

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Розроблення автоматизованого лабораторного стенду
для тестування пружин»

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи КА-41
спеціальності 151 «Автоматизація
та комп’ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)

	(підпис)	Мацишин Н.Б. (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	Медвідь В.Р. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Шовкун О.П. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	(підпис)	Савків В.Б. (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	Левицький В.В. (прізвище та ініціали)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Савків В.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Мацишин Назару Богдановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розроблення автоматизованого лабораторного стенду
для тестування пружин»

Керівник роботи к.т.н., доцент Медвідь В.Р.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «11» квітня 2025 року № 4/7-310
2. Термін подання студентом завершеної роботи 24 червня 2025 року
3. Вихідні дані до роботи Перелік параметрів, які підлягають контролю. Перелік даних, які
необхідно отримати в результаті тестування. Методи контролю.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Аналітична частина. Проєктна частини. Спеціальна частина. Безпека життєдіяльності, основи
охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Складальне креслення стенду для тестування пружин. 3D модель стенду для тестування
пружин. Структурна схема стенду для тестування пружин. Функціональна схема стенду для
тестування пружин. Схема електрична принципова системи керування стендом для тестування
пружин. Геометричні і силові параметри пружин стиснення. Розрахункова схема для
визначення тягового зусилля. Результати роботи програми.

[illegible]

7. Дата видачі завдання 10 лютого 2025 року

[illegible]

Студент _____
(підпис)

Мадишин Н.Б.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Медвідь В.Р.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

«Розроблення автоматизованого лабораторного стенду для тестування пружин»
студента групи КА-41 Мацишина Н.Б.

Розрахунково-пояснювальна записка: 66 аркушів формату А4, 38 рисунків, 17 формул, 16 літературних джерел, графічна частина – 7 аркушів формату А1

Мета: розроблення конструкції автоматизованого лабораторного стенду для тестування пружин, її апробація та аналіз результатів.

Для досягнення поставленої мети вирішено завдання:

- вивчено сучасний стан питання, виконано літературний огляд за темою роботи, сформульовано висновки та основні завдання;
- проаналізовано сучасні методи тестування пружин;
- розроблено структурну та функціональну схеми стенду;
- розроблено конструкцію лабораторного стенду;
- розроблено програмне забезпечення для керування лабораторним стендом;
- проведено перевірку роботи системи в реальних умовах;
- розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці.

Методи виконання роботи: економіко-статистичний, графічний, порівняльний, математичного моделювання; теоретико-емпіричний.

Ключові слова: автоматизація, стенд, мікропроцесор, контролер, пружина, система, алгоритм, програма

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Роль пружинних механізмів в автоматизованому виробництві	7
1.2 Огляд конструкцій устаткування для тестування пружин	12
1.3 Актуальність розробки автоматизованих засобів контролю пружин	19
1.4 Висновки і постановка задач на кваліфікаційну роботу	20
2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	22
2.1 Призначення та загальна характеристика об'єкта контролю	22
2.2 Розроблення структурної схеми стенда.....	31
2.3 Розроблення функціональної схеми стенда	31
2.4 Розроблення конструкції стенда для тестування пружин	32
2.4.1 Розроблення ескізної компоновки стенда	32
2.4.2 Розрахунок тягового зусилля приводу.....	34
2.5 Опис конструкції розробленого автоматизованого лабораторного стенду для тестування пружин.....	35
2.6 Розроблення схеми керування стендом	37
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	45
3.1 Розробка програмного забезпечення для керування стендом	45
3.2 Програмне забезпечення для передачі та обробки даних	46
3.3 Приклад роботи програмного забезпечення для тестування пружин.....	51
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	53
4.1 Діяльність, її види та розуміння в безпеці праці	53
4.2 Вибір схеми пристрою захисного відключення від ураження електричним струмом для електроустановки напругою до 1000 В	56
ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	64
ДОДАТКИ.....	66

ВСТУП

Сучасний розвиток промисловості неможливий без широкого впровадження систем автоматизації, які забезпечують підвищення продуктивності, якості продукції, енергоефективності та безпеки виробництва. Автоматизація є ключовим фактором у реалізації концепції Індустрії 4.0, яка передбачає інтеграцію фізичних виробничих процесів з цифровими технологіями, штучним інтелектом та Інтернетом речей.

У зв'язку з постійним зростанням вимог до швидкості, точності та гнучкості виробничих процесів, виникає необхідність у розробці та впровадженні сучасних автоматизованих систем керування. Особливої актуальності набуває створення енергоефективних, надійних і адаптивних рішень, які враховують особливості конкретних технологічних процесів.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розроблення автоматизованого лабораторного стенду для тестування пружин. В процесі виконання роботи проведено аналіз сучасного стану питання, обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації, розроблено конструкцію, схему керування, алгоритм керування та програмне забезпечення для визначення основних силових характеристик пружин стиснення.

Об'єктом дослідження є технологічний процес контролю параметрів пружин, а предметом — автоматизовані методи та засоби вимірювання механічних характеристик пружин.

Результати роботи можуть бути впроваджені на підприємствах, що займаються виробництвом пружин для підвищення якості продукції та зниження витрат на контроль, на підприємствах сервісного обслуговування, а також в навчальному процесі при виконанні лабораторних досліджень.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Роль пружинних механізмів в автоматизованому виробництві

Рівень автоматизованого виробництва залежить від швидкості, точності та стабільності, а досягнення цього часто залежить від бездоганної роботи найдрібніших компонентів. Пружинні механізми є одним із таких компонентів.

Тихі, компактні та надійні, вони виконують безліч завдань у виробничих середовищах, від простого позиціонування деталей до складних багатоетапних операцій.

Пружини є невід'ємними компонентами в автоматизованих системах, забезпечуючи рішення для забезпечення відповідності вимогам, накопичення енергії та контролю сили, сприяючи функціональності та продуктивності автоматизованих систем та покращуючи їх.

Пружини в системах автоматизації відіграють важливу роль, оскільки забезпечують зберігання, передачу або регулювання механічної енергії.

Вони можуть виконувати кілька функцій у різних автоматизованих системах, зокрема:

- акумуляція енергії: пружини зберігають механічну енергію та вивільняють її при необхідності, наприклад, для повернення деталі у вихідне положення після спрацювання актуатора;
- гасіння вібрацій і ударів: системах автоматизації, де виникають динамічні навантаження, пружини можуть слугувати демпферами – поглинають або компенсують удари, коливання та вібрації;
- сила зворотної дії: у виконавчих механізмах (пневматичних, гідравлічних, електромеханічних) пружини часто використовуються для забезпечення зворотного ходу або стабілізації положення;
- контактний тиск: а контактах реле, кнопок, вимикачах, та інших елементах керування пружини забезпечують необхідний контактний тиск або повернення до початкового стану;
- навантаження та компенсація: в автоматичних пристроях пружини можуть

служити для компенсації змін навантаження або температурного розширення.

Приклади використання:

- соленоїди з пружиною повернення – для автоматичного відключення;
- пружинні муфти – для передачі моменту з компенсацією перекосів;
- пружинні датчики (сенсори) – де вимірювання базується на деформації пружини;
- пневматичні клапани з пружинним поверненням – для безпечного закриття в разі втрати тиску.

Пружинні механізми використовують накопичену механічну енергію – зазвичай від стиснення, розтягування або кручення – для застосування сили або повернення компонента в певне положення. Вони використовуються в усьому, від затискних систем та викидачів деталей до індексуючих інструментів та механізмів подачі.

Переваги очевидні – після навантаження пружина контрольовано вивільняє свою енергію. Це робить її надійним, автономним генератором сили. В автоматизованих системах це означає більше точок відмови та більш передбачуваний рух.

Існує декілька видів пружин.

Пружини стиснення: призначені для опору осьовому стиску та найчастіше використовуються для протидії силам.

Пружини розтягування: працюють, накопичуючи енергію при розтягуванні та вивільняючи її при знятті натягу.

Пружини постійного зусилля: забезпечують майже рівномірне зусилля по всьому розтягуванню, на відміну від традиційних гвинтових пружин, навантаження яких змінюється.

Торсійні пружини: застосовують крутний момент або обертальну силу та найчастіше використовуються у вузлах, що потребують шарнірного руху.

Вибір правильного типу залежить від необхідного навантаження, обмеженого простору, умов експлуатації та терміну служби.

Пружинні механізми можна масштабувати для різних систем, від платформ

мікроскладання до великих промислових робіт.

В дрібносерійному складанні електроніки або медичних виробів мініатюрні пружини забезпечують м'яке зусилля для точного вирівнювання. Потужні пружини матриць поглинають удари у високотонажних лініях формування металу або пакування, забезпечуючи безпечне переналаштування інструменту на високих швидкостях.

Така масштабованість означає, що одні й ті ж принципи проектування можна застосовувати в абсолютно різних системах, що може скоротити час проектування та спростити пошук компонентів.

Це відкриває двері для багатоцільових машин, які можна швидко переналаштувати завдяки притаманній їм адаптивності пружинних деталей.

Вибір матеріалу безпосередньо впливає на роботу пружинних механізмів, особливо у складних виробничих умовах. Окрім характеристик продуктивності, на кінцеву продуктивність також впливатимуть довговічність та фактори навколишнього середовища, яким піддаватиметься ваш пристрій. Екстремальні агресивні умови можуть погіршити термін служби та надійність пристрою.

Нержавіюча сталь є найпоширенішим матеріалом завдяки своїй стійкості до корозії та міцності, що робить її придатною для чистих приміщень, ліній харчового виробництва або зовнішніх установок. Для високоциклових операцій або систем, що піддаються впливу тепла, можуть знадобитися втомостійкі сплави, такі як інконель або високовуглецевий пружинний дріт з фосфатним покриттям.

Покриття та обробка поверхні також можуть відігравати певну роль у продовженні терміну служби та покращенні продуктивності. Цинкове покриття, чорне оксидування та порошкове покриття можуть захистити пружини від зношення внаслідок впливу навколишнього середовища та зменшити тертя в рухомих вузлах.

Зрештою, правильний вибір матеріалів буде необхідним для забезпечення надійності при повторюваних навантаженнях, мінімізації поломок та витрат на заміну.

В крупносерійному виробництві узгодженість відіграє велику роль. Пружинні пристрої часто використовуються для правильного кріплення деталей,

рівномірного тиску або забезпечення повторюваного позиціонування. Наприклад, пружинні плунжери у пристосуваннях дозволяють операторам або роботам швидко вирівнювати та закріплювати деталі без додаткового регулювання.

Пружини також допомагають компенсувати невеликі відхилення в розмірах деталей. Таке поглинання допусків допомагає зменшити потребу в жорстких допусках у початкових процесах, що може знизити загальні витрати. Це простий спосіб забезпечити безперебійну роботу всієї системи без надмірного інженерного оздоблення.

Одна з найбільших переваг пружинних механізмів полягає в швидкості їхньої реакції. Немає затримки чи затримки сигналу. Пружина повертається у вихідне положення, щойно сила звільняється.

Ця швидкість особливо цінна в таких процесах, як штампування, пресування або операції з підбиранням та розміщенням, де має значення час циклу. Чим менше мілісекунд витрачається на очікування скидання чогось, тим краща ваша пропускна здатність. Пружини роблять це без потреби зовнішнього керування чи повторного калібрування.

Вони також є гарним запасним варіантом у разі втрати живлення або подачі повітря. Пружинний зворотний клапан утримує систему в безпечному або нейтральному положенні без датчиків.

Ефективність сучасного виробничого устаткування значною мірою залежать від модульності. Незалежно від того, чи використовується швидкозмінний інструмент, чи роботизовані комірки, пружинні компоненти допомагають спростити налаштування та демонтаж.

Наприклад, у затискних системах пружинні затискачі можуть фіксуватися на місці без ручного затягування.

У поєднанні з пневматичним або електричним приводом вони пропонують гібридну конфігурацію – швидкий, потужний рух від приводу, підкріплений надійністю та простотою пружини для повернення системи до положення за замовчуванням або утримання.

Ці компоненти також поширені в конвеєрних системах, індексних столах, схватах і системах запобіжного блокування.

Зі зростанням складності систем мінімізація точок відмови стає важливішою. Пружинні механізми пропонують пасивний спосіб підтримки контролю руху без збільшення навантаження на ПЛК, контролери двигунів або датчики.

Наприклад, пружинний привід автоматично повертає інструмент у початкове положення, не чекаючи на керуючий сигнал. Фіксаторний механізм може забезпечувати тактильний зворотний зв'язок або фізичні зупинки без необхідності електронного контролю.

Така незалежність від активного керування робить пружинні компоненти цінними в критично важливих для безпеки операціях, оскільки дозволяє їм продовжувати функціонувати під час відключення електроенергії або аварійних зупинок.

Вони також зменшують навантаження на пневматичні або електричні системи, що додатково може сприяти економії енергії.

Навіть в найсучасніших автоматизованих системах не всі автоматизовані виробничі завдання повністю безлюдні. Багато систем все ще передбачають втручання людини для налаштування, перевірки або перемикання. Пружинні пристрої покращують цю взаємодію, забезпечуючи опір, зворотний зв'язок або допомогу, що часто робить інструменти більш інтуїтивними та, в ідеалі, зменшує втому оператора.

Саме для цього використовуються безінструментальні кріплення, які замикаються за допомогою фіксаторів, пружинні штифти, що фіксують деталі без потреби в кріпленнях, або ергономічні кронштейни, що врівноважують вагу, зменшуючи навантаження. Усі ці системи існують для підвищення продуктивності, покращення безпеки та зменшення ризику травм від повторюваних рухів.

Ще одна перевага пружинних компонентів, яка часто залишається непоміченою, полягає в часі безвідмовної роботи. Пружинні компоненти зазвичай є автономними та не потребують обслуговування. Це значно підвищує ймовірність зменшення кількості викликів до служби технічного обслуговування, тим самим обмежуючи ваш ризик незапланованих простоїв.

Коли потрібне технічне обслуговування, заміна зношених пружин часто буває швидшою та дешевшою, ніж діагностика несправних датчиків або виконавчих

механізмів. У високоавтоматизованих середовищах, де кожна хвилина простою тягне за собою певні витрати, прості компоненти, такі як пружини, можуть і будуть вирішальними факторами між швидким виправленням та дорогою затримкою.

Пружинні механізми є критично важливими в сучасних автоматизованих виробничих системах. Надійність і простота пружинних компонентів є великою перевагою для високоточних застосувань та крупносерійного виробництва.

Використання пружинних компонентів пропонує виробникам більш надійну, енергоефективну та зручну для оператора систему, яка все ще може працювати відповідно до необхідних характеристик.

Навіть попри те, що автоматизація продовжує розвиватися, пружинні пристрої залишаються важливими. Вони забезпечують зусилля, скидають рух і підтримують вирівнювання без проводки, програмування чи зовнішнього живлення.

1.2 Огляд конструкцій устаткування для тестування пружин

В сучасних умовах високої конкуренції та автоматизації виробничих процесів якість і точність виготовлення машинобудівних елементів набувають вирішального значення. Одним із таких критично важливих елементів є пружини, що широко застосовуються в різних галузях – від приладобудування до важкого машинобудування. Стабільність їхніх характеристик напряду впливає на надійність і ефективність роботи всієї технічної системи.

