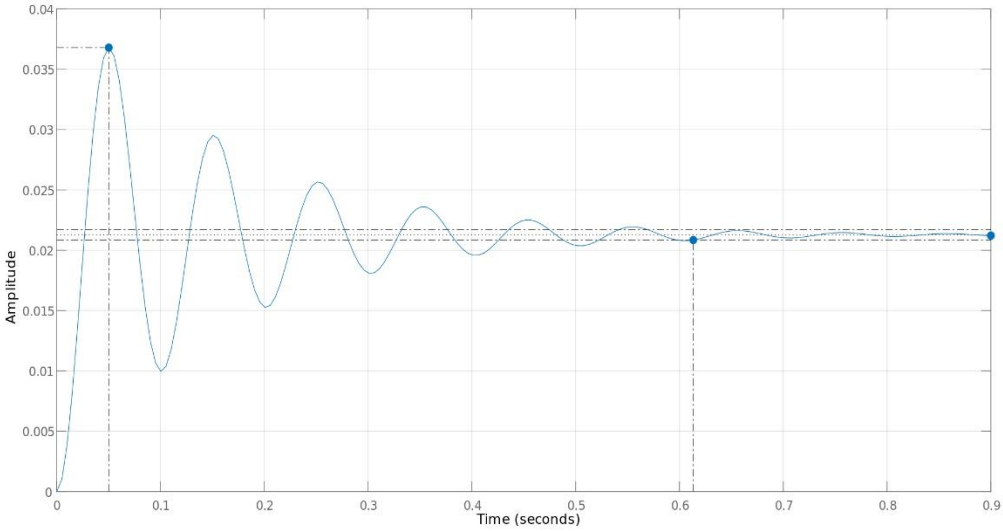

Рисунок 2.6 — Графік перехідної характеристики системи вимірювання зусиль.

2.5. Проведення експерементального навантаження датчика сили.

Для проведення експерементальної частини було обранно пружній елемент типу пластина (рис 2.7).

Рисунок 2.7 – пружній елемент.

Для вимірювання упругих деформацій при зтисненні пружнього елементу, за допомогою клею циакрін, було наклеено три фольгові тензорезисторні мости (рис 2.8). Розміщення тензорезистору зображено на рисунках 2.9 та 2.10. Похибки вимірювань в данному тензорезисторі знаходятся в діапазоні 0,5-0,05%.[8]

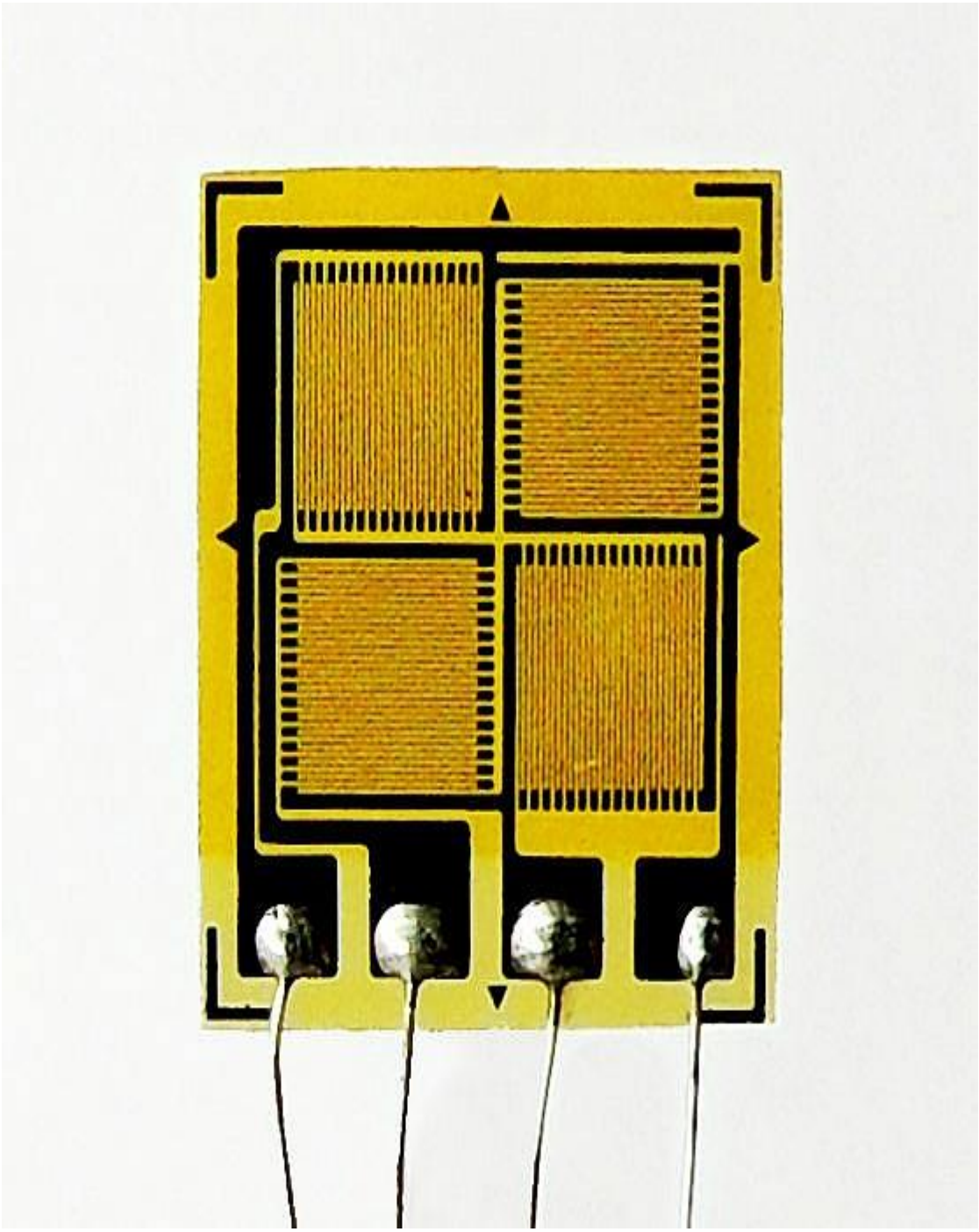

Рисунок 2.8 – фольговий тензорезисторний міст.

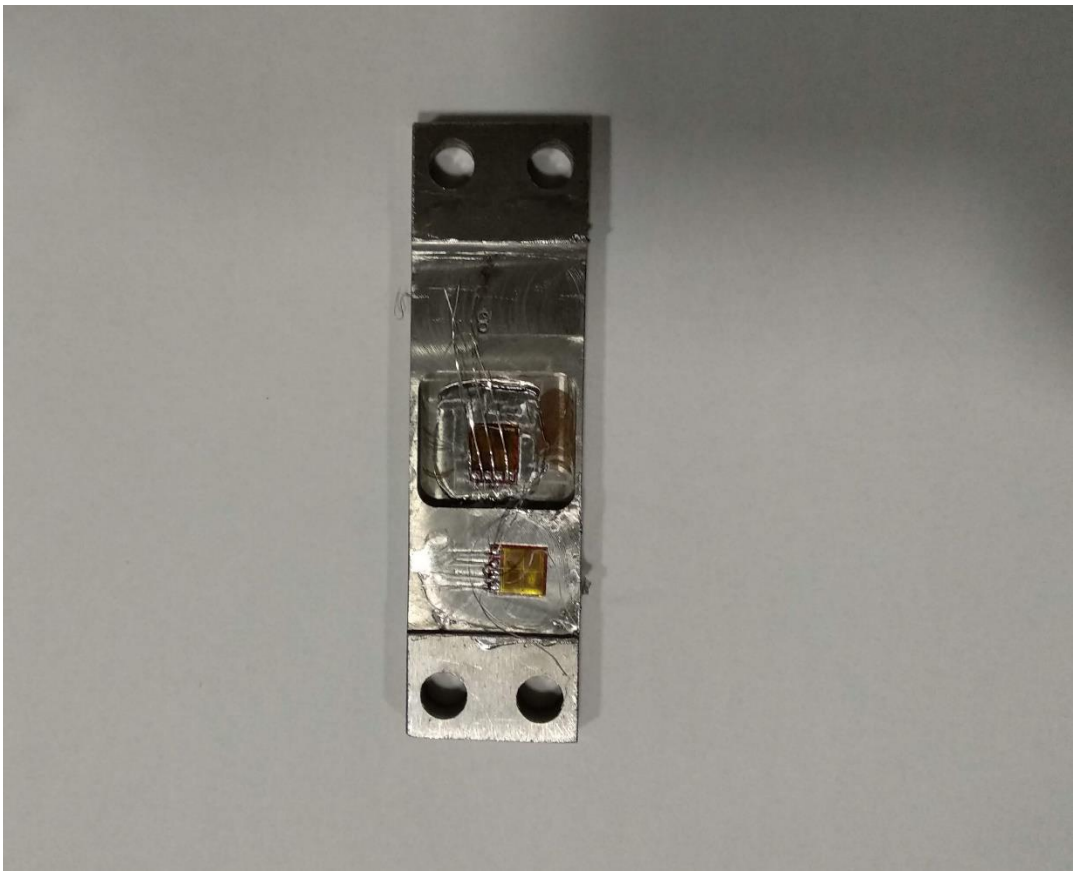

Рисунок 2.9 – схема розміщення тензорезистору.

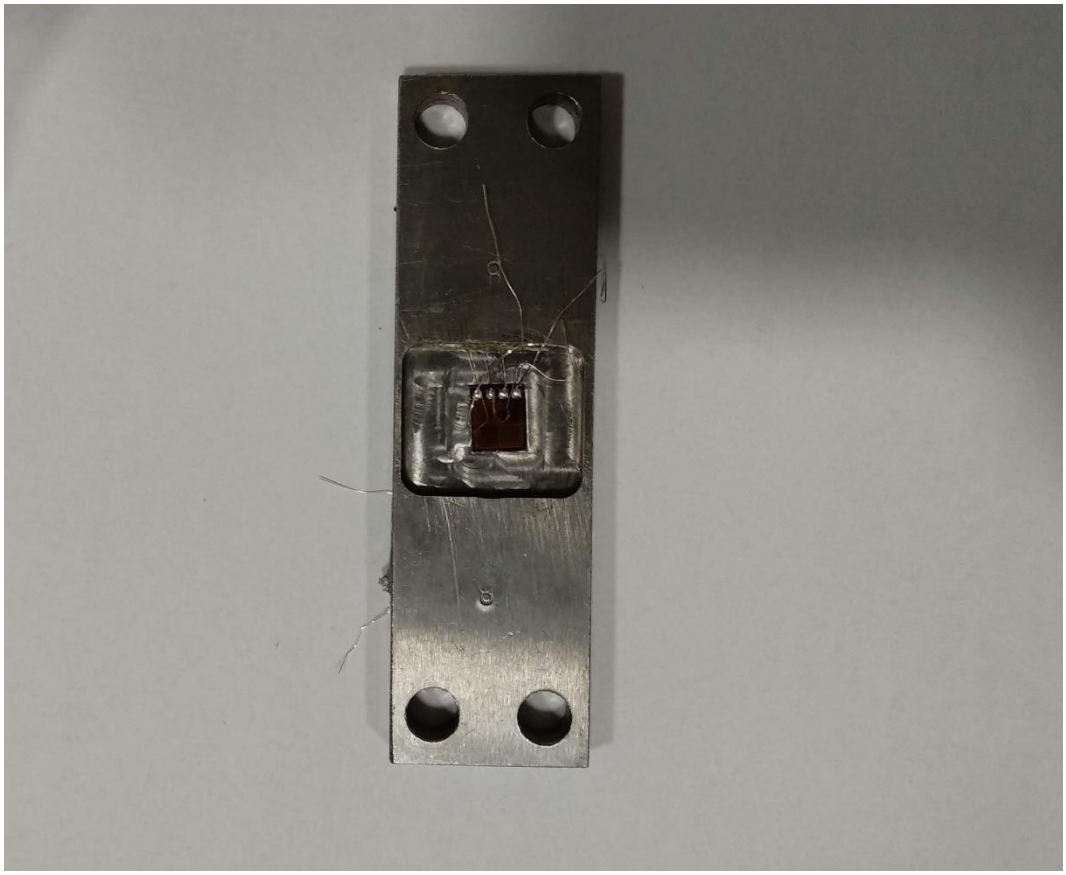

Рисунок 2.10 – схема розміщення тензорезистору.

На рисунку 2.11 та 2.12 зображено підключення тензодатчику до цифрого індекатору високої точності WE2110 за допомогою інтерфейса RS-485. Данний прилад використовується для проведення вагових вимірювань та змін сигналів, які поступають від тензорезисторних датчиків.

Отримані результати вимірювань виводяться на цифровий екран, який знаходиться в корпусі індикатора. Також данні можуть бути передані іншим приладам за допомогою різних інтерфейсів.

