

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Удосконалення розривної машини

РТ 250М - 2

Назва теми

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Шифр, назва

Освітня програма «Галузеве машинобудування»

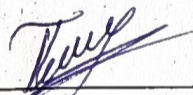
Шифр МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу  
група МБм-24-1

  
Підпис

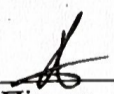
Рудківський О.О.  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

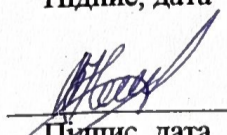
доц. Поліщук А.О.  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

С.І. Пундик  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

  
Підпис, дата

доц. Неймак В.С.  
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

10 12 2025 р.

Хмельницький 2025

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту і архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем  
Освітній рівень магістр  
Галузь знань 13 «Механічна інженерія»  
Шифр і назва  
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»  
Шифр і назва  
Освітня програма «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к.т.н. доц. Неймак В.С.

*Неймак* 10.12.2025р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Рудківський Олександр Олегович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Удосконалення розривної машини РТ 250М - 2

керівник роботи докт. філос., доц. Поліщук А.О.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 25 08 2025 р. № 65

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10.12.2025

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики розривних машин - аналогів

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Удосконалення розривної машини для дослідження властивостей швейних та взуттєвих матеріалів. 3. Розробка стенду для дослідження матеріалів на розтяг. Висновки. Перелік джерел посилення.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Розривні машини. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Датчики. Документ оглядовий (A1). Аркуш 3. Розривна машина РТ-250М-2. Схема кінематична (A2) + Силівимірювальна система. Схема кінематична (A2) Аркуш 4. Удосконалена розривна машина. Габаритне креслення (A1). Аркуш 5. Блок-схема фіксації результатів. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 6. Стенд для дослідження матеріалів на розрив. Документ ілюстраційний (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

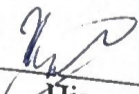
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	до 29.10.24р.	
2. Удосконалення розривної машини для дослідження властивостей швейних та взуттєвих матеріалів	до 11.11.24р.	
3. Розробка стенду для дослідження матеріалів на розтяг	до 21.11.24р.	
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	до 12.12.24р.	

Студент

  
Підпис

Керівник роботи

  
Підпис

О.О. Рудківський  
Ініціали, прізвище

А.О. Поліщук  
Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента  
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Рудківський Олександр Олегович

2. Тема магістерської роботи Удосконалення розривної машини РТ 250М - 2

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента \_\_\_\_\_

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 6 арк., сторінок записки 69

5. У сучасних умовах зростають вимоги до якості продукції, її довговічності та відповідності нормативним показникам, що потребує використання високоточного обладнання для визначення механічних характеристик матеріалів. Удосконалення розривних машин та впровадження автоматизованих систем фіксації результатів дозволяє зменшити похибки вимірювання, підвищити відтворюваність експериментів, скоротити тривалість випробувань і забезпечити цифрову обробку даних. Це сприяє оптимізації технологічних процесів, удосконаленню конструкцій матеріалів, покращенню контролю якості та підвищенню ефективності виробництва. Отже, тема магістерської роботи є актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору.

В роботі удосконалено розривну машину для дослідження властивостей швейних та взуттєвих матеріалів. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. В другому здійснено удосконалення розривної машини для дослідження властивостей швейних та взуттєвих матеріалів. В третьому розділі виконано розробку стенду для дослідження матеріалів на розтяг.

Підпис студента 

" 10 " 12 2025 р.

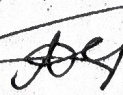
## РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 1 від " 18 " 12 2025 р.

Оцінка проекту ЕК добре 1С 178

Рекомендації ЕК -

Особливі відмітки -

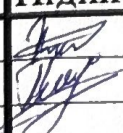
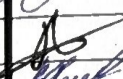

Технічний секретар Тіжкова Д.В. 

" 29 " 12 2025 р.

## ЗМІСТ

		стор.
	Вступ	6
1	Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	8
1.1	Методики дослідження процесів розриву матеріалів	8
1.2	Прилади для фіксації результатів у розривних системах	11
1.3	Обладнання для дослідження процесів розриву матеріалів	13
1.4	Силувимірювальні датчики для розривних машин	23
<del>1.5</del>	Висновки до першого розділу	27
2	Удосконалення розривної машини для дослідження властивостей швейних та взуттєвих матеріалів	29
2.1	Обґрунтування необхідності удосконалення розривної машини	29
2.2	Кінематична схема розривної машини РТ-250М-2	31
2.3	Елементи удосконалення розривної машини	35
2.4	Кінематична схема удосконаленої силувимірювальної системи	37
2.5	Розробка конструкції удосконаленої розривної машини	40
2.6	Загальний вигляд удосконаленої розривної машини	43
2.7	Технічні характеристики удосконаленої розривної машини	45
2.8	Принцип роботи удосконаленої розривної машини РТ-250М-2	46
2.9	Удосконалення електричної схеми розривної машини	48
<del>2.10</del>	Висновки до другого розділу	50
3	Розробка стенду для дослідження матеріалів на розтяг	52
3.1	Розробка структурної схеми стенду	52
3.2	Вибір аналогово-цифрового перетворювача	54

MPMA25.00.00.000 ПЗ

Вм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Рудківський			Удосконалення розривної машини РТ250М - 2 Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Поліщук				М	4	69
Н.контр. Затвер.		Неймак				ХНУ гр.МБм-24-1		

3.3	Розробка стенду для дослідження матеріалів на розрив	56
3.4	Розробка блок-схеми фіксації результатів дослідження	58
3.5	Методика проведення випробовувань на стенді для дослідження матеріалів на розрив	61
3.6	Висновки до третього розділу	63
	Висновки	65
	Перелік джерел посилання	67
	Додаток А	

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

5

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

3.3	Розробка стенду для дослідження матеріалів на розрив	56
3.4	Розробка блок-схеми фіксації результатів дослідження	58
3.5	Методика проведення випробовувань на стенді для дослідження матеріалів на розрив	61
3.6	Висновки до третього розділу	63
	Висновки	65
	Перелік джерел посилання	67
	Додаток А	

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Сучасний рівень розвитку промисловості, науки та інженерії зумовлює постійне зростання вимог до властивостей матеріалів, що застосовуються у виробництві продукції різного призначення — від елементів легкої промисловості до складних машинобудівних конструкцій. Забезпечення надійності, довговічності, безпечності та стабільності роботи виробів можливе лише за умови глибокого розуміння їхньої поведінки під дією механічних навантажень, зокрема статичних, динамічних, циклічних або комбінованих. У зв'язку з цим механічні випробування залишаються фундаментальним методом дослідження матеріалів, дозволяючи визначити їхню міцність, деформативність, жорсткість, опір руйнуванню та інші характеристики, що мають ключове значення для подальшого конструювання та експлуатації виробів.

У наукових, навчальних та промислових лабораторіях для проведення таких випробувань застосовуються розривні машини різних типів [1]. Вони забезпечують формування контрольованого навантаження й реєстрацію реакції зразка у вигляді сили, переміщення та деформації. Однак значна частина машин, що експлуатуються сьогодні, була розроблена десятиліття тому й обладнана застарілими механічними або гідравлічними силовимірювальними системами. Їх точність, швидкодія та можливості оброблення даних значно поступаються сучасним тензOMETричним і цифровим технологіям. Через це виникає потреба в модернізації існуючих установок, спрямованій на підвищення точності, відтворюваності та розширення функціональних можливостей випробувального обладнання.

Особливої ваги це набуває в галузях легкої промисловості, де матеріали часто характеризуються складною структурою, а їх механічні властивості істотно залежать від швидкості навантаження, умов закріплення, температури та попередньої історії деформацій. Точність вимірювань у таких випадках визначає коректність оцінки якості продукції, надійність технологічних процесів і можливість упровадження нових матеріалів та виробів.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

У цьому контексті модернізація розривної машини є вкрай актуальною. Такі зміни не лише підвищують точність і стабільність вимірювань, але й забезпечують можливість широкого використання обладнання в навчальних і дослідницьких цілях, у тому числі для тестування матеріалів швейної та взуттєвої промисловості.

Отже, актуальність даної магістерської роботи полягає в необхідності створення удосконаленої розривної машини з підвищеною точністю та розширеними функціональними можливостями, здатної забезпечити достовірні результати випробувань у відповідності до сучасних вимог матеріалознавства та технологій легкої промисловості.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

## 1.1 Методики дослідження процесів розриву матеріалів

Механічні випробування матеріалів [2, 3] є ключовим інструментом для оцінювання їхньої поведінки в умовах реальної експлуатації. У промисловості деталі машин, механізмів та конструкцій зазнають різних за характером навантажень: сталих, змінних, імпульсних, ударних, а також таких, що супроводжуються впливом високих чи низьких температур, вологості або агресивних середовищ. Усі ці чинники створюють складні напружено-деформовані стани, які можуть суттєво знижувати надійність та довговічність виробів. Тому для отримання достовірної інформації про властивості матеріалів застосовують різноманітні методики випробувань, спрямовані на визначення міцності, деформативності, пластичності, опору удару, зношування, повзучості та інших характеристик.

Найпоширенішими є статичні та динамічні механічні випробування. Статичні випробування передбачають дію сили, яка залишається сталою або змінюється настільки повільно, що інерційними ефектами можна знехтувати. У таких умовах матеріал перебуває у квазістатичному стані, що дозволяє точно визначити основні параметри його поведінки – модуль пружності, границі пропорційності та плинності, тимчасовий опір, відносне подовження до моменту руйнування. Динамічні випробування, навпаки, проводяться за умов швидкої зміни навантаження: матеріал піддають удару, імпульсному зусиллю або дії сили, що різко наростає. Такі методики дозволяють встановити ударну в'язкість, швидкісну чутливість та характер поведінки матеріалу в умовах короткочасних екстремальних впливів.

Важливе місце серед методів механічних випробувань посідають досліди на втомлюваність, які відтворюють дію періодичних або циклічних навантажень. У цьому випадку матеріал може руйнуватися навіть при рівнях напружень, значно нижчих за статичну міцність, що є характерним для багатьох конструкцій, вузлів

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

і виробів, зокрема текстильних та взуттєвих компонентів. Випробування на повзучість застосовують для матеріалів, які працюють за підвищених температур або протягом тривалих періодів під дією сталої сили. У таких умовах відбувається повільне зростання деформації, що з часом може призвести до втрати працездатності. Окремо досліджують зношування поверхонь матеріалів, оскільки тертя й абразивні навантаження суттєво впливають на довговічність багатьох деталей та елементів.

Найбільш поширеним базовим методом механічних випробувань є статичне випробування на розтягування [2, 3]. Під час такого випробування зразок піддається одноосному розтягувальному навантаженню, яке зростає до моменту руйнування. Зразки для випробувань мають стандартизовану форму: вони складаються з робочої частини, де формується однорідний напружений стан, і головок, призначених для встановлення в захватах розривної машини. Для листових матеріалів, текстильних і полімерних зразків використовують плоскі смуги визначеної ширини та довжини. Для металів найчастіше застосовують круглі або плоскі циліндричні зразки. Всі основні розміри регламентовані стандартами, що забезпечує відтворюваність та порівнюваність результатів.

Розривні машини, які використовують для таких випробувань, мають два основних вузли: навантажувальний та силовимірювальний. Навантажувальний вузол створює необхідну силу розтягування за допомогою гвинтової або гідравлічної системи, тоді як силовимірювальний фіксує величину прикладеної сили. У сучасних машинах до них додаються реєструвальні пристрої, які формують діаграми «навантаження – переміщення» або «навантаження – деформація», що дозволяє аналізувати повний цикл деформування зразка [4].

У класичних розривних машинах з механічним приводом навантаження створюється електродвигуном через систему черв'ячних та зубчастих передач, що приводять у рух гвинт, який через гайку переміщує траверсу із затискачем. Максимальні навантаження таких машин можуть досягати десятків кілоньютонів, що дає змогу випробовувати широкий спектр матеріалів. Силовимірювальний вузол

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

у механічних машинах часто виконується у вигляді важільно-маятникового механізму: прикладене навантаження викликає поворот маятника, а пов'язана з ним стрілка переміщується по шкалі. Точність вимірювання визначається жорсткістю важільної системи, відсутністю тертя в шарнірах та точністю калібрування.

Діаграмні механізми в механічних машинах фіксують криву розтягування шляхом перемотування паперу на барабані синхронно з деформацією зразка, тоді як перо, пов'язане зі стрілкою-показчиком, малює траєкторію зміни навантаження. У сучасних розривних системах цей підхід був замінений електронною реєстрацією, що дозволяє суттєво підвищити точність та швидкість оброблення даних.

Методики дослідження процесів руйнування матеріалів ґрунтуються на кількох основних теоретичних положеннях. Одне з них передбачає, що реальний матеріал містить внутрішні дефекти – мікротріщини, пори, неоднорідності. Руйнування настає тоді, коли напруження в околі найбільш небезпечного дефекту перевищує допустимий рівень. Інше теоретичне положення розглядає руйнування як процес, що триває в часі і розвивається поступово: спочатку формується локальна зона критичної деформації, а згодом вона поширюється на сусідні ділянки. Таке трактування пояснює, чому зразки менших розмірів демонструють більшу міцність: ймовірність наявності небезпечних дефектів у них суттєво менша. Ще одна група теоретичних уявлень пов'язує процес руйнування з тепловим характером руху структурних елементів матеріалу. Механічне навантаження у цьому випадку лише знижує енергетичний бар'єр руйнування, тоді як безпосередній розрив міжатомних зв'язків є результатом теплових флуктуацій. На основі таких закономірностей вводиться поняття довговічності – часу, протягом якого матеріал здатний витримувати деяке навантаження без руйнування.

Враховуючи різноманіття умов, у яких працюють текстильні, швейні та взуттєві матеріали (згинальні деформації, повторювані цикли навантаження, локальні розтягування, тертя), важливо застосовувати комплексну систему методів дослідження, що дозволяє адекватно оцінити їхню міцність, пластичність, залиш-

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

кові деформації, опір втомі та руйнуванню. У сучасних матеріалознавчих дослідженнях методики випробувань будуються з урахуванням як класичних положень механіки, так і сучасних уявлень про структуру, кінетику руйнування, вплив температури та швидкості деформування [2, 3]. Це забезпечує достовірність отриманих даних і дозволяє ефективно прогнозувати поведінку матеріалів у різних експлуатаційних умовах.

## 1.2 Прилади для фіксації результатів у розривних системах

У сучасних розривних системах фіксація результатів випробувань базується переважно на застосуванні електричних тензометрів, які перетворюють механічні деформації у зручний для оброблення електричний сигнал. Принцип їхньої роботи полягає у вимірюванні зміни параметрів електричного кола або магнітних характеристик чутливого елемента тензометра, що деформується разом із об'єктом. Для цього використовують різні типи перетворювачів – резистивні, індуктивні, ємнісні, трансформаторні, п'єзоелектричні, магнітопружні тощо [5–8], однак у випробувальній техніці найбільше поширення отримали саме перетворювачі опору.