Процеси виготовлення та контролю пружин вимагають високого рівня точності та повторюваності. Традиційні методи контролю, що базуються на ручних вимірюваннях, є трудомісткими, повільними та часто призводять до помилок. У зв'язку з цим актуальним є впровадження автоматизованих систем контролю параметрів пружин, що забезпечують об'єктивність, швидкодію та точність вимірювань у режимі реального часу. Типовими параметрами, що вимірюються на пружинах, є жорсткість пружини, навантаження на пружину, навантаження при зміщенні та зміщення при навантаженні.

Машини для випробування пружин, також відомі як пристрої для випробування пружин або машини для випробування пружин, використовуються для перевірки якості пружин та забезпечення їх відповідності заданим вимогам.

Машини для випробування пружин доступні різного конструктивного виконання та розмірів для випробування різних типів пружин.

Стандартні випробувальні системи оснащені шести- або дев'ятикомпонентною платформою для вимірювання сили для пружинної випробувальної машини. Це дозволяє точно визначити точки перетину пружин та результуючу силу від складових сили під час навантаження пружини стискаючим зусиллям. Ці характеристичні значення важливі для оцінки таких характеристик якості: тертя, зношення та термін служби.

Машина для випробування одноосьових гвинтових пружин стиску (рис. 1.1) разом із комплектом для прецизійного випробування пружин на стиск ідеально підходить для використання як прецизійна машина для випробування пружин. Комплект надзвичайно стійкий до поперечних сил і захищає від перевантаження. Заземлені, розмагнічені компресійні плити мають точність паралельного вирівнювання 1 мкм/10 мм. Прецизійні напрямні дозволяють точне вертикальне переміщення компресійних плит лише для уникнення впливу сил зсуву. Точне прикладання навантаження до пружин призводить до високоточних результатів випробувань. Крім того, функції захисту від зіткнень у режимі реального часу та захист від механічного перевантаження підвищують безпеку оператора. Крім того, завдяки інтелектуальному програмному забезпеченню для випробувань забезпечуються надійні результати випробувань навіть з різними операторами.



Рисунок 1.1 – Машина для випробування одноосьових гвинтових пружин стиску

Цифрова випробувальна машина компанії FINE TECHNO ENGINEERING (рис. 1.2) відповідає стандарту IS:1828 / BS:1610, і використовується для швидкого та точного випробування пружин розтягу та стиску. Машина складається з двох жорстких хромованих колон з гвинтом та маховиком для ручного завантаження та розвантаження. Машина використовує високоточний тензодатчик для вимірювання сили. Для вимірювання переміщення використовується механічна лінійна шкала, цифровий штангенциркуль або поворотний енкодер. Вимірювальна система машини базується на новітній мікропроцесорній електроніці з функцією тарування.



Рисунок 1.2 – Цифрова випробувальна машина
компанії FINE TECHNO ENGINEERING

Характерними особливостями таких машин є:

- наявність мікропроцесорного блоку;
- наявність цифрового дисплею, який показує навантаження та переміщення;
- вибір одиниці навантаження, кг, Ньютон;
- тип випробування: стиснення;
- точність вимірювання сили $\pm 1\%$ від зазначеного навантаження або $0,5\%$ від значення повного навантаження;

- швидке та точне вимірювання;
- змінні тензодатчики;
- точність завантаження в межах $\pm 1\%$;
- інтерфейс RS-232 для комп'ютера з програмним забезпеченням на базі Windows.

Компанія AMETEK спеціалізується на виготовленні машин, призначених для проведення високоточних випробувань пружин, що забезпечує високоточні результати випробувань, які легко читати та експортувати в Excel або через інтерфейс RS232. Щоб задовольнити всі вимоги, асортимент машин для випробування пружин представлений у різних діапазонах зусилля та цінових категоріях.

Пропонуються ручні, моторизовані та цифрові машини для випробування пружин для будь-якого виду випробувань пружин, від легких пружин до пружин високої жорсткості, що потребують стиснення до 100 кН. Ці цифрові машини для випробування пружин постачаються зі спеціальною бібліотекою попередньо запрограмованих налаштувань для випробування пружин та розширеним програмним забезпеченням для аналізу, що відображає результати випробувань у вигляді графіків.

Додавши відповідний набір захватів, що відповідають формі та розмірам різних пружин, машини для випробування пружин можуть вимірювати як невеликі пружини з низьким діапазоном зусилля, так і пружини високої жорсткості до 100 кН. Це дає змогу використовувати одну й ту саму машину для випробування пружин для вимірювання пружин різних форм та розмірів.

Ручний випробувальний стенд Chatillon серії MT (рис. 1.3) – це гнучке та просте у використанні рішення для вимірювання сили. Він випускається у двох версіях: MT150 з вантажопідйомністю 660 Н та MT500 з вантажопідйомністю 2,5 кН.

Діаметр горловини 150 мм робить стенди серії MT чудовими для випробування великих зразків, а знімна пластина призначена для використання як метричних, так і дюймових різьбових пристосувань.

Цей ручний випробувальний стенд ідеально підходить для випробувань на

розтяг, стиск, відшарування та згин. Він може бути оснащений швидкодіючим важелем або прецизійним маховиком для керування швидкістю та переміщенням траверси.

Ручні випробувальні стенди серії МТ часто використовуються з силоміром DFX II для перевірки сили, або з механічним вимірювачем LG для проведення випробувань на розтяг.



Рисунок 1.3 – Ручний випробувальний стенд Chatillon серії МТ

Моторизовані силові тестери серії ТСМ (рис. 1.4) займають невелику площу, зберігаючи при цьому достатній простір для великих зразків. Завдяки ідеальному проміжку горловини 100 мм, випробування великих зразків більше не є обмеженням. Універсальна адаптерна пластина з міжнародними розмірами різьби до АSМ та метричної різьби забезпечує гнучкість для встановлення нестандартних та стандартних приладів.

Силові тестери оснащені кнопками з тактильним зворотним зв'язком, які не мають рухомих частин або мембран. Це максимізує довговічність, особливо у виробничих умовах, і гарантує легке очищення кнопок. Тактильний зворотний зв'язок забезпечує вібрацію, щоб сповістити користувача про отримання команди.

Яскравий світлодіодний цифровий дисплей відображає швидкість переміщення та інші текстові повідомлення, щоб користувач міг постійно контролювати стан тестера ТСМ. Для силових тестерів характерна ТСМ висока швидкість повернення для максимізації виробничої продуктивності. Регульовані верхній та нижній механічні кінцеві вимикачі вбудовані для безпеки та

використовуються для різних режимів роботи, таких як циклічний режим та повернення до нуля.



Рисунок 1.4 – Моторизований силовий тестер серії TCM

Моторизовані силові тестери серії TCM доступні у двох версіях: TCM100 із зусиллям до 500 Н та TCM350 із зусиллям до 1500 Н.

Обидва силові тестери мають стандартний хід траверси 406 мм та доступні у розширених версіях з ходом траверси 812 мм. Глибина горловини при повних 100 мм дозволяє виконувати силові випробування, включаючи розтяг, стиск, згинання, відшаровування, адгезію, введення та вилучення зразків розміром до 200 мм. Це надає оператору широкий вибір варіантів випробувань на великій робочій зоні, зберігаючи при цьому компактні розміри. Швидкість переміщення регулюється від 5 до 1016 мм/хв.

Додавши цифровий силомір серій Chatillon DFX II, DFE3 або DFS3 до випробувального стенду серії TCM, можна отримати додаткові функції, що дозволяють проводити більш просунуті, швидкі та прості випробування, а також отримати доступ до програмного забезпечення для вимірювання ForceTest для ПК. Програмне забезпечення ForceTest – це просте у використанні програмне забезпечення для аналізу даних вимірювання сили на базі Windows, призначене для використання з цифровими силомірами та моментометрами серій DFE та DFS.

Результати випробувань представлені у форматі електронної таблиці, що дозволяє аналізувати дані та виконувати поширені математичні та статистичні розрахунки.

Стенд для випробування пружин Dupo (рис. 1.5) – відмінне рішення для аналізу та оцінки властивостей та робочих характеристик різних типів пружин, який може служити еталоном у даній галузі завдяки як своїй універсальності, так і точності, відтворюваності, надійності результатів.



Рисунок 1.5 – Стенд для випробування пружин Dupo

Дійсно, Dupo можна використовувати для випробування як пружин стиснення, так і пружин розтягу, пристосовуючи його для різних типів продукції, присутніх на ринку. Для випробування пружин стиснення передбачені компресійні пластини регульованого діаметра, які можуть бути оснащені спрямовуючими стержнями для підтримки довгих і нестабільних пружин. Для перевірки пружин розтягу передбачені спеціальні гаки, що гарантують правильне і рівномірне прикладення навантаження.

Щоб забезпечити точне вимірювання навантаження для кожного типу пружини, на стенд для вимірювання сили пружин моделі Dupo можна встановлювати до трьох навантажувальних комірок, кожна з яких матиме до 200000 поділок. Такий рівень точності дозволяє отримувати надійні та відтворювані результати випробувань – високоякісні дані для аналізу та оцінки характеристик пружини, дуже корисні як для виробників, так і для користувачів.

Серія Dupo оснащена програмним забезпеченням для тесту Universal Easy-QS, яке дозволяє проводити будь-який тип статичного та квазістатичного тесту.

Машини для тестування пружин – це спеціалізовані пристрої, які відіграють вирішальну роль у забезпеченні якості в різних галузях промисловості. Ці складні прилади вимірюють і перевіряють механічні властивості пружин, гарантуючи, що вони відповідають суворим стандартам продуктивності. Крім того, вони допомагають виробникам підтримувати постійну якість продукції, одночасно зменшуючи відходи та гарантійні вимоги.

1.3 Актуальність розробки автоматизованих засобів контролю пружин

Пружини є ключовими елементами в багатьох технічних системах, де вони виконують функції акумулювання енергії, демпфування, утримання зусиль та забезпечення руху. Надійність та ефективність роботи механізмів значною мірою залежать від точності параметрів пружин, зокрема їх жорсткості, геометрії та пружних властивостей. Будь-які відхилення можуть призвести до збоїв, зниження ресурсу або навіть виходу з ладу складної техніки.

На сьогодні в умовах масового виробництва зростають вимоги до швидкості, точності й автоматизації контролю якості продукції. Застосування ручних або напівмеханічних методів перевірки параметрів пружин не відповідає сучасним стандартам виробництва – вони є трудомісткими, повільними та залежними від людського фактора.

Автоматизовані засоби контролю дозволяють значно підвищити ефективність виробничих процесів, забезпечити оперативну перевірку великої кількості виробів, зменшити похибки вимірювання та виключити суб'єктивний вплив оператора. До того ж, інтеграція таких засобів у систему управління виробництвом відкриває можливості для статистичного контролю якості, архівації результатів та оперативного реагування на відхилення.

Таким чином, розробка автоматизованих систем контролю параметрів пружин є актуальним завданням, що відповідає сучасним тенденціям розвитку технологій, сприяє підвищенню надійності продукції та конкурентоспроможності підприємства.

1.4 Висновки і постановка задач на кваліфікаційну роботу

В процесі дослідження було проаналізовано наукові публікації, технічну документацію, стандарти та методичні матеріали, що стосуються контролю параметрів пружин, засобів автоматизації вимірювань і сучасних тенденцій у виробничому контролі.

У працях вітчизняних та зарубіжних авторів розглядаються фізичні основи роботи пружин, їх класифікація, математичні моделі деформації та методи розрахунку характеристик. Особливу увагу приділено визначенню жорсткості пружин як одного з ключових параметрів, що впливає на функціональність кінцевого виробу.

У сучасній науково-технічній літературі значне місце займають методи автоматизованого вимірювання з використанням тензодатчиків, лінійних переміщувачів, оптичних сенсорів та інших високоточних засобів. Зокрема, досліджено досвід застосування систем збору та обробки даних на базі контролерів, мікроконтролерів та вбудованих систем.

Стандарти ISO та ДСТУ [наприклад: ISO 10243, ДСТУ ГОСТ 13766:2014] регламентують вимоги до параметрів пружин, методів контролю, а також межі допустимих відхилень. Ці документи є основою для оцінки якості продукції та проектування систем контролю.

Водночас було виявлено, що більшість існуючих систем є або вузькоспеціалізованими, або надмірно складними для малих та середніх підприємств, що створює потребу у розробці оптимальних рішень із належним балансом між точністю, вартістю та універсальністю.

Мета дослідження – розробка автоматизованої системи контролю параметрів пружин з метою підвищення точності, швидкодії та надійності вимірювання основних характеристик пружин у виробничих умовах.

Для досягнення поставленої мети в кваліфікаційній роботі були визначені такі основні завдання:

- провести аналіз існуючих методів та засобів контролю параметрів пружин;
- визначити основні параметри пружин, що підлягають контролю

(жорсткість, довжина, діаметр, деформація тощо);

- обґрунтувати вибір методів вимірювання та технічних засобів для автоматизованого контролю;
- розробити структурну та функціональну схему автоматизованої системи контролю;
- сформулювати алгоритм роботи системи та реалізувати його у вигляді програмного забезпечення або моделі;
- провести моделювання або експериментальні дослідження ефективності розробленої системи;
- проаналізувати результати контролю та оцінити точність, стабільність і продуктивність системи.

2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Призначення та загальна характеристика об'єкта контролю

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розроблення автоматизованого лабораторного стенду для тестування пружин, отже, об'єктом контролю є пружини.

Пружини – це пружні елементи, які здатні акумулювати, зберігати та повертати механічну енергію завдяки своїй еластичності. Вони широко застосовуються в техніці, побуті та промисловості.

Призначення пружин:

- накопичення та повернення енергії: пружини стискаються або розтягуються під дією сили, а потім повертаються у вихідний стан, віддаючи енергію;
- амортизація та гасіння вібрацій: пружини поглинають удари, знижують коливання та захищають конструкції;
- забезпечення зусилля: пружини створюють постійне зусилля, необхідне для притискання чи утримування деталей;
- вимірювання сили чи тиску: відоме зусилля пружини використовується в динамометрах і манометрах;
- фіксація або повернення в початкове положення: пружини забезпечують зворотній рух важелів, педалей, клапанів.

Детально призначення та особливості застосування пружин були розглянуті в попередньому розділі.

За призначенням можна умовно поділити пружини на:

- робочі (передають або компенсують навантаження);
- контактні (забезпечують контакт або натиск);
- стабілізаційні (утримують рівновагу в системі);
- захисні (проти перевантаження).