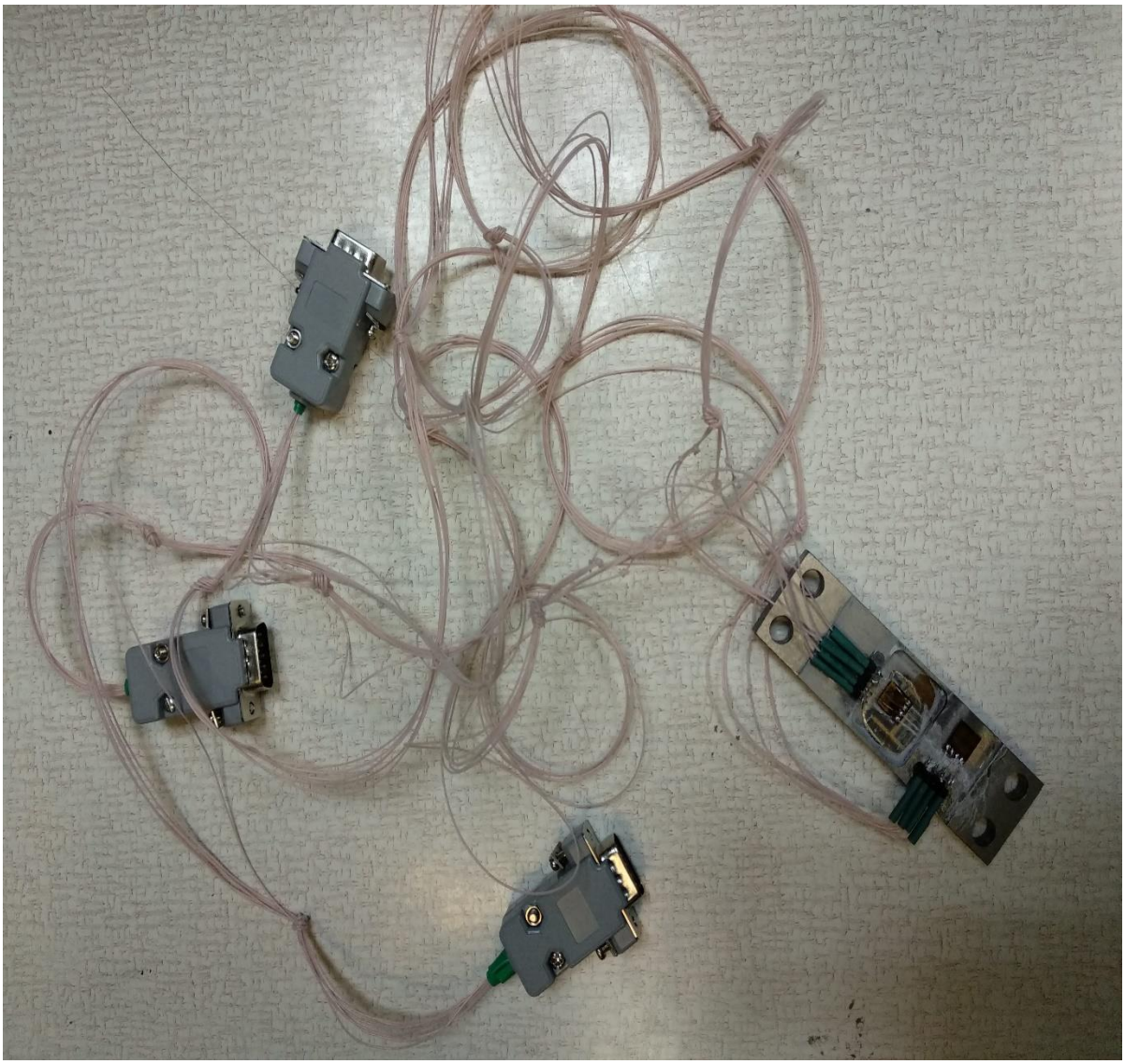

Рисунок 2.11 – тензодатчик з кабелем підключення до інтерфейсу RS-485

Рисунок 2.12 – підключений тензодатчик до WE2110

За допомогою перетворювача інтерфейсів зображеного на рисунку 2.13, до якого підключено три прилади WE2110.Далі за домогою COM порту, інформація за тензодатчиків передається на комп'ютерну систему (рис. 2.14) для аналізу навантажень через створену програмну аналізу.

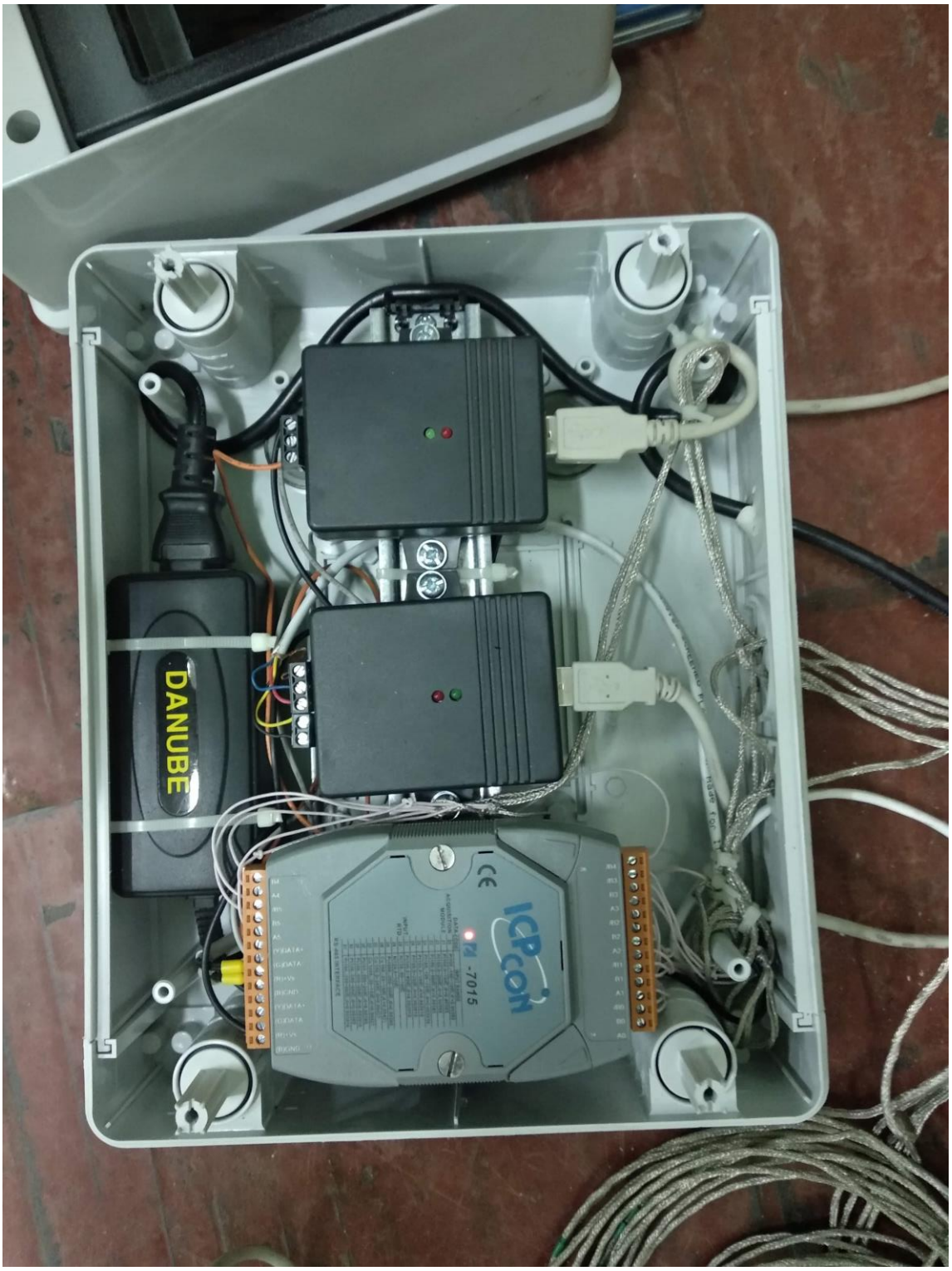

Рисунок 2.13 – перетворювач інтерфейсних сигналів.

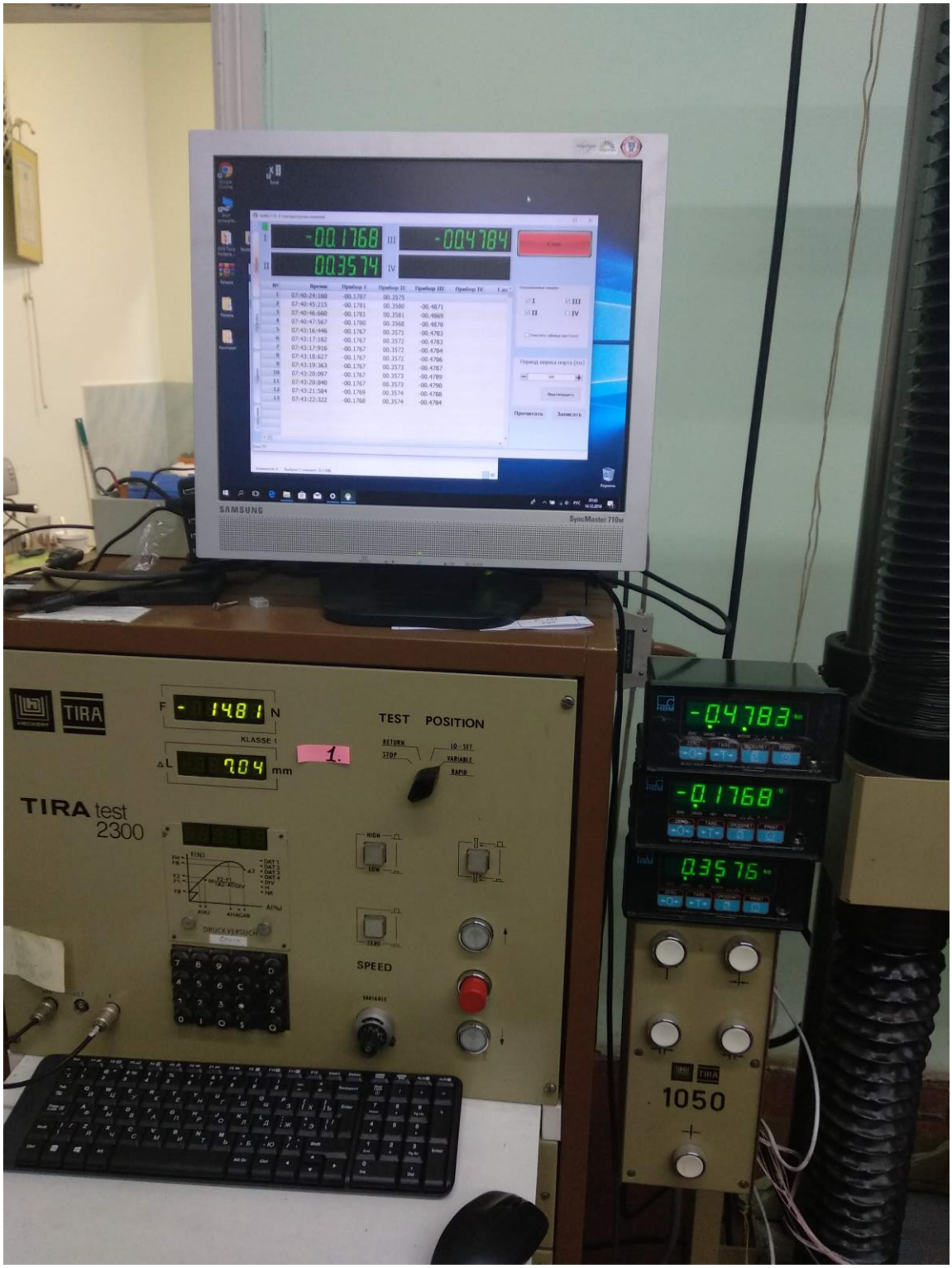

Рисунок 2.14 - комп’терна система с встановленою програмою аналізу данних

Випробовування тензорезистору проходило на універсальній випробувальній машині TIRA test 2300 (рис. 2.15, 2.16). Данна випробовувальна ашина призначенна для вимірювання деформації і сили зразків з різних матеріалів при механічних випробуваннях на розтяг, стиск та вигин.

Принцип дії машини полягає у вимірі сили і деформації зразка, що виникають при переміщенні рухомої траверси із заданою швидкістю.

Машина складається з пристрою навантаження, пульта управіння та переферійних пристроїв для пристрою навантаження і виведення данних.

Механічну енергію, необхідну для навантаження, створює перманентно збуджуючий термодвигун постійного струму, який керується тиристорним випримлячем.

Максимально допустимі граничні навантаження складають 98 Кн. Межі відносної похибки при вимірюванні сили дорівнюють +-1% [9].

Рисунок 2.15 – закріплення пружнього елементу в машині випробувань.

Рисунок 2.16 – випробувальна машина TIRA test 2300.