Резистивні тензометричні перетворювачі (тензорезистори опору) реалізують тензорезистивний ефект, який полягає у зміні електричного опору провідникових або напівпровідникових матеріалів під дією механічних напружень. Чутливий елемент тензорезистора виконується у вигляді тонкої дротової або фольгової ґратки, надійно наклеєної на поверхню зразка. Під час навантаження об'єкта ґратка деформується разом із ним, а її опір змінюється пропорційно відносній деформації. Деформацію в цьому разі визначають не безпосередньо, а через вимірювання зміни опору або напруги в електричній схемі тензометра. Для фіксації деформацій твердих тіл застосовують провідникові, дротові, фольгові й напівпровідникові тензометричні резистори [5]. Дротові та фольгові тензодатчики відрізі-

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

няються надійністю, достатньо високою точністю, малими габаритами й можливістю розміщення на складних за формою об'єктах. Фольгові тензорезистори мають кращі метрологічні характеристики, забезпечують більшу площу контакту з основою та кращий тепловідвід, що підвищує стабільність показів. Напівпровідникові тензометричні резистори відрізняються дуже високим коефіцієнтом тензо-чутливості й дозволяють отримувати потужний вихідний сигнал без використання складних підсилювачів, але вони працюють у вузькому діапазоні деформацій і мають підвищену чутливість до температури, тому застосовуються переважно в ізотермічних умовах [6, 7].

Оскільки відносна зміна опору тензорезистора зазвичай є малою, для її перетворення у вимірюваний сигнал застосовують чотириплечові мостові схеми типу моста Уїтстона. Один або кілька плеч мосту виконують на основі робочих тензорезисторів, що наклеєні на зразок, а інші – на компенсаційних або еталонних резисторах. При деформації зразка опір робочого тензорезистора змінюється, мост виходить зі стану рівноваги, і в його вимірювальній діагоналі з'являється напруга, пропорційна деформації. Для зменшення похибок, пов'язаних із температурним дрейфом, використовують компенсаційні тензометричні резистори, виготовлені з того ж матеріалу і включені до мосту таким чином, щоб температурні зміни опору взаємно компенсувалися [5, 7].

Сигнал з мостової схеми подається на вимірювальні прилади, які виконують функції підсилення, перетворення, індикації та, за потреби, автоматичного врівноваження моста. У практиці тензометричних вимірювань використовують спеціалізовані вимірювальні прилади – автоматичні вимірювачі деформації, цифрові тензометричні мости та цифрові деформографи типів АД, ЦТМ, ВДЦ [7, 8]. Вони забезпечують посилення слабкого сигналу в діагоналі моста, цифрову або стрілочну індикацію, можуть мати вбудовані калібрувальні схеми та функції автоматичного нуля. У більш сучасних системах сигнал тензометра безпосередньо оцифровується й передається до комп'ютера, де обробляється спеціалізованим

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

програмним забезпеченням, що дозволяє будувати графіки «навантаження – деформація» та зберігати результати для подальшого аналізу. Для динамічних випробувань, коли деформації змінюються швидко, використовують високошвидкісні вимірювальні тракти, у тому числі осцилографічні системи, здатні реєструвати тимчасові діаграми сигналів у широкому частотному діапазоні.

Важливою складовою тензометричної системи є матеріали та технологія наклеювання датчиків. Клеї для фіксації тензорезисторів на поверхні зразка мають забезпечувати високу адгезію, електроізоляційні властивості, термостійкість, стійкість до вологи й хімічних впливів. Застосовуються як клеї холодного, так і гарячого отвердіння, вибір яких залежить від матеріалу основи, діапазону робочих температур та тривалості випробувань [5]. Правильний підбір клею й технології монтажу є критично важливим для забезпечення надійного сумісного деформування тензорезистора з об'єктом і, відповідно, для достовірності результатів вимірювань.

Узагальнюючи, пристрої для фіксації результатів у розривних системах базуються на застосуванні тензометричних перетворювачів опору у поєднанні з мостовими вимірювальними схемами, електронними підсилювачами та індикаторами. Такі системи дозволяють перетворювати малі деформації, що виникають у зразках під час випробувань, у зручний для реєстрації електричний сигнал, забезпечують високу точність, можливість автоматизації вимірювань і інтеграцію з комп'ютерними комплексами реєстрації та оброблення даних [5–8]. Це робить їх основним інструментом для фіксації результатів у сучасних розривних випробувальних установках, у тому числі при дослідженні швейних і взуттєвих матеріалів.

### 1.3 Обладнання для дослідження процесів розриву матеріалів

У лабораторних умовах для визначення міцнісних і деформаційних характеристик різних матеріалів застосовують спеціалізовані розривні машини, що забезпечують створення контрольованого одноосного або складного напруженого

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

стану зразка. Такі установки дозволяють відтворювати процеси розтягування, стискання, згину, скручування та їх різні комбінації в умовах, наближених до реальної експлуатації виробів. Згідно з [9], розривні машини є базовим випробувальним устаткуванням, призначеним не лише для визначення основних механічних характеристик матеріалів, а й для дослідження деталей, виробів та складальних одиниць шляхом їх поступового навантаження до моменту появи незворотних пошкоджень або повного руйнування. Основу кожної розривної машини становить навантажувальний пристрій, який забезпечує створення сили розтягування, стискання або іншого виду механічного впливу, а також вимірвальна система, що фіксує силу, переміщення та деформацію зразка протягом усього випробування. Саме взаємодія цих двох підсистем визначає точність, відтворюваність та інформативність отриманих даних.

За типом навантажувального механізму розривні машини поділяють на гідравлічні та механічні, що принципово різняться способом формування зусилля та діапазоном робочих навантажень. Гідравлічні установки застосовують тиск робочої рідини у гідроциліндрі для створення значних сил навантаження. Сила, що діє на зразок, прямо пропорційна тиску у гідросистемі, який контролюється та підтримується на заданому рівні за допомогою насосів, дроселів і запобіжних клапанів. Така схема робить гідравлічні машини придатними для випробувань міцних і конструкційних матеріалів, таких як метали, армовані композити або технічні пластики, де необхідно забезпечити навантаження у сотні й тисячі кілоньютонів. Гідравлічні системи забезпечують плавний хід навантаження, стабільність зусилля у широкому діапазоні значень, а також можливість тривалого утримання навантаження при випробуваннях на повзучість або тривалу міцність.

Натомість механічні розривні машини використовують гвинтові пари, важелі або редукторні передачі для створення переміщення затискачів і відповідного навантаження на зразок. У таких машинах обертання електродвигуна перетворюється редуктором у повільний обертальний рух гвинта, який за допомогою різьбового зачеплення з гайкою забезпечує поступальне переміщення траверси.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Це дозволяє досягати високої точності переміщення та дуже малих швидкостей деформації, необхідних для дослідження текстильних, полімерних, шкіряних, гумових та інших пружних матеріалів, чутливих до швидкості навантаження. Механічні машини мають, як правило, менший максимальний діапазон навантажень порівняно з гідравлічними, проте виграють у точності позиціонування і стабільності швидкості переміщення, що робить їх особливо придатними для високоточних лабораторних досліджень.

Розривні машини також класифікують за орієнтацією прикладеної сили, що визначає компоновку та ергономічні особливості установки. Вертикальні машини є класичним виконанням, у якому зразок закріплюється між верхнім і нижнім затискачами у вертикальній площині. Така конструкція є найбільш ергономічною, компактною та зручною для дослідника, забезпечує зручний доступ до зони встановлення зразка, простоту спостереження за процесом деформації, а також сумісність із широким спектром стандартних захватів і допоміжних пристроїв. Саме тому вертикальні машини є домінуючими у сучасних лабораторних випробуваннях різних матеріалів, включаючи швейні та взуттєві. Горизонтальні машини використовують переважно тоді, коли необхідно працювати з довгими зразками або специфічними видами продукції, які складно або неможливо розмістити у вертикальній машині, наприклад при випробуваннях канатів, ременів, тросів, довгомірних профілів. Горизонтальна компоновка вимагає більшого виробничого простору, але натомість забезпечує зручне розташування довгих зразків та можливість реалізації специфічних схем навантаження.

Важливим аспектом роботи будь-якої розривної машини є вимірювальна частина, оскільки саме вона визначає кінцеву точність і достовірність отриманих даних. Вимірювальні прилади забезпечують реєстрацію сили, переміщення затискачів та деформації зразка на різних етапах випробувань. Механічні вимірювачі, такі як маятникові індикатори, пружинні динамометри або важільні системи, історично є найстарішими варіантами. Принцип їхньої роботи ґрунтується на дефо-

рмації пружного елемента (пружини, балки, маятника), величина якої перетворюється на кутове відхилення стрілки відносно шкали. Однак такі системи мають суттєві обмеження, пов'язані з інерційністю рухомих частин, залежністю точності від тертя у шарнірах, зношуванням опор, а також недостатньою роздільною здатністю для малих навантажень. Це ускладнює їх використання при дослідженні тонких текстильних або плівкових матеріалів, де зміни навантаження можуть бути незначними.

Гідравлічні вимірювачі сили використовують залежність між тиском робочої рідини та прикладеною силою. У таких системах деформація або переміщення зразка призводить до зміни тиску в гідросиловому циліндрі, а відповідний тиск вимірюється манометром або перетворюється в електричний сигнал датчиком тиску. Гідравлічні вимірювачі є ефективними для великих навантажень і добре зарекомендували себе при випробуваннях металів та будівельних матеріалів. Однак при роботі з малими силами вони поступаються тензометричним системам через обмежену чутливість і наявність внутрішніх втрат у гідросистемі.

Сучасні електронні системи з тензометричними датчиками забезпечують значно вищу точність, стабільність і чутливість вимірювань. Тензодатчики перетворюють деформацію пружного елемента на зміну електричного опору тензорезисторів, наклеєних на його поверхню. Отриманий сигнал підсилюється, лінеаризується та оцифровується, після чого його можна обробляти у програмному середовищі. Це дає змогу автоматизувати процес вимірювання, оцифровувати результати, проводити статистичний аналіз, будувати криві деформації з високою часовою роздільною здатністю та реалізовувати складні алгоритми керування навантаженням. Для дослідження швейних і взуттєвих матеріалів, які часто мають нелінійні діаграми деформування та значні пружнопластичні деформації, використання тензометричних систем є особливо доцільним.

У випадках, коли необхідно досліджувати поведінку матеріалів при температурах, відмінних від нормальних лабораторних, застосовують розривні машини

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

зі спеціальним термостатуючим обладнанням. Моделі з печами дозволяють виконувати випробування при підвищених температурах, що важливо для полімерів, металів та композитів, схильних до термічних змін структури й механічних властивостей. Такі печі інтегруються у зону випробування, забезпечують рівномірний розподіл температури по довжині робочої частини зразка та можливість тривалого утримання заданого температурного режиму. Розривні машини з кріокамерами дають змогу досліджувати матеріали при значних низьких температурах, зокрема у випадках, коли вироби експлуатуються в умовах північних широт, у високогір'ї, авіаційній або космічній техніці. Застосування таких систем дозволяє виявити температурну чутливість міцнісних характеристик, вивчити вплив термоцикування та визначити придатність матеріалів до роботи в екстремальних умовах.

Універсальні розривні машини виконують випробування не лише на розтягування, а й на стискання, згинання, скручування, визначення повзучості, тривалої міцності, релаксаційних характеристик та інших параметрів. Принцип їхньої роботи базується на можливості диференційованого налаштування переміщення рухомого затискача, підбору типу навантаження та встановлення спеціальних захватів або пристосувань для різних форм зразків. Універсальні машини комплектуються змінними захватами для металевих зразків, плоских текстильних смуг, шкіряних заготовок, ниток, прутків, трубчастих елементів тощо. Це дозволяє на одному стенді проводити широкий спектр випробувань, що є особливо важливим для навчальних і дослідницьких лабораторій, де необхідно досліджувати матеріали різного призначення.

Такі машини оснащуються діаграмними або цифровими системами реєстрації даних, які дозволяють фіксувати деформаційні криві у різних координатах – «навантаження – деформація», «навантаження – час», «деформація – час», а також похідні від цих залежностей параметри. Застосування тензометрів, встановлених безпосередньо на зразку, дає можливість одночасно отримувати дані про роботу матеріалу в окремих його зонах, що особливо важливо для випробування композитів, ламінованих або багат шарових структур, а також текстильних пакетів, що

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

складаються з кількох шарів тканин чи інших матеріалів. У таких випадках можна аналізувати не лише загальну деформацію, а й розподіл напружень по товщині або довжині зразка.

Сучасний ринок пропонує широкий спектр розривних машин, кожна з яких орієнтована на специфічні вимоги випробувань. Розривна машина WAW-500С (рис.1.1) (аркуш [МРМА25.00.00.000ДО1]) [10] належить до високопотужних гідравлічних машин і призначена для визначення механічних властивостей конструкційних матеріалів при статичних навантаженнях розтягування, стискання та згину.



Рисунок 1.1 - Розривна машина WAW-500С

Силовa рама такої машини має високу жорсткість, що дозволяє мінімізувати власні деформації елементів станини та забезпечує реєстрацію лише деформацій зразка. У ній використовуються сучасні комп'ютеризовані системи контролю серії WAW, що дозволяє автоматизувати управління навантаженням, реалізувати задані швидкості деформації та реєструвати результати з високою точні-

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

стю. Машина застосовується на підприємствах, у випробувальних центрах та навчальних лабораторіях для визначення меж текучості, міцності, модуля пружності та пластичних характеристик металів і сплавів, а також для сертифікаційних випробувань.

Розривна машина WDW-5E [11] призначена для випробувань неметалевих матеріалів при невеликих навантаженнях, максимальна величина яких становить 5 кН.



Рисунок 1.2 - Розривна машина WDW-5E

Вона відноситься до електромеханічних машин та має сервопривод або прецизійний електродвигун з редуктором, що забезпечує точне регулювання швидкості переміщення траверси. Завдяки великому робочому простору між затискачами така машина зручна для дослідження зразків текстильних, полімерних, гумових матеріалів, а також для випробувань малогабаритних деталей та елементів взуття. Жорстка силова рама забезпечує паралельність переміщення траверси, що є важливим для точності вимірювання деформацій, особливо в дослідженнях ма-

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

теріалів з малими товщинами. Програмний комплекс WinWDW [12] дозволяє формувати графіки у різних координатах, автоматично визначати ключові точки руйнування, розраховувати основні механічні характеристики та експортувати результати у цифровому форматі для подальшої обробки.

Універсальна розривна машина WDW-20E [13] належить до новітнього покоління електромеханічних випробувальних установок і забезпечує навантаження до 20 кН.