Характеристики пружин визначають їх механічні властивості та сферу застосування. Основними з них є:

- жорсткість (жорсткість пружини, коефіцієнт пружності) – показує, яку

силу потрібно прикласти для зміщення пружини на одиницю довжини, вимірюється в Н/м (ньютон на метр);

- граничне навантаження – максимальне навантаження, яке може витримати пружина без залишкової деформації чи руйнування;
- діапазон деформації (робочий хід) – діапазон змін довжини пружини при допустимому навантаженні;
- модуль пружності (модуль Юнга) – характеристика матеріалу, з якого виготовлена пружина;
- гістерезис – різниця між енергією, витраченою на стиснення (розтягування) пружини, та енергією, яку вона віддає при поверненні у вихідне положення;
- матеріал – впливає на пружність, довговічність, корозійну стійкість (наприклад, сталь, бронза, нержавіюча сталь);
- тип пружини – спіральна (циліндрична, конічна), пластинчаста, торсіонна, тарілчаста тощо;
- розміри – довжина, діаметр дроту, зовнішній і внутрішній діаметри, кількість витків.

Основні геометричні параметри циліндричної пружини стиску зображені на рис. 2.1.

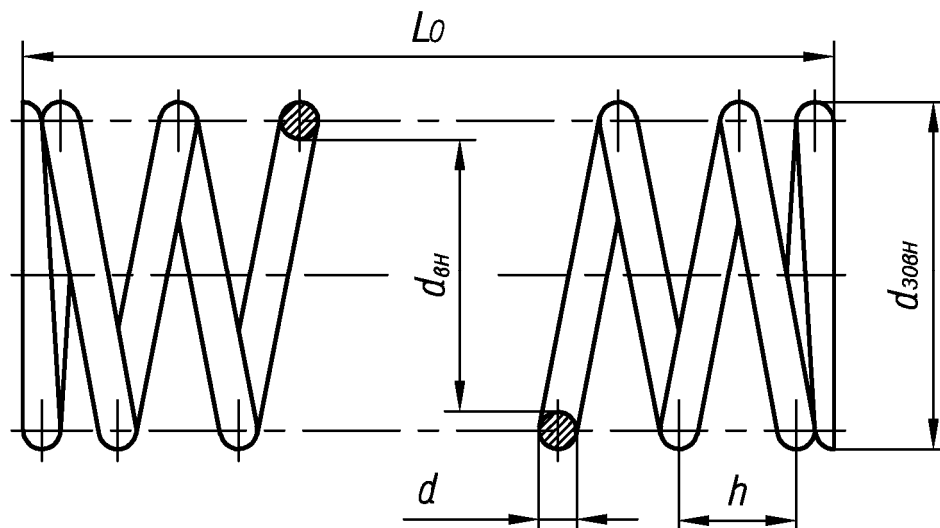


Рисунок 2.1 – Основні геометричні параметри циліндричних пружин стиснення:

d – діаметр дроту, з якого навита пружина; $d_{0вн}$ – внутрішній діаметр пружини;

$d_{0зовн}$ – зовнішній діаметр пружини; L_0 – довжина пружини; h – крок

Циліндрична гвинтова пружина являє собою брус, вісь якого розташована на поверхні утворюючого циліндра по гвинтовій лінії (рис. 2.2).

Вісь такого бруса визначається трьома незалежними параметрами, за які приймають:

- діаметр D утворюючого циліндра (середній діаметр пружини);
- кут підйому α осі гвинтового бруса;
- довжину l робочої частини гвинтового бруса.

Величини D , α і l називають основними параметрами пружини.

Всі інші геометричні характеристики осі бруса, який являє собою циліндричну гвинтову пружину, можуть бути визначені через основні параметри.

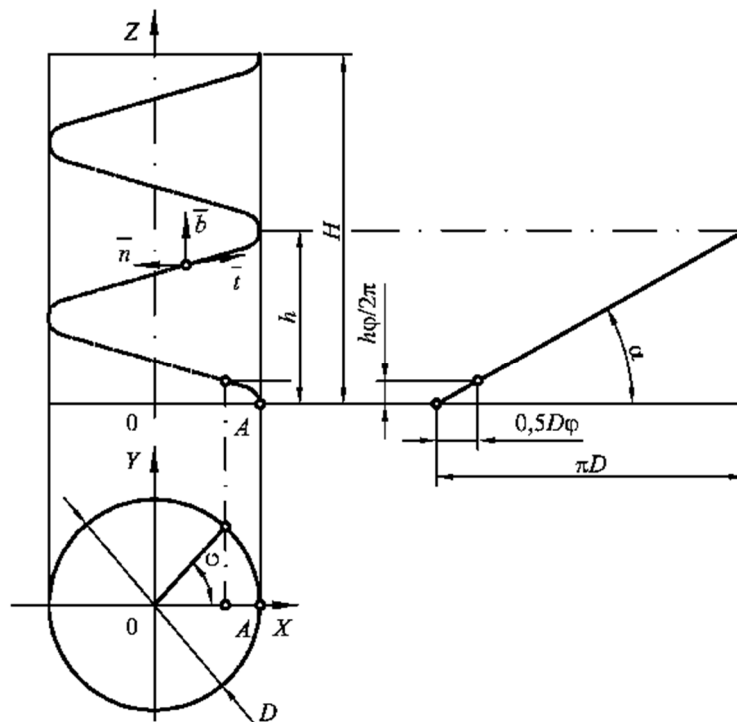


Рисунок 2.2 – Геометрія осі витків циліндричної пружини

Рівняння осі бруса в циліндричних координатах:

$$\begin{aligned} x &= \frac{D}{2} \cos \varphi; \\ y &= \frac{D}{2} \sin \varphi; \\ z &= \frac{D\varphi}{2} \operatorname{tg} \alpha. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Вісь z направлена по осі пружини, вісь x проходить через точку A , яка є

початком відліку довжини l (для правої гвинтової лінії використовується права система координат xuz , для лівої – ліва система координат).

Полярний кут φ відкладають від осі x .

Якщо позначити найбільший кут φ_i , то $\varphi_i = 2\pi i$, де i – кількість робочих витків пружини.

Оскільки $\pi Di = 0.5 \varphi_i = l \cos \alpha$, то

$$\varphi_i = \frac{2l \cos \alpha}{D}. \quad (2.2)$$

Використовуючи залежність (2.2), можна кількість робочих витків виразити через основні параметри:

$$i = \frac{l \cos \alpha}{\pi D}. \quad (2.3)$$

Крок осі гвинтового бруса:

$$h = \pi D \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.4)$$

Довжина робочої частини пружини:

$$\begin{aligned} H &= hi \\ \text{або } H &= l \sin \alpha. \end{aligned} \quad (2.5)$$

При розгляді просторових кривих зручно використовувати рухому ортогональну систему координат, початок якої розташовується в точці кривої, яка досліджується, а осі направляються по дотичній до кривої в бік зростання дуги (одиничний вектор осі – орт $\bar{t}$), по головній нормалі в напрямку до центру кривизни (орт $\bar{n}$) і по бінормалі кривої (орт $\bar{b}$).

При переході від даної точки кривої до сусідньої, максимально близької точки цієї кривої, система координат (t, n, b) змінює свою орієнтацію в просторі і повертається як тверде тіло навколо миттєвої осі обертання з деякою кутовою швидкістю ω , причому швидкість приймається відносно шляху s , який пройдено по кривій.

Як відомо з диференціальної геометрії, миттєва кутова швидкість:

$$\bar{\omega} = k\bar{t} + \chi\bar{b}. \quad (2.6)$$

Ця залежність показує, що обертання біля миттєвої осі можна розкласти на обертання навколо дотичної і бінормалі з умовними кутовими швидкостями k і χ

відповідно (k – кручення кривої в точці, яка розглядається, χ – кривизна кривої в тій ж точці).

Таким чином, кривизна кривої в даній точці являє собою швидкість обертання (відносно до шляху, пройденому по кривій) системи координат (t, n, b) навколо бінормалі b (від t до n).

Радіус кривизни:

$$\rho = \frac{1}{\chi}. \quad (2.7)$$

Центр кривизни лежить на головній нормалі, яка визначається ортом $\bar{n}$, який для гвинтової лінії перпендикулярний осі утворюючого циліндра.

Для гвинтової лінії

$$\chi = \frac{2 \cos^2 \alpha}{D}. \quad (2.8)$$

Кручення кривої в даній точці являє собою швидкість обертання (відносно шляху, який проходиться по кривій) системи координат (t, n, b) навколо дотичної t (від n до b).

Для гвинтової лінії кручення визначають за формулою:

$$k = \frac{\sin 2\alpha}{D}. \quad (2.9)$$

Оскільки у випадку, який розглядається, α і D – величини постійні, то кручення і кривизна також не змінюються при переході від однієї точки гвинтової лінії до іншої.

Поперечні перерізи витків пружини, які співпадають з площинами, що визначені відповідними ортами $\bar{n}$ і $\bar{b}$, зазвичай мають круглу або прямокутну форму, причому в останньому випадку осі симетрії перерізу направлені по нормалі і бінормалі осі в перерізі, який розглядається.

В технічних розрахунках кривизну витків характеризують співвідношенням, який називається індексом пружини:

$$c = \frac{D}{a}, \quad (2.10)$$

де a – розмір поперечного перерізу в напрямку нормалі.

Через складність виготовлення і різке підвищення напружень на

внутрішньому волокну витків, внаслідок їх значної кривизни, пружини з індексом $c < 4$ використовують застосовують порівняно рідко.

На практиці в багатьох випадках гвинтові пружини бувають навантажені по кінцях, причому навантаження зводиться до сил P , направлених по z пружини, і пар M , які діють в торцевих площинах, які перпендикулярних осі z (рис. 2.3).

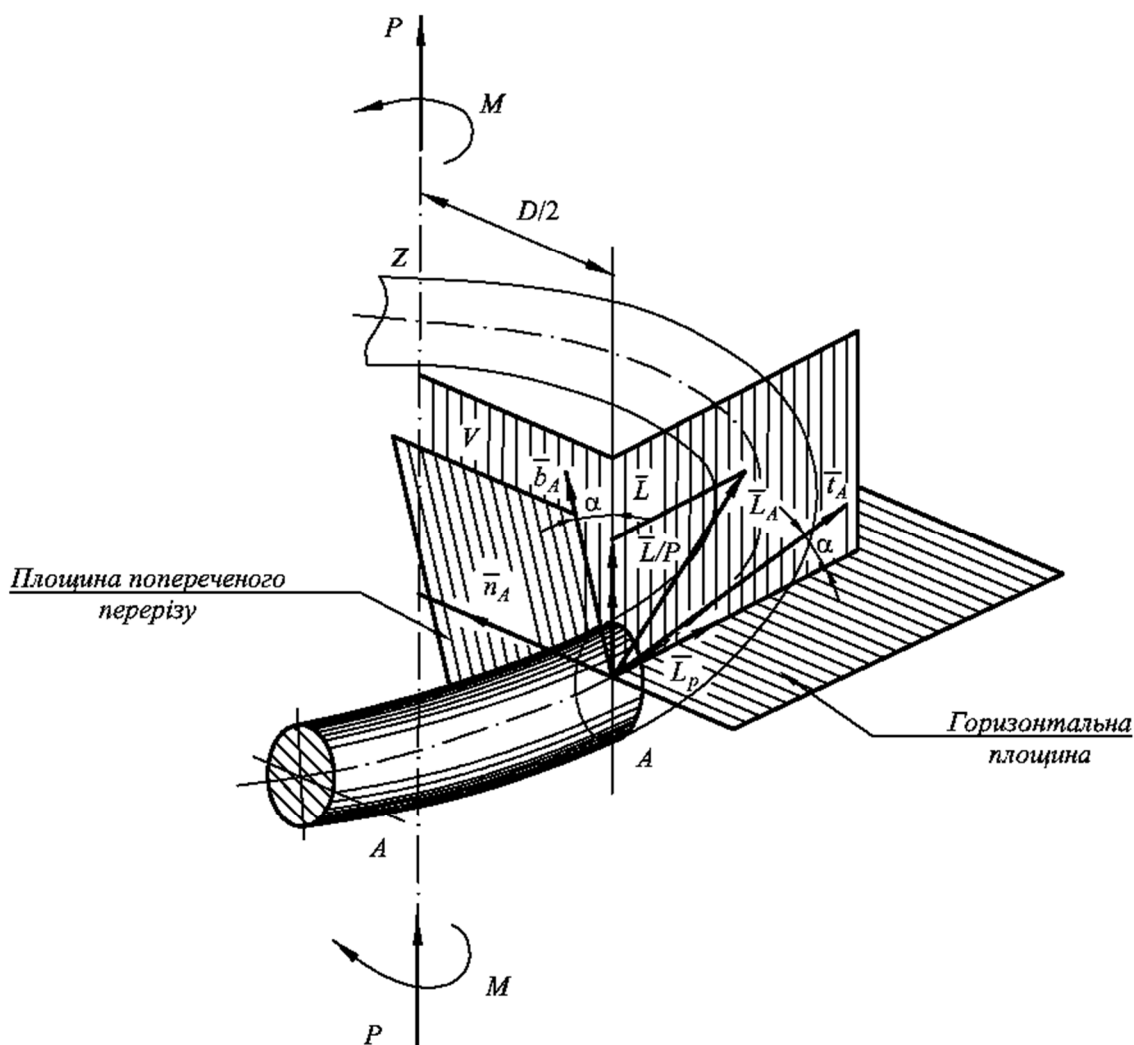


Рисунок 2.3 – Внутрішні силові фактори в поперечному перерізі витка пружини при її навантаженні

Силу P , яка розтягує пружину, і пару M , які закручують пружину за ходом навивка (тобто збільшують кривизну витка), вважають позитивними. Відповідно сила, яка стискає і момент, який розкручує пружину, вважають негативними.

Якщо пружина зазнає дії вказаних навантажень, то за умовами осьової симетрії всі поперечні перерізи витків, за виключення кінцевих, рівноправні, і для

дослідження внутрішніх сил достатньо розглянути один з перерізів.

При розгляді умову рівноваги нижньої частини $0A$ пружини в обраному перерізі A навантаженої пружини внутрішні сили використовується система координат $t_\square, n_\square, b_\square$ в точці A осі витків. При цьому орт $t_\square$ співпадає з зовнішньою нормаллю поперечного перерізу витка. Таким чином, сам переріз лежить в площині $n_\square, b_\square$.

Якщо дотична до осі витків навантаженої пружини утворює з горизонтальною площиною кут α , то площина поперечного перерізу витка утворює з горизонтальною площиною V , яка проходить через вісь z і точку A , такий самий кут.

У вказаній площині V знаходиться вектор $\bar{P}$ осьової сили і вектор $\bar{L}$ зовнішньої пари, яка закручує пружину.

Внутрішні сили в перерізі, які врівноважують це навантаження, приводяться до рівнодійної сили $\bar{P}$, прикладеної до точки A і спрямованої знизу догори, і до пари $\bar{L}_A = \bar{L} + \bar{L}_p$, де вектор $\bar{L}_p$ дорівнює по модулю $\square D/2$, спрямований перпендикулярно площині V .

Внутрішня сила $\square$ може бути розкладена в напрямку осей $t_\square$ і $b_\square$.

Складова сили P в напрямку осі tA , називається нормальною силою:

$$N = \square \sin \alpha. \quad (2.11)$$

Сила N являє собою рівнодійну нормальних сил в поперечному перерізі витка, який має площу F , тобто:

$$N = \int_F \sigma_t dF,$$

де σ_t – нормальне напруження в поперечному перерізі витка.