За допомогою випробовульною машини було проведено три цикли навантаження пружнього елементу на стиснення при силі від 0 Н до 1000 Н. Після опрацювання отриманих данних з программи аналізу навантаження на датчик та данних з випробовульною машини TIRA test 2300, було отриманно результати вимірювань (дод. А,Б,В). За допомогою данних у вигляді залежності робочого коефіцієнту перетворення тензорезисторного мосту від зміни навантаження було побудованно графічні залежності (рис 2.17, 2.18, 2.19).

За допомогою графічних залежностей зміни РКП від зусилля зтиснення, можна зробити висновок, що експерементальний розрахунок залежності повістю співпадає з теоретичним.

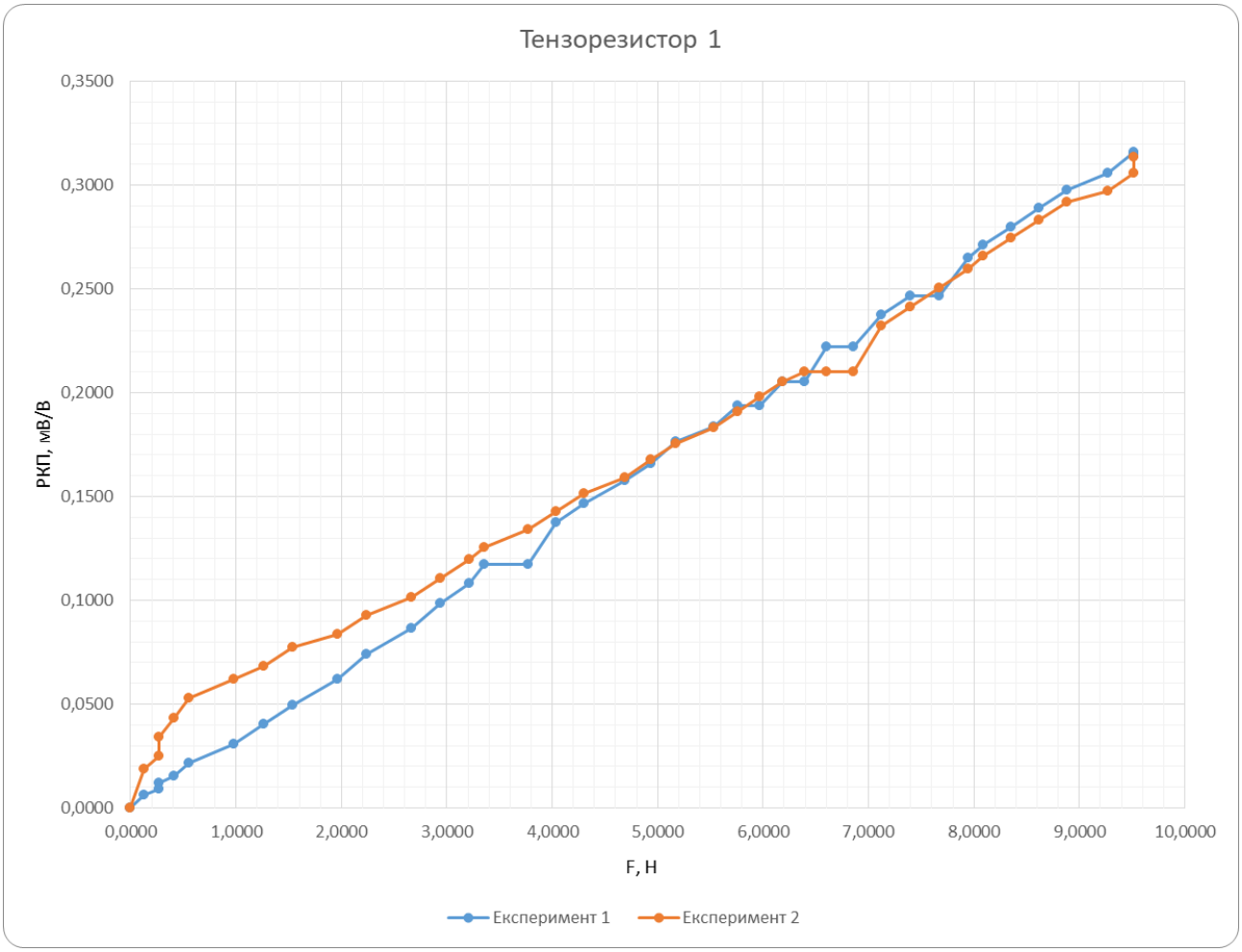

Рисунок 2.17 – експерементальне дослідження першого тензорезистору

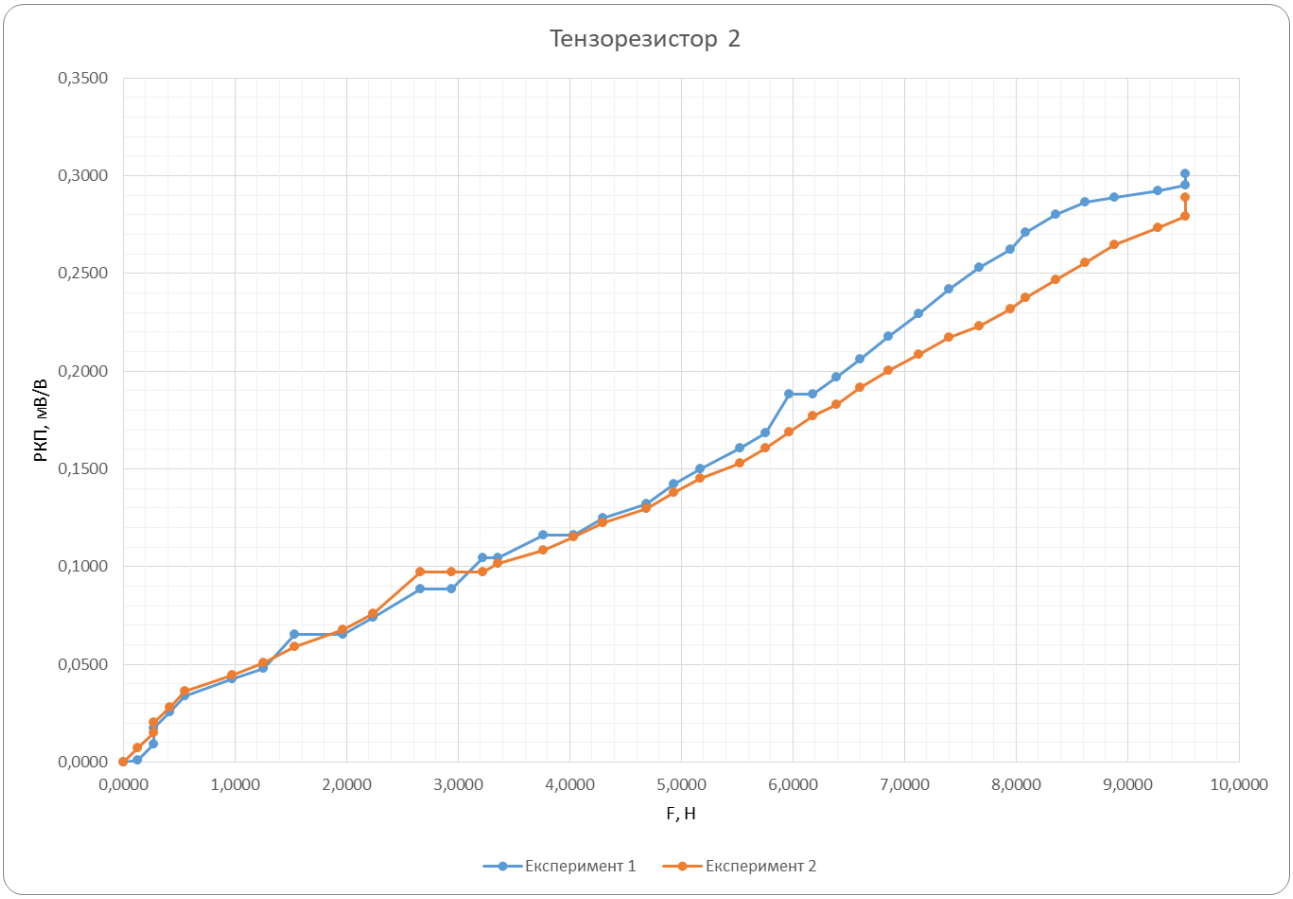

Рисунок 2.18 – експерементальне дослідження другого тензорезистору

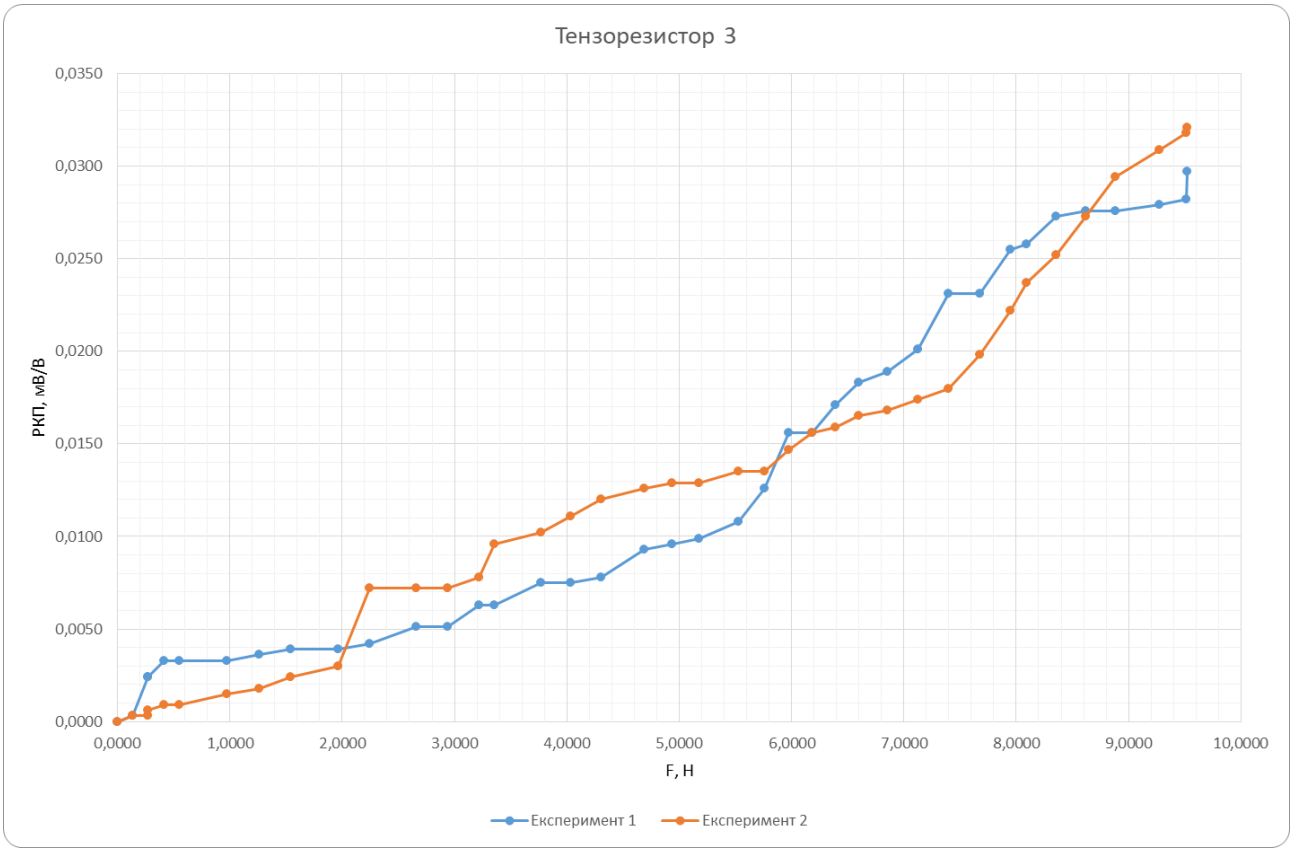

Рисунок 2.19 – експерементальне дослідження третього тензорезистору

2.6. Розрахунок радіуса кривизни, кривизна серединної лінії листа в точках торкання листа з робочими роликами і кутів між точками дотику листа і роликів на семироликовій листоправильній машині.

Виправлення листа на семироликовій листоправильній машині.

Нехай t - крок між нижніми правильними роликами;

H_i - величина обтиснення серединної поверхні сталевого листа на i-му правильному ролику (для нижніх роликів позитивним напрямком обтиску вважається напрямок вгору, для верхніх роликів - вниз), h - товщина сталевого листа, R - радіус робочих роликів, $R_0 = R + h / 2$;

$\sigma_т$, E, $П_р$ и $П_с$ - межа плинності стали, модуль Юнга і модулі зміцнення стали при розтягуванні і стисненні; ρ_i і $\varepsilon_i = 1 / \rho_i$ — радіуси кривизни і кривизна серединної лінії листа в точках торкання листа з робочими роликами, φ - кути точок дотику листа і роликів (i = 1 ... 7) (рис. 2.20).

Далі ми будемо вважати, що нижні правильні (непарні) ролики лежать на одному горизонтальному рівні ($H_1 = H_3 = H_5 = H_7 = 0$ м).