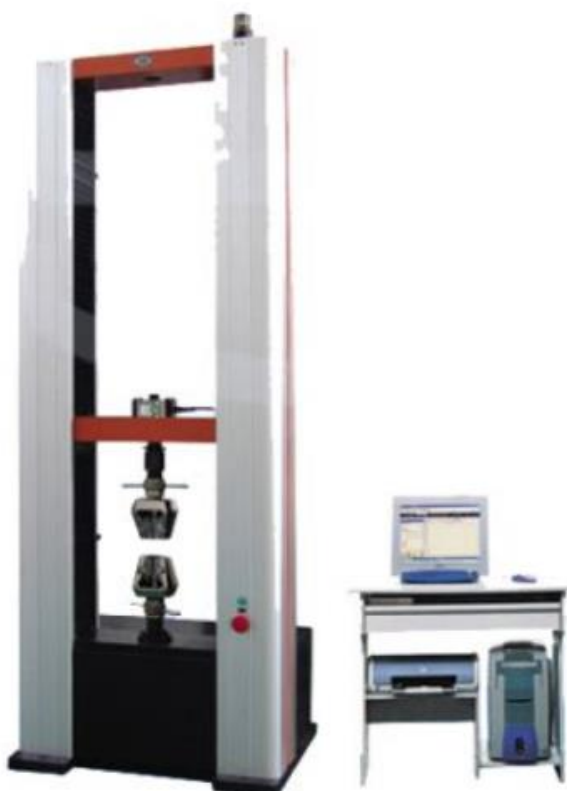


Рисунок 1.3 - Універсальна розривна машина WDW-20E

Вона оснащена високоточними тензометричними датчиками та розвиненим програмним забезпеченням, яке дозволяє визначати межу текучості, тимчасовий опір, відносне подовження після розриву, звуження поперечного перерізу, модулі пружності, енергію руйнування та інші параметри. Машина використовується для комплексних досліджень металів, пластмас, текстильних матеріалів та полімерних композитів, забезпечуючи високий рівень відтворюваності результатів. Висока точність і стабільність вимірювань роблять її придатною для наукових

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

лабораторій, виробничого контролю якості, а також для валідації нових матеріалів і конструкцій.

Розривна машина WEW-2000A [14] застосовується переважно для статичних випробувань металів при дуже великих навантаженнях.



Рисунок 1.4 - Розривна машина WEW-2000A

У ній поєднані гідравлічний навантажувальний пристрій та комп'ютеризована система вимірювання, що виводить на екран повну інформацію про процес навантаження. Силова рама такої машини розрахована на навантаження до 2000 кН, що дозволяє досліджувати великогабаритні заготовки, зразки з високою міцністю, а також елементи конструкцій. Управління машиною здійснюється оператором за допомогою пульта, але фіксація даних автоматизована і здійснюється спеціалізованим програмним забезпеченням. Це забезпечує поєднання простоти експлуатації, високої точності та відповідності міжнародним стандартам техніч-

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

них випробувань. Машина широко використовується в машинобудівних підприємствах, науково-дослідних інститутах та навчальних закладах, де потрібна висока надійність, стабільність і документування результатів випробувань.

З розвитком електронної техніки та автоматизації значного поширення набули вимірювальні автоматизовані комплекси, призначені для дослідження матеріалів при складних напружених станах, високих температурах і комбінованих режимах навантаження. Такі комплекси здатні відтворювати розтягування, стискання та скручування одночасно, а також проводити випробування трубчастих і циліндричних зразків під внутрішнім тиском. Принцип роботи комплексів ґрунтується на інтеграції розривної машини з установкою високого тиску, нагрівальними пристроями та багатоканальною вимірювальною системою на основі мікроконтролера ATmega 8535, підсилювачів сигналів і цифрових інтерфейсів. Особливу роль у таких системах відіграє динамометрична головка, яка встановлюється між кульковими упорними підшипниками і дозволяє вимірювати осьове навантаження незалежно від дії крутного моменту, що передається з нижнього захвата через редуктор і тросовий механізм.

Комплекс також забезпечує можливість нагрівання зразків до високих температур за рахунок застосування печей і високотемпературних камер, що дозволяє досліджувати матеріали в умовах, наближених до реальної експлуатації, наприклад трубопроводи високого тиску або елементи енергетичних установок. При випробуваннях на повзучість та тривалу міцність застосовуються спеціальні вимірювальні балки, встановлені безпосередньо на зразках, а інформація від тензодатчиків надходить у блок вимірювання (БВ), де проходить первинне оброблення і передається до комп'ютера через пристрій узгодження. Сучасні комплекси здатні вести багатоканальну реєстрацію даних, будувати цифрові карти напружено-деформованого стану, виконувати спектральний та кореляційний аналіз сигналів, що дозволяє застосовувати їх у дослідженні машин і споруд, авіаційних конструкцій, трубопроводів та інших відповідальних об'єктів.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, сучасне обладнання для дослідження процесів розриву матеріалів охоплює широкий спектр технічних рішень - від простих механічних лабораторних установок до високотехнологічних автоматизованих комплексів із комп'ютеризованим керуванням і цифровою обробкою даних. Незалежно від рівня складності, всі ці машини забезпечують отримання важливих даних про міцність, пластичність, жорсткість, опір руйнуванню та інші характеристики матеріалів. Систематичне вдосконалення конструкцій розривних машин відображає загальні тенденції розвитку матеріалознавства та машинобудування, де точність, швидкість виконання тестів, повторюваність результатів та інтеграція з інформаційними системами відіграють ключову роль. Сучасні випробувальні установки дозволяють дослідникам і інженерам глибше розуміти поведінку матеріалів у різних умовах та розробляти нові технологічні рішення для легкої промисловості, машинобудування, біомедичних застосувань та багатьох інших сфер, що й обґрунтовує необхідність подальшого розвитку й удосконалення розривних машин, зокрема для дослідження швейних та взуттєвих матеріалів.

#### 1.4 Силівимірювальні датчики для розривних машин

Силівимірювальні датчики є ключовими елементами розривних машин, оскільки саме вони забезпечують перетворення механічного навантаження на вимірюваний фізичний сигнал. Від точності, стабільності та швидкодії таких датчиків залежить достовірність отриманих результатів випробувань, можливість реєстрації повної діаграми «навантаження – деформація» та визначення характеристик міцності досліджуваних матеріалів. У сучасних випробувальних установках застосовують різні типи силівимірювальних пристроїв, які відрізняються принципом дії, конструкцією та областю застосування.

Найбільш поширеним типом силових датчиків у сучасних розривних системах є тензометричні вимірювальні осередки (тензодатчики), які перетворюють прикладену силу на електричний сигнал через деформацію еластичного елемента.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

У конструкції датчиків цього типу можуть використовуватися різні форми пружних елементів — балки, мембрани, кільця чи циліндричні колони. Типовими представниками є балкові тензодатчики HBM Z6 (рис.1.5), S-подібні датчики Zemic B3G або Flintec SBB, а також високоточні колонні датчики для великих навантажень, наприклад HBM C16A або Interface 1200 Series.



Рисунок 1.5 - Тензодатчик HBM Z6 [15]

Металевий корпус датчика має наклеєні тензорезистори, опір яких змінюється пропорційно деформації під дією сили. Саме тензометричні датчики забезпечують оптимальне поєднання точності, широкого діапазону вимірювань і можливості підключення до цифрових систем контролю.

Для забезпечення високої точності тензодатчики інтегруються у мостові електричні схеми, чутливі до найменших змін опору. У розривних машинах загального призначення застосовуються:

- одновісні датчики для вимірювання осьового навантаження (наприклад, Flintec SLB, HBM C2) (рис.1.6);
- комбіновані датчики сили та моменту, які дають змогу контролювати крутіння та поперечні навантаження (ATI Mini45, Kistler 934x) (рис.1.7);
- датчики, інтегровані безпосередньо у затискачі машини, що мінімізує похибки від перекосів (власні load-cell-модулі серій машин Instron 2580 та ZwickRoell XForce HP).

Окрему групу становлять гідравлічні силовимірювальні системи, які широко застосовувалися у розривних машинах попередніх поколінь. Принцип їхньої

дії базується на перетворенні сили у тиск робочої рідини, який реєструється манометром або датчиком тиску. Серед промислових прикладів - гідравлічні датчики серії MTS 661 та Instron 5500HD, які традиційно використовуються у високонавантажених випробувальних установках (до 1000–3000 кН). Попри достатню надійність, точність таких систем є нижчою порівняно з тензOMETричними датчиками, особливо при вимірюванні малих навантажень.



Рисунок 1.6 – Датчик НВМ С2 [16]

Тому сьогодні гідравлічні силівимірювачі застосовують переважно у потужних машинах для металів або в умовах, де регулярне технічне обслуговування не є критичним фактором.

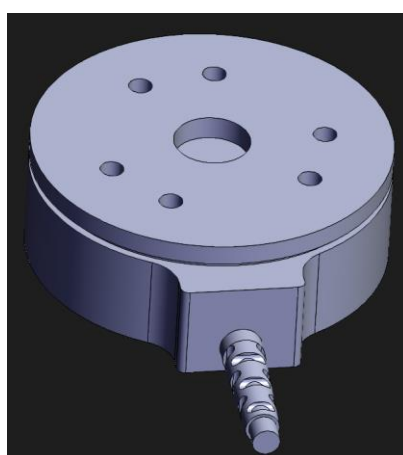


Рисунок 1.7 – Датчик АТІ Mini45 [17]

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

У механічних розривних машинах старого типу роль силовимірювача виконував важільно-маятниковий механізм, де сила зразка передавалася на маятник, що відхилявся пропорційно навантаженню. Такі пристрої забезпечували роботу у широкому діапазоні, але мали істотні недоліки: інерційність, високий вплив тертя у шарнірах, обмежену точність і неможливість цифрової реєстрації. Через це вони зберігаються лише у навчальних лабораторіях або як частина застарілого обладнання.

У розривних машинах, призначених для випробування матеріалів у складних умовах, використовуються спеціалізовані датчики, адаптовані до екстремальних режимів:

- високотемпературні тензодатчики, здатні працювати при температурах 600–800 °С (наприклад, високотемпературні серії Zemic H3-HT) (рис.1.8);
- п'єзоелектричні датчики для динамічних процесів, які забезпечують високу частоту дискретизації (Kistler 9071, PCB Piezotronics 208C);
- ємнісні та індуктивні датчики малої сили для дослідження тонких волокон, ниток та плівок (MicroSense 4810, Solartron AX Series);
- мікросилові сенсори, що працюють у межах міліньютонів, наприклад FemtoTools FT-S, які використовують у мікромеханіці та текстильній технології.



Рисунок 1.8 - Тензодатчик Zemic H3 [18]

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Важливим аспектом експлуатації силовимірювальних датчиків є їх калібрування. Воно здійснюється шляхом порівняння вихідного сигналу з еталонними навантаженнями та дозволяє компенсувати нелінійність, температурні впливи й інші джерела похибок. У сучасних системах калібрування часто автоматизоване: параметри датчика зберігаються в його внутрішній пам'яті, а цифрові контролери (наприклад, модулі HBM QuantumX або NI cDAQ) виконують корекцію показів у реальному часі.

Отже, силовимірювальні датчики є критичним елементом точності розривних машин. Еволюція від механічних маятникових механізмів до високоточних тензометричних і п'єзоелектричних перетворювачів призвела до істотного підвищення достовірності й швидкодії вимірювань. Сучасні датчики забезпечують стабільність, цифрову інтеграцію та універсальність, що робить їх незамінними для визначення фізико-механічних властивостей матеріалів у наукових, навчальних та промислових дослідженнях.

## 1.5 Висновки до першого розділу

У першому розділі проведено комплексний огляд методик і засобів дослідження процесів розриву матеріалів, що дало змогу сформулювати науково-технічні засади для подальшого проєктування та модернізації випробувального обладнання. Показано, що механічні випробування (статичні, динамічні, на втому, повзучість та зношування) є ключовим інструментом для оцінювання довговічності, міцності та деформативності текстильних, швейних і взуттєвих матеріалів в умовах складних експлуатаційних навантажень. Проаналізовано принципи роботи та особливості застосування тензометричних систем реєстрації деформацій, мостових схем вимірювання, вимірювальних приладів і клейових композицій, що забезпечують коректне перетворення деформації у електричний сигнал та інтеграцію з комп'ютеризованими системами збору й оброблення даних. Розглянуто конструктивні схеми гідравлічних та електромеханічних розривних машин, у тому числі

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

універсальних, а також проаналізовано сучасні промислові зразки випробувального обладнання, призначеного для дослідження різних груп матеріалів, включно з текстильними та полімерними. Окрему увагу приділено силовимірювальним датчикам – тензометричним, гідравлічним, п'єзоелектричним і спеціалізованим високотемпературним та мікросиловим сенсорам, – від характеристик яких безпосередньо залежить точність і достовірність результатів випробувань. Узагальнення проведеного аналізу свідчить про доцільність використання електромеханічних розривних систем з тензометричними датчиками, автоматизованою реєстрацією та можливістю відтворення різних режимів навантаження як бази для створення та дослідження спеціалізованого обладнання, орієнтованого на випробування матеріалів легкої промисловості.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 2 УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРИВНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШВЕЙНИХ ТА ВЗУТТЄВИХ МАТЕРІАЛІВ

### 2.1 Обґрунтування необхідності удосконалення розривної машини

Розривна машина РТ-250М-2 є базовим засобом експериментального визначення механічної міцності та деформаційних характеристик текстильних і взуттєвих матеріалів при одноосному розтягу. Її кінематична схема забезпечує передавання енергії від електродвигуна до нижнього захвата через гвинтову пару і дає змогу формувати кероване розтягувальне навантаження на зразок. Конструкція машини, що включає жорсткий каркас, гвинтовий привід, маятниковий силовимірювач, шкали навантаження і деформації, історично зарекомендувала себе як надійний лабораторний стенд для навчальних і дослідницьких робіт у галузі легкої промисловості. Однак подальший розвиток асортименту матеріалів, підвищення вимог до точності випробувань та необхідність цифрової обробки результатів обумовлюють потребу в її модернізації.

Аналіз кінематичної схеми та конструкції силовимірювального вузла показав, що головним обмежувальним фактором є маятниковий принцип реєстрації навантаження. Силовимірювач складається з маятника, системи важелів, шкали навантажень, стрілок, демпфера та контактної пристрою. Точність вимірювань у такій системі істотно залежить від стану шарнірів, сил тертя, в'язкісних властивостей рідини в демпфері, маси рухомих елементів і інерційних процесів у момент руйнування зразка. За тривалої експлуатації з'являються люфти, зношуються втулки й осі, погіршується робота демпфера, що призводить до збільшення випадкових і систематичних похибок. Крім того, стрілочна індикація і механічна шкала навантажень мають обмежену роздільну здатність, що ускладнює точне вимірювання малих сил та не дозволяє в повному обсязі досліджувати тонкі та високоеластичні матеріали.

						МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
							29
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

Ще однією суттєвою вадою базової конструкції є відсутність можливості безпосередньої цифрової реєстрації даних. Результати знімаються оператором візуально, зчитуванням показів шкал навантаження та деформації у момент розриву зразка. Це робить неможливим побудову повної діаграми «напруження – деформація» в реальному часі, фіксацію етапів пружної та пластичної деформації, а також автоматизований аналіз результатів у програмному середовищі. У сучасних умовах, коли для наукових досліджень і сертифікації продукції необхідно обробляти значні масиви даних і проводити статистичну оцінку властивостей матеріалів, така інформаційна «закритість» установки є суттєвим обмеженням.

Окремо слід зазначити недоліки штатної електричної схеми машини. Використання великої кількості контакторів, допоміжних реле та застарілих елементів керування призводить до значної кількості відмов, ускладнює діагностику несправностей і вимагає регулярного ремонту. Швидкість руху нижнього затискача задається ступінчасто, без плавного регулювання, що не завжди дає змогу вибрати оптимальний режим навантаження для конкретного матеріалу. У результаті ускладнюється відтворення стандартних умов випробування згідно з вимогами чинних нормативних документів, а також проведення спеціальних експериментів із варіюванням швидкості деформації.

Компоновочні рішення базової машини в цілому відповідають вимогам жорсткості та надійності, однак розташування силовимірювальної системи, прив'язаної до маятника і механічних передач, ускладнює адаптацію установки до сучасних тензометричних датчиків та електронних модулів. При цьому нижній приводний механізм та гвинтова пара мають достатній запас ресурсу й забезпечують необхідний діапазон швидкостей і ходу затискача, що робить доцільним збереження їхньої конструкції та використання як бази для модернізації.

У сукупності перелічені фактори свідчать, що існуюча розривна машина РТ-250М-2, попри свою працездатність і поширеність у навчальних лабораторіях, не повною мірою відповідає сучасним вимогам до точності, відтворюваності та

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

інформативності випробувань швейних і взуттєвих матеріалів. Впровадження нових матеріалів – синтетичних волокон, текстильних композитів, багатошарових конструкцій – вимагає більш високої чутливості силовимірювального тракту, можливості реєстрації швидкоплинних процесів руйнування та застосування цифрових методів обробки даних.

Тому удосконалення розривної машини РТ-250М-2, яке передбачає заміну маятникового силовимірювача тензометричною системою, інтеграцію комп'ютеризованого комплексу збору даних, оптимізацію електричної схеми приводу та перегляд компоновки вузлів, є обґрунтованою й актуальною задачею. Реалізація таких заходів дасть змогу підвищити метрологічні характеристики установки, розширити діапазон досліджуваних матеріалів, скоротити витрати на обслуговування, а також забезпечити відповідність сучасному рівню розвитку вимірювальної техніки та вимогам навчального процесу й наукових досліджень у галузі легкої промисловості.

## 2.2 Кінематична схема розривної машини РТ-250М-2

Кінематична схема розривної машини РТ-250М-2 наведена на рис. 2.1 (аркуш [МРМА25.00.00.000 К2]) [19], який відображає взаємозв'язок основних механічних елементів, що забезпечують формування зусилля розтягу, переміщення робочих органів та фіксацію параметрів деформації досліджуваних матеріалів. На схемі показано структурну послідовність передач і вузлів, через які передаються рухи та сили від електромеханічного приводу до захватів машини, а також елементи вимірювального комплексу, що забезпечує відтворюваність і точність показань під час експерименту.

Як показано на схемі, кінематична структура машини формує одноканальний шлях перетворення енергії від електродвигуна 17 до робочого органу – нижнього захвату 1, через який створюється розтягувальне навантаження на зразок 2.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

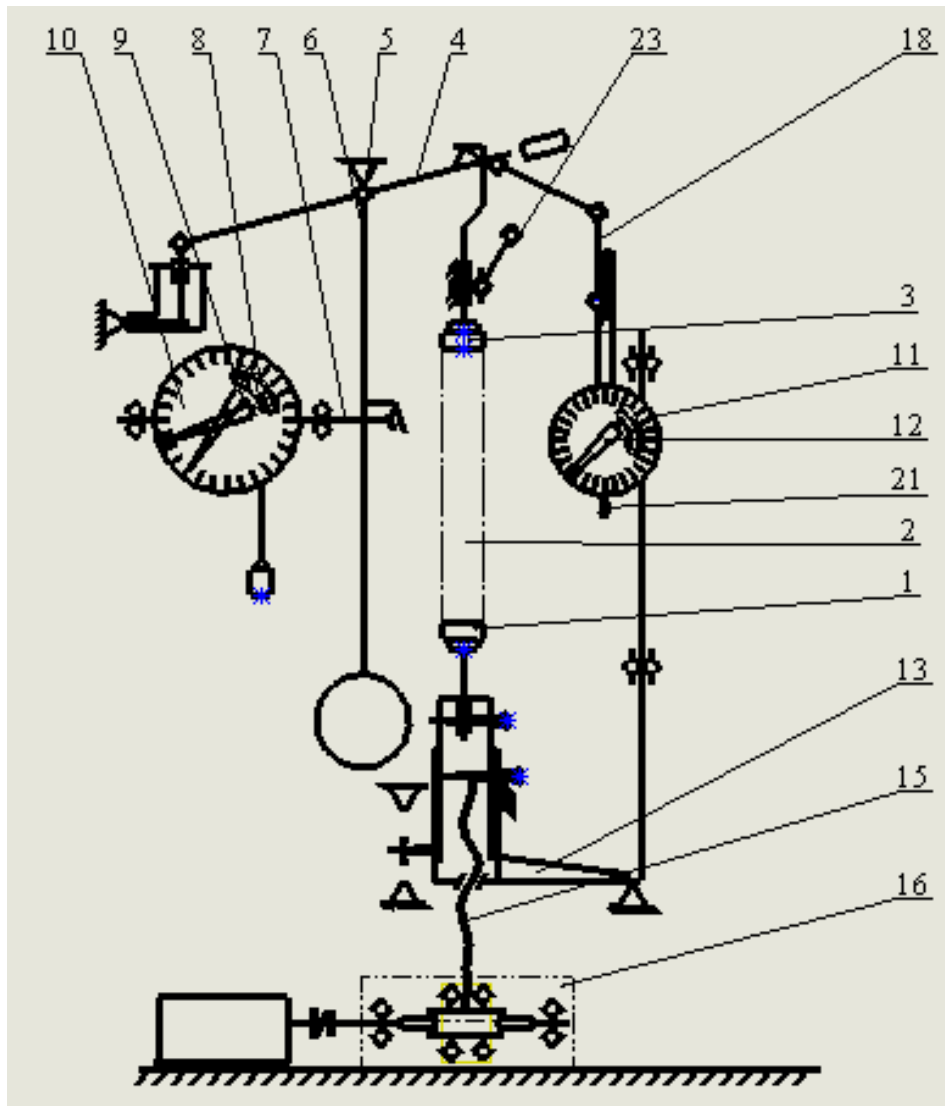


Рисунок 2.1 – Кінематична схема розривної машини  
PT-250M-2

До складу кінематичної схеми входять наступні елементи та вузли: нижній захват 1; зразок 2; верхній захват 3; важіль 4; вісь маятника 5; маятник 6; рейка 7; шестерня 8; стрілки 9; шкала навантажень 10; шкала деформації 11; шестерня 12; важіль 13; гайка 14; гвинт 15; редуктор 16; електродвигун 17; коректуючий пристрій 18; демпфер 19; контактний пристрій 20; вказівник 21; обмежувач 22; аретир 23.

Розривна машина PT-250M-2 призначена для оцінювання механічної міцності текстильних та взуттєвих матеріалів, виготовлених із натуральних або син-

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA25.00.00.000 ПЗ

Арк.

32

тетичних волокон, шляхом їх одноосного розтягу до моменту руйнування. Загальна компоновка машини включає жорсткий каркас, силовимірювальний механізм маятникового типу, електромеханічний привод поступального переміщення, шкали навантажень і деформацій, а також допоміжні пристрої для юстування захватів, гасіння коливань та контролю процесу розриву [19]. Така структурно-кінематична організація дозволяє забезпечити стабільність навантаження, рівномірність деформації та високу точність фіксації параметрів експерименту.

Каркас машини являє собою просторову жорстку конструкцію, зварену з профільного та кутового металопрокату. Його функція полягає у формуванні опорної структури для монтажу всіх вузлів та забезпеченні геометричної стабільності під час роботи. Каркас закритий алюмінієвими листовими панелями, що одночасно виконують роль захисту механізмів та опори для елементів керування. На передній панелі розміщуються органи керування приводом, пристрої регулювання нуля шкали, а також оглядові індикатори.

Привод машини є основним джерелом руху і забезпечує вертикальне переміщення нижнього захвату 1. Він включає електродвигун 17, який через редуктор 16 та муфтове з'єднання передає крутний момент на гвинт 15. Гвинт взаємодіє з гайкою 14, що забезпечує перетворення обертального руху в поступальний. Завдяки цьому нижній захват переміщується з необхідною швидкістю, яка є строго стабілізованою та малою, що важливо для точного визначення діаграми навантаження-деформації. У деяких модифікаціях аналогічних машин використовують додаткові проміжні передачі – клинопасову або черв'ячну, проте у РТ-250М-2 передача максимально спрощена для зменшення люфтів і підвищення плавності ходу. Керування електродвигуном винесене на нижню панель, що забезпечує оператору швидкий доступ та контроль режиму випробування.

Силовимірювач є центральним вимірювальним вузлом машини і складається з маятникового пристрою 6, шкали навантажень 10, стрілок 9, демпфера 19 та контактного фіксатора 20. Принцип дії силовимірювача базується на перетворенні сили натягу зразка у кутове відхилення маятника. Зусилля, що передається

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

через верхній захват 3, важіль 4 і вісь 5, викликає пропорційне зміщення маятника відносно шкали навантажень. Це переміщення реєструється робочою стрілкою 9, яка дозволяє оператору безперервно спостерігати величину прикладеного навантаження. Фіксація максимального значення здійснюється за допомогою аретира 23, який утримує вказівник 21 у положенні пікового навантаження.

Важливим елементом силовимірювача є демпфер 19, який через систему важелів зв'язаний з маятником і виконує функцію гідравлічного гасителя різких коливань у момент руйнування зразка. Демпфер суттєво зменшує амплітуду зворотного удару маятника, що забезпечує стабільність показань шкали та унеможливорює її пошкодження. Контактний пристрій 20, інтегрований з демпфером, слугує тригерним елементом для моментальної зупинки шкали деформацій 11 та запуску динамічного гальмування приводу. Це дає змогу точно зафіксувати критичні параметри зразка у момент руйнування, уникаючи похибок, пов'язаних із запізненням фіксації.

Шкала деформацій 11 призначена для вимірювання абсолютного подовження зразка 2. Вона через рейку 7 та шестерні 8, 12 кінематично пов'язана з переміщенням нижнього захвату. Поворот шкали на одну поділку відповідає подовженню зразка на 1 мм, що забезпечує просту інтерпретацію даних. У момент розриву, за сигналом контактної пристрою, стрілка шкали миттєво блокується, фіксуючи кінцеве значення деформації, яке використовується для побудови діаграм механічної поведінки матеріалу.

Захватний механізм машини складається з нижнього 1 та верхнього 3 захватів. Вони утримують зразок у процесі деформації, забезпечуючи надійне закріплення без просковзування. Верхній захват є нерухомим і кріпиться на регульованій стійці з діапазоном переміщення до 450 мм. Фіксація положення здійснюється конічним штифтом через кожні 50 мм, що дозволяє точно встановлювати робочу довжину зразка. Максимальна амплітуда переміщення верхнього захвату стано-

виль 12,94 мм, що відповідає конструктивним особливостям силовимірювача. Нижній захват здійснює вертикальне переміщення за рахунок гвинтової передачі, утворюючи необхідне розтягувальне навантаження.

Коректуючий пристрій 18 забезпечує точне встановлення нульового положення шкали навантажень перед початком випробування. Оператор може компенсувати вплив маси захватів, дрібні перекося та люфти, добиваючись синхронності роботи силовимірювального механізму. У конструкції також передбачено обмежувач 22, який перешкоджає надмірному відхиленню маятника за межі робочого діапазону, та аретир 23, що фіксує критичні значення навантаження.

Таким чином, кінематична схема розривної машини РТ-250М-2 представляє собою комплекс взаємопов'язаних механізмів, що забезпечують перетворення електромеханічної енергії у контрольоване, плавне й стабільне зусилля розтягу. Поєднання гвинтової передачі, маятникового силовимірювача, системи демпфування та контактної автоматики дозволяє машині відтворювати високоточні експериментальні режими. Завдяки цьому РТ-250М-2 забезпечує достовірне отримання характеристик міцності та деформаційних властивостей швейних і взуттєвих матеріалів, що робить її ефективним вимірювальним засобом у галузі легкої промисловості та матеріалознавства.

### 2.3 Елементи удосконалення розривної машини

У процесі проведення аналізу роботи базової розривної машини РТ-250М-2 та оцінювання її метрологічних і експлуатаційних характеристик було визначено низку конструктивних недоліків, що обмежують точність, відтворюваність та функціональну гнучкість під час дослідження механічних властивостей швейних і взуттєвих матеріалів. На основі отриманих результатів були сформовані пропозиції щодо модернізації окремих вузлів, унаслідок чого було розроблено та впроваджено нові конструктивні елементи, спрямовані на підвищення точності вимірювань, зручності експлуатації та надійності роботи машини.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Ключовим напрямком удосконалення стане повна реконструкція силовимірювальної системи, яка у штатному варіанті ґрунтується на маятниковому принципі реєстрації навантаження. Незважаючи на простоту та стабільність маятникових силовимірювачів, їхня точність істотно залежить від стану демпфера, тертя у шарнірах, маси рухомих елементів, а також від інерційних перевантажень у момент руйнування зразка. Крім того, традиційні стрілочні індикатори не забезпечують достатньої роздільної здатності при вимірюванні малих навантажень та не дозволяють автоматизувати запис даних.

У проєкті модернізації передбачено переорієнтацію силовимірювання на тензометричний принцип, що передбачає застосування високочутливого тензодатчика, інтегрованого у силовий ланцюг між верхнім і нижнім захватами. Такий підхід дозволяє усунути вплив сторонніх механічних факторів, притаманних маятниковим системам, та забезпечує лінійність сигналу у широкому діапазоні навантажень. Передбачено використання датчика з нормованою нелінійністю не більше 0,03–0,05 %, що підвищує точність реєстрації пікових навантажень та дозволяє проводити дослідження матеріалів із низькою міцністю, тонких текстильних полотен та синтетичних композитів.