Складова сили P в напрямку осі $b_\square$, називається поперечною силою:

$$Q = \square \cos \alpha. \quad (2.12)$$

Сила Q являє собою рівнодійну дотичних сил в поперечному перерізі і направлена по осі $b_\square$:

$$Q = \int_F \tau_{tb} dF,$$

де τ_{tb} – складова дотичних напружень в поперечному перерізі витка.

Вектор $\bar{L}_\square$ повного моменту внутрішніх сил в поперечному перерізі також може бути розкладений в напрямку осей $t_\square$ і $b_\square$:

$$\bar{L}_\square = \bar{L}_t + \bar{L}_b.$$

Вектор $\bar{L}_t$ являє собою вектор крутного моменту T_t :

$$\bar{L}_t = \int_F [\bar{r}, \bar{\tau}] dF.$$

В векторному добутку, який знаходиться під знаком інтеграла, $\bar{r}$ – поточний радіус-вектор, який визначає положення елемента dF в поперечному перерізі витка відносно його центра ваги; $\bar{\tau}$ – повне дотичне напруження в точці поперечного перерізу, яка визначається вектором $\bar{r}$.

У випадку, який розглядається:

$$\begin{aligned} \bar{L}_t &= T_t t_\square, \\ T_t &= \square \sin \alpha + \frac{\square D}{2} \cos \alpha. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Крутний момент T_t вважається позитивним, коли він обертає систему координат t, n, b відносно осі $t_\square$ так, що вісь n переходить в вісь b при повороті на 90° .

Вектор $\bar{L}_b$ являє собою вектор моменту згину:

$$T_b = \int_F \sigma_t n_x dF,$$

Отже,

$$\begin{aligned} \bar{L}_b &= T_b \bar{b}_\square. \\ T_b &= \square \cos \alpha - \frac{\square D}{2} \sin \alpha. \end{aligned} \quad (2.14)$$

Момент T_b вважається позитивним, коли він обертає систему координат t, n, b відносно осі b так, що вісь t переходить в вісь n при повороті на 90° . При $T_b > 0$ кривизна витків збільшується.

Індекс b при T відображає положення нейтральної осі в перерізі (у випадку, який розглядається, вона співпадає з бінормаллю осі в точці A , де розташовано переріз).

Сили N і Q при розрахунку пружин мають другорядне значення порівняно з моментами кручення і згину T_t і T_b .

Більшість пружин, що не зазнають деформацій за межею пружності) описуються законом Гука, згідно з яким прикладена сила прямо пропорційна лінійному видовженню пружини відносно рівноважного положення:

$$F = -kx, \quad (2.15)$$

де x – вектор зміщення: відстань і напрям деформації пружини;

F – результуючий вектор сили: величина і напрям зусилля, спрямованого на повернення пружини до стану рівноваги;

k – коефіцієнт жорсткості пружини (константа пружини).

Циліндричні пружини характеризуються сталим коефіцієнтом жорсткості. Але є конструкції пружин (наприклад: конічні, тарілчасті, пластинчасті), коефіцієнт жорсткості яких змінюється у міру деформування. В цьому випадку формула закону Гука ускладнюється і між зусиллям і деформацією проявляється нелінійна залежність.

Енергія пружної деформації пружини виражається через коефіцієнт жорсткості за формулою:

$$U = 0.5kx^2. \quad (2.16)$$

Наведені залежності використовуються при розрахунку пружин. В наш час існує дуже багато прикладного програмного забезпечення і on line сервісів, які дозволяють виконати проектний розрахунок пружин. Всі вони базуються на класичних методиках розрахунку і тому розрахунок за наведеними залежностями виконується порівняно рідко, лише в деяких специфічних випадках.

Зрештою, розрахунок пружин в більшості випадків потрібний власне виробникам пружин, а перед розробниками систем автоматизації стоїть задача підбору пружин для заданих умов експлуатації і перевірка пружин на відповідність заявленим характеристикам. І якщо більшість геометричних параметрів можна виміряти за допомогою стандартних вимірювальних засобів, то для вимірювання зусилля пружини необхідне спеціальне устаткування. Один з варіантів такого виду оснащення буде розроблено в ході виконання цієї кваліфікаційної роботи.

2.2 Розроблення структурної схеми стенда

Структурна схема включає основні апаратні блоки системи. Типова структура зображена на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Структурна схема автоматизованої системи тестування пружин

2.3 Розроблення функціональної схеми стенда

Функціональна схема описує логіку роботи стенда і зображена на рис. 2.5.

Згідно функціональної схеми реалізується певна послідовність функціонування основних компонентів автоматизованої системи тестування пружин.



Рисунок 2.5 – Функціональна схема стенда

Така послідовність складається з таких етапів.

- 1 Задача навантаження: привід передає зусилля навантаження на пружину.
- 2 Вимірювання сили: тензодавач вимірює навантаження, прикладене до пружини;
- 3 Вимірювання деформації (ходу): датчик переміщення фіксує зміну довжини пружини.
- 4 Обробка сигналів: обидва сигнали (зусилля та хід) подаються через АЦП на мікроконтролер або комп'ютер;
- 5 Розрахунок жорсткості: програма розраховує жорсткість $k = \frac{F}{\Delta x}$.
- 6 Вивід результатів: результати відображаються на екрані, можуть зберігатися в файл, використовуватися для побудови графіків і виводитися на друк.

2.4 Розроблення конструкції стенда для тестування пружин

2.4.1 Розроблення ескізної компоновки стенда

Розробка конструкції стенда для вимірювання зусилля стиску пружин – це

інженерне завдання, яке передбачає створення пристрою, здатного точно вимірювати зусилля, що виникає під час стискання пружини.

Перед початком проектування потрібно визначити:

- діапазон сил стиску (Н);
- діапазон довжин пружин (мм);
- типи пружин (циліндричні, конічні тощо);
- похибка вимірювання (не гірше ніж $\pm 1-2\%$);
- умови експлуатації (стаціонарний/переносний, лабораторія/виробництво)

Основні елементи конструкції стенда:

- основа (рама);
- напрямні та утримувачі;
- напрямні для рівномірного переміщення стискаючої платформи;
- оправка для пружини;
- механізм стиску;
- датчик сили – тензометричний датчик (напр. S-типу) з підсилювачем сигналу;
- система вимірювання переміщення (опційно);
- лінійка з цифровим індикатором або індуктивний/оптичний енкодер;
- модуль для спряження з комп'ютером для побудови графіка «зусилля – деформація».

Оскільки геометричні параметри пружини відомі, для спрощення конструкції стенда було вирішено відмовитися від системи відліку лінійного переміщення, а спроектувати систему таким чином, щоби точно контролювати переміщення, а не вимірювати його. Для цього в якості механізму приводу навантаження використовується кроковий двигун NEMA17 з ходовим гвинтом, який стискатиме пружину контрольованим чином. Пружина встановлюється між кроковим двигуном і тензодатчиком.

Знаючи кількість кроків, які робить кроковий двигун за один оберт, можна визначити відстань, на яку двигун буде стискати пружину з один оберт і в кожній точці шляху виміряти зусилля. Отримані дані можна використати для побудови графіка залежності зусилля від величини деформації.

Кроковий двигун NEMA 17 має 200 кроків за оберт. Це означає, що з кожною командою кроку, яку видає мікроконтролер, ротор повернеться на $360/200 = 1,8^\circ$.

Однак, мікросхема контролера крокового двигуна має мікрокрокове керування (16 мікрокроків на крок). Це означає, що для кожної команди кроку, яку видає мікроконтролер, пружина стискатиметься на:
 $1,25 \text{ мм} \times 1,8/360/16 = 0,000390625 \text{ мм}$.

2.4.2 Розрахунок тягового зусилля приводу

Тягове зусилля приводу виконують на основі розрахункової схеми, яка зображена на рис. 2.6.

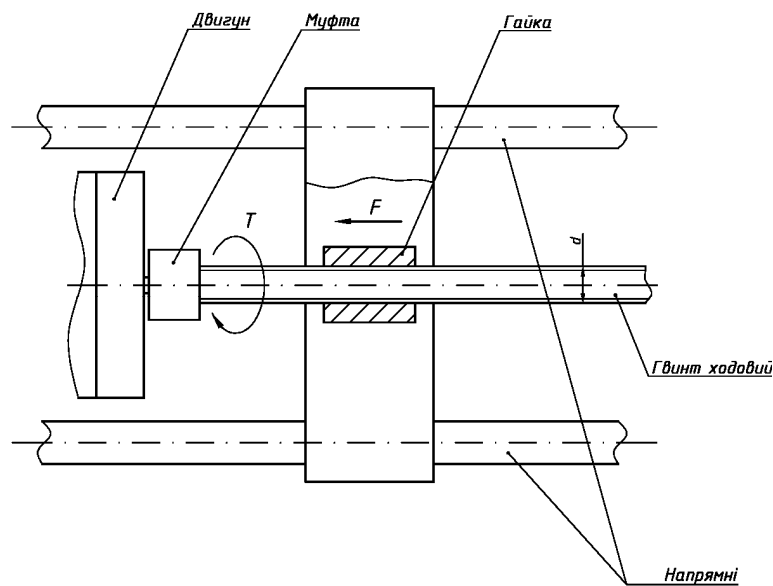


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема для визначення тягового зусилля

Розрахунок тягового зусилля в передачі гвинт-гайка проводиться для визначення зусилля, необхідного для переміщення навантаження при певному крутному моменті або навпаки. Такий розрахунок залежить від:

- геометрії гвинта (діаметр, крок різьби);
- коефіцієнта тертя;
- типу різьби;
- напрямку руху.

Осьове (тягове) зусилля:

$$F = \frac{2\pi T\mu}{d_2(\tan(\alpha + \varphi))}, \quad (2.17)$$

де T – крутний момент, Н·м;

d_2 – середній діаметр різьби (мм);

μ – коефіцієнт, який враховує тертя між напрямними і втулками;

α – кут підйому різьби:

$$\tan(\alpha) = \frac{l}{\pi d_2},$$

l – хід (для однозахідної різьби дорівнює кроку);

φ – кут тертя: $\tan \varphi = f$,

f – коефіцієнт тертя пари гвинт-гайка.

$$F = \frac{2\pi \cdot 0,4}{0,027} \cdot \frac{1}{\tan(4,05 + 5,71)} = \frac{2,51}{0,027} \cdot \frac{1}{\tan(9,76)}.$$

$$F \approx 92,96 \cdot \frac{1 \cdot 0,1}{0,1715} \approx 54,204 \text{ Н.}$$

Отриманий результат свідчить, що кроковий двигун NEMA17 забезпечує зусилля, необхідне для стиснення пружини в ході перевірки.

2.5 Опис конструкції розробленого автоматизованого лабораторного стенду для тестування пружин

Конструкція автоматизованого лабораторного стенду для тестування пружин зображена на рис. 2.7.

Лабораторний стенд складається з основи, на якій розташовані кронштейни для кріплення напрямних і тензодатчика. По напрямних рухається рама з кроковим двигуном NEMA17. Для зменшення тертя в рамі встановлені підшипники ковзання, через які проходять напрямні. Вал крокового двигуна через муфту з'єднаний з ходовим гвинтом М8. Вільний кінець ходового гвинта знаходиться в зачепленні з гайкою, закріпленою в одному з кронштейні. Обертання вала двигуна приводить до

лінійного переміщення рами і створення вимірювального зусилля. Об'єкт контролю – пружина, встановлюється одним кінцем на оправку, а другий впирається в корпус двигуна.

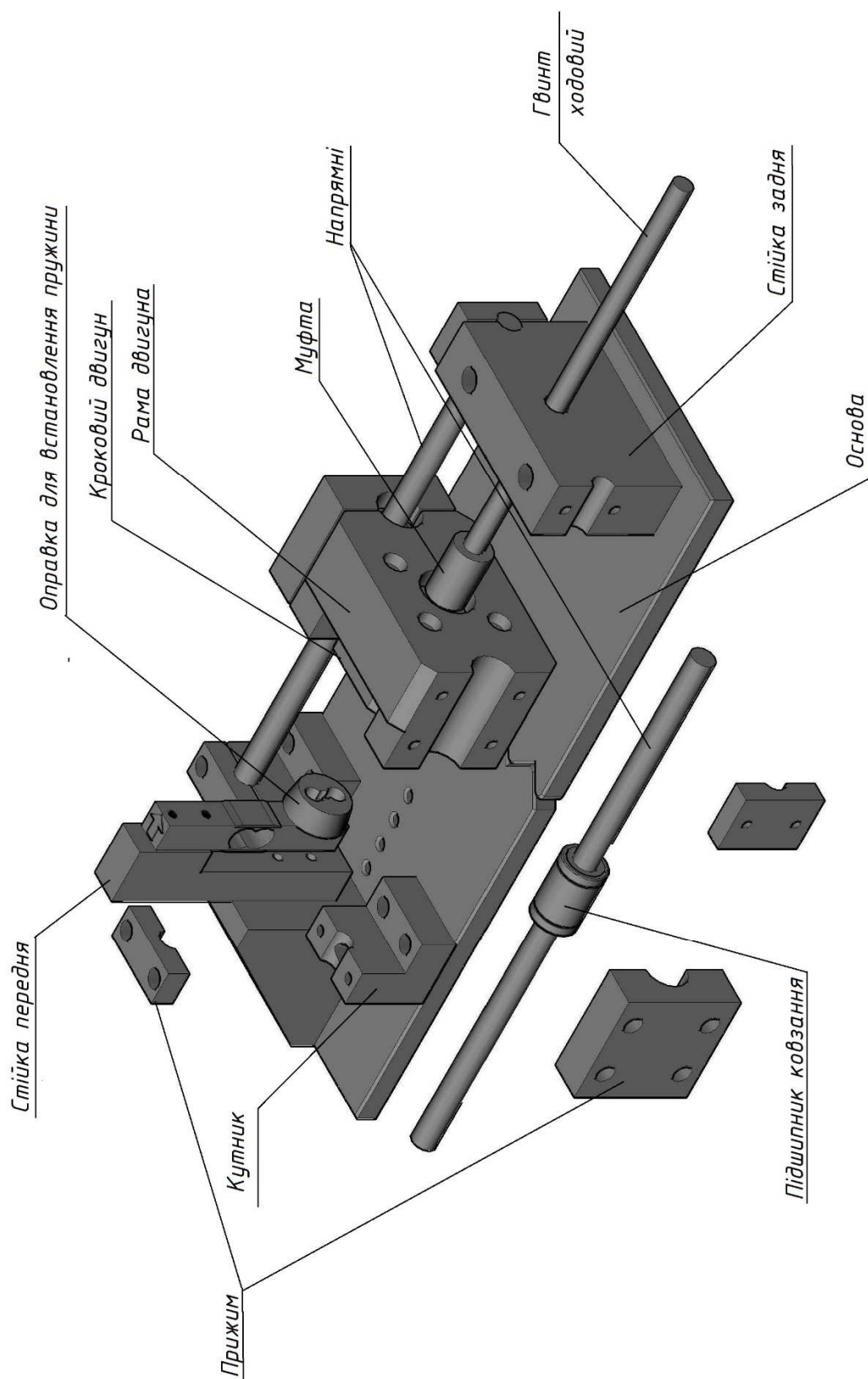


Рисунок 2.6 – Конструкція автоматизованого лабораторного стенду для тестування пружин стиснення

Ходовий гвинт – це стандартний ходовий гвинт М8. Крок стандартного гвинта становить 1,25 мм, тобто, кожен повний оберт двигуна стискає пружину на 1,25 мм.