Коефіцієнт пружіненія нейтральної лінії листа при радіусі кривизни ρ дорівнює :

$$\beta(\rho) = \frac{1}{1 - \left[3\left(\frac{\rho\sigma_т}{hE}\right) - 4\left(\frac{\rho\sigma_т}{hE}\right)^3 + \frac{(П_р + П_с)}{2E}\left(1 - 3\left(\frac{\rho\sigma_т}{hE}\right) + 4\left(\frac{\rho\sigma_т}{hE}\right)^3\right)\right]} \qquad (2.9)$$

Згинальний момент в поперечному перерізі листа дорівнює :

$$M(\rho) = \frac{bh^2\sigma_т}{4} - \frac{b\rho^2\sigma_т^3}{3E^2} + \frac{b(П_р + П_с)}{6\rho}\left(\frac{h}{2} - \frac{\sigma_т\rho}{E}\right)^2\left(h + \frac{\sigma_т\rho}{E}\right). \qquad (2.10)$$

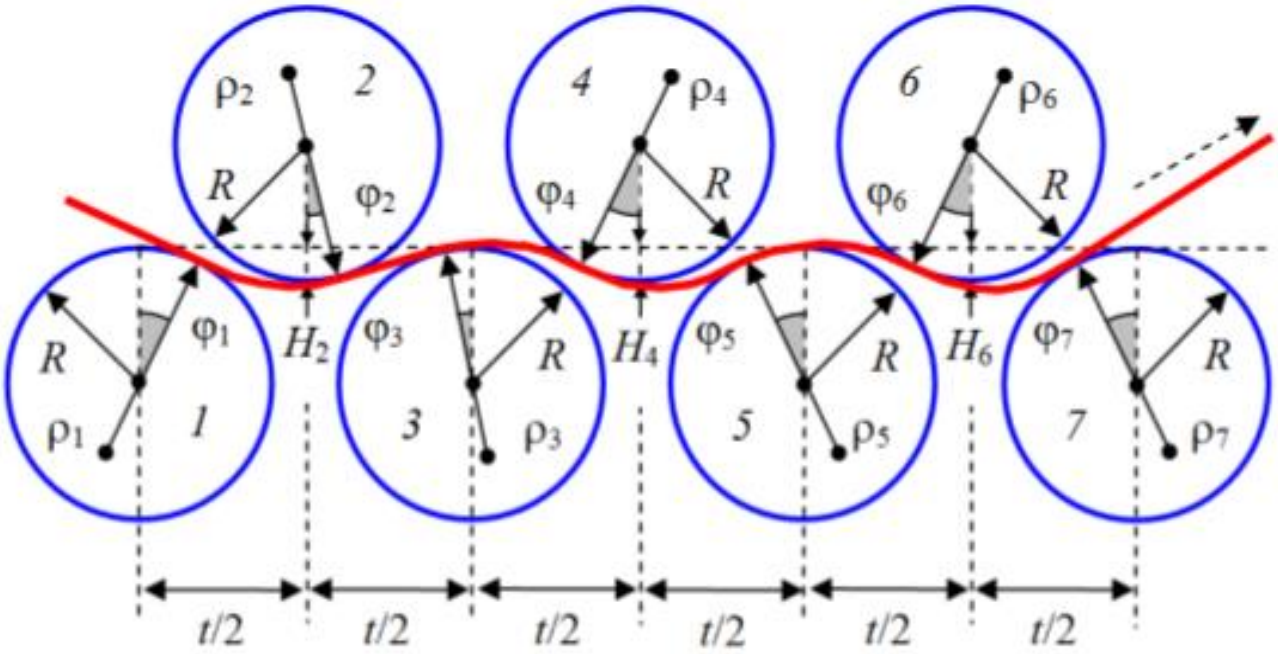

Рисунок 2.20 - Правка сталевого листа між сімома робочими роликами листоправильної машини.

Введемо сім локальних прямокутних декартових систем координат y-z в точках торкання листа з робочими роликами листоправильної машини. Осі z направимо по дотичній до поверхні роликів зліва направо, а осі y - перпендикулярно до осі z в сторону центрів відповідних роликів. Будемо апроксимувати в цих системах координат нейтральну лінію листа (між сусідніми точками дотику листа і роликів) за допомогою кубічних поліномів виду $y(z) = az^2 - bz^3$. Відзначимо, що перші два коефіцієнта цих поліномів дорівнюють нулю, так як лист стосується роликів на початку систем координат. Позначимо a_i і b_i - коефіцієнти кубічних поліномів в $_i$ - ій системі

координат. Складемо рівняння для коефіцієнтів кубічних поліномів, кривизни і радіусів кривизни нейтральної лінії листа в точках торкання листа з робочими роликами :

Перший та другий роликам

$$z_2 = \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin\varphi_1 + R_0 \cos\varphi_2\right)\cos\varphi_1 + [H_2 - R_0(1-\cos\varphi_1) - R_0(1-\cos\varphi_2)]\sin\varphi_1,$$

$$y_2 = -\left(\frac{t}{2} - R_0 \sin\varphi_1 + R_0 \cos\varphi_2\right)\sin\varphi_1 + [H_2 - R_0(1-\cos\varphi_1) - R_0(1-\cos\varphi_2)]\cos\varphi_1,$$

$$a_1 = \frac{3y_2 + \mathrm{tg}(\varphi_1+\varphi_2)z_2}{z_2^{\,2}}, \quad b_1 = \frac{2y_2 + \mathrm{tg}(\varphi_1+\varphi_2)z_2}{z_2^{\,3}},$$

$$\varepsilon_{12} = 2a_1, \quad \rho_{12} = \frac{1}{2a_1}, \quad \varepsilon_{21} = \frac{2a_1 - 6b_1 z_2}{\left[1 + \left(2a_1 z_2 - 3b_1 z_2^{\,2}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{21} = \frac{1}{\varepsilon_{21}}.$$

Другий та третій ролик

$$z_3 = \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin\varphi_2 + R_0 \cos\varphi_3\right)\cos\varphi_2 + [H_2 - R_0(1-\cos\varphi_2) - R_0(1-\cos\varphi_3)]\sin\varphi_2,$$

$$y_3 = -\left(\frac{t}{2} - R_0 \sin\varphi_2 + R_0 \cos\varphi_3\right)\sin\varphi_2 + [H_2 - R_0(1-\cos\varphi_2) - R_0(1-\cos\varphi_3)]\cos\varphi_2,$$

$$a_2 = \frac{3y_3 + \mathrm{tg}(\varphi_2-\varphi_3)z_3}{z_3^{\,2}}, \quad b_2 = \frac{2y_3 + \mathrm{tg}(\varphi_2-\varphi_3)z_3}{z_3^{\,3}},$$

$$\varepsilon_{23} = 2a_2, \quad \rho_2 = \rho_{23} = \frac{1}{2a_2}, \quad \varepsilon_{32} = \frac{2a_2 - 6b_2 z_3}{\left[1 + \left(2a_2 z_3 - 3b_2 z_3^{\,2}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_3 = \rho_{32} = \frac{1}{\varepsilon_{32}}.$$

Третій та чертвертий роликам

$$z_4 = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin\varphi_3 + R_0 \cos\varphi_4\right)\cos\varphi_3 - [H_4 - R_0(1-\cos\varphi_3) - R_0(1-\cos\varphi_4)]\sin\varphi_3,$$

$$y_4 = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin\varphi_3 + R_0 \cos\varphi_4\right)\sin\varphi_3 + [H_4 - R_0(1-\cos\varphi_3) - R_0(1-\cos\varphi_4)]\cos\varphi_3,$$

$$a_3 = \frac{3y_4 - \mathrm{tg}(\varphi_3+\varphi_4)z_4}{z_4^{\,2}}, \quad b_3 = \frac{2y_4 - \mathrm{tg}(\varphi_3+\varphi_4)z_4}{z_4^{\,3}},$$

$$\varepsilon_{34} = 2a_3, \quad \rho_{34} = \frac{1}{2a_3}, \quad \varepsilon_{43} = \frac{2a_3 - 6b_3z_4}{\left[1 + \left(2a_3z_4 - 3b_3z_4^{\,2}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{43} = \frac{1}{\varepsilon_{43}}.$$

Четвертий та п'ятий ролик

$$z_5 = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin\varphi_4 + R_0 \cos\varphi_5\right)\cos\varphi_4 - [H_4 - R_0(1-\cos\varphi_4) - R_0(1-\cos\varphi_5)]\sin\varphi_4,$$

$$y_5 = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin\varphi_4 + R_0 \cos\varphi_5\right)\sin\varphi_4 + [H_4 - R_0(1-\cos\varphi_4) - R_0(1-\cos\varphi_5)]\cos\varphi_4,$$

$$a_4 = \frac{3y_5 - \mathrm{tg}(\varphi_4+\varphi_5)z_5}{z_5^{\,2}}, \quad b_4 = \frac{2y_5 - \mathrm{tg}(\varphi_4+\varphi_5)z_5}{z_5^{\,3}},$$

$$\varepsilon_{45} = 2a_4, \quad \rho_4 = \rho_{45} = \frac{1}{2a_4}, \quad \varepsilon_{54} = \frac{2a_4 - 6b_4z_5}{\left[1 + \left(2a_4z_5 - 3b_4z_5^{\,2}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_5 = \rho_{54} = \frac{1}{\varepsilon_{54}}.$$

П'ятий та шостий ролик

$$z_6 = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin\varphi_5 + R_0 \cos\varphi_6\right)\cos\varphi_5 - [H_6 - R_0(1-\cos\varphi_5) - R_0(1-\cos\varphi_6)]\sin\varphi_5,$$

$$y_6 = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin\varphi_5 + R_0 \cos\varphi_6\right)\sin\varphi_5 + [H_6 - R_0(1-\cos\varphi_5) - R_0(1-\cos\varphi_6)]\cos\varphi_5,$$

$$a_5 = \frac{3y_6 - \mathrm{tg}(\varphi_5+\varphi_6)z_6}{z_6^{\,2}}, \quad b_5 = \frac{2y_6 - \mathrm{tg}(\varphi_5+\varphi_6)z_6}{z_6^{\,3}},$$

$$\varepsilon_{56} = 2a_5, \quad \rho_{56} = \frac{1}{2a_5}, \quad \varepsilon_{65} = \frac{2a_5 - 6b_5z_6}{\left[1 + \left(2a_5z_6 - 3b_5z_6^{\,2}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{65} = \frac{1}{\varepsilon_{65}}.$$

Шостий та сьомий ролик

$$z_7 = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin\varphi_6 + R_0 \cos\varphi_7\right)\cos\varphi_6 - [H_6 - R_0(1-\cos\varphi_6) - R_0(1-\cos\varphi_7)]\sin\varphi_6,$$

$$y_7 = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin\varphi_6 + R_0 \cos\varphi_7\right)\sin\varphi_6 + [H_6 - R_0(1-\cos\varphi_6) - R_0(1-\cos\varphi_7)]\cos\varphi_6,$$

$$a_6 = \frac{3y_7 - \mathrm{tg}(\varphi_6+\varphi_7)z_7}{z_7^{\,2}}, \quad b_6 = \frac{2y_7 - \mathrm{tg}(\varphi_6+\varphi_7)z_7}{z_7^{\,3}},$$

$$\varepsilon_{67} = 2a_6, \quad \rho_6 = \rho_{67} = \frac{1}{2a_6}, \quad \varepsilon_{76} = \frac{2a_6 - 6b_6 z_7}{\left[1 + \left(2a_6 z_7 - 3b_6 z_7^{\,2}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_7 = \rho_{76} = \frac{1}{\varepsilon_{76}}.$$

Граничні умови задачі

$$\rho_{12} = \rho_1, \quad \rho_{21} = -\rho_{23}, \quad \rho_{32} = -\rho_{34}, \quad \rho_{43} = -\rho_{45},$$
$$\rho_{54} = -\rho_{56}, \quad \rho_{65} = -\rho_{67}, \quad \rho_{76} = \beta(\rho_{67})\rho_{67}.$$

2.7 Программа розрахунку радіуса кривизни, кривизна серединної лінії листа в точках торкання листа з робочими роликами і кутів між точками дотику листа.

Програма “Count” здійснює розрахунок радіуса кривизни, кривизна серединної лінії листа в точках торкання листа з робочими роликами і кутів між точками дотику листа.

Розглянемо роботу програми за допомогою блок-схеми , що зображенна на рис. 2.21.

В блоці 1 відбувається введення данних с клавіатури.

В блоці 2 відбувається розрахунок радіуса кривизн, кривизна серединної лінії листа в точках торкання листа з робочими роликами і кутів між точками дотику листа за допомогою програмних функцій з бібліотеки <Rolling.h> за функціями показаними в розділі 2.5.

В блоці 3 відбувається вивід на друкування результатів, результати зображено на стр. 66 і 69.

Робочий код програми “Count” зображено на стр. 64-66.