Другим важливим напрямком удосконалення є модифікація електричної схеми розривної машини, що зумовлена впровадженням тензометричного вимірювального каналу та необхідністю його узгодження з існуючим приводом і системою фіксації моменту розриву. Було змінено логіку керування електродвигуном приводу, додано блок електронного підсилення та фільтрації сигналу тензодатчика, а також інтегровано модуль аналого-цифрового перетворення для подальшої передачі даних у систему збору та обробки інформації.

Таким чином, у межах модернізації машини РТ-250М-2 буде розроблено і впроваджено комплекс конструктивних і функціональних удосконалень, що охоплюють силовимірювальний та електричний вузли. Проведені зміни дозволять значно підвищити точність та відтворюваність результатів дослідження матеріалів, розширити діапазон випробувань, забезпечити можливість автоматизованого

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

збору даних, а також покращити ергономічність і надійність експлуатації машини в умовах навчальної або науково-дослідної лабораторії.

#### 2.4 Кінематична схема удосконаленої силовимірювальної системи

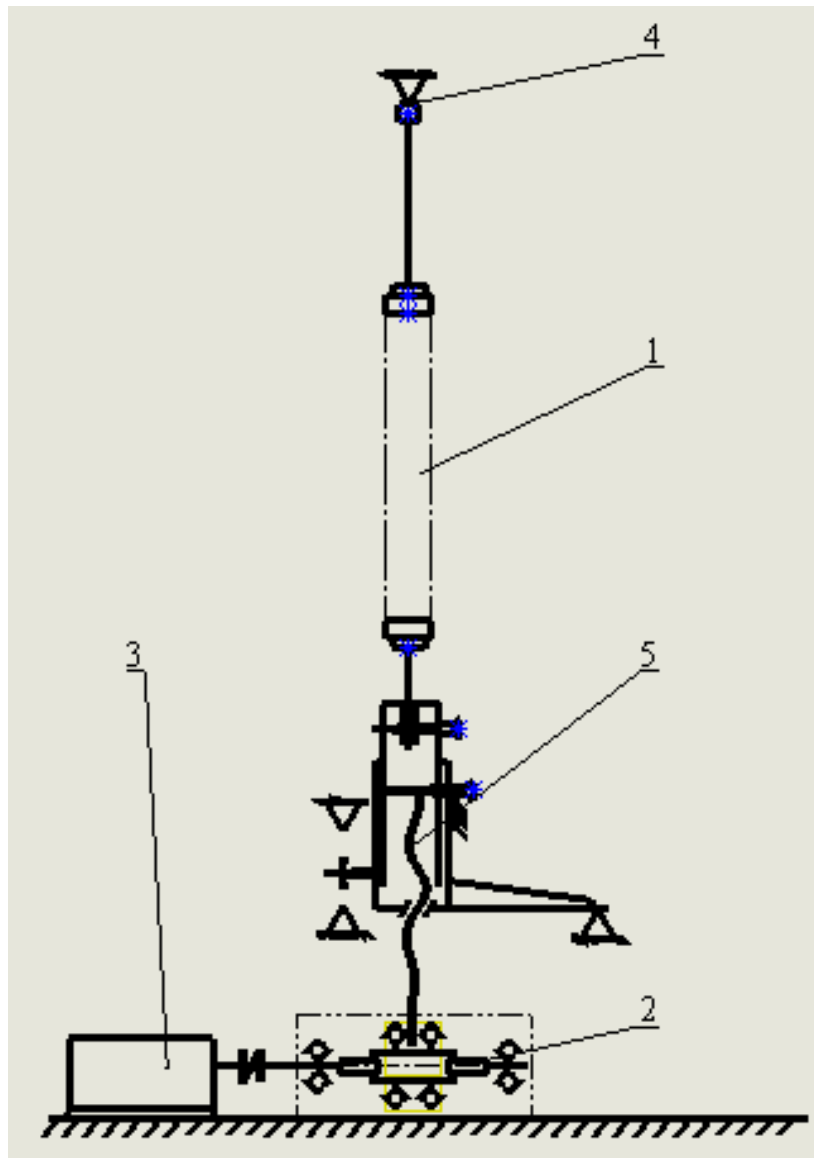
У процесі модернізації розривної машини було сформовано нову концепцію силовимірювального вузла, яка базується на застосуванні тензометричного методу реєстрації зусилля. На відміну від базової маятникової схеми, удосконалена система забезпечує безпосередній контроль навантаження у точці прикладення сили, що істотно підвищує точність і оперативність вимірювального процесу. Конструктивно новий силовимірювальний вузол складається з тензометричної балки та вузлів її кріплення, інтегрованих у силовий контур машини між рамою та верхнім штоком робочого захвата.

Тензометрична балка встановлюється у верхній частині силового потоку і жорстко закріплюється на каркасі машини за допомогою металевої плити-подошувача, що виконує функцію перехідного елемента та забезпечує коректну передачу навантаження. З'єднання балки з плитою здійснюється крізь різьбовий вузол, що дає змогу регулювати положення та забезпечує достатню міцність з'єднання під дією робочих навантажень. До нижньої частини тензометричної балки приєднується верхній шток із затискачем 4, через який навантаження від зразка 1 передається на тензодатчик 4 (позиції збережені згідно з кінематичною схемою). Саме в цьому вузлі фіксується повний спектр сил, що виникають під час розтягування матеріалу у процесі експерименту.

Сигнал від тензодатчика передається на вимірювальний модуль, який інтегрований у комп'ютерну систему обробки даних. Програмне забезпечення LabVIEW, встановлене на комп'ютері, забезпечує візуалізацію кривої навантаження в реальному часі, збереження масиву даних та формування звіту за результатами дослідження. Це дозволяє оператору контролювати весь процес – від по-

чатку навантаження до моменту руйнування зразка – з одночасною фіксацією пікових значень та реєстрацією характеристик деформування. Така інтеграція забезпечує значно вищу інформативність порівняно зі штатною стрілочною індикацією.

Кінематична схема удосконаленої силовимірювальної системи наведена на рис. 2.2 (аркуш [МРМА25.01.00.000 К2]) та демонструє взаємне розташування та послідовність дії основних елементів.



1-зразок матеріалу; 2-редуктор; 3-електричний двигун; 4-тензодатчик;  
5-гвинт редуктора

Рисунок 2.2 - Силівимірювальна система удосконаленої розривної машини:

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.  
38

Як видно зі схеми, силове навантаження від зразка 1 передається безпосередньо на тензодатчик 4, уникнувши проміжних важільних систем, які раніше могли викликати додаткові похибки та втрати точності. Рух нижнього захвата, як і в базовій моделі машини, задається двигуном 3 через редуктор 2, вихідний гвинт 5 якого забезпечує поступове збільшення навантаження на зразок. У такій структурі гвинтовий механізм виконує лише функцію створення деформації, тоді як реєстрація сили максимально локалізована та відокремлена від кінематичних неточностей приводу.

Важливою перевагою нової системи є скорочення кількості механічних ланок у силовому контурі. У штатній конструкції РТ-250М-2 використовувалися важелі, вали, рейково-шестеренні передачі та стрілочні індикатори, що збільшувало інерційність, потребувало налаштування, змащування та регулярного технічного обслуговування. У новій системі кількість паразитних зв'язків мінімізовано, а силовий потік проходить через один високоточний вимірювальний елемент – тензодатчик.

Завдяки цьому знижено вплив температурних коливань, сил тертя, люфтів та пружної деформації проміжних елементів, що раніше могли спричиняти метрологічні відхилення. Тензометричний метод дозволяє збільшити точність вимірювань у кілька разів, забезпечуючи дискретність реєстрації навантажень на рівні 0,5–1 Н та можливість аналізу процесу розриву з високою часовою роздільною здатністю.

Ще однією важливою перевагою є відсутність необхідності постійного технічного обслуговування: тензодатчик не потребує змащування, регулювання балансу або періодичного калібрування стрілок. Єдина необхідна процедура – періодична калібровка вимірювального модуля відповідно до нормативних документів, яка виконується значно швидше та точніше, ніж у маятникових системах.

Крім того, удосконалена система забезпечує цифрову фіксацію всіх проміжних параметрів, включаючи етапи пружної та пластичної деформації, момент

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

появи мікророзривів та точний час руйнування зразка. У сукупності це робить модернізовану розривну машину придатною для наукових досліджень, метрологічних перевірок та промислових тестів, де точність і повторюваність вимірювань є критично важливими.

Таким чином, нова силовимірювальна система значно підвищує функціональні та метрологічні можливості розривної машини, забезпечує надійну цифрову реєстрацію навантажень, спрощує конструкцію та покращує ергономіку роботи. Реалізована кінематична схема (рис. 2.2) демонструє чітку інтеграцію тензодатчика у силовий контур та повне усунення проміжних механічних систем, що дозволяє отримувати високоточні результати та формувати повний цифровий протокол випробувань.

## 2.5 Розробка конструкції удосконаленої розривної машини

Загальний вигляд удосконаленої розривної машини наведено на рис. 2.3 та представлено у вигляді складального креслення на аркуші [МРМА25.00.00.000 ГК]. На кресленні відображено всі основні конструктивні елементи модернізованої установки, їх просторове розташування, габаритні параметри та логічні взаємозв'язки між вузлами, що формують загальну структуру машини.

Конструкція модернізованої машини передбачає інтеграцію нової силовимірювальної системи, оптимізованого приводу та оновленої компоновочної схеми, що забезпечує підвищення точності, надійності та ергономічності у порівнянні зі стандартною моделлю РТ-250М-2. Основними вузлами удосконаленої розривної машини є: станина 1; нижній шток 2; блок живлення 3; нижній затискач 4; верхній затискач; силовимірювальна система 5; тензометричний модуль 6.

Станина 1 є основою конструкції, яка сприймає всі зовнішні та внутрішні навантаження, забезпечуючи жорсткість і геометричну стабільність усього агрегату. Вона виготовлена зі сталевого профілю із підвищеною стійкістю до дефор-

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

мацій та оснащена жорсткими ребрами підсилення у зоні кріплення силових елементів. Просторова форма станини сформована таким чином, щоб забезпечити зручний доступ до вузлів, спростити монтаж, а також гарантувати необхідний рівень точності під час вимірювання навантажень.

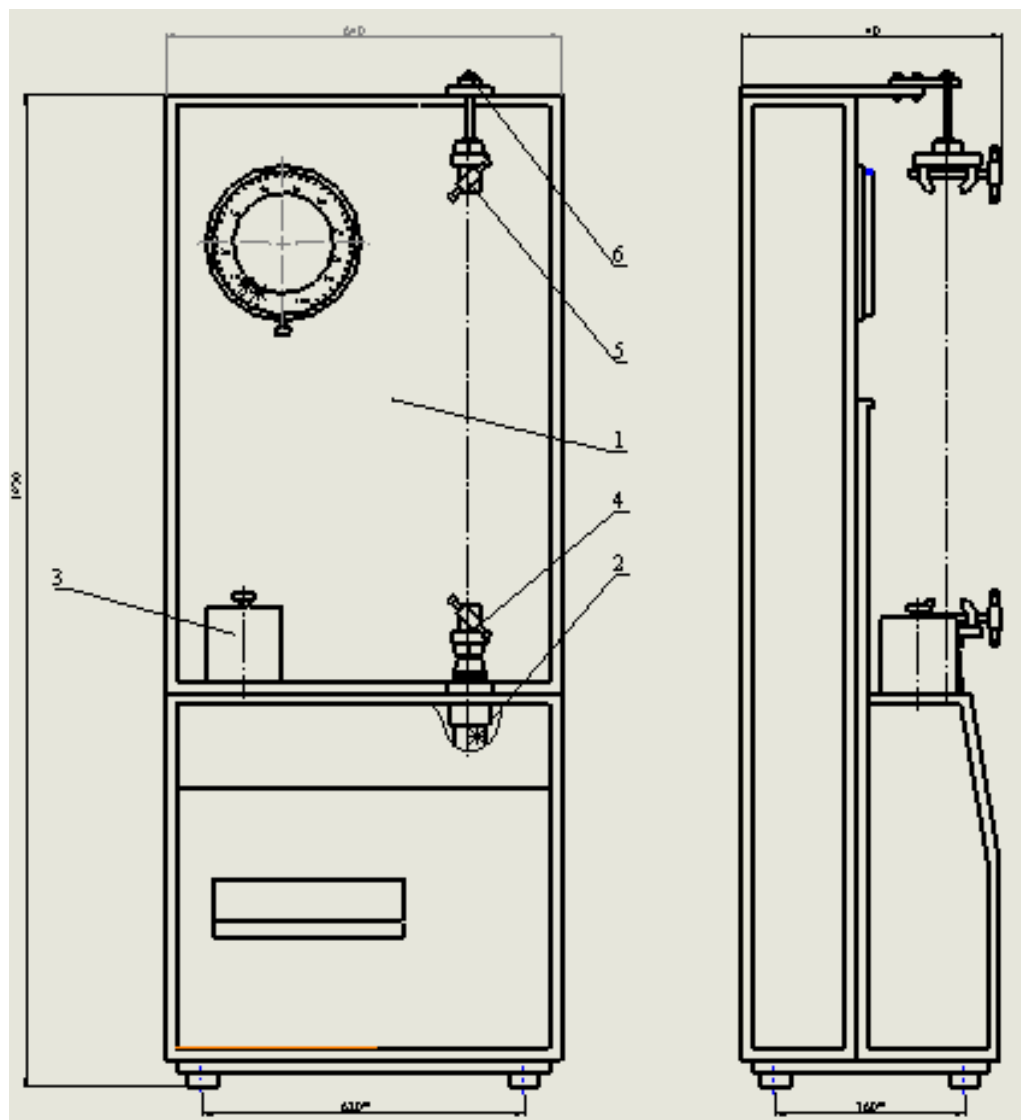


Рисунок 2.3 - Загальний вигляд удосконаленої розривної машини

У нижній частині станини розміщується приводний модуль, що включає редуктор, електродвигун та гвинтовий механізм. Нижній шток 2 передає поступа-

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.  
41

льний рух від редуктора до нижнього затискача 4, забезпечуючи рівномірне та контрольоване навантаження зразка. Конструкція штока оптимізована для роботи із малою швидкістю подачі, що є критично важливим у випробуваннях текстильних та взуттєвих матеріалів, де характерні значення деформації змінюються плавно.

Блок живлення 3 інтегровано безпосередньо в корпус станини та ізольовано від силових елементів для уникнення теплового та електромагнітного впливу на тензометричну апаратуру.

Нижній затискач 4 та верхній затискач формують робочу частину машини, що здійснює закріплення зразка матеріалу. Конструкція затискачів була доопрацьована для зменшення люфтів та поліпшення співвісності, що суттєво впливає на достовірність експериментальних даних. Верхній затискач кріпиться до силовимірювальної системи 5, яка у модернізованій версії машини представлена тензодатчиком та несучою конструкцією. Завдяки цьому навантаження сприймається безпосередньо датчиком, що дає можливість усунути вплив проміжних механічних передач і, відповідно, зменшити похибку вимірювання.