Кроковий двигун NEMA17 здійснює 200 кроків на оберт. Це означає, що з кожною командою кроку, яку видає мікроконтролер, рама разом з двигуном будуть переміщатися на $360^\circ/200 = 1,8^\circ$. Контролер A4988 має мікрокрокове керування. В даному випадку використовується налаштування 16 мікрокроків на крок. Це означає, що для кожної команди кроку, яку видає мікроконтролер, пружина буде стискатися на $1,25 \times 1,8/360/16 = 0,000390625$ мм.

В конструкції лабораторного стенда використані такі стандартні комплектуючі:

- кроковий двигун NEMA17;
- муфта 5 мм – 8 мм;
- ходовий гвинт М8;
- хромовані загартовані напрямні $\varnothing 10$ мм;
- лінійні підшипники ковзання LM10UU;
- болти М3.

Решта елементів конструкції було розроблено шляхом геометричного моделювання в середовищі AutoCAD. Отримані моделі були роздруковані на 3D-принтері Wanhao Duplicator D6. Оптимізація 3D моделей виконувалась в середовищі Autodesk Netfabb Ultimate, а підготовка G-коду – за допомогою UltiMaker Cura.

2.6 Розроблення схеми керування стендом

Схема керування стендом повинна забезпечувати управління роботою крокового двигуна, збирання даних від тензодатчика і їх передачу до персонального комп'ютера для оброблення.

Основним елементом системи керування є мікроконтролер, в якості якого використано Arduino Nano. Для керування двигуном використовується драйвер

крокового двигуна A4988, а для вимірювання зусилля використано тензодатчик з 24 канальним АЦП HX711. В якості елементу ручного керування використовується двоосьовий потенціометр з пружинним поверненням. Живлення системи здійснюється від однополярного стабілізованого джерела 5В 1А. Для живлення двигуна передбачено джерело живлення 12В 2А.

Варіант розробленої схеми для керування роботою автоматизованого стенду для тестування пружин наведений на рисунку 2.8.

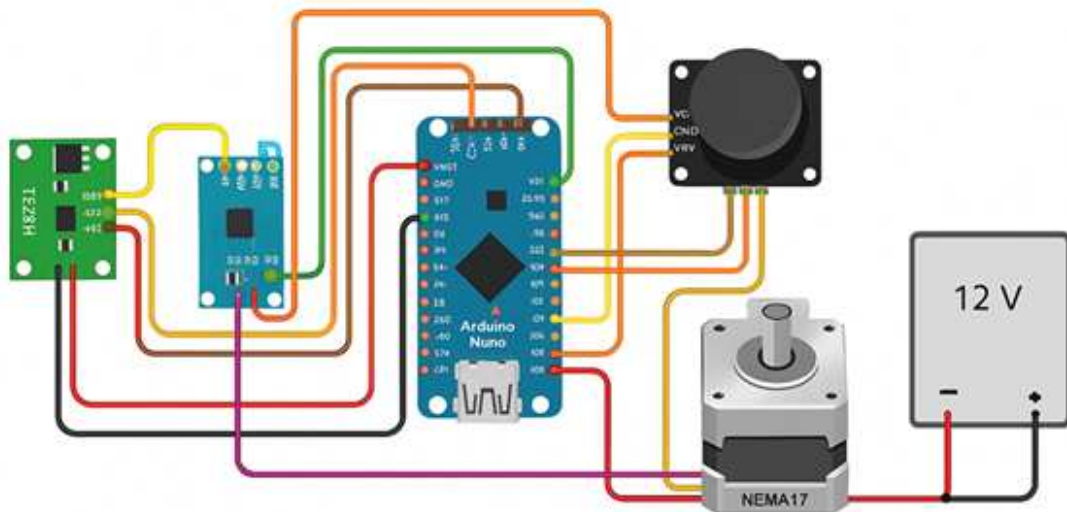


Рисунок 2.7 – Варіант розробленої системи керування

Для керування двигуном використовується драйвер крокового двигуна A4988. Для вимірювання зусилля використано тензодатчик з 24 канальним АЦП HX711. В якості елементу ручного керування використовується двоосьовий потенціометр з пружинним поверненням. Живлення системи здійснюється від однополярного стабілізованого джерела 5В 1А. Для живлення двигуна передбачено джерело живлення 12В 2А.

Розроблена схема повністю працездатна, виконує всі задані функції, доволі проста і була протестована в віртуальному середовищі, проте, виходячи з наявних комплектуючих було прийнято рішення побудувати схему керування на базі Raspberry Pi Pico.

Raspberry Pi PICO (рис. 2.9) – це плата розробника від компанії Raspberry Pi Foundation основою якої є двоядерний мікроконтролер (власна розробка компанії) ARM Cortex-M0.



Рисунок 2.9 – Raspberry Pi PICO

Призначення Raspberry Pi PICO:

- освітні цілі: навчання програмуванню, електроніці, робототехніці;
- проекти IoT (Інтернет речей): побудова сенсорних систем, моніторинг даних, бездротовий обмін;
- вбудовані системи: керування пристроями, створення мікроконтролерних рішень;
- автоматизація: домашня автоматизація, системи розумного будинку;
- прототипування: швидка розробка та тестування електронних пристроїв.

Основні характеристики Raspberry Pi Pico

Мікроконтролер	RP2040 (розробка Raspberry Pi).
Процесор	Два ядра ARM Cortex-M0+ @ 133 МГц.
Оперативна пам'ять	(SRAM) 264 КБ.
Флеш-пам'ять	2 МБ (вбудована).
Інтерфейси I/O	26 GPIO (PWM, SPI, I2C, UART, ADC).
АЦП	3 канали, 12-біт
Живлення	1.8-5.5 В (через USB або піни).
USB	USB 1.1 (пристрій або хост).
Розміри	51 × 21 мм.
Інтерпретовані мови	MicroPython, CircuitPython, C/C++.

Переваги Raspberry Pi Pico: низька ціна; підтримка мов програмування на початковому рівні (MicroPython); висока енергоефективність; добра документація та велика спільнота користувачів.

Драйвер крокового двигуна A4988 (рис. 2.10) є електронним пристроєм, який змушує обертатися кроковий двигун шляхом здійснення кроків. Модуль A4988 має захист від перевантаження та перегріву. Для крокових двигунів Nema17 кількість кроків на оберт становить 200 на оберт, тобто один крок дорівнює 1.8° . Драйвер A4988 дозволяє збільшити це значення за рахунок можливості керування проміжними кроками та має 5 режимів мікрокроку (1(повний), 1/2, 1/4, 1/8 та 1/16).

Технічні характеристики A4988

Напруга живлення:	8-35 В.
Режим розподілу кроку:	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16.
Логічна напруга:	3-5.5 В.
Максимальний фазний струм:	1 А без радіатора; 2 А з радіатором.
Габарити драйвера:	20x15x10 мм.

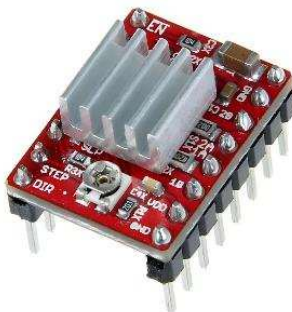


Рисунок 2.10 – Драйвер крокового двигуна A4988

Тензодавач (рис. 2.11) складається з пружного елемента, на якому закріплені тензорезистори, які для підвищення точності та стійкості вимірювань з'єднані в мостову схему. Для вимірювання опору тензорезистора міст живиться постійним струмом, а вихідна напруга подається на вимірювальний прилад, наприклад, вольтметр. Оскільки падіння напруги при прикладенні зусилля до давача, незначне, в межах декількох мілівольт і АЦП мікроконтролера не в змозі відслідкувати такі зміни, потрібне підсилення сигналу.



Рисунок 2.11 – Тензодавач

Для підсилення сигналу використовується зовнішній модуль АЦП на базі мікросхеми HX711 (рис. 2.12).

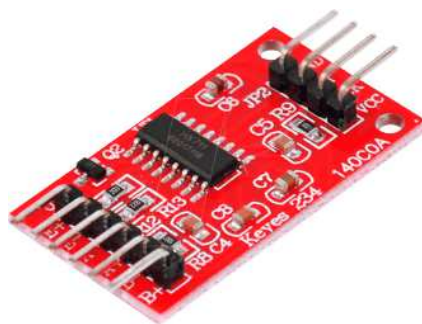


Рисунок 2.12 – Модуль HX711

Технічні характеристики модуля HX711

Напруга живлення	– 6-5.5 В.
Робоча напруга	– 5 В.
Кількість каналів підключення тензодавачів	– 2.
Коефіцієнт підсилення	– 32, 64, 128.
Диференційний вхід	– ± 40 мВ.
Розрядність АЦП	– 24 біт.
Частота вимірювань	– 80 Гц.
Робочий струм	<10 мА.
Розміри:	38x21x10 мм.

Двоосьовий потенціометр з пружинним поверненням або джойстик моделі KY-023 (рис. 2.13) складається з двох змінних резисторів та кнопки.

Змінні резистори забезпечують вихід у вигляді аналогової напруги, а кнопка забезпечує вихід у цифровій формі як у низькому, так і у високому стані. Один потенціометр призначений для керування по осі X , а інший – для керування по осі Y .

В даному випадку використовується лише один резистор і кнопка, тобто керування відбувається лише по одній осі.



Рисунок 2.13 – Джойстик KY-023

Остаточний варіант розробленої схеми для керування роботою автоматизованого стенду для тестування пружин наведений на рисунку 2.14 та в графічній частині роботи.

Основні компоненти системи, а саме Raspberry Pi Pico та драйвер двигуна розміщені на друкованій платі. Схема розташування компонентів і топологія друкованої плати наведені на рис. 2.15.

Плата АЦП з підсилювачем HX711 закріплені на корпусі стенда в безпосередній близькості від тензOMETричного давача і з'єднується з основною платою 4 жильним проводом.