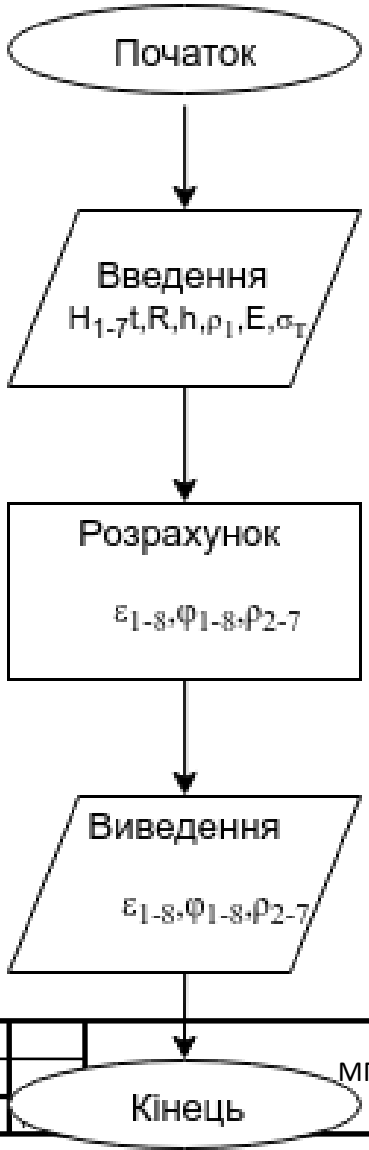
Початок
Введення
$H_{1\text{-}7}$t,R,h,ρ_1,E,σ_T
Розрахунок
$\varepsilon_{1\text{-}8}$,$\varphi_{1\text{-}8}$,$\rho_{2\text{-}7}$
Виведення
$\varepsilon_{1\text{-}8}$,$\varphi_{1\text{-}8}$,$\rho_{2\text{-}7}$
Кінець

Рисунок 2.21 — Блок-схема програми “Count”

Програма “Count”

```
#include <std_library.h>
#include <Rolling.h>

typedef struct          s_data
{
    double H[7];
    double t,R,h,p1,E,G;
    double E[8];
    double f[8];
    double p[8];
}                       t_data;

int main(void)
{
      t_data     data;
```

```
//* Введення данних с клавіатури *//

 printf("Введіть t\n");
 scanf("%f", &data.t);
 printf("Введіть R\n");
 scanf("%f", &data.R);
 printf("Введіть h\n");
 scanf("%f", &data.h);
 printf("Введіть E\n");
 scanf("%f", &data.E);
 printf("Введіть G\n");
 scanf("%f", &data.G);
 printf("Введіть H1\n");
 scanf("%f", &data.H[0]);
data. H[2] = data.H[4] = data.H[6] = data.H[0];
 printf("Введіть H2\n");
 scanf("%f", &data.H[1]);
 printf("Введіть H4\n");
 scanf("%f", &data.H[3]);
 printf("Введіть H6\n");
 scanf("%f", &data.H[5]);
 printf("Введіть p1\n");
 scanf("%f", &data.p[0]);

 /* Розрахунок за допомогою бібліотеки Rolling.h */

int i = -1;
 while (++i != 7)
 {
        data.f[i] = rolling_count_angle(&data);
```

```
        data.E[i] = rolling_count_curve(&data);
        if (i != 0)
            data.p[i] = rolling_count_curve_mid_line(&data);
}

/* Виведення результату на экран */
int i = 0;
while (++i != 7)
{
        if (i == 6)
            printf("ρ[%d]=%f м \n", i, data.p[i]);
        else
            printf("ρ[%d]=%f м, \n", i, data.p[i]);
  }
int i = -1;
 while (++i != 7)
{
        if (i == 6)
            printf("φ[%d]=%f ° \n", i, data.f[i]);
        else
            printf("φ[%d]=%f° , \n", i, data.f[i]);
  }
int i = -1;
while (++i != 7)
{
        if (i == 6)
            printf("ε[%d]=%f  \n", i, data.E[i]);
        else
            printf("ε[%d]=%f° , \n", i, data.E[i]);
  }
   printf("Розрахунок проведено успішно!\n");
```

```
    return (0);
}
```

Результати розрахунків за допомогою програми “Count”. Вхідні данні:

$t = 0,4$ м,

$R = 0,185$ м,

$h = 0,010$ м,

$E = 2.1 \cdot 10^7$ Па,

$\sigma_т = 500 \cdot 10^6$ Па,

$H_1 = 0$ м, $H_2 = 0,012$ м, $H_4 = 0,006$ м, $H_6 = -0,001$ м

$\rho_1 = -1$ м

Вихідні параметри :

$\rho_2 = 0,661$ м,

$\rho_3 = -0,777$ м,

$\rho_4 = 1,156$ м,

$\rho_5 = -2,484$ м,

$\rho_6 = -40,577$ м,

$\rho_7 = -173,04$ м,

$\varphi_1 = 2,64°$,

$\varphi_2 = 0,23°$,

$\varphi_3 = 1,59°$,

$\varphi_4 = 0,77°$,

$\varphi_5 = 1,82°$,

$\varphi_6 = 0,37°$,

$\varphi_7 = 0,23°$,

$\varepsilon_1 = -1$,

$\varepsilon_2 = 1,524$,

$\varepsilon_3 = -1,278$,

$\varepsilon_4 = 0,866$,

$\varepsilon_5 = -0,401$,

$\varepsilon_6 = -0{,}024,$

$\varepsilon_7 = -0{,}005$

Розрахунок проведено успішно!

Результати наведені на рис. 2.22 та рис. 2.23.

Можливі різні поєднання величин обтиску на робочих роликах. Наприклад, можна задавати максимальне обтиснення не на другому ролику, а на четвертому ролику, поступово збільшуючи кривизну листа від першого ролика до четвертого ролику. Це дозволяє легше «заправити» лист в правильну машину, уникнути різких змін кривизни листа і ефективніше використовувати правку листа в реверсивному режимі. Розрахунок за допомогою програми “Count” наведено на стр. 52.

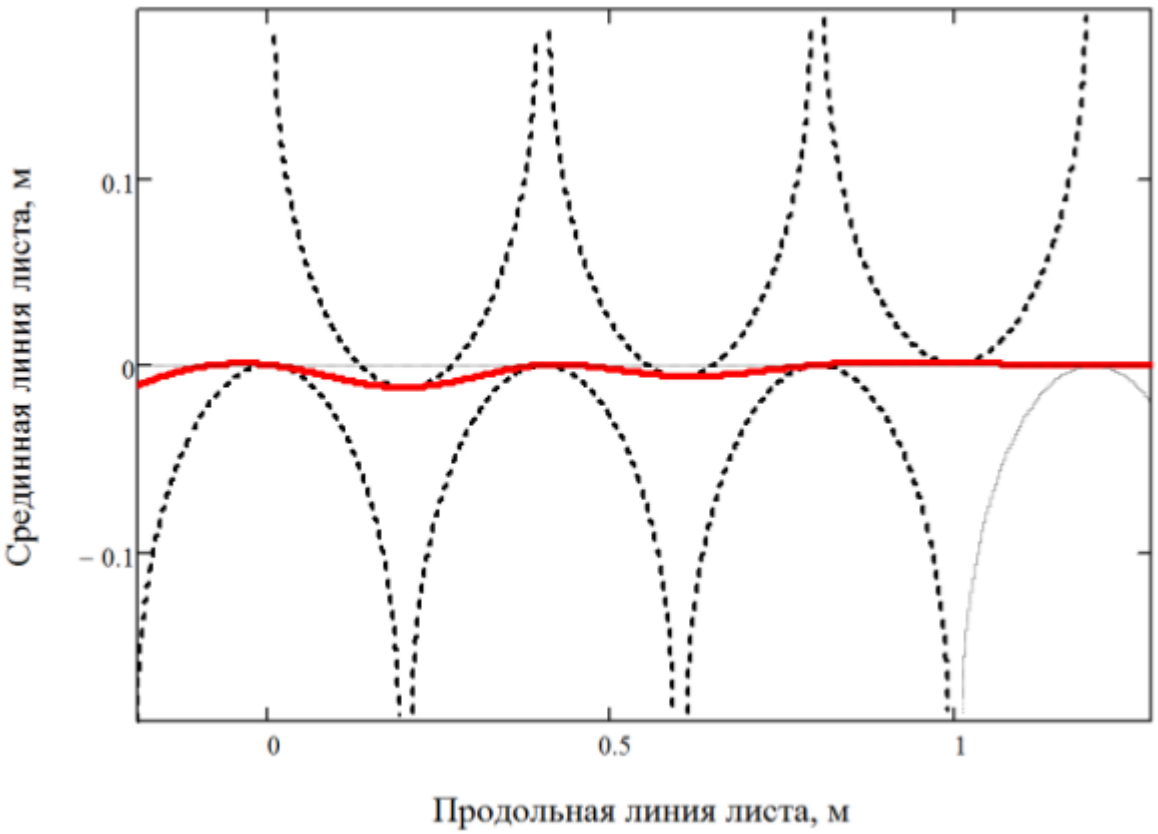

Рисунок 2.22 - Середина

лінія листа при правці на семироликовій листоправильній машині.

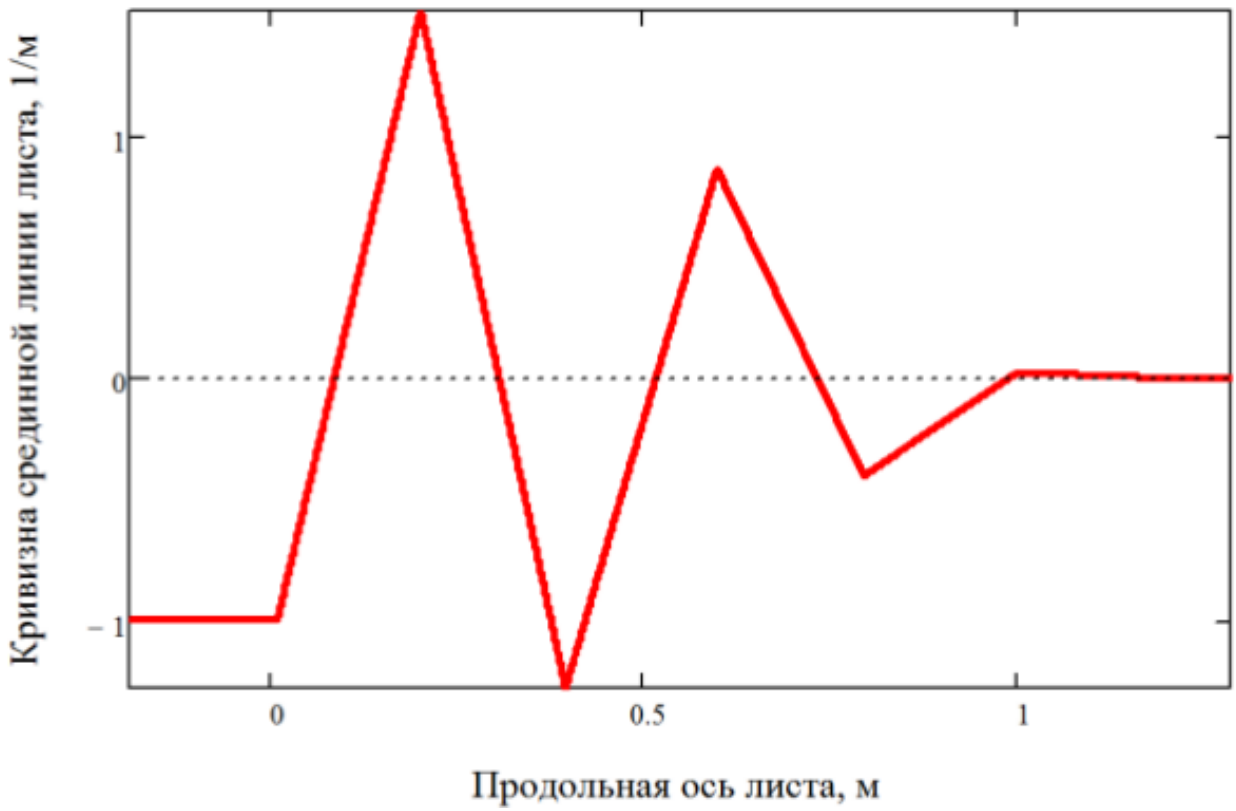

Рисунок 2.23 — Кривизна серединної лінія листа при правці.

Результати розрахунків програми “Count” при максимальному обтисненні листа на центральних роликах.

Вхідні данні:

$t = 0,4$ м, $R = 0,185$ м,

$h = 0,010$ м,

$E = 2.1 \cdot 10^7$ Па,

$\sigma_т = 500 \cdot 10^6$ Па,

$H_1 = 0$ м, $H_2 = 0,016$ м, $H_4 = 0,0012$ м, $H_6 = -0,001$ м

$\rho_1 = 10$ м

Вихідні параметри :

$\rho_2 = 1,364$ м,

$\rho_3 = -0,810$ м,

$\rho_4 = 0,680$ м,

$\rho_5 = -1,260$ м,

$\rho_6 = -8,549$ м,

$\rho_7 = -735$ м,

$\varphi_1 = 3,40°$,

$\varphi_2 = 1,23°$,

$\varphi_3 = 1,69°$,

$\varphi_4 = 0,37°$,

$\varphi_5 = 3,28°$,

$\varphi_6 = 0,74°$,

$\varphi_7 = 0,06°$,

$\varepsilon_1 = 0,1$,

$\varepsilon_2 = 0,733$,

$\varepsilon_3 = -1,234$,

$\varepsilon_4 = 1,470$,

$\varepsilon_5 = -0,794$,

$\varepsilon_6 = -0{,}117,$

$\varepsilon_7 = -0{,}001$

Розрахунок проведено успішно!