Силowymірювальна система 5 включає кріплення тензодатчика, опорні вузли та підсилювальний модуль. Її конструкція сформована таким чином, щоб забезпечити рівномірний розподіл навантаження по осі та уникнути паразитних моментів, які можуть спотворювати покази датчика. Тензометричний елемент 6 працює у режимі розтягу та деформації балкового типу, перетворюючи механічне навантаження в електричний сигнал, який надходить у комп'ютерну систему через спеціальний інтерфейсний модуль.

Отже, розроблена конструкція удосконаленої розривної машини являє собою оптимізований комплекс механічних, електричних та вимірювальних вузлів, що забезпечують стабільність і точність проведення експериментів із текстильними та взуттєвими матеріалами. Удосконалення торкнулося як силowymірювального вузла, так і компоновочних рішень, що дало змогу підвищити надійність конструкції, покращити точність отримуваних результатів та забезпечити зручність експлуатації у лабораторних умовах.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 2.6 Загальний вигляд удосконаленої розривної машини

Фото удосконаленої розривної машини наведено на рис. 2.4. Знімок демонструє робочу частину модернізованої установки після проведення конструктивних змін, зокрема після інтеграції тензометричної силовимірювальної системи, оновленої схеми збору даних та адаптації верхнього вузла кріплення сенсорного модуля. Представлений вигляд дозволяє візуально оцінити реальне розташування модернізованих елементів та особливості їхнього взаємозв'язку з базовою конструкцією машини РТ-250М-2.

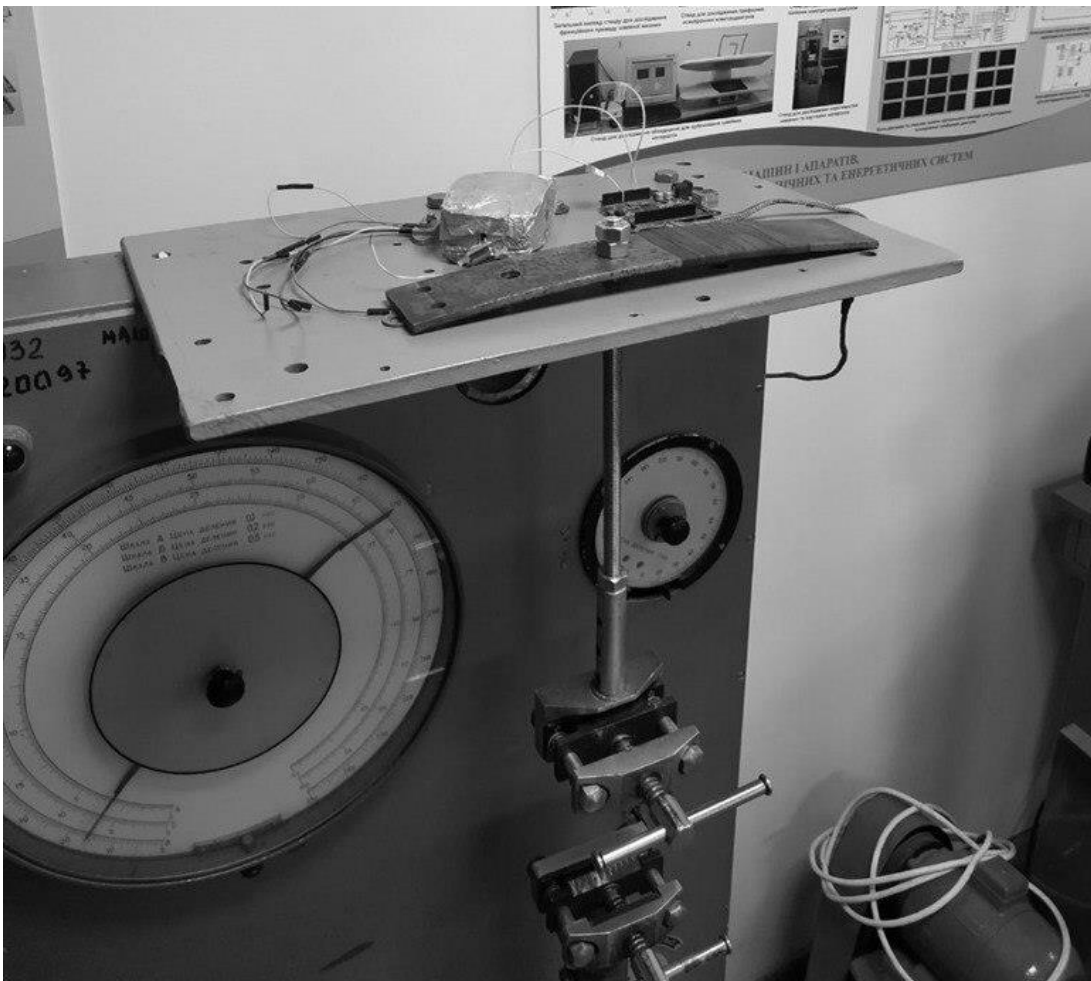


Рисунок 2.4 - Фото удосконаленої розривної машини

На фотографії видно, що модернізація була виконана без порушення цілісності базового силового каркаса розривної машини. Основний корпус збережений

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.  
43

у початковому вигляді, однак над верхньою частиною машини встановлено нову монтажну платформу, на якій розташовано тензометричний модуль. Ця платформа виконана зі сталевих листів з високою жорсткістю та фіксується до верхньої частини станини за допомогою кронштейнів, що забезпечують стабільність геометрії під час вимірювань.

На платформі розміщено вузол, який складається з тензодатчика. Як видно на рис. 2.7, тензометричний елемент встановлено таким чином, щоб навантаження від верхнього штока передавалось безпосередньо і без проміжних важільних елементів. Це мінімізує певні недоліки попередньої конструкції, де механічна передача навантаження через маятник та важелі могла створювати інерційні спотворення, люфти й додаткові похибки.

Особливістю представленої модифікації є те, що під час монтажу тензометричного вузла було збережено нижній приводний механізм та затискачі, які продовжують виконувати свою роль згідно з початковою схемою машини. Таким чином, модернізація не змінює принцип дії приводу, але доповнює його високоточним датчиком, який значно підвищує точність силовимірювального каналу. На фото чітко видно нижній затискач, встановлений на штоку, який закріплює випробуваний зразок та передає навантаження на верхній тензометричний вузол.

Таке конструктивне рішення створює модульну архітектуру силовимірювального комплексу: основний корпус машини виконує функцію приводу та опорної структури, тоді як вимірювальний блок може бути легко замінений або модернізований без суттєвого втручання у базові вузли. Така гнучкість конструкції дозволяє розширювати функціональні можливості машини та адаптувати її під різні типи матеріалів і експериментальних методик.

Таким чином, загальний вигляд удосконаленої машини демонструє комплексний підхід до модернізації: поєднання традиційної механічної бази з новітніми електронними засобами забезпечення точності. Представлений вигляд підтверджує можливість інтеграції сучасної вимірювальної техніки без необхідності

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

повної реконструкції машини, зберігаючи її основні функціональні властивості та значно підвищуючи точність і надійність отримуваних результатів.

## 2.7 Технічні характеристики удосконаленої розривної машини

Удосконалена розривна машина призначена для дослідження механічних властивостей текстильних, швейних та взуттєвих матеріалів у режимі одноосного розтягу. Проведені модернізаційні заходи - зокрема впровадження тензометричної силовимірювальної системи, оптимізація приводу та оновлення електричної частини - дозволили покращити точність роботи та забезпечити розширені функціональні можливості. Основні технічні характеристики модернізованої машини наведено нижче.

### 1. Максимальне навантаження зразка - 2,5 кН.

Це граничне значення сили, яку машина здатна прикласти до досліджуваного зразка. Даний рівень навантаження забезпечує можливість тестування широкого спектра матеріалів - від еластичних тканин до елементів взуття, синтетичних стрічок та комбінованих полімерних матеріалів. Тензометричний датчик налаштований на роботу в межах цього діапазону, що підвищує точність вимірювань у всьому робочому інтервалі.

### 2. Швидкість переміщення рухомого штока із затискачем - 25–250 мм/хв.

Цей параметр визначає швидкість деформації зразка під час випробування. Регулювання швидкості забезпечується електроприводом і редуктором, що дозволяє проводити як повільні випробування для матеріалів з високою еластичністю, так і швидкі тести для жорстких та міцних матеріалів. Можливість точного встановлення швидкості розширює функціональність машини та дозволяє дотримуватися вимог стандартів (ДСТУ, ISO).

### 3. Найбільша відстань між затискачами - 450 мм.

Цей параметр визначає максимальну початкову довжину зразка, який може бути встановлений у машину. Регульована підвісна система верхнього затискача

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

забезпечує фіксацію зразків різних розмірів, що дозволяє проводити дослідження матеріалів із різною геометрією. Величина 450 мм повністю відповідає типовим вимогам до випробування текстильних і шкіряних матеріалів.

4. Робочий хід рухомого затискача — 200 мм.

Це максимальна величина деформації зразка, яку може забезпечити привідна система машини. Значення 200 мм дозволяє проводити дослідження не лише на межу міцності, але й у широкому діапазоні пружних і пластичних деформацій. Робочий хід безпосередньо пов'язаний із можливостями редуктора та гвинтової пари, які були збережені.

5. Живлення від електричної мережі змінного струму = 220 В, 50 Гц.

Машини підключається до стандартної побутової та лабораторної електромережі. Вбудований блок живлення забезпечує стабілізацію напруги та фільтрацію імпульсних завад, що особливо важливо для коректної роботи тензометричного вимірювального модуля. Наявність універсального живлення робить установку зручною для використання у навчальних лабораторіях.

6. Потужність споживання - 0,25 кВт.

Низький рівень енергоспоживання пояснюється застосуванням малопотужного електродвигуна у поєднанні з ефективним редуктором та оптимізованою схемою живлення. Це дозволяє зменшити експлуатаційні витрати та забезпечити стабільну роботу упродовж тривалих експериментальних серій.

## 2.8 Принцип роботи удосконаленої розривної машини РТ-250М-2

Удосконалена розривна машина РТ-250М-2 працює за принципом керованого одноосного розтягу зразка з одночасною реєстрацією навантаження та деформації за допомогою тензометричної силовимірювальної системи. Після модернізації основні процеси - створення навантаження, передача сили, реєстрація параметрів та зупинка приводу - стали більш точними, стабільними й придатними для автоматизованого аналізу.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Перед початком випробування оператор встановлює матеріал у нижній та верхній затискачі, забезпечуючи його співвісність. Верхній затискач конструктивно з'єднаний із тензометричним датчиком, тому сила, що прикладається до зразка, передається на вимірювальний елемент без проміжних важільних або маятникових механізмів. Нижній затискач жорстко пов'язаний із приводним механізмом, який складається з електродвигуна, редуктора та гвинтової пари, що забезпечує точне та рівномірне переміщення з низькою швидкістю.

Після запуску машини електродвигун через редуктор приводить у дію гвинт, який поступово переміщує нижній затискач вниз. Це створює розтягувальне навантаження на зразок, яке безпосередньо сприймає тензодатчик. На відміну від базової версії машини, де зусилля реєструвалося через систему маятника, у модернізованій конструкції сила фіксується у місці її фактичної дії, що усуває похибки, спричинені інерцією, тертям або люфтами механічних передач.

Тензометричний датчик перетворює механічне навантаження у пропорційний електричний сигнал, який надходить у вимірювальний модуль і далі - до комп'ютера. Програмне забезпечення LabVIEW забезпечує візуалізацію процесу у реальному часі: будується графік «навантаження – переміщення», фіксуються проміжні дані, визначається точний момент руйнування зразка, а також формуються цифрові звіти для подальшого аналізу.

У момент розриву зразка система автоматично фіксує пікове значення навантаження, після чого привід зупиняється, що запобігає надмірному ходу затискача та виключає пошкодження обладнання. Весь процес, від початку руху нижнього затискача до реєстрації руйнування, відбувається з високою точністю завдяки цифровим засобам контролю та стабілізації швидкості.

Таким чином, принцип роботи удосконаленої розривної машини ґрунтується на поєднанні механічної надійності базової конструкції РТ-250М-2 із сучасними тензометричними й цифровими технологіями вимірювання. Це дозволяє значно підвищити точність випробувань, спростити процес отримання та аналізу

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

даних, а також забезпечити можливість використання машини в наукових, навчальних і виробничих лабораторіях, де необхідна висока достовірність результатів.

## 2.9 Удосконалення електричної схеми розривної машини

У процесі модернізації розривної машини РТ-250М-2 значну увагу було приділено вдосконаленню електричної схеми, оскільки наявна конструкція мала низку експлуатаційних недоліків: велика кількість застарілих елементів, складність обслуговування, часті виходи з ладу контактних груп та недостатня точність регулювання швидкості електродвигуна. Внаслідок цього система керування потребувала оптимізації, спрощення та підвищення надійності.

Основною метою модернізації електричної частини стало забезпечення плавного регулювання швидкості руху нижнього затискача, стабільної роботи електродвигуна, підвищення точності виконання випробувань та покращення безпеки роботи. Для цього до електричної схеми приводу було інтегровано лабораторний автотрансформатор (ЛАТР), який забезпечує можливість плавного регулювання поданої напруги та, відповідно, частоти обертання електродвигуна. Завдяки цьому оператор має змогу задавати необхідну швидкість переміщення рухомого штока у широкому діапазоні, що дозволяє адаптувати машину під різні режими дослідження та вимоги стандартів ISO і ДСТУ.

Живлення модернізованого стенду здійснюється від однофазної мережі змінного струму 220 В, 50 Гц, що робить установку універсальною для використання у навчальних і наукових лабораторіях. Основним елементом приводу є електродвигун постійного струму типу ЕТОІ-4, номінальною потужністю 0,245 кВт і частотою обертання 4000 об/хв. Застосування двигуна постійного струму обумовлене його кращими регуляційними характеристиками, плавністю пуску та високою чутливістю до зміни напруги, що є необхідним при роботі зі зразками, які потребують повільного й точного навантаження.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Оновлена схема передбачає використання двох магнітних пускачів - 1Л та 2Л, які відповідають за напрямок обертання електродвигуна. Робота електроприводу здійснюється за принципом реверсивного керування:

При натисканні важелем кнопки «Вниз», або команди «на себе», замикається та стає на саможивлення пускач 1Л, через який електродвигун обертається у прямому напрямку. Це забезпечує поступове опускання нижнього затискача до низу, створюючи навантаження на зразок.

При натисканні кнопки «Вгору» або при спрацюванні кінцевого вимикача КН, електричне коло живлення пускача 1Л розривається, і водночас замикається коло пускача 2Л, що реверсує двигун. Нижній затискач починає підійматися у зворотному напрямку, аж поки не досягне верхнього вихідного положення, в якому його вимикає кінцевий вимикач КВ.