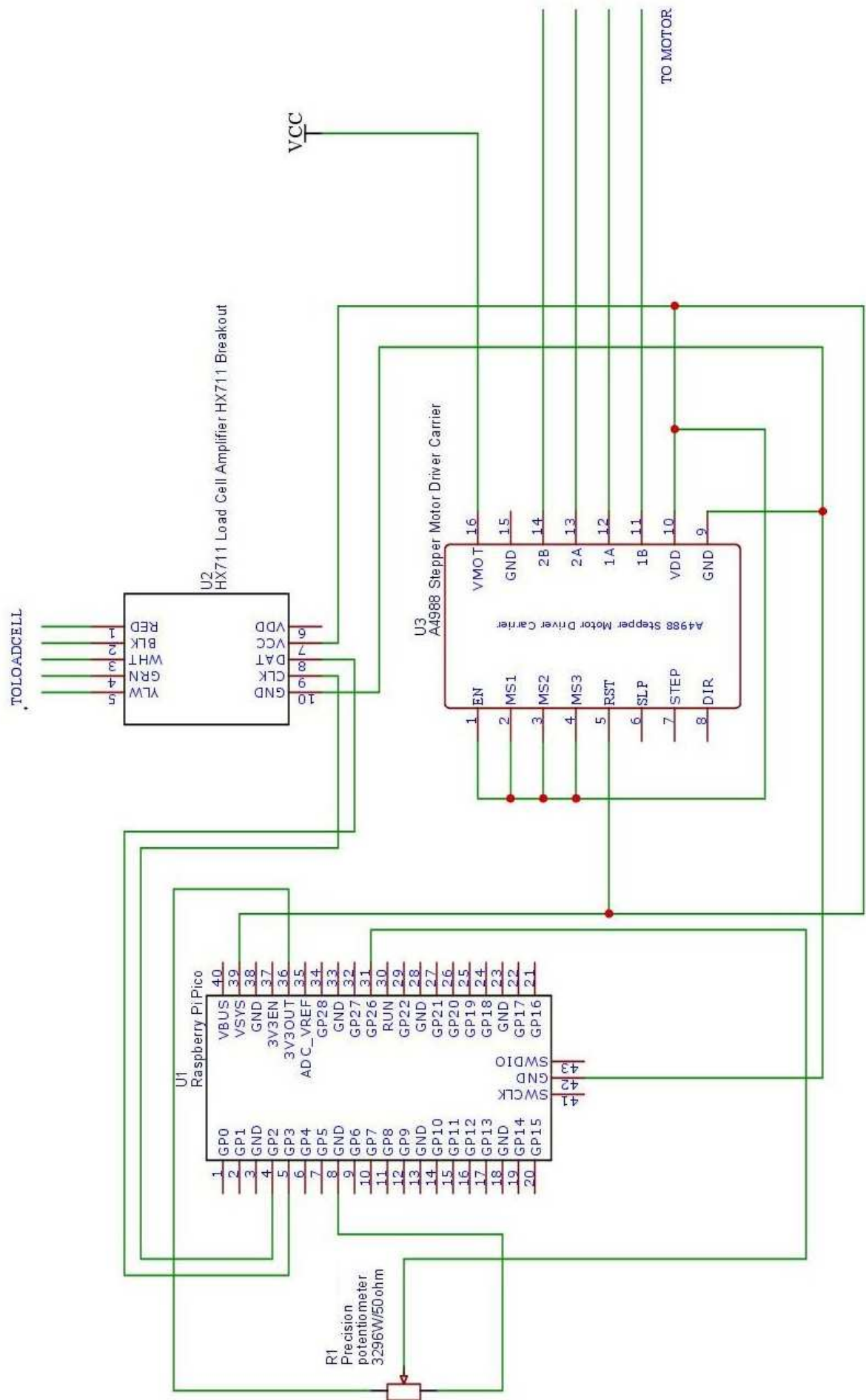


Рисунок 2.14 – Схема керування лабораторним стендом

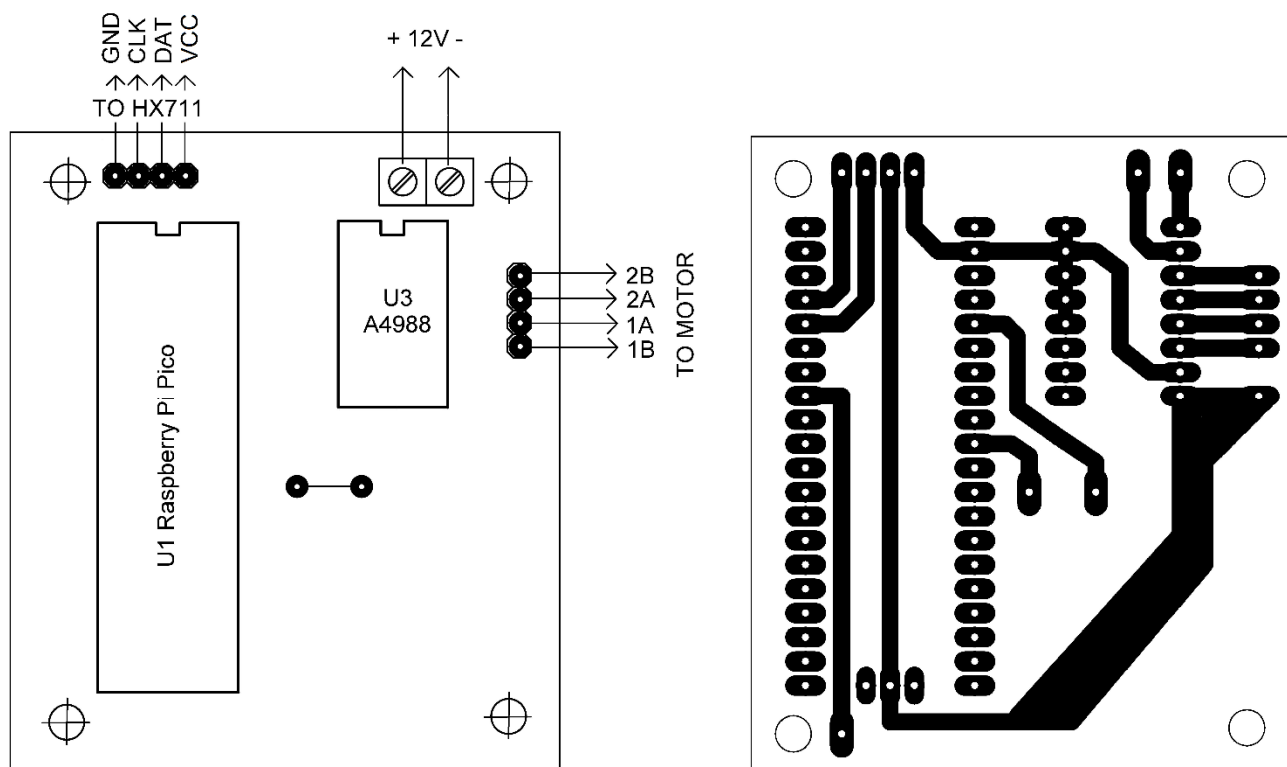


Рисунок 2.15 – Схема розташування компонентів та топологія друкованої плати

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка програмного забезпечення для керування стендом

Розробка програмного забезпечення для керування стендом для тестування пружин передбачає реалізацію функціоналу збору даних, управління виконавчими механізмами (лінійним приводом), збереження або передавання результатів вимірювання. Нижче наведена загальна структура проекту та приклад початкового коду.

Розроблення та тестування розробленого коду виконувались в середовищі Arduino IDE.

Основні компоненти системи

Мікроконтролер: Arduino Uno.

Датчики: тензодатчик з HX711.

Виконавчі механізми: кроковий двигун NEMA17.

Інтерфейс керування: джойстик, USB/Serial для з'єднання з ПК.

Основна логіка роботи

- 1 Калібрування системи.
- 2 Початок тесту (кнопка або команда через серійний порт).
- 3 Поступове стискання пружини.
- 4 Зчитування сили та відлік положення.
- 5 Фіксація даних в масив або передача в ПК.
- 6 Зупинка після досягнення межі або команди.
- 7 Повернення в початкове положення.
- 8 Зберігання результатів.
- 9 Побудова графіків на ПК.
- 10 Реверсування двигуна після тесту.

Текст розробленого коду наведено в додатках до кваліфікаційної роботи.

3.2 Програмне забезпечення для передачі та обробки даних

Для обробки даних вимірювань, а також їх візуалізації (побудови графіків) використовується програмне забезпечення Parallax Data Acquisition tool (PLX-DAQ) для Microsoft Excel, яке збирає до 26 каналів даних з будь-яких мікроконтролерів через протокол послідовного порту та розміщує числа у стовпцях у міру їх надходження. PLX-DAQ забезпечує простий аналіз даних у вигляді електронних таблиць, лабораторний аналіз датчиків та моніторинг обладнання в режимі реального часу.

Основні функції PLX-DAQ:

- запис до 26 стовпців даних;
- позначення даних в режимі реального часу з моменту скидання;
- читання/запис будь-якої клітинки на аркуші;
- зчитування/встановлення будь-якого з 4 прапорців на інтерфейсі керування;
- швидкість передачі даних до 128 Кбіт/с;
- підтримка COM 1-15.

Після відкриття електронної таблиці Excel потрібно дозволити запуск макросу, після чого можна побачити головне вікно програми (рис. 3.1).

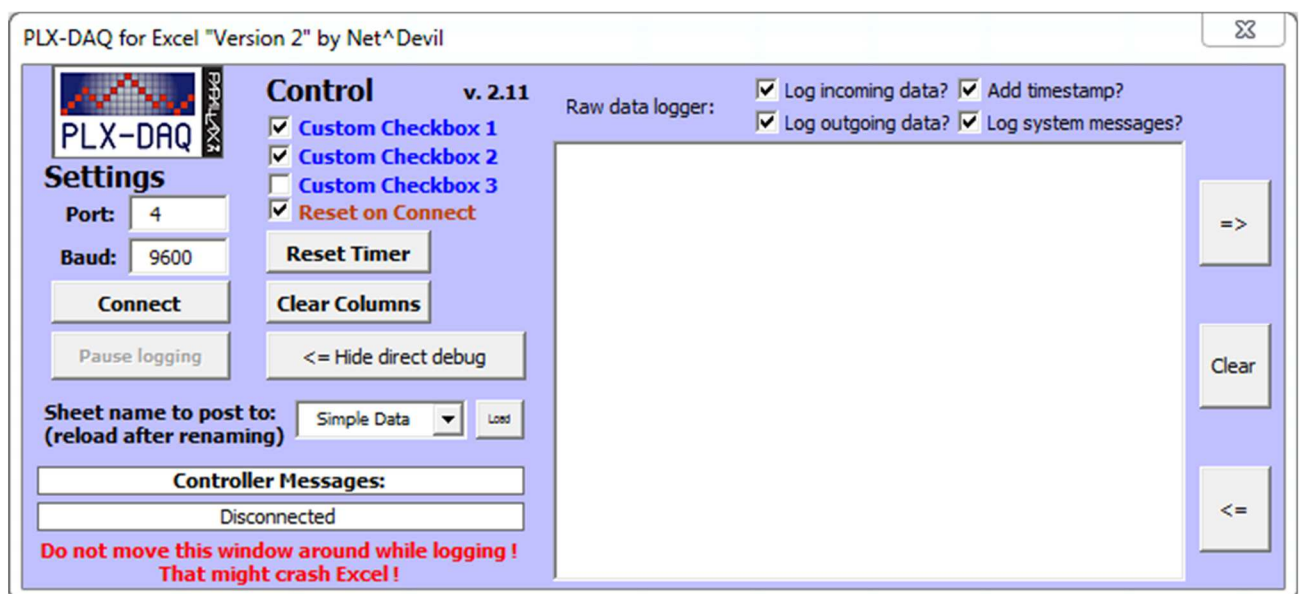


Рисунок 3.1 – Головне вікно програми

В головному вікні доступні декілька опцій.

Port: встановлюється порт Arduino (такий же, як і в Arduino IDE => Tools => Port, наприклад, 4 для COM4).

Baud: Встановлюється швидкість передачі даних, на якій запускається Arduino (наприклад, 9600, якщо використовується serial.begin (9600) в коді Arduino).

Connect: підключення і початок реєстрації даних.

Puase Logging: пауза реєстрація/відновлення журналу: при підключенні буде призупиниться журнал даних.

Reset Timer: скидання таймера. Встановлення таймера на 0. Таймер може бути використаний для вимірювання того, як довго Excel веде журнал.

Clear Columns: видалення усіх зафіксованих даних з аркуша, не очищує мітки стовпців

Hide direct debug: показати/приховати налагодження: показує або приховує текстове поле праворуч.

Sheet name to post to: назва аркуша, в якому будуть розміщені дані.

Controller Messages: повідомлення контролера. Швидше за все, інформація буде змінюватися занадто швидко, тому потрібно використовувати вікно прямого налагодження.

Reset on Connect: прапорець повинен бути поставлений постійно.

Custom Checkbox 1/2/3: вони можуть бути використані для управління Arduino під час запуску будь -яким способом. Є команди для позначення прапорців за допомогою Arduino та запиту стану поля.

Log incoming data? інформація, отримана з Arduino, відображатиметься у вікні налагодження.

Log outgoing data? інформація, яка надсилається з Arduino, відображатиметься у вікні налагодження.

Log system messages? Повідомлення системного журналу: інформація з Excel відображатиметься у вікні налагодження (наприклад, помилки).

Add timestamp? Додати часову позначку? Додається часова позначка до кожної інформації, що реєструється у вікні налагодження.

Для правильної роботи програми Arduino повинен надіслати спеціально відформатовані команди. Усі команди потрібно відправити з Arduino на ПК за допомогою команд `Serial.println`. Ці команди можуть включати параметри, змінні та функції, до яких слід надсилати і повинні бути відокремлені комами.

Це можна зробити так:

```
Serial.println( (String) "DATA,DATE,TIME," + millis() );
```

Команди можна розділити на такі категорії.

- команди для форматування аркуша для входу та надсилання даних на аркуш
- команди тут використовуються для роботи з подальшими параметрами;
- команди робочої книги Excel;
- інші команди.

Формат команд Arduino.

Clearsheet: ця команда очищає всі дані в активи (включаючи мітки!). Це повинна бути перша команда на кожному ескізі.

```
Синтаксис Serial.println("CLEAR SHEET");
```

Cleardata: Це команда очищає лише реєстрацію даних (починаючи з рядка 2).

```
Синтаксис: Serial.println("CLEAR DATA");
```

Label: за допомогою цієї команди ви можете встановити мітки для верхнього ряду ActiveSheet

```
Синтаксис: Serial.println("LABEL,1st Column,2nd Column,Third one!");
```

Data: це найосновніша і найважливіша команда. Вона використовується для надсилання даних з Arduino.

ActiveSheet: за цією командою можна встановити значення будь-якої комірки в робочій книжці Excel з будь-яким бажанням. Це може бути зроблено або на активному, або на будь-якому іншому аркуші.

Синтаксис для встановлення значення на ActiveSheet:

```
Serial.println("CELL,SET,C9,MyValue");
```

Синтаксис для встановлення значення на названому аркуші десь у робочій книжці: `Serial.println("CELL,SET, ONSHEET,AnySheet,C,9,MyValue");`

CELL,GET: за допомогою цих командних значень з аркуша Excel можна запитувати та прочитати Arduino.

Щоб прочитати значення з будь-якого іншого названого аркуша, використовуйте наступний синтаксис:

```
Serial.println("CELL,GET,FROMHEET,AnySheet,C,9");
```

ROW: можна встановити рядок, на якому дані слід реєструвати вручну. Таким чином, після, наприклад, почавши в реєстрацію 20 наборів даних, можна скинути лічильник рядків на «2» і почати з самого початку, або прочитати рядок, який зараз реєструється.

```
Синтаксис: Serial.println("ROW,SET,2");
```

```
Синтаксис:Serial.println("ROW,GET");
```

```
myRow = Serial.readStringUntil(10).toInt();
```

CUSTOMBOX1 / CUSTOMBOX2 / CUSTOMBOX3: можна встановити мітку на прапорці в інтерфейсі програми, встановити значення на прапорці та прочитати значення прапорців (в BOOL).

```
Синтаксис: Serial.println("CUSTOMBOX1,LABEL, Measure stress as well?");
```

```
Serial.println("CUSTOMBOX1,GET");
```

```
myBoolValue = Serial.readStringUntil(10).toInt();
```

CLEARRANGE: окрім ClearData або Clearsheet, ця команда очистить лише певний діапазон. Дані будуть видалені в прямокутнику зліва вниз на право.

```
Синтаксис: Serial.println("CLEARRANGE,B,10,D,20");
```

RESETTIMER: скидання таймера, який використовується для підрахунку

часу роботи програми.

Синтаксис: `Serial.println("RESETTIMER");`

PAUSELOGGING / RESUMELOGGING / STOPLOGGING: в основному ці використовують для паузи розміщення реєстраційних даних на аркуші.

Синтаксис: `Serial.println("PAUSELOGGING");`

SAVEWORKBOOK: збереження робочої книги з її поточною назвою.

Синтаксис: `Serial.println("SAVEWORKBOOK");`

SAVEWORKBOOKAS: Збереження робочої книжки з будь-яким іншим іменем. Нова робоча книга буде збережена в тій же папці, що і в даний час відкрита робоча книга.

Синтаксис: `Serial.println("SAVEWORKBOOKAS,MyNewWorkbookName");`

Syntax: `Serial.println("SAVEWORKBOOKAS,Subfolder\Workbookname");`

FORCEEXCELQUIT: ця команда закриває Excel.

Синтаксис: `Serial.println("FORCEEXCELQUIT");`

BEEP: відтворює звук в Excel.

Синтаксис: `Serial.println("BEEP");`

MSG: може бути використано для розміщення рядка в рядку повідомлень програми.

Синтаксис: `Serial.println("MSG,Put your text here");`

DONE: може бути використано для надсилання даних з буферу обміну Excel.

Синтаксис: `Serial.println("DONE");`

GETRANDOM: поверне випадкове число від Excel до Arduino. Оскільки Arduino не може створити справжні випадкові числа, випадкова функція Arduino вимагає попередньої ініціалізації за допомогою `randomSeed` (значення). Якщо

значення не є унікальним (наприклад, введення користувача), повернення послідовності чисел випадковості Arduino завжди буде однаковим.

```
Синтаксис: Serial.println("GETRANDOM,-31313,32323");  
int rndseed = Serial.readStringUntil(10).toInt();  
randomSeed(rndseed);  
Serial.println( (String) "1st number: " + random(0, 50));  
Serial.println( (String) "2nd number: " + random(0, 50));  
Serial.println( (String) "3rd number: " + random(0, 50));
```

3.3 Приклад роботи програмного забезпечення для тестування пружин

Розроблений програмний код дозволяє керувати роботою крокового двигуна і, таким чином, навантажити пружину, параметри якої контролюють. В процесі навантаження дані про переміщення (зміну довжини пружини) та зусилля фіксуються і використовуються для побудови графіків.

Паралельно на персональному комп'ютері запускають Arduino IDE та Microsoft Excel, завантажують в Excel аркуш з макросом і дозволяють його виконання. Далі потрібно встановити COM-порт, той самий, який використовується для підключення Arduino.

В процесі роботи в моніторі послідовного порта Arduino IDE відображаються дані про переміщення та навантаження.

Після запуску всіх програмних компонентів, встановлюють пружину, параметри якої потрібно дослідити, натискають кнопку джойстика і нахилом ручки джойстика задають напрям переміщення. Далі контролер здійснює переміщення двигуна і навантажує (стискає) пружину, зчитує дані з тензодатчика та передає їх в програму PLX-DAQ, яка аналізує і впорядковує ці дані. Далі відбувається побудова графіка залежності зусилля від величини стиснення.