Результати наведені на рис. 2.24.

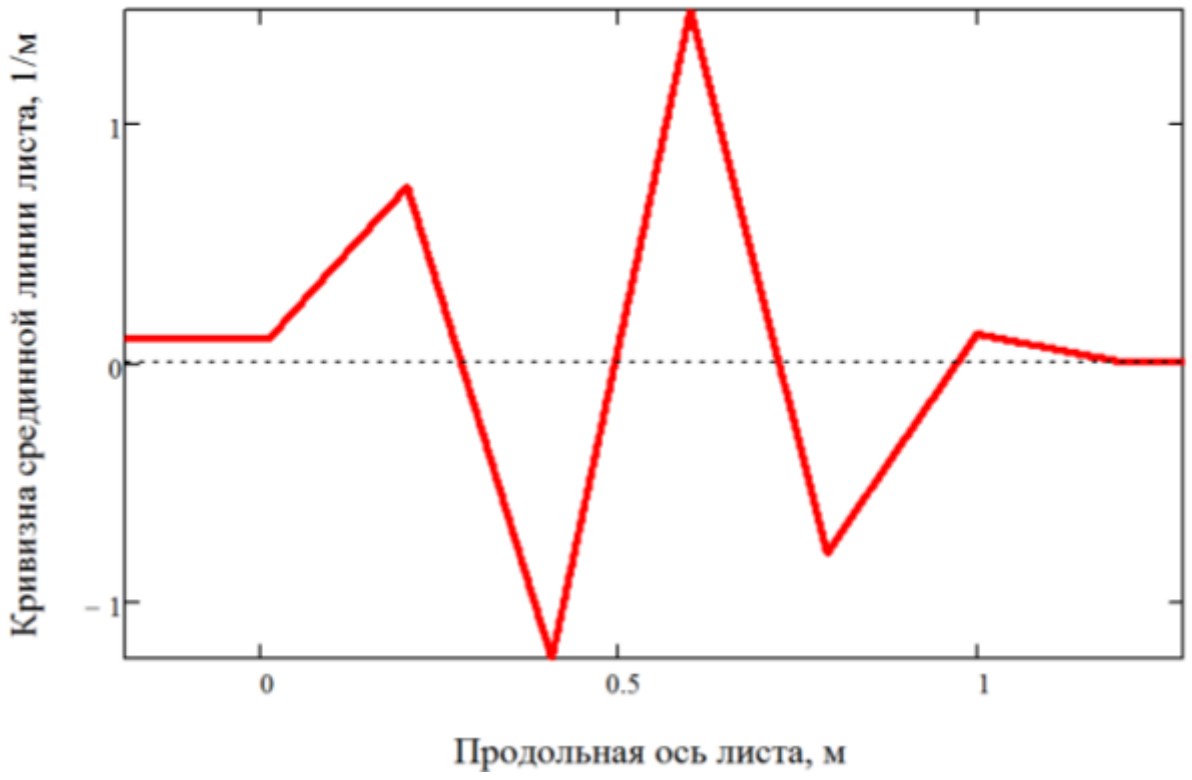

Рисунок 2.24 - Кривизна серединної лінії листа при правці (максимальне обтиснення листа на центральних роликах).

2.8. Розробка системи автоматичного проектування для автоматизації технологічного процесу.

Автоматизована система контролю зусилля правки ролико-правильної машини (РПМ) призначена для контролю зусилля правки листа і температур в районі установки датчиків зусилля.

Призначенням створення системи є фіксація поточного максимального значення зусилля правки, при якому при черговій аварії вийде з ладу підшипник опорного валка РПМ, щоб в подальшому не досягати такого рівня зусилля дляданого типу підшипників. По всіх каналах вимірювання використовується схема 100% гарячого резервування.

Всі вихідні сигнали зусилля і температури на фізичному рівні після нормуючих перетворювачів мають формат 4-20мА. Зусилля правки є основними даними в системі.

Дані про зусилля правки не вимагають згладжування в часі. Реєстрації підлягає значення зусилля з максимальної дискретизацией - не рідше 1 раз в 0,1 секунду. Температура є повільноплинним процесом з точки зору проходження листа через РПМ.

Дані про температуру в місці установки датчиків зусилля є вторинними даними в системі. Дані про температуру можуть бути згладжені у часі. Реєстрації підлягає значення температури з дискретизацією 1 раз в секунду

Сигнали від нормуючих перетворювачів надходять на програмуемий логічний контролер (ПЛК) SIEMENS S7-300, встановлений в шафі ПЛК.

У прикладному програмному забезпечені (ПО) ПЛК передбачені:

- приведення вимірюваних значень з фізичних в інженерні одиниці;
- фільтрація даних;
- реєстрація та зберігання даних з прив'язкою дата / час за період 7 днів;
- передача даних в прикладне ПО оператора РПМ.

З ПЛК дані по мережі Ethernet передаються на автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора.

У прикладному ПО оператора передбачені:

- прийом даних з прикладного ПО ПЛК системи;
- реєстрація та зберігання даних з прив'язкою дата / час за період не менше 1 рік;
- побудова відеокадров візуалізації поточних і архівних даних в прив'язці до РПМ;
- формування тривожних і аварійних повідомлень про перевищення поточних значень зусилля і температури над заданими;
- реєстрація та зберігання аварійних повідомлень про перевищення поточних значень зусилля і температури над заданими з прив'язкою дата / час за період не менше 1 рік;
- побудова графіків візуалізації поточних і архівних даних і повідомлень в прив'язці до РПМ;
- побудова звітів про архівних даних і повідомлень в прив'язці до РПМ;
- вибір основної / резервний канал вимірювання для відеокадрів / графіків / звітів;
- візуалізація даних і повідомлень для інших користувачів;
- облік обробки листів РПМ за часом і зусиллю правки;
- передача даних в АСУП.

2.9. Програмне забезпечення системи автоматичного проектування.

Система автоматичного проектування РПМ являє собою систему контролю, до складу якої входять мікропроцесорні програмовані контролери Simatic S7-300, датчики, а також персональний комп'ютер зі спеціалізованою програмою візуалізації, призначеної для контролю зусилля навантаження на гвинтах РПМ їх температури, побудованої на основі SCADA-системи WinCC 7.0.

На рис. 2.25 зображено Кадр «Головний екран», який відображає інформацію про технологічний процес роботи РПМ, стан зв'язку з ПЛК і аварійні сигнали. Ці дані надходять по мережі Ethernet від локальної системи АСКУП.

Поле «Кнопки переходу» представляє можливості по переключенню між кадрами процесу, а також квотування (підтвердженню усунення несправності) аварійних станів системи.

На рис. 2.26 зображено Кадр «Налаштування», який служить для діагностики датчиків і вимірювальних каналів, підключених до контролера. Аналогові сигнали розділені на кілька груп відповідно до технології роботи установки.

Для кожного каналу вимірювання аналогового сигналу контролера АСКУП РПМ відображається:

- код сигналу відповідно до схеми автоматизації;

- найменування сигналу;

- значення сигналу в інженерних одиницях;

- код АЦП вимірювального каналу, яке відповідає даному сигналу;

- значення в мА, реєстроване вимірювальним каналом.

В залежностісти від стану, значения аналогового параметра,який реєструє вимірювальний канал, передбачаються колірні комбінації відображення аналогової величини.

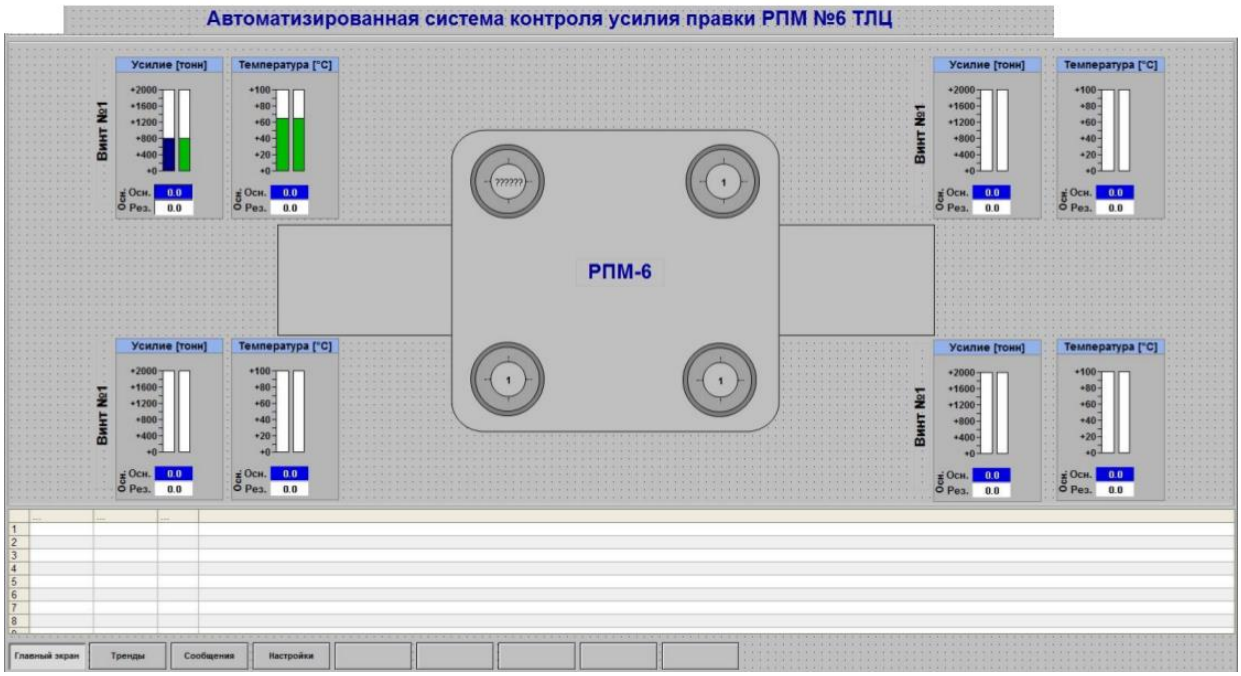

Рисунок 2.25 - Кадр «Головний екран»

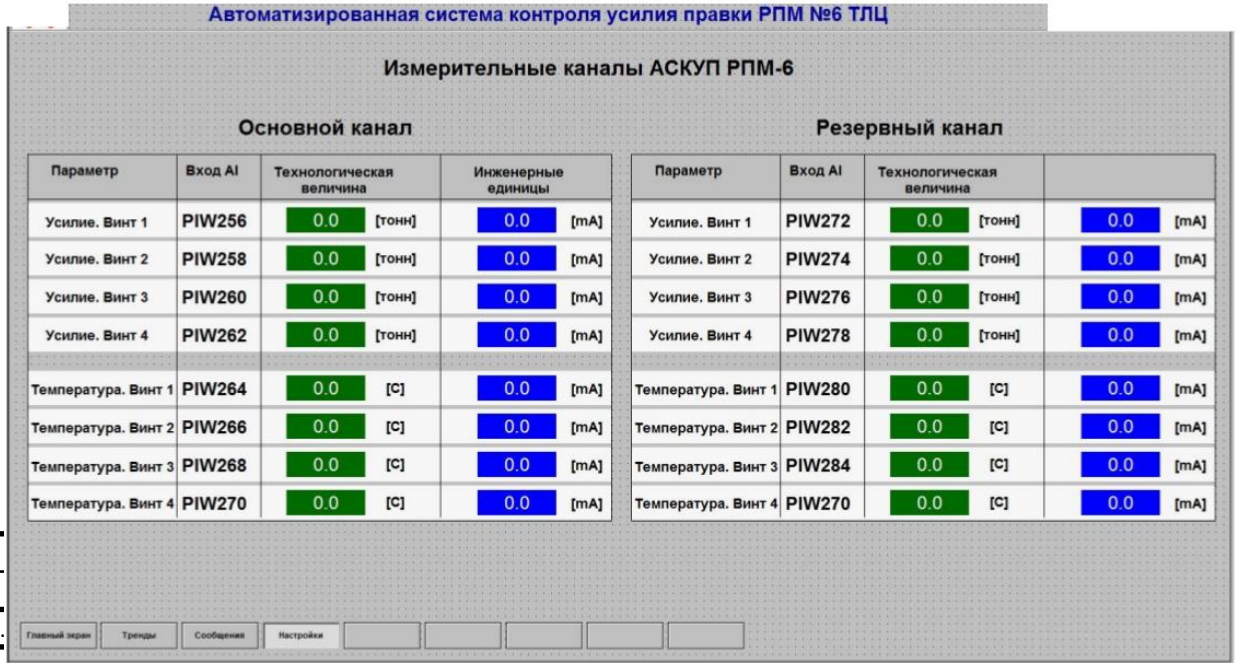

Рисунок 2.26 - Кадр «Головний екран»

др «Налаштування»

3. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

«Компьютерно-інтегрована система контролю граничних напружено-деформаційних станів металургійного обладнання»

3.1 Опис ідеї проекту

Розглянувши в двух попередніх розділах створення компьютерно-інтегровану систему контролю для станів металургійного обладнання, запропоновано створення данної системи і огляд її аналогів. В цьому розділі буде проведено аналіз данного стартап проекту, основна мета якого, полягає у визначенні можливості виходу данного продукту на ринок і проведенні порівняння з аналогічними рішеннями від конкурентів.