Для забезпечення безпечної роботи та захисту приводу в схемі застосовано кілька типів захисних пристроїв:

Вимикач МП - пристрій теплового захисту, який відключає привід у разі перевантаження електродвигуна або перевищення допустимого тривалого струму. Це запобігає перегріванню і передчасному виходу з ладу обмоток двигуна.

Плавкі запобіжники «П» - захищають електричне коло від струмів короткого замикання. При виникненні аварійної ситуації вони миттєво перегорають, розриваючи схему й запобігаючи uszkodженню електропроводки та елементів керування.

Кінцеві вимикачі КН та КВ - запобігають виходу механізму за межі робочого ходу, забезпечуючи автоматичну зупинку опускання або підймання затискача. Ці пристрої є обов'язковими для захисту конструкції від механічних перевантажень.

Удосконалена схема керування дозволяє оператору легко й інтуїтивно задавати напрямок руху приводу та контролювати швидкість навантаження. Введення ЛАТРа підвищило гнучкість налаштувань і дало змогу підбирати швидкість

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

відповідно до типу матеріалу - від дуже повільного навантаження тонких текстильних зразків до швидкого деформування міцних полімерних елементів.

Узагальнюючи, удосконалення електричної схеми розривної машини забезпечило:

- підвищення надійності та довговічності електрообладнання;
- покращення керованості та плавності роботи приводу;
- можливість точного регулювання швидкості навантаження;
- підвищення безпеки обслуговування та експлуатації;
- зменшення кількості відмов та витрат на ремонт.

Завдяки цим змінам машина стала більш функціональною, адаптованою для досліджень різних типів матеріалів і придатною для використання у лабораторних умовах із високими вимогами до метрологічної точності.

## 2.10 Висновки до другого розділу

У другому розділі обґрунтовано необхідність удосконалення розривної машини РТ-250М-2, пов'язану з обмеженою точністю маятникової силовимірювальної системи, відсутністю цифрової реєстрації результатів та недостатньою надійністю електричної схеми. Проаналізовано кінематичну схему базової машини, визначено її сильні сторони (жорсткий каркас, надійний гвинтовий привід) та вузли, що потребують модернізації. Запропоновано і реалізовано тензометричну силовимірювальну систему з інтеграцією в силовий контур між затискачами, розроблено конструкцію удосконаленої машини з новою компоновкою силовимірювального модуля, збереженням існуючого приводу та оптимізацією вузлів затискачів. Показано, що модернізація забезпечує підвищення точності та відтворюваності результатів, розширює діапазон досліджуваних матеріалів, дає можливість автоматизованого збору й обробки даних у середовищі LabVIEW. Удосконалена електрична схема з ЛАТРою і реверсивним керуванням приводом підвищує надійність,

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

безпеку та дозволяє плавно регулювати швидкість навантаження. У підсумку доведено, що проведені конструктивні та схемотехнічні зміни комплексно підвищують функціональні, метрологічні й експлуатаційні характеристики розривної машини, роблячи її більш придатною для сучасних наукових і навчальних досліджень швейних та взуттєвих матеріалів.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 3 РОЗРОБКА СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ НА РОЗТЯГ

### 3.1 Розробка структурної схеми стенду

Структурна схема експериментального стенду (рис. 3.1) відображає логічні зв'язки між основними функціональними блоками системи та послідовність перетворення сигналів і керувальних дій під час проведення випробувань розривною машиною. До складу стенду входять чотири ключові підсистеми: комп'ютер, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), вимірювально-випробувальний модуль розривної машини та привод її робочого органу. Кожен із зазначених блоків виконує визначені функції й забезпечує узгоджену роботу стенду в режимі автоматизованого дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів.

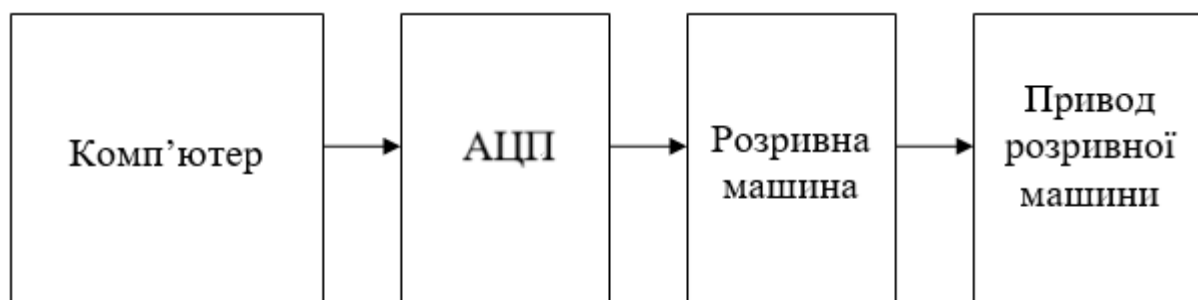


Рисунок 1.1 - Структурна схема експериментального стенду

Комп'ютер є центральною ланкою системи керування та збору даних. Він забезпечує формування керувальних сигналів, приймання цифрових результатів від АЦП, оброблення інформації та подальшу побудову діаграм «навантаження – деформація». На комп'ютері реалізується спеціалізоване програмне забезпечення, яке виконує візуалізацію процесу випробування, керування режимами роботи приводу розривної машини та здійснює протоколювання отриманих даних. Таким чином, комп'ютер виконує функції контролера, регулятора та аналітичного модуля.

Аналого-цифровий перетворювач є проміжною ланкою між датчиками розривної машини та комп'ютером. Його призначення полягає у перетворенні слабого аналогового сигналу від тензодатчика сили у цифрову форму, придатну для подальшої обробки. Удосконалена система може використовувати високоточний 24-бітний АЦП (наприклад, НХ711 або ADS1232), який забезпечує необхідну роздільну здатність для фіксації мінімальних змін зусилля та зменшує вплив шумів. АЦП також виконує функцію фільтрації сигналу та синхронізації обміну даними з комп'ютером, що гарантує стабільність вимірювань.

Розривна машина виступає основним вимірювальним модулем стенду, у якому безпосередньо відбувається прикладення навантаження до зразка та реєстрація його деформаційної реакції. У конструкції машини інтегровано силовимірювальний датчик, який передає аналоговий сигнал на АЦП, а також механізм переміщення затискачів. Від точності роботи розривної машини залежить достовірність усіх вимірювань, тому її конструкція повинна забезпечувати рівномірність переміщення, відсутність люфтів, паралельність затискачів та необхідний діапазон навантаження.

Привод розривної машини є виконавчим органом, що забезпечує контрольоване прикладення зусилля або деформації до зразка. У залежності від конструкції, привод може бути електромеханічним (гвинтовий механізм з електродвигуном та редуктором), сервоприводом або гідравлічним. Привод отримує керуючі сигнали від комп'ютера через блок контролю й забезпечує встановлену швидкість деформування відповідно до методики випробування. Точність його роботи визначає стабільність навантаження та коректність фіксації характеристичних точок діаграми розтягування.

Таким чином, структурна схема стенду демонструє послідовність перетворення сигналів і керувальних дій: від формування команд комп'ютером, через цифрову обробку сигналів АЦП, до реалізації механічного впливу приводом та реєстрації реакції зразка розривною машиною. Така архітектура забезпечує високу

точність, автоматизацію та універсальність системи, що робить її придатною для проведення широкого спектра випробувань різних матеріалів.

### 3.2 Вибір аналогово-цифрового перетворювача

У процесі модернізації розривної машини одним із ключових завдань є забезпечення високоточної реєстрації зусилля, що виникає під час випробувань матеріалів. Для цього необхідно обрати аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), здатний працювати з низькорівневими сигналами тензометричних датчиків, які мають малу амплітуду та потребують значного підсилення і фільтрації. Після аналізу технічних характеристик популярних рішень було прийнято рішення використовувати спеціалізований перетворювач НХ711, який широко застосовується у вимірювальних системах, побудованих на тензодатчиках (рис.3.2).

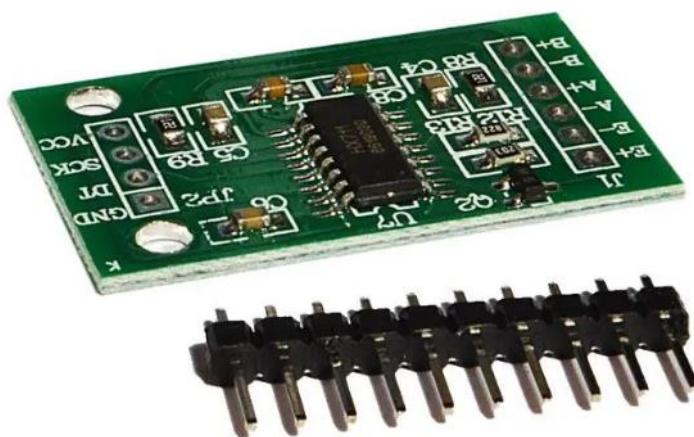


Рисунок 3.2 – Аналогово-цифровий перетворювач НХ711 [20]

АЦП НХ711 є 24-бітним високоточним перетворювачем, у конструкцію якого інтегровано малошумний програмно налаштовуваний підсилювач. Наявність вбудованого підсилювача зі значеннями коефіцієнтів 32, 64 та 128 дозволяє адаптувати пристрій під різні типи тензометричних мостів та діапазонів вимірювань. Оскільки тензодатчики зазвичай формують сигнал у межах 1–20 мВ, наявність такого підсилення є критично важливою для забезпечення якісної обробки

сигналу без втрати точності. Таким чином, НХ711 дозволяє реєструвати навіть мінімальні зміни сили, що виникають на початкових етапах навантаження або при випробуваннях м'яких, високоеластичних матеріалів.

Однією з ключових характеристик НХ711 є його висока чутливість та роздільна здатність, що сягає 24 біт. Це дозволяє отримувати дуже плавні та деталізовані графіки «навантаження – деформація», що є важливим для оцінки механічної поведінки матеріалів та подальших аналітичних розрахунків. Завдяки високій метрологічній стабільності АЦП забезпечує надійність вимірювань навіть при тривалих тестах, наприклад під час досліджень повзучості або тривалої міцності матеріалів.

НХ711 підтримує два режими частоти вибірки - 10 Гц та 80 Гц, що дозволяє адаптувати систему до різних типів експериментів.

Режим 10 Гц забезпечує мінімальні шуми та використовується для статичних або квазістатичних випробувань, де параметри змінюються повільно.

Режим 80 Гц дає можливість реєструвати швидкі зміни навантаження, що важливо при динамічних тестах, різких розривах або випробуваннях матеріалів із низькою пластичністю.

Інтеграція НХ711 у структуру стенду є простою завдяки використанню лише двох цифрових ліній - DOUT та SCK, що зменшує складність схеми і полегшує підключення до мікроконтролера, одноплатного комп'ютера або блока керування. Після оцифрування сигнал передається у комп'ютер, де здійснюється його запис, фільтрація, масштабування та подальший аналіз у спеціалізованому програмному забезпеченні.

Ще однією перевагою НХ711 є його низьке енергоспоживання, що дозволяє використовувати його у компактних або мобільних стендах. Крім того, він має високу завадостійкість, що є важливим для роботи у лабораторному середовищі, де присутні електромагнітні перешкоди від електродвигунів, пускової апаратури та іншого обладнання розривної машини.

У порівнянні з універсальними АЦП (наприклад, ADS1115, MCP3424 або AD7705), НХ711 має ряд переваг саме в контексті роботи з тензодатчиками:

- спеціалізований канал для мостових сенсорів;
- вбудований малошумний підсилювач;
- опціональна фільтрація;
- просте підключення;
- оптимізований алгоритм обробки малих сигналів;
- мінімальна потреба у додаткових компонентах.

Враховуючи всі зазначені властивості, вибір АЦП НХ711 є технічно обґрунтованим і найбільш раціональним для системи вимірювання зусиль удосконаленої розривної машини. Його застосування суттєво підвищує точність, чутливість та надійність реєстрації зусилля, забезпечуючи можливість подальшої цифрової обробки та аналізу результатів.

Таким чином, інтеграція НХ711 у структуру вимірювального комплексу стенду повністю відповідає вимогам сучасних випробувальних систем та є оптимальним рішенням для даної магістерської роботи.

### 3.3 Розробка стенду для дослідження матеріалів на розрив

Для проведення комплексних випробувань на розтягування та визначення механічних властивостей матеріалів було розроблено експериментальний стенд, загальний вигляд якого наведено на рис. 3.3 (аркуш [МРМА25.00.00.000ДІ2]). Стенд поєднує модернізовану розривну машину, комп'ютерний комплекс та вимірювальне обладнання, що забезпечує автоматизовану реєстрацію зусиль та деформацій під час випробувань [24–29].

Оснoву стенду становить розривна машина 1, конструктивно призначена для створення контрольованого навантаження на зразок. Вона забезпечує плавне регулювання швидкості переміщення рухомого захвату, можливість задання початкових параметрів випробування та надійне закріплення матеріалу. Механічна

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

частина машини залишена без змін, однак її вимірювальний тракт було модернізовано: встановлено тензометричний датчик зусилля та підключено спеціалізований АЦП. Це дозволяє замінити традиційну стрілочну індикацію на цифрову форму реєстрації параметрів, що значно підвищує точність та оперативність отримання даних.



1-розривна машина; 2-компютер; 3-вимірювальне устаткування  
Рисунок 3.3 – Фото стенду для дослідження розриву матеріалів:

Для оброблення та візуалізації інформації використовується персональний комп'ютер 2, на якому встановлено програмне забезпечення для оцифрування сигналу, побудови графіків та автоматичного визначення основних характеристик розриву. Програма забезпечує відображення навантаження в реальному часі, фіксацію моменту розриву зразка, збереження результатів, а також їх подальший ана-

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.  
57

ліз і експорт у стандартні інженерні формати. Наявність комп'ютера дає змогу розширити функціональність розривної машини, здійснювати математичну обробку даних, проводити повторні розрахунки та формувати звітні документи.

Зв'язок між тензодатчиком і комп'ютером забезпечує вимірювальне обладнання 3, до якого входить аналогово-цифровий перетворювач, блок узгодження сигналів та інтерфейс підключення. Саме ця частина стенду здійснює первинне підсилення, фільтрацію та оцифрування сигналу, передаючи його у цифровій формі для подальшої обробки. Використання сучасного АЦП дозволяє отримувати високу роздільну здатність, знижувати похибку вимірювань і контролювати процес деформації з високою точністю. Вимірювальне обладнання є ключовою ланкою модернізації, оскільки забезпечує інтеграцію традиційної механічної машини з сучасною комп'ютеризованою системою реєстрації навантаження.

Загальна структурна побудова стенду дозволяє комплексно проводити випробування матеріалів, зокрема текстильних, полімерних, шкіряних та інших пружних матеріалів, що широко використовуються у легкій промисловості. Завдяки модернізації класичної розривної машини вдалося підвищити точність, швидкість та зручність експериментальних досліджень, а також забезпечити відповідність сучасним вимогам метрології та наукових досліджень.