В ході тестування стенду до тензометричного давача прикладались випадкові навантаження. Копія екрану для цього випадку зображена на рис. 3.2. Приклад графіку для реальної пружини зображено на рис. 3.3.

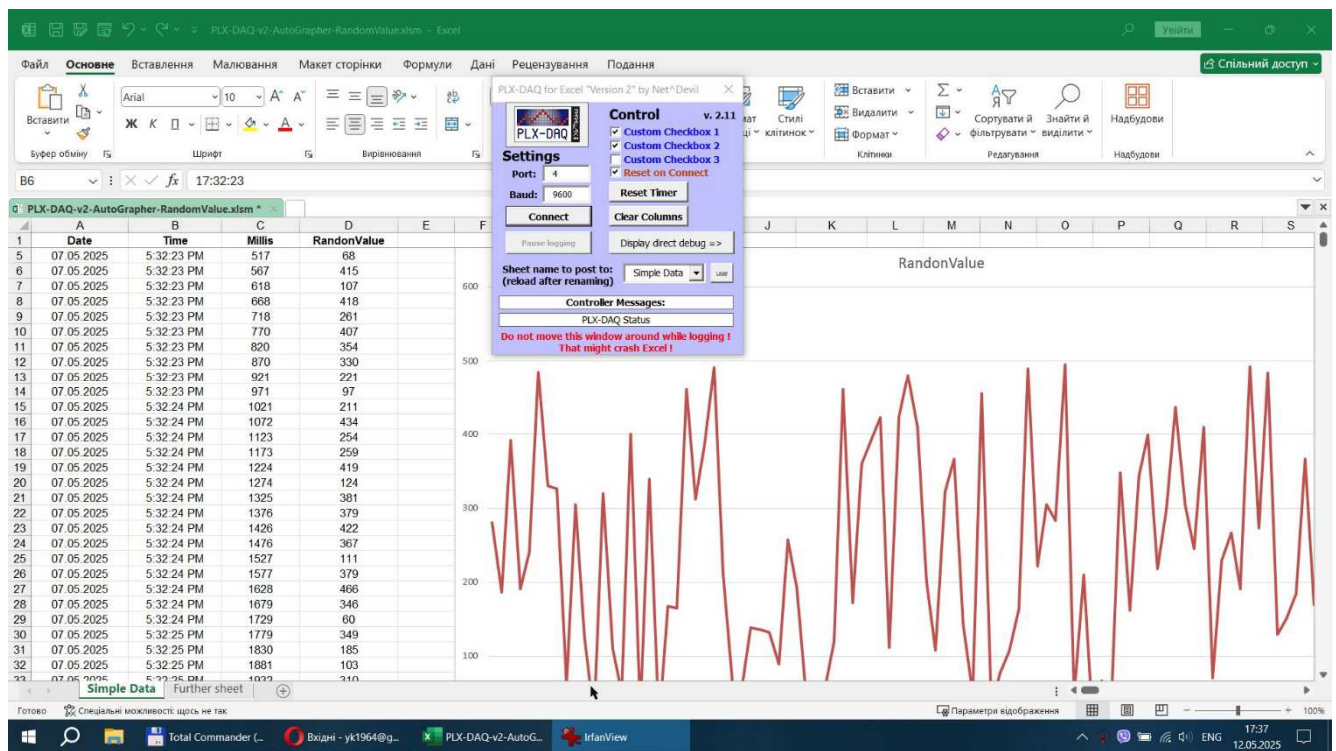


Рисунок 3.2 – Вікно програми при випадковому характері навантаженні

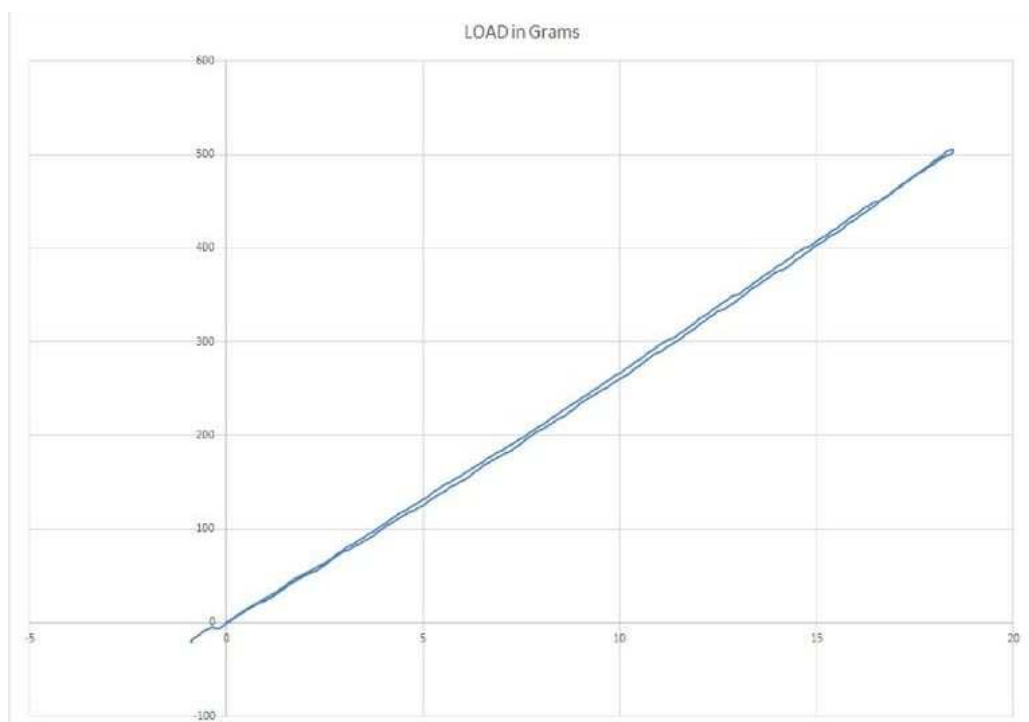


Рисунок 3.3 – Приклад графіку залежності зусилля від деформації

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Діяльність, її види та розуміння в безпеці праці

Діяльність — це активна взаємодія людини з середовищем, в якому вона досягає свідомо поставлені цілі, що формуються при виникненні певних потреб. Кожна конкретна діяльність має свою індивідуальну структуру, яка уточнює загальну структуру діяльності, куди входять загальна ціль діяльності. її мотиви, окремі дії, а також навики, психічні акти та результати. Будь-яка діяльність здійснюється в результаті множини взаємозв'язаних дій.

Дія — це відносно закінчений акт діяльності, в процесі якої досягається конкретна, яка не поділяється на більш прості, ціль. Дія має подібну до діяльності психологічну структуру: ціль — мотив — результат. В залежності від психічних актів, які домінують, розрізняють дії: сенсорні, моторні, вольові, мислячі, мнемонічні (залучення пам'яті). Останні дві дії об'єднуються терміном «розумові дії».

Сенсорні дії — це дії по сприйняттю об'єкта, наприклад визначення розміру предмета, його розміщення, переміщення в просторі, оцінка його стану. Моторні дії — спрямовані на зміну положення об'єкта в просторі шляхом його безпосереднього переміщення (руками, ногами) або безпосередньо з застосуванням знарядь праці (переключення швидкості при управлінні автомобілем; закріплення деталей в лещатах; ручне нарізання різьби за допомогою мітчика чи плашки тощо). Моторні та сенсорні дії найчастіше об'єднуються в трудовій діяльності у сенсомоторні дії. Сенсомоторні дії, спрямовані на зміну стану або властивостей предметів навколишнього світу, називають предметними діями.

Будь-яка дія складається із певних рухів, які зв'язані у просторі та часі. Важливо зауважити, що виконання предметної дії полягає в здійсненні певної системи рухів, яка залежить від цілі дії, властивостей предмета, на який ці дії направлені, та умов дій.

В кожній робочій дії можна розрізнити три її сторони: механічну, фізіологічну та психологічну.

Процес, який узагальнює психіку з її вираженням — м'язовим рухом,

називається психомоторикою.

Закономірності психомоторних процесів особливо важливі при вивченні таких виробничих дій, де необхідні висока точність, співрозмірність та координація рухів. У поняття психомоторики входять сенсомоторні процеси, ідеомоторні процеси та емоційно-моторні процеси.

Сенсомоторні процеси – це процеси, в яких здійснюється зв'язок сприйняття та руху. В цих процесах розрізняють чотири психічних акти:

- сенсорний момент реакції – процес сприйняття;
- центральний момент реакції – процеси, пов'язані з обробленням сприйнятого, ідентифікацією, оцінкою та вибором;
- моторний момент реакції – процеси, що визначають початок та кінець руху;
- сенсорне коригування руху (обернений зв'язок).

Ідеомоторні процеси – зв'язують уяву про рух з виконанням руху. Емоційно-моторні процеси – процеси, що пов'язують виконання рухів з емоціями, почуттями та психічними станами, в яких перебуває людина.

Аналіз процесів має виключне значення в ході професійного навчання, а також при розвитку конструктивно-логічної творчої діяльності.

Оскільки діяльність є процесом, то в ній, як і у всякому процесі, можна виділити певні етапи: постановка цілі, планування роботи, виконання, здійснення діяльності, перевірка результатів діяльності, співставлення результатів діяльності з запланованими, підбиття підсумків роботи та її оцінка. Важливо, щоб працівник умів виділяти ці етапи в своїй діяльності (чи навчанні), тоді він буде озброєний інструментом удосконалення своєї роботи.

Серед великої багатогранності видів діяльності можна виділити найголовніші, що забезпечують існування людини і формування її як особистості: спілкування, гра, навчання і праця (трудова діяльність).

Спілкування в найширшому значенні може бути визначене як взаємодія індивідів, під час якої проходить обмін інформацією на основі взаємного психічного відображення. Спілкування полягає в обміні інформацією, що передається шляхом почутих (усна мова), видимих (письмова мова) та відчутних

(тактильна форма сприйняття письмової мови у сліпих) слів між передаючим та сприймаючим, які послідовно можуть мінятися місцями. Спілкування може використовуватись не тільки як самостійна діяльність зі своєю ціллю, мотивами, діями, способами їх виконання та результатами, тобто структурою як виду діяльності, але і як компонент та умова виконання інших видів діяльності (ігрової, навчальної, трудової). Для виділення спілкування як самостійного виду діяльності необхідно, щоби у нього були свої, усвідомлені суб'єктом цілі та інші компоненти структури. В якості цілей спілкування як самостійної діяльності можуть виступати:

- осягнення внутрішнього світу іншої людини або відкриття їй власного внутрішнього світу;
- дія на психіку іншої людини або групи людей з наміром прищепити їй (їм) певні мотиви або відношення (до себе самого, до тих чи інших сторін оточуючої дійсності).

Праця посідає особливо важливе місце в діяльності людини, де гра та навчання виступають як підготовка до праці.

Трудова діяльність (праця) розглядається як специфічна поведінка людини, яка забезпечує її виживання, перемогу над іншими видами та використання нею сил і багатств навколишнього середовища.

За своєю природою трудова діяльність є суспільною. Потреби суспільства її формують, визначають, спрямовують і регулюють. Люди в процесі праці, діючи і впливаючи на природу, створюють все, що необхідно для задоволення їх матеріальних і духовних потреб. Разом з тим праця – вирішальна умова формування особистості, її здібностей, розумових та моральних якостей, свідомості.

Гра – це вид поведінки тварин та діяльність людини, ціллю якої є саме здійснення «діяльності», а не практичні результати, які досягаються з її допомогою. Використовуючи гру, можна формувати не тільки моральні якості людини, а й волю, розвивати логіку. Тому гра відображає суспільні відносини, а кожен її учасник формується як особистість.

Навчання – це діяльність, безпосередньою ціллю якої є засвоєння людиною певних знань, навиків та вмінь.

Знання – це інформація про значущі властивості світу, яка необхідна для

успішної організації тих чи інших видів теоретичної або практичної діяльності.

Навики – не дії, які, будучи сформовані в результаті вправлення, характеризуються високим ступенем засвоєння і відсутністю поелементної свідомої регуляції та контролю.

Вміння – це способи виконання дій, які забезпечуються сукупністю набутих знань та навиків в умовах, що змінюються.

Навчання – це основний спосіб розвитку людини як свідомої особистості на основі засвоєння нею теоретичного і практичного досвіду людства.

4.2 Вибір схеми пристрою захисного відключення від ураження електричним струмом для електроустановки напругою до 1000 В

Захисне відключення – швидкодіючий захист, що забезпечує автоматичне вимкнення електроустановки при виникненні в ній струму. Така небезпека виникає при:

- повному чи неповному замиканні фази на корпус електроустановки;
- випадковому дотику людини безпосередньо до струмопровідної частини;
- зниженні опору ізоляції мережі;
- несправності захисного заземлення чи занулення.

Пристрій захисного відключення (ПЗВ) складається з чутливого елемента – датчика, що сприймає сигнал, і виконавчого пристрою, що забезпечує, власне, вимкнення електроустановки від мережі при сигналі заданого рівня.

Такі пристрої захисного вимкнення повинні мати: високу чутливість, малий час спрацьовування, селективність вимкнення, здатність до самоконтролю справності, достатню надійність.

Відключення захисне електроустановок застосовують головним чином у мережах напругою до 1000 В, коли захисне заземлення чи занулення їх зробити важко чи неможливо, а також коли в процесі експлуатації існує висока ймовірність випадкового дотику до струмопровідних частин.

Захисне відключення ефективне в пересувних електроустановках, а також

при експлуатації ручного електроінструмента. Стационарні електроустановки із захисним вимкненням використовують у районах з великим питомим опором землі.

Розпізнають кілька типів схем захисного вимкнення. Датчики, що сприймають сигнал, можуть бути чутливі до:

- напруги на корпусі відносно землі;
- струму замикання на землю;
- напруги нульової послідовності;
- струму нульової послідовності;
- напруги фази відносно землі;
- постійного чи змінного оперативного струму.

Більшість ПЗВ, що знаходяться сьогодні в експлуатації, мають структурну схему, представлену на рис. 4.1. Основним функціональним блоком ПЗВ є диференціальний трансформатор струму 1. Граничний елемент 2, як правило, є чутливим магнітоелектричним реле прямої дії або напівпровідниковим реле. Виконавчий механізм 3 містить спусковий механізм і силову контактну групу для розмикання електричного кола.

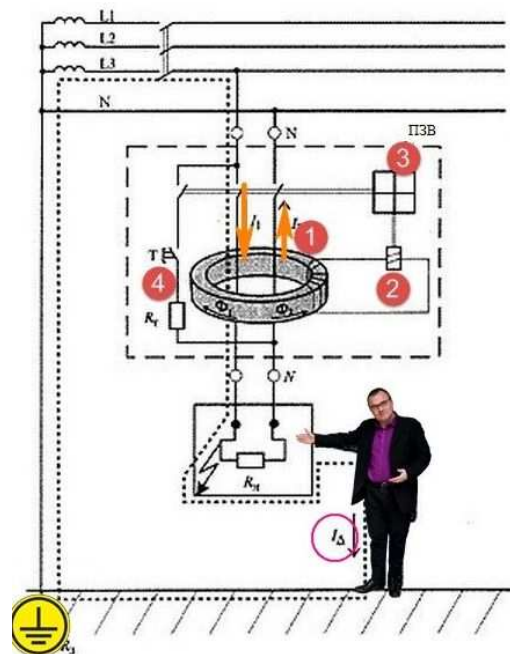


Рисунок 4.1 – Структурна схема пристрою захисного відключення

Для проведення періодичного контролю працездатності ПЗВ, використовується коло тестування 4. При натисканні кнопки «Тест» у колі виникає

диференціальний струм, який має викликати спрацювання ПЗВ та відключення кола, що захищається.