У таблиці 3.1 наведено зміст ідеї та базові потенційні ринки збуту, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів для данної системи.[13]

Таблиця 3.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Компьютерно-інтегрована система контролю граничних напружено-деформаційних станів металургійного обладнання	Металургійні підприємства	1. Покращення якості продукції 2. Зменшення кількості виходу з ладу деталей машин 3. Автоматизація контролю вимірювання
	Лабораторії контролю вимірювання зусиль	1. Знаходження оптимальних режимів для обробки металів 2. Оптимізація швидкості

		процесів обробки металу

Отже, пропонується нова компьютерно-інтегрована система контролю граничних напружено-деформаційних станів металургійного обладнання, яка дозволяє автоматизувати котроль за зусиллями навантажень металургійнихстанів і виконує контроль зусиль режиму обробки, а також контроль температур в районі установки датчиків зусиль.

Далі потрібно провести аналіз потенційних техніко-економічних переваг данної ідеї в порівнянні з пропозиціями конкурентів:

− визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

− визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

− проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1 ERHARDT+LEIMER	Конкурент2 ИУТМ	Конкурент3 НМР			
1.	Вартість програмного забезпечення	Низька	Висока	Середня	Висока			+
2.	Торгівельн	Нема	є	є	є	+		

	а марка	є						
3.	Показники скорочення часу	Високі	Високі	Середній	Високі		+	
4.	Показники автоматизації процессу	Високі	Високі	Середні	Високі		+	
5.	Патент на систему	Є	Є	Є	Є		+	
6.	Унікальні рішення для окремих станів	Є	Немає	Немає	Немає			+

Після проведення порівняння характеристик запропонованної системи з конкурентами було визначено слабкі, сильні та нейтральні характеристики і властивості ідеї автоматизованої системи, що вважаеться підґрунтям для вормування його конкурентоспроможності. Товар має патент на винахід і має захист від копіювання, але в разі стрворення унікального рішення для окремих станів, потрібно патентувати кожну систему окрему.

3.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (методику отримання зусиль, мови програмування для створення програми розрахунку навантажень), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проек-ту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність техно-логій

1	Оптимізація режимів роботи станів	Технології визначення режимів зусиль	Наявні	Доступні
2	Легка адаптивність до різних видів станів	Технологія планування виробництва	Не наявні	Не доступні

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект можно реалізувати, виходячи з того, що технології для оптимізації роботи станів є в наявності і не потрібно залучати великі суми коштів від інвесторів. Але потрібно враховувати, якщо нам потрібно строрити адаптивну систему для певного підприємства, може виникнути проблема, що не всі технології для адаптивності системи створені. Тому для різних станів потрібно проводити дослідницьку роботу і створювати нові технології, а для цього потрібні кошти інвесторів..

Тому для створенні стандартної системи мі маємо всі технології у доступності, а для створення адаптивних систем під певний стан потрібно залучати кошти інвесторів і проводити дослідницьку роботу.

3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартаппроекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє розрахувати подальші напрямки розвитку проекту із урахування стану ринкового середовища, пропозицій рішень конкурентів, попиту потенційних клієнтів (великих металургійних підприємств).

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика

1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	5 000 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стагнує
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Невелика кількість клієнтів, монополізація ринку
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	75%

За попередньою оцінкою ринок має стогнуючу динаміку, невеликий попит на запропонований продукт і велику монополізацію ринку окремими фізичними підприємцями (науковцями, спеціалістами в галузі вимірювань), які мають контакти с технічними командами підприємств. Ринок є привабливим для входження, хоча ми і будемо мати велику конкуренцію, але за рахунок автоматизації систем для загальних металургійних станів та створенню адаптивних систем під будь-які стани наш продукт є конкурентноспроможним.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 3.5).

Таблиця 3.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Визначення найкращих режимів вимірювання зусиль для металургійних станів	Великі металургійні підприємства	Для кожного окремого підприємства потрібно створювати окремі системи вимірювання	Покращення якості продукції та зменшення кількості виходу з ладу деталей машин

Потенційною групою клієнтів для нашого продукту маю стати великі металургійні підприємства, які отримають вигоду у покращенні якості продукції, автоматизації вимірювань

При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 3.6).

Найбільшою загрозою являється стогнуючий стан ринку, а також невелика кількість підприємств, яким потрібна наша система. Також проблема ймовірності збоїв роботи системи і не бажання великих підприемств переходити на інші технології.

Таблиця 3.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Наявність аналогічних систем у конкурентів	Отримання більшої кількості клієнтів за рахунок зменшення ціни
2.	Старіння	Можлива поява більш якісних систем	Моніторинг трендів на ринку та постійні технологічні новації
3.	Відсутність попиту	Не бажання великих підприємств переходити на нові технології	Реклама, спілкування з технічними спеціалістами підприємств
4.	Обслуговування	Можливість збоїв роботи системи	Автоматизований контроль помилок системи
5.	Технічний	Відсутність спеціалістів та аналогів в данній області	Пошук нових кадрів, підвищення кваліфікаціх для теперешніх кадрів

В таблиці 5.6 ми визначили загрози, які передшкоджають ринковому впровадженню данного продукту, а також реакцію данної компанії, щоб звести до мінімальних значень їх вплив. Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 3.7).

Таблиця 3.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Попит	Мала конкуренція на	Модернізація продукту,

		ринку	впровадження нових ідей
2.	Політико-правові	Збільшення ринків збуту	Вихід на світові ринки
3.	Економічні	Політика протекціонізму, підтримка виробництва державою	Зниження ціни на продукт, зменшення податків
4.	Науково-технічні	Зміна технології виготовлення	Впровадження нової технології змінить вартість товару
5.	Покращення іміджу компанії	Збільшення кількості контактів потенціальних покупціх	Розширення компанії

В таблиці 3.7. ми визначили фактори можливостей, які будут сприяти ринковому впровадженню данного продукту, а також можливості для компанії і її реакцию на той чи інший фактор можливостей.

В таблиці 3.8. приведено ступеневий аналіз конкуренції на ринку, як проявляються данні характеристики и вплив діяльності подприємства на конкурентоспроможність.

Таблиця 3.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Монополія	Домінація окремих спеціалістів для розробки окремих систем	Виготовлення більш якісної системи, рекрутинг спеціалістів до компанії
2.Національний	Конкуренція фірми на міжнародному ринку	Реклама продукції на іноземних форумах та виставках
3. Міжгалузева	Виробники виготовляють продукцію, яка задовольняє різні потреби	Виготовлення товару с кращою якістю и меншою ціною
4. Товарно-видова	Різноманітні товари для різних потреб	Розробка нових технологій

5. Цінова	Зменшення ціни для підвищення кількості проданих товарів	Підвищення якості продукту, зменщення ціни

В данній таблиці ми проаналізували ринки збуду для нашого продукту і визначили головні риси конкурентів на ньому.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти
	ERHARDT+LEIMER, ИУТМ		Хотінжер, ЗЕМИК	Великі металургійні підприємства
Висновки	Велика інтенсив-ність кон-курентної боротьби за окремі підприємства	Є можливості і звязки для входу в ринок, які не використо-вуються	Пошук нових постачальників датчиків	Диктують вимоги до ціни і якості продукту

Отже, відповідно до наведеної вище таблиці аналізу конкуренції за М.Портером головними силами, які впливають на конкуренцію є споживачі і постачальники.

Таким чином в структурному підходу до аналізу, ми бачимо, що тип конкуренції – монополістична при маломій кількості споживачів.

Після всіх аналізів ми визначаємо та обґрунтовуємо перелік факторів конкурентоспроможності. Проект впропадженно у виробництво на одному с підприємств України і наступною цілью є пошук нових покупців для нашого продукту.

Таблиця 3.10.Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів

		значущим)
1	Точність	Більша точність вимірювань
2	Автоматизація	Автоматизація вимірювання
3	Якість	Підвищення якості продукції
4	Новизна	Нові технології для здешевлення продукції
5.	Ціна	Менша ціна в порівнянні з конкурентами

В таблиці 3.10 на основі аналізу проведеного в таблиці 3.9 було визначено та обгрунтовано основні фактори конкурентоспроможності проекту.

Таблиця 3.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Power_analys»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ИУТМ						
			–3	–2	–1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патентів	14		+					
2	Велика кількість постачальників	16				+			
3	Висока якість	17					+		
4	Технічна підтримка	14		+					
3.	Ціна	19							+

З таблиць 3.10 та 3.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності мають великий позитивний внесок при створенні нової системи контролю станів. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та низька ціна для споживача. Це дає перевагу над аналогічними системами і завдяки цьому, проект може стати успішним на ринку.

Таблиця 3.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: - Вартість програмного забезпечення - Краща якість продукту - Підвищення продуктивності - Відсутність аналогів для де-яких металугрійних станів	Слабкі сторони: - Продук, який не є дуже відомим на ринку - Потрібні великі інвестиції для підвищення рівня бренду - Стогнуючий ринкок, невелика кількість підприємств, яким потрібна система
Можливості: 1. Збільшення продаж; 2. Отримання державних замовлень для	Загрози: 1. Цінова конкуренція в зв’язку з появою нових гравців на ринку.

державних підприємств; 3. Розширення ринку за рахунок іноземних замовників; 4. Зменшення податкового тиску, отримання тендерів на послуги.	2. Залежність від курсу гривні 3. Поява нових технологій у конкурентів 4. Політичні ризики, через нестабільну ситуаціх; 5. Втрата клієнтів через неякісну технічну підтримку; 6. Зменшення продажів через різні фактори.

В таблиці 3.12. наведено перелік слабких та сильних сторін проекту. Ринкові загрози та можливості складаємо на основі факторів можливостей та загрол, які ми приводили у таблицях вище. Ринкові можливості та загрозу на відміну від факторів не є реалізованими на ринку та мають певну вірогідність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для створення необхідних умон для виведення проекту на ринов в орієнтований час їх ринкової реалізації з урахуванням потенційних проектів конкурентів, що можуть будути запущені.

Таблиця 3.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	12 місяців
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	2 роки
3	Стратегія виходу з ринку	Середня	2 роки

Після проведення нами альтернатив ринкового впровадження стартап-проекту, треба обрати ту, яка має більшу вірогідність отримання грошових ресурсів, а також є найшвидшою і оптимальнішою в реалізації. З зазначених

альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 3.14.Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Державні підприємства	Готові	Середній попит	Середня	Низька
2	Приватні підприємства	Готові	Середній попит	Середня	Висока
3	НДІ	Готові	Середній попит	Середня	Середня
Цільові групи обрано: Під час аналізу потенційних груп споживачів було визначено, що основними группами будуть приватні металургійні підприємства.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, яким ми будемо пропонувати свої послуги для створення систем контролю станів металургійного обладнання для оптимізації процесів виробництва. Наша стратегія будет — диференційованого маркетингу, виходячи з того, що ми працюємо з конкретним сегментом ринку і розробляємо програму ринкового впливу виходячи с наявної інформації.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 3.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до	Базова стратегія розвитку*

			обраної альтернативи	
1	Rомпенсація слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.	Надання унікального товару для кожного підприємства	Залучення айкращих розробників технічного і програмного забезпечення. Меньше ціна в порівнянні з конкурентами	Стратегія диференціації

За основну стратегію розвитку буде взято стратегію диференціації, яка передбачає надання готовому товару унільних властивостей виходячи з потреб кожного окремого підприємства, що робить наш товар відмінним від конкурентів.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 3.16).

Таблиця 3.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1.	Проєкт є “першопрохідцем”	Компанія буде шукати нувих споживачів серед приватних металургійних підприємств	Не буде копіювати	Стратегія заняття вільної ніші

За базову стратегію буде прийнята стратегія заняття вільнох ніші, коли в якості цільового ринку буде обрано один сегмент малого розміру. Головне завдання — це постійна турбота про наявних клієнтів, а також пошут нових. Головною перевагою являється стату “першопрохідця” на нашому ринку і менша ціна від продукції можливих конкурентів.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальників і готового продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціювання яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект

Таблиця 3.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Висока точність вимірювання і адаптивність до будь-якої системи	Стратегія диференціації	Висока якість продукту та точність.	Якість.Ціна. Технічна підтримка.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає, що компанія буде працювати за стратегією диференціації і головними критеріями конкурентоспроможності будуть якість, точність та ціна.