Таким чином, розроблений стенд виконує функції автоматизованої системи випробувань та забезпечує достовірність вимірювання навантажень, можливість цифрової реєстрації результатів і високу відтворюваність експериментів, що є необхідним для практичних і наукових досліджень.

### 3.4 Розробка блок-схеми фіксації результатів дослідження

Сучасні інструментальні програмні засоби надають широкі можливості для розроблення ефективних вимірювальних систем, здатних працювати у реальному часі та забезпечувати автоматизовану обробку експериментальних даних. У

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



На першому етапі цифровий сигнал від АЦП НХ711 надходить у блок DAQ Assistant, який виконує функцію інтерфейсу між апаратною та програмною частинами системи. У цьому блоці задаються параметри дискретизації, режим роботи вимірювального модуля та властивості каналу вводу. Далі дані передаються на етап попередньої цифрової фільтрації, де відсікаються шуми та високочастотні перешкоди, що можуть виникати через вібрації механічних елементів розривної машини, електромагнітні завади або нестабільність сигнальних ліній. Застосування фільтра значно підвищує стабільність показів і дозволяє отримати чітку й надійну діаграму зміни зусилля.

Відфільтрований сигнал підсилюється множником, що необхідно для приведення його амплітуди до рівня, зручного для відображення та подальших обчислень. Значення підсиленого сигналу виводиться на індикатор «Зусилля вх.», розташований на лицьовій панелі віртуального приладу. Це дозволяє оператору контролювати якість отриманих даних у реальному часі та своєчасно реагувати на можливі відхилення або артефакти сигналу. На наступному етапі здійснюється процедура встановлення нульового рівня. Для цього використовується функція різниці, яка порівнює вхідний сигнал із еталонним нульовим значенням. Оператор активує регулятор «Виставлення на нуль сили», після чого програмно компенсується вплив власної ваги захватів, монтажних напружень у тензодатчику або початкових зсувів сигналу. Завдяки цьому вся подальша діаграма будується від нульової точки, що забезпечує високу точність та відтворюваність вимірювань.

Після нульового коригування сигнал множиться на коефіцієнт тарування, попередньо визначений експериментальним шляхом навантаження тензодатчика еталонними величинами сили. Цей коефіцієнт дозволяє перетворити цифровий код АЦП у фізичну величину - реальне зусилля розриву. Розраховане значення відображається у числовому індикаторі «Зусилля вих.» і паралельно подається на графічний елемент «Графік зміни сили», який у режимі реального часу буде

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

криву навантаження. Такий підхід забезпечує наочне представлення процесу розтягування зразка, дозволяє фіксувати момент настання пластичних деформацій, визначати максимум навантаження та параметри руйнування.

Важливою частиною функціоналу є система збереження даних. У блок-схему інтегровано модуль запису у файл, який отримує поточні значення сили та час проведення вимірювання. Користувач може керувати записом за допомогою двох елементів: кнопки «Запис» для початку або зупинки збереження даних та кнопки «Reset» для скидання попередніх значень і підготовки системи до нового експерименту. Формат даних дозволяє подальший імпорт у табличні редактори та програмні засоби статистичної обробки, що істотно розширює можливості аналізу.

Розроблена блок-схема забезпечує синхронну роботу всіх елементів вимірювального комплексу, що дозволяє реалізувати точний і стабільний збір інформації на всіх етапах експерименту - від початку навантаження до моменту руйнування зразка. Наочне представлення даних, можливість цифрової реєстрації, автоматизація обчислень і висока відтворюваність роблять цей функціональний модуль важливою частиною модернізованого стенду. Застосування LabVIEW у системі фіксації результатів дало змогу повністю автоматизувати процес вимірювання та підвищити точність визначення механічних характеристик матеріалів, що є критично важливим для досліджень у галузі легкої промисловості, матеріалознавства та машинобудування. Таким чином, програмний модуль, побудований на основі LabVIEW, став невід'ємним елементом створеного стенду і забезпечив можливість отримання високодостовірних результатів механічних випробувань.

### 3.5 Методика проведення випробувань на стенді для дослідження матеріалів на розрив

Методика проведення випробувань на розривних машинах базується на забезпеченні відтворюваних умов навантаження, правильному встановленні зразків,

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

коректному налаштуванні вимірювального обладнання та точній реєстрації силових і деформаційних параметрів. Розроблений стенд, що включає розривну машину, комп'ютерну систему оброблення даних та цифровий модуль фіксації результатів, працює як єдиний вимірювальний комплекс, що дозволяє отримувати повну інформацію про процес руйнування матеріалу.

Перед початком випробувань проводиться підготовка обладнання, яка включає візуальну перевірку справності розривної машини, огляд затискачів, перевірку ходу рухомої траверси та працездатності електроприводу. Оператор перевіряє електричні з'єднання між тензодатчиком, АЦП НХ711 та комп'ютером, а також правильність запуску програмного забезпечення LabVIEW, що відповідає за збір і оброблення сигналів. Після цього виконується калібрування системи. Для встановлення нульової позначки проводиться розвантаження затискачів та натискання кнопки «Виставлення на нуль сили» у програмному модулі, що компенсує власну вагу системи та усуває початкові зсуви сигналу, спричинені температурними впливами або дрейфом електроніки.

Підготовка зразків здійснюється відповідно до стандартів, які регламентують їхню форму, розміри та умови підготовки поверхні. Перед установленням зразки оглядають для виявлення дефектів, тріщин, неоднорідностей або пошкоджень, які можуть вплинути на точність результатів. Зразок закріплюється у затискачах розривної машини таким чином, щоб його осьова лінія співпадала з напрямком прикладеної сили. Важливо забезпечити відсутність перекосів та нерівномірного затиснення, оскільки це може призвести до похибок та передчасного руйнування зразка.

Після встановлення зразка оператор задає параметри випробування у програмному забезпеченні: швидкість переміщення рухомої траверси, частоту дискретизації сигналу, тривалість експерименту та режим реєстрації даних. Під час запуску стенду рух траверси створює рівномірно зростаюче розтягувальне навантаження. Сигнал від тензодатчика надходить до АЦП НХ711, де він перетворюється у цифрову форму і передається в LabVIEW. У програмному модулі сигнал

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

проходить фільтрацію, нормалізацію, тарування та виводиться у вигляді числових показів і графіка зміни зусилля в реальному часі.

У ході випробування оператор спостерігає за рівномірністю навантаження, характером деформування зразка та відсутністю сторонніх шумів у сигналі. Програма здійснює автоматичний запис даних у файл, що дозволяє проводити післяекспериментальний аналіз. Розрив зразка фіксується за характерним падінням зусилля на діаграмі, після чого випробування завершується автоматично або вручну.

Після завершення досліду проводиться аналіз отриманих даних. Визначаються максимальне зусилля, модуль пружності, відносне подовження, енергія руйнування та інші параметри залежно від типу матеріалу та завдань дослідження. За потреби здійснюється розрахунок статистичних характеристик для серії зразків. Результати експортуються у табличний формат і використовуються для подальшої наукової та технічної інтерпретації.

Запропонована методика забезпечує високу точність, відтворюваність та інформативність результатів випробувань, оскільки поєднує достовірність механічної частини розривної машини, чутливість тензодатчика, стабільність АЦП та можливості цифрового аналізу у середовищі LabVIEW. Такий підхід дозволяє всебічно досліджувати фізико-механічні властивості матеріалів та отримувати повну картину процесу їх руйнування.

### 3.6 Висновки до третього розділу

У третьому розділі було розроблено та обґрунтовано структурну схему стенду для дослідження матеріалів на розрив, що забезпечує інтеграцію розривної машини з комп'ютеризованою системою збору та оброблення даних. Проведений аналіз дозволив визначити необхідні функціональні елементи вимірювального комплексу, зокрема аналогово-цифровий перетворювач, програмне забезпечення для фіксації результатів та засоби відображення параметрів деформування.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення високої точності вимірювань було обрано АЦП типу НХ711, який має підвищену чутливість, вбудований підсилювач та оптимізований для роботи з тензометричними датчиками. Такий вибір дозволив значно підвищити точність реєстрації зусилля та забезпечити стабільне перетворення аналогових сигналів у цифрові дані, придатні для подальшого аналізу.

Розроблений стенд, що включає розривну машину, вимірювальний модуль та комп'ютер, продемонстрував можливість оперативної реєстрації процесу руйнування матеріалів у реальному часі. Програмна реалізація на основі середовища LabVIEW дала змогу сформувати блок-схему фіксації результатів, яка забезпечує фільтрацію, підсилення, тарування сигналу та його відображення у числовому та графічному вигляді. Автоматизований запис даних у файл створює можливість для подальшого наукового опрацювання та порівняння серій випробувань.

У підсумку, у третьому розділі сформовано цілісну методичну та технічну основу для проведення випробувань на розрив у модернізованій системі. Розробка структурної схеми, обґрунтований вибір апаратних компонентів та створення програмного забезпечення забезпечили підвищення точності, зручності та інформативності досліджень, що є важливим для подальшого удосконалення розривних машин і їх застосування у матеріалознавчих дослідженнях.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі виконано комплексне дослідження процесів руйнування матеріалів під дією розтягувальних навантажень та здійснено модернізацію існуючої розривної машини шляхом розроблення вимірювального стенду з автоматизованою системою фіксації результатів. Проведений аналітичний огляд сучасних методик випробування матеріалів, засобів вимірювання деформацій і конструкцій розривних машин дозволив визначити основні тенденції розвитку випробувальної техніки та сформулювати вимоги до модернізованої системи.

У теоретичній частині було уточнено закономірності деформування та руйнування матеріалів, охарактеризовано статичні й динамічні режими навантаження, особливості застосування тензометричних датчиків та підходи до цифрової обробки сигналів. Узагальнення наукових положень забезпечило наукове обґрунтування подальших конструктивних рішень.

У практичній частині роботи розроблено структурну схему вимірювального комплексу, виконано вибір і обґрунтування апаратної частини, зокрема використання АЦП НХ711 для високоточної реєстрації сили. Створено модернізований стенд, який включає розривну машину, вимірювальний модуль та персональний комп'ютер із програмним забезпеченням LabVIEW. Розроблена блок-схема фіксації результатів забезпечує приймання, фільтрацію, тарування та графічне відображення сигналів у режимі реального часу, а також автоматичне збереження даних для подальшого аналізу. Запропонована методика проведення випробувань дозволяє підвищити точність визначення механічних характеристик матеріалів та покращити відтворюваність експериментів.

Загалом робота продемонструвала ефективність інтеграції сучасних цифрових засобів з традиційними випробувальними установками, що дало змогу суттєво

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

підвищити інформативність і точність досліджень. Отримані результати підтверджують практичну значущість модернізації розривних машин і можуть бути використані для подальшого розвитку вимірювальних систем, удосконалення лабораторного обладнання та підвищення якості матеріалознавчих випробувань.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Розривні машини, преси [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://labdepo.com.ua/ispytaniya-materialovua/rozrivni-mashini-presi\\_ua](https://labdepo.com.ua/ispytaniya-materialovua/rozrivni-mashini-presi_ua)
2. Антонова Г.В. Механічні випробування матеріалів: навчально – методичний посібник для виконання лабораторних робіт (Частина 1) Г.В. Антонова, О.О. Вершков, Л.Ю.Бондаренко, А.П. Чаплінський. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 112с.
3. Цурпал І.А. Механіка матеріалів і конструкцій: Навч. посібник. – К.: Вища освіта, 2005. – 367 с.: іл.
4. Ніколайчук Л.Г. Оцінка впливу багаторазового прання на розривні характеристики білизняних тканин з вмістом катоніну. Легка промисловість. – 2001. – №2. – С. 51.
5. Кучерук Г. І., Чалий В. О. Вимірювальні перетворювачі та сенсори: підручник. - Київ: Кондор, 2016. — 456 с.
6. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Перетворювачі та пристрої виміральної техніки» для студентів всіх форм навчання спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» відділу Інфокомунікацій та інженерії. / Уклад.: О.Д. Архелюк – Чернівці.: ЧНУ імені Юрія Федьковича 2021. – 51 с.
7. Тензометри. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://um.co.ua/8/8-2/8-22810.html>.
8. Поліщук Є.С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин: Підручник. – Львів: Видавництво Державного університету №Львівська політехніка», 2000. – 360с.
9. Бондаренко Л. Ю. Лабораторний практикум з механіки матеріалів і конструкцій: навч. посіб. / Л. Ю. Бондаренко, О. О. Вершков, Г. В. Антонова; – Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2020. – 243с.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

10. Розривна машина WAW-500C. [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<http://www.timeinstrument.com.ua/ru/productionru/23-2012-09-13-09-08-52/117---waw-500c.html>

11. Розривна машина WDW-5E [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<http://www.timeinstrument.com.ua/ru/productionru/24--300/133---wdw-5e.html>

12. Дослідження формостійкості трикотажного полотна для фехтувального одягу при статичних та динамічних навантаженнях. [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
[https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/4589/1/Tatrv\\_2016\\_5\(3\)\\_\\_9.pdf](https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/4589/1/Tatrv_2016_5(3)__9.pdf).

13. Розривна машина WDW-20E [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<http://www.timeinstrument.com.ua/ru/productionru/24--300/136---wdw-20e.html>

14. Універсальна гідравлічна випробувальна машина WEW-2000A [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<http://www.timeinstrument.com.ua/ru/productionru/23-2012-09-13-09-08-52/132-----wew-2000a.html>

15. Тензодатчик HBM Z6 [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://prom.ua/ua/Tenzodatchik-hbm-z6.html>

16. Тензодатчик HBM C2 [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://constantavest.com/uk/product/tenzodatchik-hbm-c2/>

17. Датчик сили/крутного моменту ATI-Mini45 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://grabcad.com/library/ati-mini45-force-torque-sensor-1>

18. Тензодатчик Zemic H3 [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://surl.li/jnsysl>

19. Машина для дослідження текстильних матеріалів RT-250M-2 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://asma.com.ua/files/91/1511096847inform-rt-250.pdf>

20. Модуль АЦП HX711 [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://prom.ua/ua/p724876035-modul-atsp-hx711.html>

21. Створення віртуальних приладів в середовищі LabVIEW [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / В.М. Головня; РТФ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,92 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 142с.

22. Сайт компанії National Instruments: [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ni.com>

23. Visual Programming Languages. Огляд візуальних мов програмування (in English) URL : <http://blog.interfacevision.com/design/designvisualprogramming-languages-snapshots/>

24. Дорожковець М. Опрацювання результатів вимірювань / Дорожковець М. — Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. — 624 с.

25. Луценко Г.В. Використання засобів LabVIEW у процесі обробки експериментальних даних статистичними методами [Електронний ресурс] / Г.В. Луценко Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, м. Черкаси 2013.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		69

ДОДАТОК А

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		