Принцип дії ПЗВ полягає в тому, що в нормальному режимі в силовому колі через провідники, що проходять крізь вікно магнітопроводу трансформатора струму, протікає робочий струм навантаження. Ці провідники, створюють зустрічно включені первинні обмотки диференціального трансформатора струму. Рівні за величиною струми I_1 та I_2 в зустрічно увімкнених обмотках наводять у магнітному сердечнику трансформатора магнітні потоки Φ_1 і Φ_2 , які дорівнюють один одному, але зустрічно спрямовані. Результируючий магнітний потік у вторинній обмотці диференціального трансформатора буде дорівнювати нулю, відповідно струм у вторинній обмотці також дорівнює нулю. Пусковий орган у цьому випадку знаходиться в стані спокою.

До магнітного осердя диференціального трансформатора ставляться високі вимоги – лінійність характеристики намагнічування, висока чутливість, температурна і часова стабільність і т. д. У зв'язку з цим для виготовлення магнітопроводів застосовується спеціальне високоякісне аморфне (некристалічне) залізо.

При дотику людини до відкритих струмопровідних частин або до корпусу електроприймача, де відбувся пробій ізоляції, по фазному провіднику, що проходить через ПЗВ, крім струму навантаження I_1 протікає додатковий струм – струм витоку I_{Δ} . Виникає нерівність струмів у первинних обмотках, що супроводжується нерівністю магнітних потоків. В результаті цього у вторинній обмотці виникає диференціальний струм. Коли величина цього струму перевищить значення уставки граничного елемента пускового органу 2, останній спрацює і впливає на виконавчий механізм 3. Виконавчий механізм, який як правило, складається з пружинного приводу, спускового механізму і групи силових контактів, розмикає електричне коло і знеструмлює електроустановку.

Основним нормативним документом, який необхідно використовувати при проектуванні електроустановок з використанням ПЗВ є ПБЕ. При цьому слід додатково розглянути такі питання:

- вибір категорії проектного об'єкта за умовами електробезпеки;

- вибір типу і параметрів ПЗВ;
- забезпечення селективності дії ПЗВ;
- вибір місця установки відповідно до призначення ПЗВ;
- провести аналіз роботи ПЗВ в електроустановках при використанні різних схем заземлення.

В наш час різними виробниками випускається велика кількість різноманітних ПЗВ. Внаслідок цього при проектуванні, а також у процесі експлуатації виникають проблеми, пов'язані з вибором того чи іншого типу ПЗВ для конкретної електроустановки. При виборі ПЗВ доводиться користуватися тільки тією інформацією, що надається виробником. У зв'язку з цим особливу увагу, слід звертати на характеристики, що визначають якість цих пристроїв і їхню працездатність. Набір робочих характеристик – номінальна напруга, номінальний струм навантаження, номінальний диференціальний струм вимикання, як правило, приводяться в документації на ПЗВ. Їх вибирають відповідно до параметрів електроустановки, що проектується.

ПЗВ випускають у двополюсному і чотиріполюсному виконанні. Двополюсні ПЗВ розраховані на номінальну напругу $U_n = 220$ В, чотиріполюсні – на $U_n = 380$ В. Можливе застосування чотиріполюсних ПЗВ в однофазній мережі – за умови, що при цьому забезпечується нормальне функціонування тестового кола при цій напрузі. Відповідно до нормативних документів ПЗВ повинен зберігати працездатність у визначеному діапазоні напруг. Слід зазначити, що електромеханічні ПЗВ є функціонально незалежними від напруги живлення і зберігають працездатність при будь-яких значеннях напруги.

Номінальний струм навантаження I_n вибирають з ряду: 6, 10, 16, 25, 40, 63, 80, 100, 125 А. Значення цього струму залежить, як правило, від перерізу провідників у самому пристрої і конструкції силових контактів. У зв'язку з тим, що ПЗВ захищений послідовним захисним пристроєм (ПЗП), номінальний струм навантаження ПЗВ повинний бути скоординований з номінальним струмом ПЗП. Величина номінального струму навантаження ПЗВ повинна дорівнювати або бути на ступінь вище номінального струму послідовного захисного пристрою. Якщо номінальні струми ПЗВ й автоматичного вимикача дорівнюють один одному, то при

протіканні струму, котрий перевищує номінальний, ПЗВ буде перевантаженим весь проміжок часу до того моменту, коли відключиться автоматичний вимикач.

Номінальний диференціальний струм вимикання, – струм уставки вибирається з наступного ряду: 6, 10, 30, 100, 300, 500 мА.

Для кожного конкретного випадку уставку ПЗВ вибирають з урахуванням таких факторів:

- значення існуючого в даній електроустановці сумарного (з урахуванням приєднаних стаціонарних і переносних електроприймачів) струму витоку на землю – так званого «фоновому струму витоку»;
- значення припустимого струму через людину на основі критеріїв електробезпеки;
- реального значення диференціального струму, що відключає ПЗВ.

Відповідно до вимог ПБЕ номінальний диференціальний струм вимикання ПЗВ повинний бути мінімум у три рази більшим сумарного струму витоку кола захищеної електроустановки. Величина сумарного струму витоку визначається розрахунковим шляхом чи вимірюється спеціальними приладами. При відсутності даних про значення струму витоку в електроустановці ПБЕ рекомендують приймати струм витоку електроприймача з розрахунку 0.4 мА на 1 А струму навантаження, а струм витоку кола – з розрахунку 10 мкА на 1 м довжини фазного провідника.

Номінальний диференціальний струм вимикання ПЗВ дорівнює половині значення струму уставки: $I_{n0} = 0.5 I_{\Delta n}$. Це означає, що реальне значення диференціального струму, при якому ПЗВ спрацьовує, знаходиться в діапазоні від половини до цілого значення номінального струму вимикання. Щоб уникнути помилкових відключень, дану обставину слід враховувати при проектуванні та експлуатації ПЗВ. Для надійної роботи ПЗВ необхідно зіставляти реальне значення струму вимикання з «фоновим» струмом витоку в електроустановці.

Граничне значення надструму I_{nt} , який не відключає, характеризує здатність ПЗВ не реагувати на симетричні струми короткого замикання і перевантаження. Відповідно до нормативних документів мінімальне значення струму, що не відключає, повинне дорівнювати шестиразовому значенню номінального струму

навантаження: $I_{nm} = 6I_n$. Максимальне значення надструму, що не вимикається, – не нормується і може мати значення, яке набагато перевищує $6I_n$. Цей параметр є важливим показником якості пристрою. Помилковою є думка, що це струм, при якому ПЗВ повинний вимикати установку.

Номінальна здатність вмикати і вимикати (комутаційна здатність) є параметром, що визначає надійність ПЗВ. Залежить вона в основному від рівня технічного виконання пристрою – якості силових контактів, потужності пружинного приводу, матеріалу і якості механізму, наявності дугогасильної камери та ін.

Аналогічною є характеристика номінальної здатності по диференціальному струму $I_{\Delta m}$, що припускає протікання диференціального надструму, наприклад, при короткому замиканні на корпус електроприймача в системі TN–C–S.

Номінальний умовний струм короткого замикання I_{nc} – один з основних параметрів ПЗВ, що характеризує термічну і електродинамічну стійкість виробу при протіканні надструмів. Значення цього параметра вказується на лицьовій панелі пристрою або приводиться в технічній документації на ПЗВ.

Однак такі параметри як комутаційна здатність I_m і умовний розрахунковий струм короткого замикання I_{nc} , що визначають надійність роботи ПЗВ, не завжди приводяться виробниками в технічній документації.

Комутаційна здатність ПЗВ, відповідно до вимог норм, повинна бути не меншою десятикратного значення номінального струму або 500 А (береться більше значення).

Багато ПЗВ мають, як правило, набагато більш високу комутаційну здатність – 1000, 1500 А. Це означає, що такі пристрої надійніші, і в аварійних режимах, наприклад, при короткому замиканні на землю – ПЗВ, випереджаючи автоматичний вимикач, гарантовано вимкне установку.

Умовний розрахунковий струм короткого замикання – характеристика, що умовно визначає надійність і міцність пристрою, якість виконання його механізму і електричних з'єднань. Відповідно до нормативних документів мінімально припустиме значення I_{nc} , складає 4.5 кА. Чим вища якість ПЗВ, тим більше значення I_{nc} . У деяких зразках ПЗВ цей показник досягає значення 15 кА. На лицьовій панелі

пристроїв цей показник вказується або символом (наприклад, $I_{nc} = 6000$, $I_{nc} = 10000$), або відповідними цифрами в прямокутнику.

Номінальний час вимикання T_n відповідно до вимог нормативних документів не повинен перевищувати 0.3 с. Однак у даний час розроблені конструкції ПЗВ, у яких цей параметр складає 20-30мс. У зв'язку з цим в процесі експлуатації можливі ситуації, коли ПЗВ відключає струм навантаження чи надструм швидше апарата захисту.

Діапазон робочих температур ПЗВ – від мінус 5 до плюс 40°C. При спеціальному виконанні для діапазону температур від мінус 25 до плюс 40°C на лицьовій панелі наноситься спеціальний знак.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було розроблено автоматизований лабораторний стенд для тестування пружин, який дозволяє підвищити точність, швидкість та зручність проведення експериментальних досліджень механічних характеристик пружин.

Основні результати роботи:

1 Проаналізовано існуючі методи та засоби випробування пружин, виявлено їхні переваги та недоліки, що дозволило сформулювати технічні вимоги до нового лабораторного стенду.

2 Розроблено конструкцію стенду, яка забезпечує можливість прикладання контрольованого навантаження до пружини та точного вимірювання її деформацій. Передбачено ергономічне та безпечне розміщення елементів стенду.

3 Створено систему автоматизованого керування, що базується на мікроконтролері Raspberry Pi Pico та дозволяє керувати випробуванням, зчитувати та обробляти дані з датчиків (сили та переміщення), а також зберігати результати вимірювань.

4 Розроблено програмне забезпечення для управління стендом і візуалізації даних, що забезпечує зручний інтерфейс користувача, збір та попередню обробку результатів експериментів.

5 Проведено експериментальні дослідження, що підтвердили працездатність і точність створеної установки. Отримані результати свідчать про відповідність функціоналу стенду поставленим вимогам.

6 Стенд є доступною альтернативою комерційним аналогам та адаптований для використання в закладах вищої освіти.

Отже, поставлені в роботі завдання повністю виконані, а розроблений лабораторний стенд є ефективним інструментом для дослідження пружин та може бути рекомендований для впровадження в освітній процес, а також для подальшої модернізації та розширення функціональних можливостей.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Біляковський І.Є. Електромехатронні перетворювачі систем автоматики. Львів.: Магнолія. 2024. 155 с.
- 2 Васильківський І. С., Фединець В. О., Юсик Я. П. Виконавчі пристрої систем автоматизації. Львів: Львівська політехніка, 2020. 220 с.
- 3 Глухов О.В., Кравчук О.О., Левченко Є.В. Вивчення властивостей мікроконтролерів і електронних систем на базі платформи Ардуіно: навч.посібник для студентів ВНЗ. Харків: ХНУРЕ, 2019. 192 с.
- 4 Желібо Є.П., Заверуха Н.М., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник. К.: Каравела. 2023. 344 с.
- 5 Лушніков В.М., Чайковський О.Б., Кравченко О.Ю. Дослідження характеристик гвинтових пружин. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. 2012. Вип. 12, ч. 1. С. 318, 319.
- 6 Роганов Л.Л., Карнаух С.Г. Розрахунок пружин, ресор та пружних амортизаторів. Краматорськ. ДДМА. 2000. 112 с.
- 7 Сучасні мікроконтролери в електронній та інформаційно-вимірювальній техніці : навч. посіб. / О.В. Вовна, А.А. Зорі, О.А. Штепа та ін. Покровськ: ДВНЗ ДонНТУ, 2020 . 311 с.
- 8 Установка для дослідження витих пружин. Патент на корисну модель № 59147. 10.05.2011, Бюл.№9, 2011 р.
- 9 Вставка та розрахунок пружин | Inventor. URL: <https://autocad-lessons.com/uk/vstavka-i-rozrakhunok-pruzhyn-vynakhidnyk/> (дата звернення: 05.04.2025).
- 10 Калькулятор пружин. URL: <https://express-springs.com/calculator-compression> (дата звернення: 23.02.2025).
- 11 Parallax Data Acquisition tool (PLX-DAQ). URL:<https://www.parallax.com/package/plx-daq/> (дата звернення: 07.03.2025).

- 12 The Official Raspberry Pi Handbook 2025: Astounding projects with Raspberry Pi computers. Raspberry Pi Press.2025. 200 p.
- 13 Коноваленко І. В. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0 : навч. посіб. / І. В. Коноваленко, П. О. Марущак. – Тернопіль : В. А. Паляниця, 2020 – 320 с. <http://library.megu.edu.ua:8180/jspui/handle/123456789/4115>
- 14 Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39189>
- 15 Капаціла Ю.Б., Савків В.Б. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 60 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48495>
- 16 Козбур І.Р., Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження частотних характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – с. 16. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39207>
- 17 Козбур І.Р., «Дослідження часових характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39206>
- 18 Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1551>

- 19 Методичні вказівки по роботі з програмним симулятором "AVR simulator IDE" з курсу "Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 21 с.
- 20 Моделювання нелінійних систем керування у пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. - 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28057>
- 21 Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. - 23 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28056>
- 22 Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Multisim. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо . - Тернопіль : ТНТУ Імені Івана Пулюя, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26404>
- 23 Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Proteus VSM. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26397>
- 24 Методичні вказівки до курсового проектування з курсу "Проектування систем автоматизації" / Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П. Тернопіль : ТНТУ, 2025. 128 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48646>
- 25 Лабораторний практикум з проектування та моделювання роботи

електропневматичних схем у середовищі програмного пакету «FluidSIM Pneumatics» з курсу «Технічні засоби автоматизації» / укл. : О.К. Шкодзінський. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 32 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31418>

- 26 Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка”. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. – 53 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/44635>
- 27 Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
- 28 Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня „бакалавр" усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний, В. С. Сенчишин, С. Ю. Мариненко, О. І. Король. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 123 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48496>
- 29 Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп’ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.
- 30 Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп’ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.
- 31 Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
- 32 Буров Є., Митник М. Комп’ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018.
- 33 Комплексна безпека інформаційних мережевих систем. Навчальний

посібник для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / А. Г. Микитиший, М. М. Митник, О. С. Голотенко, В. В. Карташов. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 324 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42625>

- 34 Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>