3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 3.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 3.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Створення програмного забезпечення для оптимізації	Збільшення якості виробу, зменщення кількості аварій	Постійна підтримка та оновлення. Постійне вдосконалення алгоритму розрахунку та знаходження нових режимів

	контролю станів.	на станах	

За рахунок переваг данного товару і обраної маркетингової стратегії, що передбачає надання товару унікальних можливостей для споживача за нижчою ціною ніж у конкурентів буде розроблено маркетингову програму стартап-проекту.

Таблиця 3.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Компьютерно-інтегрована система контролю граничних напружено-деформаційних станів металургійного обладнання Переваги : - підвищення якості заготівок; - збільшення швидкості виготовлення продукції; - зменшення кількості аварій станів;		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Економічні 2. Призначення 3. Надійність 4. Технологічні 5. Транспортабельні 6. Безпека	Нм Нм М М М М	Вр Тх Тл Тх Тх Тх
	Якість: відповідає нормам ДСТУ2499:2017		
	Пакування: встановлення готової система з програмним забезпечення співробітниками проекту		
	Марка: назва організації-розробника		
III. Товар із підкріпленням	Росповсюдження реклами		
	Після продажу технічна підтримка співробітниками проекту		

В таблиці 3.19. було створено трьох-рівневу модель нашого товару, що включає ідею товару та його переваги, основні характеристики готового товару, критерії якості і спосіб пакування.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 3.20).

Таблиця 3.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	1 000 000 грн	500 000 грн	Високий	200 000 — 2 000 000 грн

В таблиці 3.20 було проаналізовано рівень ринкових цін на товари-замінники і товари-аналоги, а також середній рівень доходів цільовох групи. За отриманими данними було встановлено нижню і верхню межу ціни на нашу систему.

Таблиця 3.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Модифікована закупівля. Кількість, ціна та послуги змінюються в залежності від клієнта.	Доставка товару на підприємства, його встановлення, подальше налаштування і калібрування	Канал нульового рівня	Власна система. Виробник продає товар клієнту на пряму і використовує різні способи прямого продажу

Виходячи с специфічною закупівельної поведінки цільових клієнтів, було обрано власну систему збуту, коли виробник продає товар клієнту через власні канали збуту. Доставка товару відбувається одразу на підприємство з подальшим встановленням, налаштуванням і калібруванням.

Таблиця 3.22. Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка	Канали	Ключові	Завдання	Концепція

п/п	поведінки цільових клієнтів	комунікацій, якими користуються цілові клієнти	позиціх, обрані для позиціонування	рекламного повідомлення	рекламного звернення
	Перегляд інформаційних ресурсів компаній-конкурентів із якісними товарами	Пофесійні виставки, рекламні статті, інтернет ресурси	Доступність та правдивість інформації про компанію та товар	Створення інформаційного фону про нові системи та формування бренду компанії	Висока якість, низька ціна, універсальний підхід до кожного клієнта

Висока якість готової системи і низька ціна в порівнянні з конкурентами є основною концепцією товару, за рахунок яких він буде конкурентоспроможним.

На основі поведінки клієнтів було обрано власну систему збуту товару, тобто коли виробник продає товар напряму клієнту.

Ціноутворення основується на основі аналізу аналогів і встановлюється в момент фінансово-економічного аналізу проекту.

3.6 Висновок до стартап проекту

В данному розділі було проведено аналіз нової компьютерно-інтегрованої системи контролю граничних напружено-деформаційних станів металургійного обладнання, яка дозволяє автоматизувати котроль за зусиллями навантажень металургійних станів і виконує контроль зусиль режиму обробки, а також контроль температур в районі установки датчиків зусиль.

Було проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг данної ідеї в порівнянні з пропозиціями конкурентів: вартість програмного забезпечення, показники скорочення часу, показники автоматизації процессу, унікальні рішення.

Проаналізувавши технологічну здійсненість проекту, можна зробити висновок що наш проект можно реалізувати, виходячи з того, що технології для оптимізації роботи станів є в наявності і не потрібно залучати великі суми

коштів від інвесторів. Але потрібно враховувати, якщо нам потрібно створити адаптивну систему для певного підприємства, може виникнути проблема, що не всі технології для адаптивності системи створені. Тому для різних станів потрібно проводити дослідницьку роботу і створювати нові технології, а для цього потрібні кошти інвесторів.

За проведеною попередньою оцінкою, ринок має стогнуючу динаміку, невеликий попит на запропонований продукт і велику монополізацію ринку окремими фізичними підприємцями (науковцями, спеціалістами в галузі вимірювань), які мають контакти с технічними командами підприємств. Ринок є привабливим для входження за рахунок автоматизації систем для загальних металургійних станів та створенню адаптивних систем під будь-які стани наш продукт є конкурентноспроможним.

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок що продукт є конкурентноспроможним і його подальша реалізація є доцільною за рахунок сильних сторін і наявного попиту на універсальні системи контролю.

Висновок

Розроблена комп'ютерно-інтегровану систему контролю граничних напружено-деформаційних станів металургійного обладнання, яка повністю відповідає вимогам завдання завданння на магістрерську дисертацію.

В магістерській дисертації були виконані наступні етапи :

1. Проведено огляд та систем контролю напружено-деформаційних станів;
2. Визначено основниі параметри правки та вплив різних факторів на її якість;
3. Розраховано основні параметри та характеристи системи вимірювання зусиль і розрахунку радіуса крипизни, кривизни середнньої лінії листа в точках торкання листа з робочими роликами і кутів між точками дотику листу і роликів семироликової листоправильної машини за допомогою спеціально розробленої програми;
4. Проведено аналіз статичної та динамічної характеристики математичної моделі;
5. Проведено експерементального дослідження фольгового тензорезисторного датчику на стиснення;
6. Розробленно програмне забезпечення, для контролю експерементального дослідження;
7. Розроблено комп'ютерно-інтегровану SCADA систему для контролю правки зусилля правки листа і температур в районі установки датчиків зусилля на роликоправильній;
8. Було проведено розробку стартап проекту на тему магістерської дисертації.

Література

1. Специальные прокатные станы / Под ред. А. И. Целикова. М., 1971; Королев А. А. ;
2. Прокатные станы и оборудование прокатных цехов. 2-е изд. М., 1981; Технологические процессы машиностроительного производства. М., 2010; Гузенков С. А. и др.;
3. Новые материалы для валков прокатных станов // Все материалы: Энциклопедический справочник. 2013. № 5.;
4. Расчет приборов давления. Методические указания по дисциплине ≪Приборы для измерения давления и расхода≫ для студентов приборостроительных специальностей / Сост.: А.К. Никитин, В.Н. Зайцев, В.Н.Григорович.- Киев: КПИ, 1985. - 284 с.;
5. Правка листового и сортового металла (технология и оборедование). Слоним А.З., Сонин А.Л. М., ≪Металлургия≫ 1981, 232 с.;
6. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листоправильной машине. Шишкин В.Н. Журнал ≪Молодой учёный≫ №3 (107) / 2016.;
7. Методы и средства измерения силы. Чаленко Н.С.- М.: Издательство стандартов, 1991, - 171с.;
8. Методы и стредства аттестации, поверки и испытания силоизмерительных приборов. Вишенков А.С. - М: Издательство стандартов, 1985, - 184с.;
9. Машина испытательная универсальная TIRAtest 2300 – Режим доступу: https://all-pribors.ru/opisanie/60341-15-tiratest-2300-71465 – Назва з екрана.;
10. Метод подобия в теории прокатки/ Смирнов В.С., Григорьев А.К., Карачунский А.Д., Мельничук О.Я.- Л.: Наука, 1971.
11. Терминология:Датчик тензорметрический (тернорезисторний) полномостовой – Режим доступу: http://www.lcard.ru/lexicon/r_strain_sens_4x4 - Назва з екрана.

12. Методичні рекомендації до підготовки та захисту атестаційних робіт для студентів напрямку підготовки 6.051003 Приладобудування спеціальностей:7.05100302, 8.05100302 – Прилади і системи точної механіки та 7.05100306,8.05100306 – Інформаційні технології в приладобудуванні/Укладачі:О.К. Нікітін, В.М. Зайцев. – К.: НТУУ «КПІ», 2015 – 227 с.
13. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістрерських досертацій для студентів інженерних спеціальностей/ За заг.ред О.А. Гавриша – Київ-НТУУ «КПІ», 2016. – 28с.

Додатки

Додаток А. Значення експериментів для першого тензодатчика.

Сила	Експеримент 1	Експеримент 2
0	0	0
0,13245	0,0061	0,0187
0,27283	0,0092	0,0248
0,27283	0,0122	0,0342
0,41443	0,0152	0,0435
0,55298	0,0215	0,0527
0,97534	0,0308	0,062
1,25977	0,0403	0,0681
1,539	0,0497	0,0775
1,96411	0,0619	0,0836
2,24243	0,0741	0,0926
2,66205	0,0865	0,1015
2,94098	0,0987	0,1108
3,21838	0,108	0,1196
3,35785	0,1171	0,1255
3,76801	0,1171	0,1344
4,03748	0,1375	0,1427
4,30206	0,1465	0,1514
4,68781	0,1576	0,1594
4,93317	0,1658	0,1677
5,17395	0,1764	0,1755
5,53101	0,1839	0,1833
5,75714	0,1938	0,1908
5,97168	0,1938	0,1982
6,18378	0,2055	0,2054
6,39313	0,2055	0,2102
6,60034	0,2223	0,2102
6,85394	0,2223	0,2102
7,12708	0,2374	0,2325
7,3996	0,2467	0,2413
7,67548	0,2467	0,2504
7,94769	0,2651	0,2596
8,09021	0,2711	0,2658
8,35693	0,2798	0,2747
8,62061	0,2888	0,2832
8,88336	0,2976	0,2919
9,27429	0,3057	0,2974
9,51508	0,316	0,3057
9,52057	0,3151	0,3137

Додаток Б. Значення експериментів для другого тензодатчика.

Сила	Експеримент 1	Експеримент 2
0	0	0
0,13245	0,0009	0,0073
0,27283	0,0091	0,015
0,27283	0,0172	0,0204
0,41443	0,0254	0,0282
0,55298	0,0339	0,0363
0,97534	0,0424	0,0447
1,25977	0,0481	0,0506
1,539	0,0655	0,0591
1,96411	0,0655	0,0675
2,24243	0,0741	0,076
2,66205	0,0884	0,097
2,94098	0,0884	0,097
3,21838	0,1044	0,097
3,35785	0,1044	0,1015
3,76801	0,1159	0,1082
4,03748	0,1159	0,1153
4,30206	0,1248	0,1225
4,68781	0,132	0,1298
4,93317	0,1421	0,1377
5,17395	0,1498	0,1449
5,53101	0,1604	0,1527
5,75714	0,1685	0,1607
5,97168	0,1883	0,1689
6,18378	0,1883	0,1773
6,39313	0,197	0,183
6,60034	0,2059	0,1914
6,85394	0,2178	0,2001
7,12708	0,2295	0,2086
7,3996	0,2417	0,2173
7,67548	0,253	0,2231
7,94769	0,2621	0,2318
8,09021	0,2712	0,2378
8,35693	0,2801	0,2468
8,62061	0,2864	0,2557
8,88336	0,2891	0,2646
9,27429	0,2921	0,2736
9,51508	0,2951	0,2794
9,52057	0,3011	0,2888

Додаток В. Значення експериментів для третього тензодатчика.

Сила	Експеримент 1	Експеримент 2
0	0	0
0,13245	0,0003	0,0003
0,27283	0,0024	0,0003
0,27283	0,0024	0,0006
0,41443	0,0033	0,0009
0,55298	0,0033	0,0009
0,97534	0,0033	0,0015
1,25977	0,0036	0,0018
1,539	0,0039	0,0024
1,96411	0,0039	0,003
2,24243	0,0042	0,0072
2,66205	0,0051	0,0072
2,94098	0,0051	0,0072
3,21838	0,0063	0,0078
3,35785	0,0063	0,0096
3,76801	0,0075	0,0102
4,03748	0,0075	0,0111
4,30206	0,0078	0,012
4,68781	0,0093	0,0126
4,93317	0,0096	0,0129
5,17395	0,0099	0,0129
5,53101	0,0108	0,0135
5,75714	0,0126	0,0135
5,97168	0,0156	0,0147
6,18378	0,0156	0,0156
6,39313	0,0171	0,0159
6,60034	0,0183	0,0165
6,85394	0,0189	0,0168
7,12708	0,0201	0,0174
7,3996	0,0231	0,018
7,67548	0,0231	0,0198
7,94769	0,0255	0,0222
8,09021	0,0258	0,0237
8,35693	0,0273	0,0252
8,62061	0,0276	0,0273
8,88336	0,0276	0,0294
9,27429	0,0279	0,0309
9,51508	0,0282	0,0318
9,52057	0,0297	0,0321